

DIRECTORIO DE PROFESORES DEL CURSO: PERFORACION DE POZOS
ABRIL DE 1.9 8 5

1. ING. GILBERTO HARO OSIO (COORDINADOR)
GERENTE GENERAL
ACUIFERICO, S.A.
AV. DE LAS FUENTES NO. 35-4 "D"
LOMAS DE TECAMACHALCO
MEXICO
58946 57
2. ING. JORGE ANTONIO TRUJILLO CANDELARIA
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE EXPLORACION
SUBDIRECCION DE GEOHIDROLOGIA Y DE ZONAS ARIDAS
S A R H
SAN LUIS POTOSI NO. 199-2° PISO
COL. ROMA SUR
MEXICO, D.F.
564 77 42
3. ING. RAYMOND VIGNAUD COMBAS
GERENTE GENERAL
INVESTIGACIONES TECNICAS DEL SUBSUELO, S.A.
MARGARITAS # 143
CASA DOS
COL. FLORIDA
MEXICO 20, D.F.
534 26 19
4. ING. JOSE BERNARDO MARTELL ANDRADE
ASESOR TECNICO
COORDINACION EJECUTIVA DE EXPLORACION
PEMEX
MARINA NACIONAL 329
COL. ANAHUAC
MEXICO, D.F.
531 66 95
5. ING. JOSE FELIPE YTUARTE OLIVO
DIRECTOR GENERAL
IMPULSORA Y PROMOTORA INDUSTRIAL, S.A.
ZARAGOZA 14
LOMAS ALTAS
MEXICO
570 38 13
6. ING. RAFAEL ALVARO JIMENEZ GRANADO
ASESOR TECNICO
SUBDIRECCION DE CONSTRUCCION DE OBRAS HIDRAULICAS
E INGENIERIA AGRICOLA PARA EL DESARROLLO RURAL
SARH
PASEO DE LA REFORMA 107-7° PISO
MEXICO, D.F.

7. ING. JOSE PONCE DEL TORO
 GERENTE.
 CONSTRUCCIONES Y PERFORACION MASIVA
 RIO TIBER NO. 87 Desp. 402
 MEXICO, D.F.
 533 04 15
8. ING. ERNESTO REGUERA ROA
 GERENTE.
 PERFORADORA DEL ISTMO
 250 99 66
9. ING. GILBERTO LEON MARTINEZ
 JEFE DEL DEPARTAMENTO
 EQUIPOS DE BOMBEO Y ELECTROMECHANICA
 DIRECCION GENERAL DE OBRAS HIDRAULICAS
 S A R H
 VALLARTA NO. 1 DESP. 908 A
 MEXICO, D.F.
 5920560
10. ING. LEANDRO MONTES LARIOS
 SUBJEFE DEL DEPARTAMENTO DE EQUIPOS
 DE BOMBEO Y ELECTROMECHANICA
 VALLARTA NO.1 DESP. 609 B
 MEXICO, D.F.
 592 45 27
11. ING. JOAQUIN MENDEZ SALDAÑA
 JEFE DEL DEPARTAMENTO DE EVALUACION
 GEOHIDROLOGICA
 SARH
 SAN LUIS POTOSI 199-3
 MEXICO, D.F.
12. ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES
 ADMINISTRADOR
 LESSER Y ASOCIADOS, S.A.
 VENUSTIANO CARRANZA 12 A Y B
 QUERETARO, QRO.
 91463 43522
13. ING. LUIS MATUS ZARATE
 JEFE DEL DEPTO. DE PERFORACION DE POZOS
 SARH
 VALLARA NO. 1-9° PISO
 MEXICO, D.F.
 592 05 60
14. ING. EDUARDO MARTINEZ GONZALEZ
 GERENTE GENERAL
 CONSTRUCCIONES Y PERFORACIONES, S.A.
 ALFONSO ESPARZA OTERO NO. 144-807
 COL. GUADALUPE INN
 01020 MEXICO, D.F.
 550 10 41 y 550 14 45

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
 FACULTAD DE INGENIERIA - U.N.A.M.
 CURSOS DE PERFORACION DE POZOS
 DEL 22 AL 26 DE ABRIL DE 1985.
 COORDINADOR: ING. GILBERTO HARO OSIO

HORAS	LUNES 22	MARTES 23	MIERCOLES 24	JUEVES 25	VIERNES 26
9:00	<u>JORGE A. TRUJILLO</u> CANDELARIA. 5-64-77-42	<u>FELIPE YTUARTE OLIVO</u> 5-70-38-13	<u>JOSE PONCE DEL TORD</u> 5-33-04-15	<u>GILBERTO LEON MARTINEZ</u> 5-92-05-60	<u>LEANDRO MONTEZ LAPIOS</u> 5-92-45-27
10:00	GEOLOGIA GEOHIDROGEOLOGIA LOCALIZACIONES	SELECCION DE EQUIPOS DE PERFORACION	PERFORACION NEUMATICA	AFOROS	EQUIPOS ELECTRICOS
11:00		DE 9:00 A 11:15	DE 9:00 A 11:15	DE 9:00 A 11:15	DE 9:00 A 11:15
12:00		<u>RAFAEL A. JIMENEZ</u> <u>GRANADOS</u> PERCUSION	<u>JOAQUIN MENDEZ SALDARA</u> PRUEBAS DE BOMBEO	<u>EDUARDO MARTINEZ</u> 5-50-10-41 5-50-14-45 ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS	<u>JUAN M. LESSER ILLADES</u> 91-463-435-22 INTRUSION SALINA
13:00	DE 9:00 A 13:30	DE 11:15 A 13:30	DE 11:15 A 13:30	DE 11:15 A 13:30	DE 11:15 A 13:30
DE 13:30 A 15:00 COMIDA					
15:00	<u>RAYMOND VIGNAUD COMBAS</u> 5-34-26-19	<u>ERNESTO REGUERA ROA</u> 2-50-99-66	<u>GILBERTO HARO OSIO</u> 5-89-46-57	<u>LUIS MATUS ZARATE</u> 5-92-05-60	<u>MESA REDONDA</u>
16:00	GEOFISICA DE 15:00 A 16:30	PERFORACION ROTARIA	POZOS Y ACUIFEROS	DISEÑO Y SELECCION DE EQUIPOS DE BOMBEO	
17:00	<u>LUIS LARA TRUJILLO</u> 5-31-63-08 REGISTROS ELECTRICOS				
18:00	DE 16:30 A 18:00	DE 15:00 A 18:00	DE 15:00 A 18:00	DE 15:00 A 18:00	DE 15:00 A 18:00



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

GEOLOGIA Y GEOHIDROLOGIA

ING. JORGE A. TRUJILLO CANDELARIA

ABRIL, 1985

GEOLOGIA Y GEOHIDROLOGIA

De acuerdo con el objetivo principal del presente curso, de Perforación de Pozos para Agua, y los diferentes temas que lo complementan; versando fundamentalmente sobre: Geología; Geohidrología; Exploración de aguas subterráneas; propiedades hidráulicas de las formaciones acuíferas; evaluación de su potencial productor; análisis, revisión y empleo adecuado de los dispositivos mecánicos, equipos, procedimientos y elementos, con los cuales debe concebirse, proyectarse y construirse, una captación para la extracción de aguas aprovechables del subsuelo, como fuente de usos múltiples, un POZO PARA AGUA representa, la culminación ó meta de un proceso ineludiblemente técnico, de aplicación, de diversos principios de la Ingeniería, conectados esencialmente con la Geología, la Hidrología y la Electromecánica.

La Geología y la Hidrología, conforman los fundamentos básicos, del conjunto de conocimientos esenciales que comprende la Geohidrología ó Hidrogeología, como también se denomina a esta importante rama de la Ingeniería. Recibe tales calificaciones, en atención a la preponderancia de apreciación, que tienen ambas materias de conocimiento, en sus objetivos prominentes de aplicación, como son, la exploración y captación de aguas subterráneas y,

su explotación. Esta aparente distinción, se aprecia también, de acuerdo a las especialidades, en la formación profesional técnica, que concurren al estudio de los diversos problemas que se presentan ^{en dicha rama} y en la consecución de dichos objetivos, cuya descripción puede resumirse como sigue:

Reconocimientos preliminares:

a) Examinar, analizar y determinar las características fisiográficas, geológicas y climatológicas, de zonas que puedan ser calificadas como carentes de posibilidades favorables para la presencia de aguas subterráneas, o bien, constituir cuencas acuíferas, de amplia o reducida magnitud, en relación a los problemas de esta índole que se presentan como demandas para producir dictámenes técnicos sobre dichas posibilidades.

Estudios geológicos:

Confirmar lo anterior por medio de los métodos de observación geológica directa y con el auxilio de la fotogeología, que puedan ser complementados con otros procedimientos exploratorios como los geofísicos, tendientes a obtener la mayor información, accesible y confiable, sobre la probable presencia de rocas o formaciones contenedoras y almacenadoras de aguas subterráneas. Debe, además, investigarse si éstas tienen acceso, por infiltraciones de lluvias sobre medios permeables bajo corrientes o cuerpos de agua naturales o artificiales que propicien su movimiento hacia el subsuelo en volúmenes renovables.

Es pues necesario aplicar los conceptos inherentes a la geología sobre la presencia, disposición, amplitud, características litológicas o sedimentológicas de origen, procesos, edad y estructuras geológicas, que determinen las condiciones que se consideren como favorables para la existencia de una cuenca acuífera.

Observaciones complementarias:

Por otra parte, en los reconocimientos y recorridos de campo, es indispensable anotar observaciones, registros e investigaciones sobre manantiales, excavaciones, pozos, norias, galerías, u otras captaciones, con agua, si existen en las zonas, definiendo su posición y elevación, para su correlación con cuerpos superficiales de agua y fondos de valles o cuencas. Es necesario, además, verificar, en su caso, la contribución de alimentación que ceden las aguas subterráneas para el mantenimiento ó, incremento, de algunos ríos o corrientes, principalmente en aquellos que sostienen sus caudales de estiajes. Todo lo anterior, debe formar parte de una compilación indispensable de información en todo estudio geohidrológico.

Sondeos y pozos exploratorios:

Como finalidad de un estudio geohidrológico de cuyas conclusiones se determinan condiciones favorables para la presencia de aguas subterráneas, pueden ya programarse y, diseñarse, en términos generales, su alumbramiento mediante exploraciones o captaciones adecuadas, ya sean sondeos, excavaciones, norias, galerías o socavones, o bien, la más usual y común de ellas, o sea pozos exploratorios o de explotación.

En la selección y recomendación de la aplicación de los procedimientos de perforación, tipos de máquinas perforadoras para efectuarlos, - así como en el proyecto y diseño de su terminación, el geohidrológico debe considerar y estar al tanto, de los adelantos técnico-mecánico que se tienen disponibles actualmente en este campo, al servicio de la Ingeniería.

Dicha selección debe adaptarse a las características de las ro-

cas a perforar antes de penetrar a los niveles esperados de agua en los acuíferos y ya dentro de ellos, tomando en cuenta sus propiedades relativas con la litología, grados de compacidad ó cementación, estabilidad, dureza, permeabilidad, resistencia a la penetración, etc.; llevando registros sobre las manifestaciones o indicios de las profundidades posiblemente productoras, que puedan alcanzarse en el subsuelo. Hay que considerar, además, que dichos niveles pueden variar al prever que los acuíferos, en su etapa de exploración o de explotación, pueden ser del tipo libre ó confinado y, por lo tanto, sujetas a cargas hidrostáticas que, en ocasiones, pueden producir artesianismo brotante.

El primer objetivo de la Geohidrología, antes expuesto, que es, en síntesis, la exploración, puede resumirse en sus propósitos benéficos, como la función de ir buscando y descubriendo nuevas áreas para explotación de aguas subterráneas, susceptibles de desarrollo para zonas donde este recurso puede utilizarse en México como elemento productivo, muchas veces indispensable para la realización de proyectos agropecuarios o de abastecimientos urbanos, rurales, ó domésticos.

Regionalización de Acuíferos:

Con el fin de acondicionar mayores facilidades de ejercicio a los geohidrólogos mexicanos, la Subdirección de Geohidrología y de Zonas Áridas de la SARH tiene formulada una regionalización de acuíferos en el país, tanto de los que están bajo explotación, como de aquellas nuevas áreas bajo exploración, con posibilidades de ser consideradas, en los nuevos programas de este índole, que en su ejecución deben abarcar mayores extensiones del territorio nacional, en donde no se cuenta con otras fuentes de agua, como elemento para

incrementar su desarrollo.

Esta regionalización comprende los siguientes tipos de acuíferos que pueden ser zonificados de acuerdo a las principales unidades fisiográficas y geológicas que presentó el plano geológico de la República en un examen de gran visión.

Acuíferos en Aluviones Recientes y Cuaternarios.

Acuíferos en Formaciones de Edad Terciaria.

Acuíferos en Formaciones volcánicas.

Acuíferos en Formaciones volcánicas de la faja central del país denominada Eje Neovolcánico.

Acuíferos en las calizas sedimentarias marinas del Cretácico.

Acuíferos en las Calizas Terciarias de la Península de Yucatán.

Para no extender el tiempo fijado para esta exposición ~~xxxx~~ ~~xxxx~~ y permitir la aclaración y consideración de algunos conceptos incluidos o no en ella, sobre los cuales los asistentes tengan preguntas específicas de su interés, me permito informarles que el tema sobre regionalización de acuíferos será puesto por escrito a disposición de la Coordinación del presente curso, para que, si lo consideran pertinente, forme parte de los apuntes que serán integrados a los participantes.

Evaluación del Potencial Acuífero:

El segundo gran objetivo de la Geohidrología o de la Hidrogeología, es el de cuantificar, en zonas ya probadas como acuíferas, las disponibilidades de los potenciales productores renovables de aguas recuperables en los almacenamientos subterráneos. Para lograrlo, es necesario determinar inicial

mente las magnitudes de las recargas que reciben dichos almacenamientos. También es recomendable condicionar las profundidades, amplitud, situación y distanciamiento en un patrón preliminar, de la localización de las primeras perforaciones de producción que se proyecten. Estas son indispensables para que de ellas se obtengan las observaciones sobre las configuraciones de los niveles estáticos y de bombeo en los acuíferos como información imprescindible para definir su comportamiento y funcionamiento en su explotación y aprovechamiento inicial y de desarrollo futuro.

Balance Hidrológico:

Las primeras etapas de análisis en la evaluación de la magnitud de las recargas que alimentan una cuenca acuífera son configuradas, con un estudio, con la intervención indispensable de la Hidrología, mediante la aplicación del Ciclo Hidrológico, investigando y adaptando, un balance de su funcionamiento, acorde con las características fisiográficas, geológicas y climatológicas, de una cuenca acuífera. Para ello es necesario fijar, valores, con buen criterio y muchas veces en forma estimativa, considerando la abundante o escasa información que pueda obtenerse sobre los términos y factores que intervienen en la ecuación del ciclo hidrológico como son: volúmenes de precipitación de lluvias; evapotranspiración; volúmenes de aguas de escurrimiento superficial y finalmente volúmenes de infiltración, ^{la determinación de este último término} ~~presenta las mayores dificultades en su estimación~~ ^{ciencia} ~~ciencia~~ ^{pues} para su valoración ^{es necesario} tomar en cuenta muchos aspectos variables colaterales de la hidrología y la geología que solo pueden ser calculadas prácticamente en forma estimativa.

Sin embargo, es siempre necesario realizar dicho balance hidrológico pues con su aplicación pueden apreciarse cuales son las aportaciones que por infiltración pueden alimentar una zona acuífera y, aunque este procedimiento como se ha hecho hincapié, no constituye un cálculo preciso, su consideración y análisis es siempre de auxilio muy apreciable como elemento de información preliminar para evaluar conservadoramente las disponibilidades productivas acuíferas de una cuenca geohidrológica sobre todo cuando su explotación y aprovechamiento se inicia con cierto número reducido de pozos, si éstos se aprovechan como dispositivos de observación y registro para emprender los estudios más formales y necesarios sobre su comportamiento y funcionamiento.

Actividades complementarias:

Actividades geológicas, también fundamentales, en un estudio geohidrológico de cuantificación del potencial productor de acuíferos, son los trabajos que se realizan para fijar las delimitaciones fisiográficas de la extensión de una cuenca y su posible comunicación subterránea con otras vecinas. Colateralmente es necesario obtener la mayor información posible sobre las fronteras laterales y de fondo del manto o mantos acuíferos existentes y de su capacidad almacenadora, realizando, si es necesario, sondeos o perforaciones de exploración, para delimitar sus espesores medios y las variaciones que pueden presentarse en sus extensiones y configuraciones verticales y laterales.

Conocidos en forma amplia o parcial, por posibles limitaciones informativas, los elementos geológico-fisiográficos que conforman una cuenca acuífera, expuestos primèramente en la anterior exposición, y analizadas las

características hidrológicas que ésta presenta en los potenciales de recarga que pueden alimentar y hacer variar en incrementos o descensos las capacidades de almacenamiento de sus mantos acuíferos como respuesta a su funcionamiento -- recargas-extracciones, el complemento de un estudio de cuantificación en sus siguientes etapas de avance y perfección, incluya como actividades necesarias la ejecución de programas de observación y registro.

Registros y observaciones de niveles. Planos de configuración piezométrica. Estos registros serán periódicos, estacionales, tomando en cuenta las temporadas: lluvias-estiujes y los programas de aprovechamiento y extracciones de los acuíferos. Deben distribuirse y realizarse en lapsos definidos de corto tiempo en campañas sistemáticas de observación, que abarquen el ciclo de un año o preferentemente de varios años, pues están encaminadas a servir de base para elaborar planos de las áreas bajo explotación donde existen pozos, que representen las configuraciones de los niveles estáticos y de bombeo que se registren y sus variaciones relativas en cada ciclo, con el objeto de realizar mediciones comparativas entre los aumentos o disminuciones que ocurren en el almacenamiento subterráneo para evaluar su potencial renovable productivo deducible de dicho comportamiento.

Tales planos de configuración de niveles son también indispensables para delinear los denominados canales o tendencias de flujo demostrativos de las zonificaciones que pueden representar las áreas de entradas de recargas y alimentación a los acuíferos y sus trayectorias de concurrencia hacia las porciones de la zona explotada que presentan la mayor intensidad extractiva. Además

y de acuerdo a la separación y gradientes que tienen entre sí, las curvas equipotenciales piezométricas, se delimitan zonas de mayor o menor permeabilidad y transmisibilidad del medio acuífero contenedor y conductor del agua subterránea, información que constituye otro de los elementos que intervienen en el proceso de cuantificación de la capacidad productiva de una cuenca acuífera.

Hidrología de Aguas Subterráneas:

En conexión con las etapas consecutivas de estudio antes expuestas, se llevan a cabo las denominadas pruebas de bombeo bajo las normas de registro y tiempos de desarrollo que otros profesores pondrán del conocimiento de los participantes. Estas se realizan en pozos seleccionados de una cuenca acuífera. Los registros obtenidos de dichas pruebas son básicos para los procesos de cálculo que la Hidrología de Aguas Subterráneas ha implementado, como el adelanto actual más sobresaliente de la Geohidrología y como el procedimiento más confiable y de mayor precisión para los propósitos de cuantificación de su potencial productor, siempre con el apoyo del conocimiento e informaciones derivadas de las actividades antes descritas. Con dichas pruebas se obtienen factores y parámetros hidráulicos de flujo en los medios acuíferos, determinando volúmenes y tiempos de trayectoria en canales definidas por la configuración piezométrica de una cuenca, mediante la determinación matemática de propiedades tan significativas de un medio permeable, contenedor de agua, como son la transmisibilidad y sus coeficientes de almacenaje.

Modelos:

El conocimiento de estos términos es indispensable para culminar un estudio con modelos matemáticos y de simulación representativos del funcionamiento de una cuenca acuífera geohidrológica.

Este tema será motivo de disertación por otros profesores especialistas que participan en el curso, pero cabe señalar, finalmente, que los propósitos principales y benéficos de dichos modelos son los de fijar normas de control que permitan el aprovechamiento más útil y económico de los acuíferos a tiempos previsibles o bien para conservar y preservar los recursos de aguas subterráneas, en cantidad y calidad, como un patrimonio nacional mexicano para el presente y para el futuro.

De Acuíferos

ACUÍFEROS REGIONALES. El Territorio Nacional presenta una gran variedad de características geohidrológicas determinantes para la exploración y aprovechamiento de sus aguas subterráneas; incluyendo acuíferos de extensión prácticamente nacional, identificables con las calizas cretácicas de la Sierra Madre Oriental y otras de edad más joven en la Península de Yucatán y los depósitos lacustres y aluviales de las denominadas cuencas terciarias, que se encuentran en grandes extensiones del Altiplano Central del país.

Las estructuras de rocas acuíferas calizas, en las estribaciones de la Sierra Madre Oriental, en cordilleras y serranías de la parte norte desértica de la Meseta Central y hacia las Sierras de Oaxaca y Chiapas, forman, en muchos lugares, receptáculos almacenadores explotables situados a más de 2,000 metros sobre el nivel del mar. Estas calizas han sido ya exploradas con tal amplitud que actualmente es posible proponer programas de desarrollo hacia muchas zonas nuevas del país.

Objetivo colateral a la exploración nacional de acuíferos regionales lo constituye el programa que se está llevando a cabo, a partir de 1973, con las investigaciones y comprobaciones exploratorias, para definir la extensión y localización de otro tipo de rocas, de orígenes lacustres y aluviales, que son los denominados Depósitos Terciarios que, como ya se señaló, se encuentran esparcidos en toda la República, desde Chihuahua hasta Oaxaca.

La delimitación de las extensiones de estos Sedimentos Terciarios, es muy importante pues, en algunos casos se comportan como acuíferos permeables productores, que subyacen a otros mantos acuíferos más recientes y en otros casos, funcionan como sellos confinantes, sobre acumulaciones de aguas subterráneas, sujetas a presiones hidrostáticas con artesianismo.

La extensión de este tipo de acuíferos, que muchas veces está cubierta por acumulaciones de rellenos de acarreo más recientes, o por derrames de lavas volcánicas, que forman serranías y elevaciones topográficas, que definen orográficamente parteaguas y divisorias, como valles y cuencas, y que sin embargo no constituyen, necesariamente, límites geohidrológicos de unidades separadas subterráneamente. Esta situación, para los acuíferos de tipo regional, como los terciarios y los de calizas cretácicas, respectivamente, intercomunicadas en su extensión, por debajo de parteaguas fisiográficos locales, determina, en muchos casos, que las recargas de alimentación y el flujo de sus aguas pase de una a otra cuenca o valle, lo cual significa que, para los efectos de computar extensión, cuantificación y disponibilidad de aguas explotables, en esos almacenamientos, se requiere de un nuevo enfoque en las consideraciones de sus características geohidrológicas, distinto del modelo conceptual que tradicionalmente se les venía aplicando en el país.

Se han seguido desarrollando también programas de exploración y captación, sobre otros acuíferos más conocidos, de edad geológica más joven, identificables como de Aluviones Recientes que contienen depósitos permeables de gravas y arenas, presentes en muchas cuencas y valles del centro del país y principalmente hacia las Planicies Costeras del Golfo y Pacífico.

Los avances logrados debido a la regionalización de acuíferos, delimitan zonas con presencia de aguas subterráneas explotables en lugares que tradicionalmente habían sido calificadas como improductivas. También se ha hecho evidente una mayor disponibilidad de agua para algunas zonas de la República, donde su cuantificación se basa en recargas limitadas por los parteaguas fisiográficos, mismas que han tenido que ser aumentadas, en consideración a la extensión que, en muchos lugares, tienen los acuíferos de tipo regional.

ACUÍFEROS

En Aluviones Recientes

Los mantos de aguas subterráneas, pertenecientes a este grupo, se han diferenciado, atendiendo a sus características de geología, origen y edad, como aluviones de rellenos depositados y acumulados en valles, cuencas, planicies costeras y deltáicas, diseminadas en muchas porciones del país, como puede verse en el plano opuesto.

Estos sedimentos están constituidos por mantos de gravas, arenas y arcillas, que fueron depositadas por las descargas de materiales acarreados por ríos y arroyos, en su desembocadura hacia valles y planicies de inundación.

La etapa de proceso geomorfológico durante la cual ha tenido lugar este fenómeno de erosión, arrastre y depositación, ha venido ocurriendo desde la iniciación del Período Cuaternario, hace 1 ó 2 millones de años, de acuerdo a la historia geológica del país, etapa que se ha caracterizado por la existencia de corrientes de gran capacidad erosiva y acumulación local de estos acarreos de aluvión, que en espesor, extensión y distribución, deben considerarse como de poca importancia.

ACUÍFEROS IMPORTANTES EN RELLENOS RECIENTES. Se localizan en las planicies costeras del Océano Pacífico, de los Golfos de California, Tehuantepec y de México los lugares donde están siendo explotadas, son principalmente los siguientes: Depósitos deltáicos del Valle de Mexicalí; Planicies de inundación de Ciudad Obregón, Son.; La Paz, B. C.; Bajo Río Bravo, Tamps.; Coatzacoalcos, Ver. y en el interior del país, se explotan acuíferos de este grupo, en algunas cuencas cerradas, como son, la Región Lagunera de Coahuila y Durango, en la cuenca del Valle de México y en los Valles Centrales de Oaxaca.

ACUÍFEROS REGIONALES

En Cuencas Terciarias

TERCIARIO CONTINENTAL. Durante el período de la historia geológica de México, denominado Terciario, se depositaron en grandes áreas, gruesos espesores de sedimentos lacustres y aluviales, dentro de lo que hoy es la meseta central y en la región noroeste del país. Debido a la gran actividad volcánica, ocurrida en ese tiempo, es común encontrar ese tipo de sedimentos, intercalados con derrames de rocas ígneas y depósitos piroclásticos.

Dada la gran semejanza litológica que existe, entre los aluviones recientes y algunos mantos de sedimentos terciarios, la identificación de estos últimos ha requerido realizar investigaciones especiales para diferenciarlos, labor que se ha venido realizando desde 1973, dentro del concepto de regionalización de acuíferos. Para ello ha sido necesario aplicar métodos de estudio definiendo características, derivadas de su estratigrafía, paleontología, tectónica y respuestas a pruebas isotópicas.

Algunos de los acuíferos en explotación, sobre sedimentos terciarios, se encuentran ya prácticamente definidos e identificados en Nuevo Casas Grandes, Chih.; Vicente Guerrero, Dgo.; María de Angeles, Zac.; Valle de Aguascalientes; Gogorrón, S.L.P.; Tequisquiapan, Qro. y Acámbaro, Gto.

En los estados localizados sobre el Eje Neovolcánico, que cruza el territorio mexicano de este a oeste entre Veracruz, Jalisco y Colima, se explotan eficientemente y con alta producción, acuíferos constituidos por derrames basálticos y andesíticos, intercalados con sedimentos continentales lacustres y aluviales de edad terciaria o bien, entre depósitos de aluviones más recientes.

El termalismo es muy frecuente en esos acuíferos considerándose que,

el calor del agua contenida en ellos, proviene principalmente de las rocas volcánicas de tipo ríolítico, que lo están liberando y con las cuales, están muy ligados estos acuíferos terciarios.

TERCIARIO MARINO. La exploración del petróleo en la planicie costera del Golfo de México y en la Península de Baja California, ha propiciado la ejecución de estudios geológicos de detalle y con base en ellos, se ha logrado determinar que, en esas zonas existen formaciones marinas de edad terciaria, la mayoría de ellas constituidas por mantos de arcillas, arenas y materiales calcáreos, siendo algunas productoras de agua de buena calidad.

En la planicie costera del Golfo de México, se explotan acuíferos del Terciario Marino o de litoral, con buenos rendimientos, en las áreas de Minatitlán, Ver. y Jalpa, Tab.; sobre formaciones arenosas que, en su almacenamiento de agua dulce, son favorecidas por importantes recargas debido a las altas precipitaciones que se presentan en esa región y por los escurrimientos de los caudalosos ríos que se ponen en contacto con ellas. Hacia el noroeste de la planicie, desde Poza Rica, Ver., hasta Matamoros, Tamps., las formaciones terciarias son muy arcillosas por lo cual no contienen almacenamientos apreciables de aguas subterráneas, debido a su impermeabilidad. En la Península de Yucatán, las rocas del Terciario Marino, están representadas por mantos de calizas que constituyen muy buenos acuíferos, pero de ellos se tratará más adelante.

En la Península de Baja California, algunos de los principales acuíferos en explotación, como los del Valle de la Misión, San Quintín, Vizcaino y Santo Domingo, se encuentran en formaciones terciarias, ya sea del tipo marino o continental.

ACUÍFEROS REGIONALES

E n C a l i z a s

Existen en el país, cubriendo grandes extensiones, afloramientos muy amplios de rocas calizas cretácicas, como las formadoras de la Sierra Madre Oriental; partes de la Sierra Madre del Sur y Sierra de Chiapas. Las cuales están constituidas principalmente, por carbonatos de calcio originados y depositados bajo el mar, formando grandes espesores, hasta de 1,000 metros de este tipo de rocas, que han emergido a la superficie y a las grandes cordilleras, debido a movimientos tectónicos y de plegamiento de la corteza terrestre, que ocurrieron en orogénias como la Laramide iniciada a finales del período Cretácico.

La explotación de estas rocas, que han demostrado un gran potencia acuífero, se inició en la zona metropolitana de Monterrey, con perforaciones que han alcanzado profundidades hasta de 2,000 metros, pero con niveles de bombeo someros o inclusive como pozos brotantes.

También son ya conocidas las fuentes de agua potable y otros usos, en lugares como Ocampo, Monclova, Viesca y Saltillo en Coahuila; El Cuije, La Ascensión y Tanquecillos en la parte sur de Nuevo León; Tula en Tamaulipas.

Río Verde y El Huizache en San Luis Potosí Valle del Mezquital en Hidalgo; Ocozocutztlá y Comitán en Chiapas y la Mixteca Oaxaqueña. En esta última zona de reciente descubrimiento y anteriormente condenada como improductiva, las calizas cretácicas están parcialmente cubiertas por sedimentos arcillosos, impermeables, que han provocado el confinamiento del acuífero por lo que, algunos de los pozos hechos, cerca de Nochixtlán, Oax., han resultado artesianos brotantes y con gastos superiores a 300 litros por segundo.

La Península de Yucatán está formada por una secuencia de mantos calcáreos de origen marino cuya edad va, desde el Cretácico hasta el Terciario.

En este último período, la región inició una suave emersión, de la cual es representativa la conocida Losa Calcárea Yucateca, en la que afloran exclusivamente calizas, que son acuíferas de muy alto potencial productor, explotadas en Mérida, Ticul y Peto, en Yucatán; Cancún, Pucté y Alvaro Obregón en Quintana Roo y Edzná y Champotón en Campeche.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

HIDROGEOLOGIA

POSIBILIDADES ACUIFERAS EN SEDIMENTOS CONTINENTALES
TERCIARIOS DE LA REPUBLICA MEXICANA

ING. JORGE A. TRUJILLO C.

ABRIL, 1985

POSIBILIDADES ACUIFERAS EN SEDIMENTOS
CONTINENTALES TERCIARIOS DE LA
REPÚBLICA MEXICANA.

R E S U M E N

Actualmente, la principal producción de agua subterránea del País, se obtiene de acuíferos en sedimentos clásticos continentales, constituidos por gravas, arenas y arcillas. Hasta hace poco tiempo, a estas unidades acuíferas se les consideraba simplemente rellenos aluviales y se les asignaba Edad Cuaternaria. Recientes investigaciones efectuadas por la Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas, de la S.A.R.H., han demostrado que la mayor parte de los sedimentos clásticos continentales del Altiplano y del Noreste del País, fueron depositados durante el Período Terciario, en cuencas lacustres y aluviales, en épocas de gran actividad volcánica y tectónica.

Esta situación abre a la prospección geohidrológica, zonas antes desechadas por estar ocupadas por rocas volcánicas impermeables, como las tobas riolíticas, ya que de acuerdo con este nuevo concepto, dichas rocas pueden estar cubriendo o intercaladas con materiales clásticos permeables, lo cual ha sido comprobado en numerosas perforaciones en los estados de Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Querétaro y Guanajuato.

POSSIBILIDADES ACUIFERAS EN SEDIMENTOS CONTINENTALES TERCIARIOS
DE LA REPUBLICA MEXICANA

Ing. Jorge Antonio Trujillo Candelaria.

INTRODUCCION. -

En el País, las aguas subterráneas se encuentran principalmente en tres diferentes tipos de rocas:

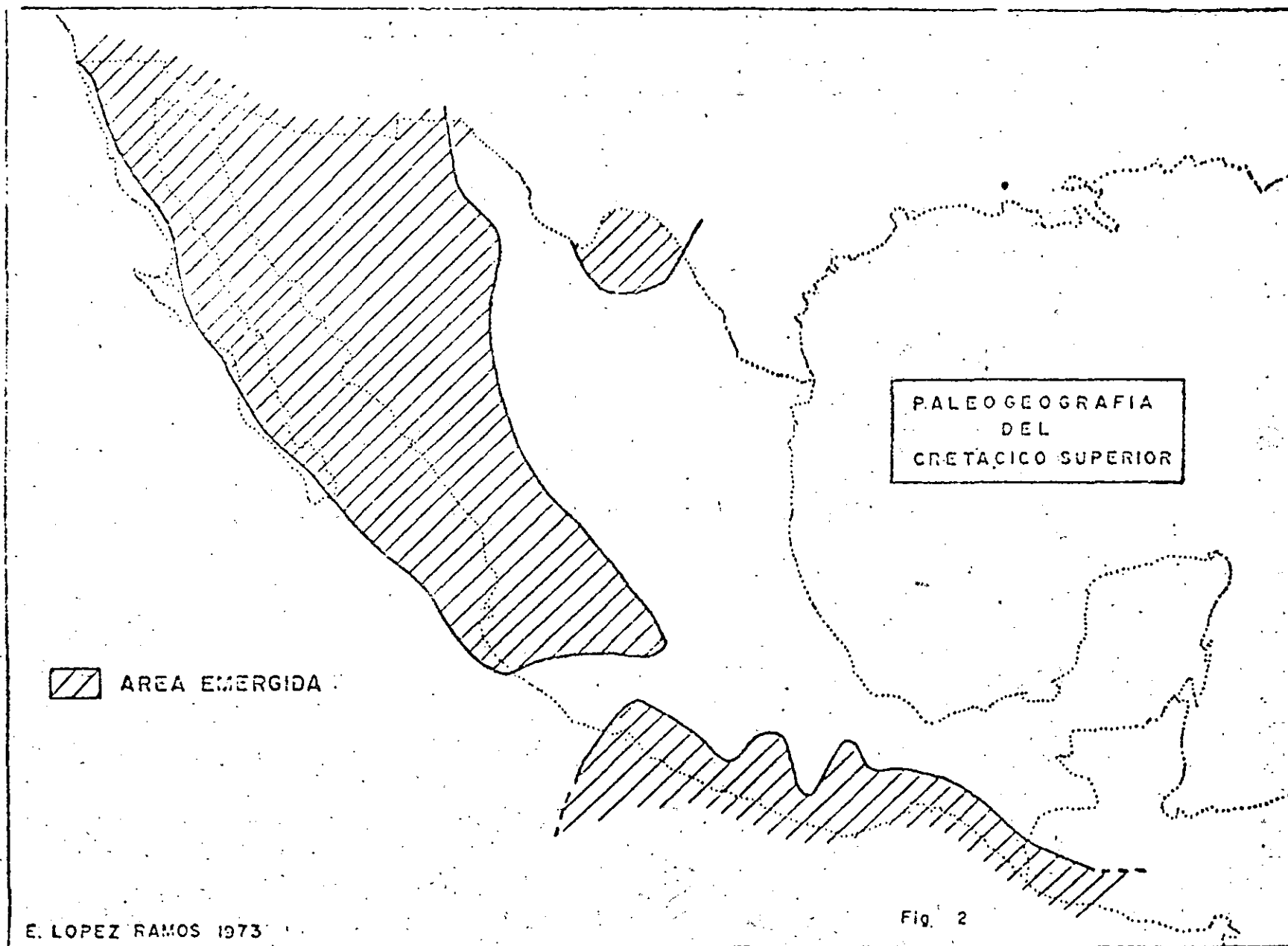
1. - Sedimentos clásticos continentales.
2. - Rocas volcánicas basálticas.
3. - Sedimentos marinos.

Actualmente la producción acuífera más importante, tal vez el 70% del total, se obtiene de los primeros.

Los sedimentos clásticos continentales están constituidos esencialmente por gravas, arenas y arcillas, con diferentes grados de selección y consolidación.

Hasta hace poco tiempo, a las unidades litológicas formadas por estos elementos clásticos, se les denominaba simplemente rellenos aluviales y se les consideraba de edad Cuaternario.

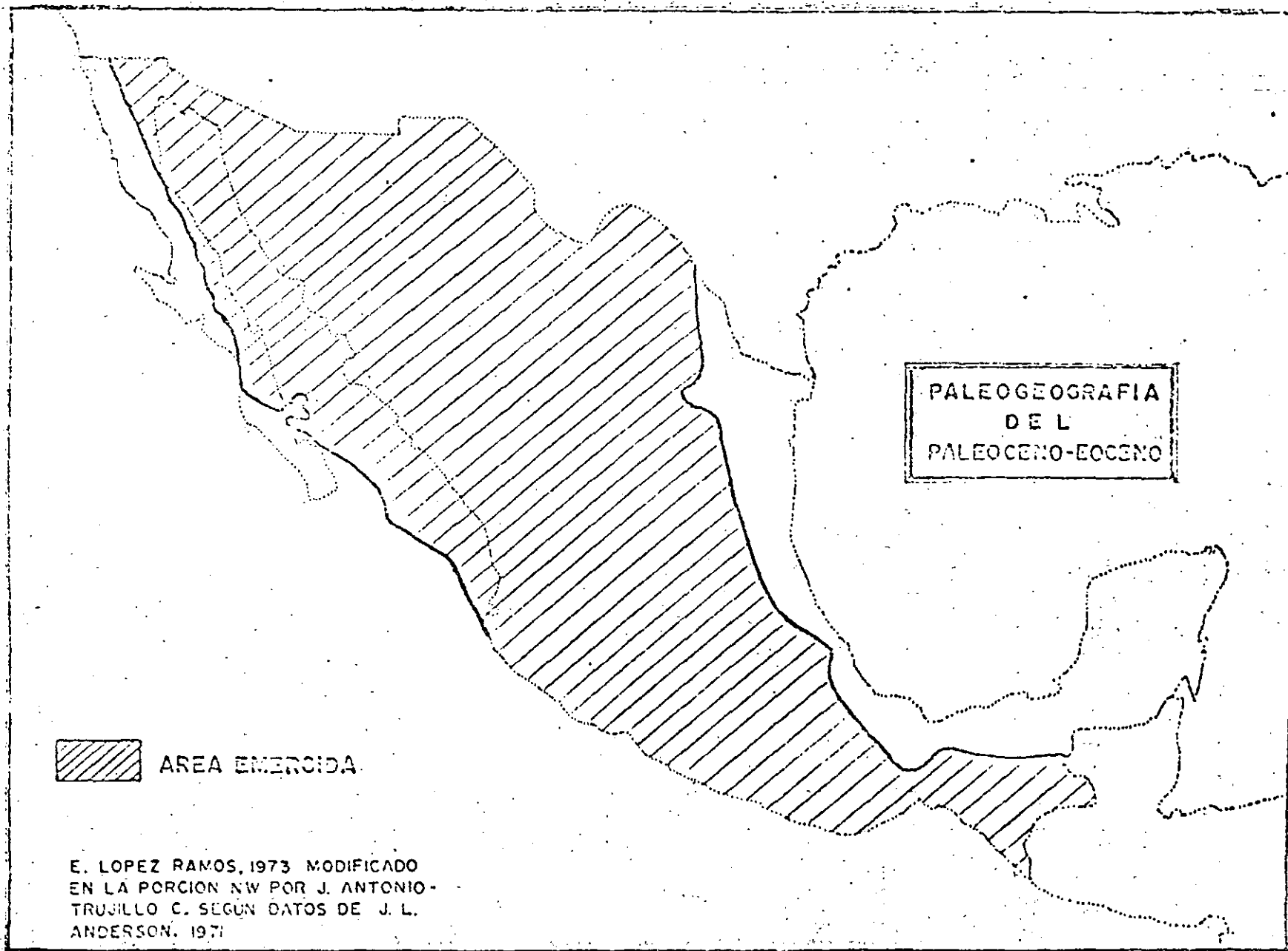
Recientes investigaciones efectuadas en la Direc-



ESCALA DEL TIEMPO GEOLOGICO

ERA	PERIODO	EPOCA	MILLONES DE AÑOS ANTES DEL PRESENTE
CENOZOICA	CUATERNARIO	RECIENTE	
		PLEISTOCENO	1
	TERCIARIO	PLIOCENO	10
		MIOCENO	25
		OLIGOCENO	40
		EOCENO	60
	PALEOCENO	70	
MESOZOICA	CRETACICO	SUPERIOR	
		INFERIOR	130
	JURASICO	SUPERIOR	
		MEDIO	
		INFERIOR	180
	TRIASICO	SUPERIOR	
		MEDIO	
		INFERIOR	230

TOMADA DE GEOLOGICAL TIME TABLE. COMPILADO POR E. W. D. VAN LYSINGA, MODIFICADO



PALEOGEOGRAFIA
DE L
PALEOCENO-EOCENO

 AREA EMERGIDA

E. LOPEZ RAMOS, 1973 MODIFICADO
EN LA PORCION NW POR J. ANTONIO-
TRUJILLO C. SEGUN DATOS DE J. L.
ANDERSON, 1971

Fig. 3

Al comenzar el Período Terciario, durante el Paleoceno y Eoceno Inferior, la actividad de la Orogenia Laramide se incrementó notablemente acelerando el plegamiento y levantamiento de las sierras y transformando en áreas emergidas el Norte y Centro del País. (Fig. 3.)

En el Eoceno Medio, la Orogenia Laramide terminó y como consecuencia de ella se había formado una gran cuenca cerrada, limitada al W por la Península de Baja California (unida al continente) y la Sierra Madre Occidental, al S por la Sierra Madre del Sur y al E por la recién formada Sierra Madre Oriental. Hacia el Norte la cuenca se prolonga entre la Sierra Nevada y las Montañas Rocosas, en territorio de los Estados Unidos de Norteamérica.

En esa cuenca se depositaron en condiciones aluviales y lacustres, grandes volúmenes de sedimentos clásticos de tipo Molasse, característicos de la fase final de una etapa orogénica, los cuales están representados en toda el área por unidades litológicas que se conocen con el nombre genérico de Conglomerados Rojos, esta etapa estuvo acompañada de vulcanismo. (Fig. 4).

En el Oligoceno continuó el vulcanismo, al Sureste, la Península de Yucatán emergió parcialmente y al Noroeste la Peñín-

cula de Baja California inició su despegue del Continente.

Durante el Mioceno y Plioceno, existió gran actividad volcánica; en ese tiempo, a lo largo de la Sierra Madre Occidental, se formaron gigantescas acumulaciones de rocas efusivas predominantemente riolíticas cuyo afloramiento está considerado como uno de los más grandes del mundo. En la parte Central del País, una ancha franja que va de Puerto Vallarta, Jal., en el Océano Pacífico a las cercanías de el Puerto de Veracruz en el Golfo de México, se vió afectada por un movimiento de placas tectónicas el cual dió lugar a la formación de profundos gravens y a la aparición de numerosos volcanes de tipo andesítico y basáltico, iniciándose la formación del Eje Neovolcánico. (Fig. 5)

La acumulación de materiales volcánicos en la gran cuenca propició el bloqueo de drenes, dando lugar a la formación de extensas zonas lacustres en los que se depositaron enormes cantidades de sedimentos clásticos, constituidos por gravas, arenas y arcillas, derivados principalmente de rocas volcánicas, provenientes de la erosión de las montañas circundantes. En esas zonas lacustres se presentaron, ocasionalmente, condiciones que facilitaron la depositación de yesos y calizas.

Intervalos de estabilidad permitieron el desarrollo de vida acuática, predominando las diatomeas, cuyos restos fósiles microscópicos, han ayudado a determinar la edad y el medio ambiente de depósito.

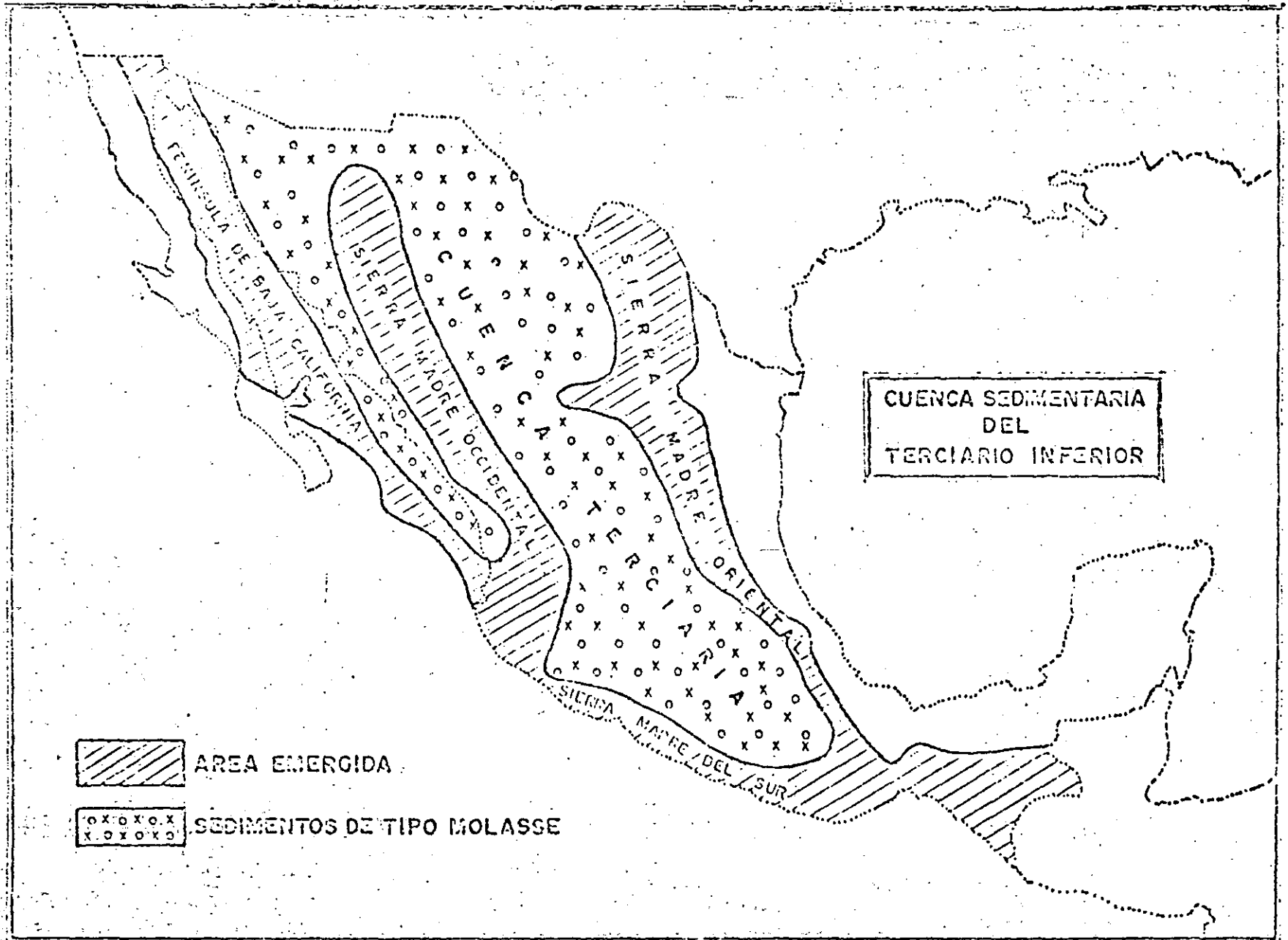


FIG. 4

8

8

El vulcanismo y la sedimentación se presentaron simultáneamente en esta época, por lo que sus productos se encuentran intercalados y en ocasiones mezclados, formando rocas volcanoclásticas de composición compleja.

La gran cuenca, que al principio del Terciario debió presentar un relieve demasiado abrupto, al final del mismo presentaba las características de un altiplano, pues los productos de la erosión de las montañas y los depósitos volcánicos habían rellenado las partes bajas dándole un aspecto relativamente plano, y una altura media de unos 2000 m. s. n. m.

Período Cuaternario. -

Al iniciarse el Período Cuaternario, hace aproximadamente 1 millón de años, los ríos del Pacífico y del Golfo, iniciaron el drenado del Altiplano, desapareciendo paulatinamente los lagos y sometiendo a toda el área a un proceso de intensa erosión que persiste en nuestros días, el cual es propiciado por la geomorfología del territorio, ya que las corrientes que lo drenan, debido al gran desnivel entre el Altiplano y la Costa, tienen regímenes turbulentos con gran capacidad de arrastre. Fig. 6

Dadas las condiciones en que se está desarrollando el Cuaternario en el País; caracterizado más por la erosión que por el depósito, se considera que el espesor de los sedimentos de esta edad es muy re-

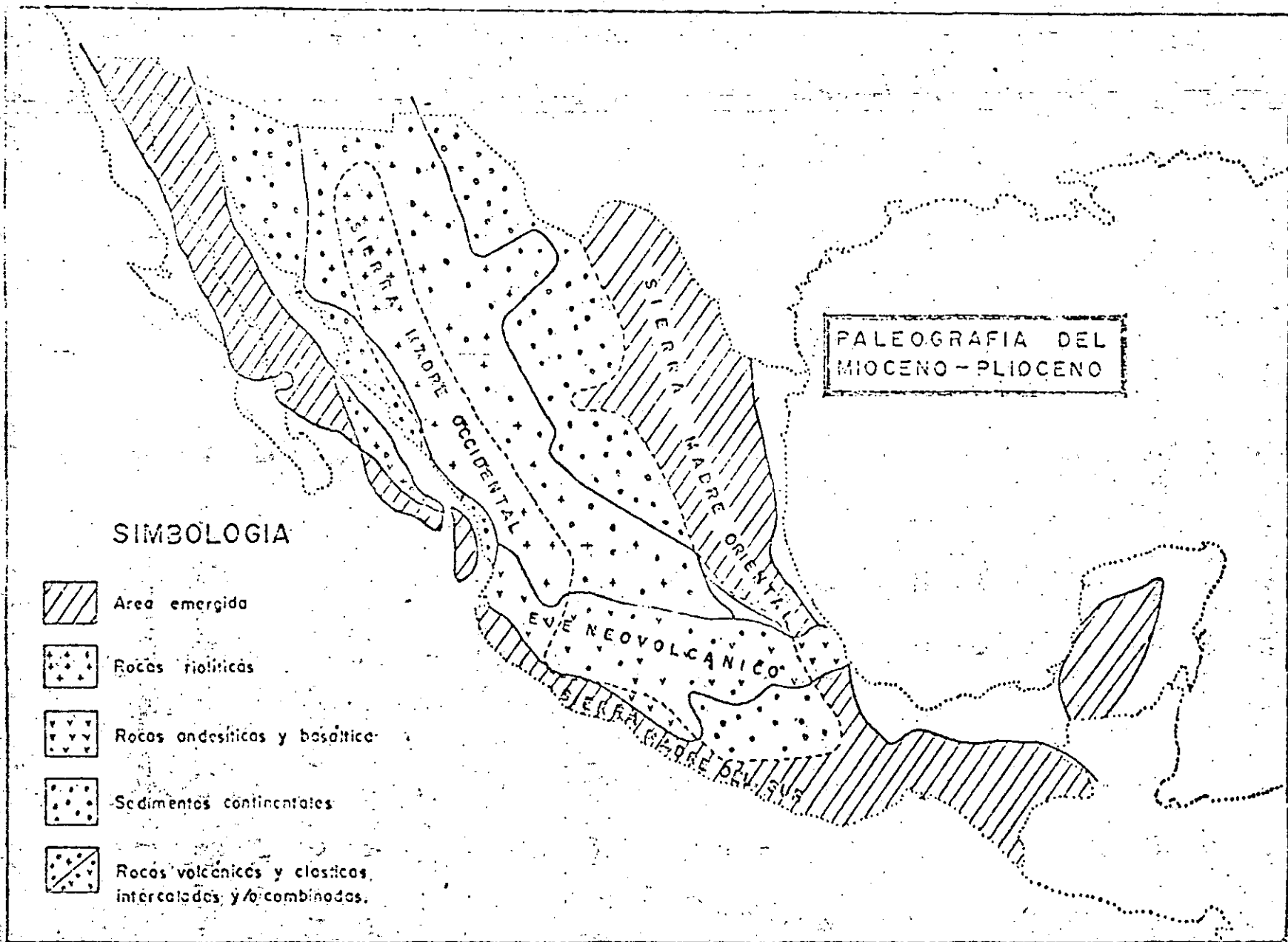


Fig. 5

10
10

a los Conglomerados Rojos, como el Tronco de Riodacita de La Imagen en Acalutzotla, Gro., 25 kms., al Sur de Chilpancingo, el cual intrusión al Grupo Balsas. A éste cuerpo se le determinó por métodos radiométricos una edad de 39 ± 5 millones de años antes del presente, (Z. de Cserna 1974), lo que equivale a Eoceno Superior;

En el Estado de Morelos, el Tronco de Granodiorita de Tlatica, 10 kms., al Sureste de Cuautla intrusión al Grupo Balsas y se le determinó, por el mismo método que al anterior, una Edad de 30 ± 3 millones de años antes del presente; lo que equivale a Oligoceno Superior (Z. de Cserna 1974).

ROCCAS VOLCANICAS (OLIGOCENO). -

Intercaladas hacia la cima de los Conglomerados Rojos y cubriéndolos, se observan en toda el área, unidades volcánicas de tipo riolítico y andesítico. Algunas de estas unidades ya han sido estudiadas, como la Riolita Tilzapotla (C. Fries Jr. 1960), la cual en Morelos y Guerrero cubre al Grupo Balsas. En la localidad tipo tiene un espesor de 250 mts. Su edad se determinó por el método radioactivo plomo-alfa, aplicado sobre Circón y resultó 25 ± 10 millones de años antes del presente (H. W. Jaffe et al, 1958), lo cual equivale a Oligoceno Superior, afianzando la edad Eoceno Oligoceno de los Conglomerados Rojos subyacentes.

Los siguientes autores han estudiado algunas formaciones de este tipo:

G. P. SALAS 1949 FORMACION HUAJAPAN en OAX.

J. D. EDWARDS 1956 CONGLOMERADOS ROJOS en ZACATECAS, GUANAJUATO Y TAXCO.

C. FRIES JR. 1960 GRUPO BALSAS en MORELOS Y GUERRERO.

K. BRYAN 1948 GRUPO EL MORRO en HIDALGO Y MEXICO.

ROGERS et al 1961 FORMACION AHUICHILA en COAH., ZAC., Y DGO.

Su espesor es muy variable aún en cortas distancias, J. D. Edwards 1956, midió secciones de 2,000 mts., 418 mts. y 475 mts., en Guanajuato, Zacatecas y Taxco respectivamente.

No ha sido fácil determinar la edad de los Conglomerados Rojos debido a su escasez de fósiles, sin embargo, en base a restos del cráneo de un pequeño roedor colectado por C. Fries Jr. 1952 en Guanajuato se le dió edad Eoceno-Oligoceno, la que se ha ido corroborando por otros medios como se verá más adelante.

En seguida se presenta una relación de formaciones consideradas de ésta edad.

FORMACION TARANGO

(K. Bryan 1948) Clástico y volcánico, basáltico y andesítico, aflora en el D. F., Méx. e Hgo. Edad por estudios de diatomeas; Plioceno Medio-Plioceno Superior (J. Jiménez R. 1977).

FORMACION JEPOZTLAN

(C. Fries Jr., 1960) Clástica y volcánica andesítica, aflora en Edo. de Morelos, Edad por posición estratigráfica Mioceno Inferior.

FORMACION CUERNAVACA

(C. Fries Jr., 1960) Clástico y volcánica andesítica. Aflora en el Edo., de Morelos. Edad por Diatomeas: Plioceno Superior (según J. Jiménez R. 1977).

TOBA DON GUINYO

(K. Segerstrom 1961) Volcánica riolítica, aflora en el Estado de Hidalgo, Edad por restos de plantas, Plioceno Inferior.

FORMACION SANTA INES

(J. Pantoja-Alor 1963) Conglomerados de caliza y de rocas volcánicas, aflora en el Edo., de Durango Edad por posición estratigráfica Plioceno Superior Pleistoceno.

FORMACION CHILPANCIN
GO.

(Ordoñez-Bose 1899) Clástica lacustre aflora en el Edo. de Guerrero (Z. de Czerna 1965) le da edad Plioceno y la correlaciona con la formación Cuernavaca.

FORMACION LA ZORRA

(S. Enciso de la Vega 1968) Volcánica basáltica con intercalaciones de arenisca, aflora en Durango. Edad por posición estratigráfica Mioceno-Plioceno.

FORMACION SAN JOSE

(S. Enciso de la Vega 1968) Clástica, aflora en el área de Cuencamé, Dgo., Edad por posición estratigráfica Plioceno Superior.

FORMACION SANTO DO
MINGO.

(J. Carrillo Bravo, 1971) Clásticos, lacustres y fluviales, aflora en S. L. P. Edad por diatomeas plioceno superior (según J. Jiménez R. 1977).

Otros afloramientos de este tipo son:

Grupo Pachuca (K. Segerstrom 1961) consistente de rocas volcánicas andesíticas, riolíticas y basálticas las cuales en el Estado de Hidalgo y Norte del Estado de México descansan sobre los Conglomerados Rojos del Grupo El Morro.

Su espesor puede ser algo mayor de 1,000 mts., y su edad por correlación estratigráfica se considera Oligoceno.

Formación Vizcarra (S. Enciso de la Vega 1968). - Descansa sobre la Formación Ahuichila en el Área de Cuencamé, Dgo., y consiste de tobas riolíticas y algunos derrames andesíticos y basálticos. - Por posición estratigráfica se le ha dado edad Oligoceno-Mioceno.

MIOCENO-PLIOCENO. -

Descansando discordantemente sobre los Conglomerados Rojos o sobre rocas más antiguas, se encuentran en el Altiplano Mexicano y el Noroeste del País, una gran cantidad de clásticos continentales y materiales volcánicos de edad Mioceno-Plioceno.

Muy pocas de estas unidades litológicas han sido descritas como formaciones e inclusive, frecuentemente se les ha confundido con sedimentos recientes.

TABLA DE CORRELACION CRONOESTRATIGRAFICA BASADA EN
DIATOMEAS

ZONA	LOCALIDAD	UNIDAD	EDAD
1	7 KM. AL SE DE CUAPIAX- TLA, TLAX.	TERCIARIO LACUSTRE	PLIOCENO MEDIO.
3	KM. 10 CARRETERA IXMI- QUILPAN, TULA, HGO.	FORMACION ATOTONILCO	PLIOCENO MEDIO.
5	KM. 8.5 CARRETERA HUI- CHAPAN-TECOZAUTLA, HGO.	FORMACION TARANGO.	PLIOCENO SUPERIOR
9	JOCOTEPEC, JAL.	FORMACION CHAPALA	PLIOCENO MED-SUP
12	POBLADO LA PLAYA MANUEL DOBLADO, GTO.	TERCIARIO LACUSTRE	PLIOCENO MED-SUP
15	JALPA, ZAC.	TERCIARIO LACUSTRE	PLIOCENO MEDIO.
16	ALMOLOYA DE ALQUISIRAS, EDO. DE MEX.	FORMACION CUERNAVACA	PLIOCENO SUPERIOR.
20	LOMA LARGA VILLA DE REYES, S.L.P.	FORMACION STO. DOMINGO	PLIOCENO SUPERIOR.

ANALISIS EFECTUADOS POR J. JIMENEZ R. 1977.

Para la datación de edades de unidades sedimentarias lacustres del Altiplano, se han practicado análisis palinológicos a base de diatomeas. Algunos resultados se muestran en la Tabla N° 1.

PERIODO CUATERNARIO. -

Se considera que los sedimentos depositados durante este período, en el Altiplano, son en general de poco espesor, dado que el área se encuentra en una etapa de intensa erosión.

En el valle de México, aflora la Fm. Becerra constituida por sedimentos lacustres (Arellano 1953), el límite Sur del Valle, lo constituyen rocas basálticas del Grupo Chichinautzin (C. Fries Jr. 1960)

GEOLOGIA ESTRUCTURAL. -

Las unidades litológicas del Terciario Inferior Continental, tanto clástico como volcánicas, se presentan en estructuras complejas, afectadas por fallas que se produjeron durante el Eoceno, al finalizar la Revolución Laramide. Durante el Oligoceno, continuó la deformación debido al emplazamiento de numerosos cuerpos intrusivos.

GEOHIDROLOGIA. -

El interés de estudiar las posibilidades acuíferas de los sedimentos continentales Terciarios, se despertó en el autor, en el año de 1973 al analizar los resultados de un pozo perforado por la Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas junto al poblado de San Alto, en la porción Noroccidental del Estado de Zacatecas, (Fig. 8). En ese pozo, la producción acuífera importante, se encontró al atravesar una capa de toba riolítica que cubre un depósito de grava y arena, de gran permeabilidad; una revisión de campo comprobó que en un lugar relativamente cercano aflora una secuencia geológica semejante a la cortada en el pozo.

Dado que las rocas riolíticas y andesíticas del área son consideradas de edad Terciaria Medio y Superior, se les tomó como "Horizontes Indices", así las rocas subyacentes a ellas se consideran de edad terciaria a más antigua.

Existen grandes afloramientos de sedimentos continentales terciarios en los que la cubierta volcánica no se presenta, ya sea porque se erosionó o porque nunca se depositó, en estos lugares su identificación como sedimentos terciarios se dificulta más, dada su semejanza con sedimentos recientes, siendo necesario recurrir a análisis palinológicos.

Como siguiente paso, se revisaron gran número de cortes litológicos de pozos, seleccionando los que habían logrado atravesar rocas volcánicas y alcanzar sedimentos clásticos continentales, así mismo, se visitaron y estudiaron afloramientos que presentaban estas características, primero en el propio

Durante el Mioceno y Plioceno, el intenso vulcanismo y el fallamiento, dieron lugar al bloqueo de corrientes y a la formación de fosas tectónicas, dando origen a extensas y profundas zonas lacustres y valles aluviales donde se depositaron grandes volúmenes de sedimentos. En El Bolsón de El Hueco, en el área de Ciudad Juárez, los sedimentos lacustres y fluviales del Grupo Santa Fé del Mioceno-Plioceno tienen 3000 metros de espesor (Mattick 1967).

En muchos lugares, etapas volcánicas y sedimentarias sucesivas produjeron la alternancia de ambos tipos de rocas. El tectonismo, la erosión y la perforación de pozos han puesto en evidencia esta situación.

En la Cuenca del Valle de México, hace años se perforó, con fines de exploración acuifera el Pozo Texcoco N^o 1 en terrenos del antiguo lago. La profundidad del pozo fue 2065 metros, habiendo atravesado una secuencia formada por rocas volcánicas y sedimentarias encontrando en el fondo, yesos y conglomerados del Grupo Balsas.

En lo que va del Período Cuaternario, la erosión es el agente que más ha actuado en la conformación de las estructuras del área en estudio, salvo a lo largo del Eje Neovolcánico donde se han presentado grandes emisiones volcánicas tan recientes como la de El Parícutín en el año de 1943 en el Estado de Michoacán.

Estado de Zacatecas y luego en los Estados vecinos: de este modo, el área de estudio fue creciendo hasta abarcar todo el Altiplano y recientemente la porción Noroeste del País.

TERMALISMO. -

Conforme se ha ido desarrollando el estudio de los acuíferos en se dimentos terciarios, se ha podido observar que en un gran porcentaje de los aprovechamientos estudiados, el agua presenta termalismo, sobre todo -- cuando dichos sedimentos están relacionados con rocas ácidas como las tobas riolíticas, lo cual es muy frecuente en nuestro País.

Este termalismo tiene algunas características especiales:

a). - Generalmente el agua no tiene temperatura arriba de los 42° C.

b). - El termalismo es de tipo regional, o sea que en ocasiones abarca áreas de varios cientos de Km² como es el caso del Valle de San Luis Potosí, Jaral de Berrio, Gto.

c). - El agua que aportan es generalmente inodora y de buena calidad.

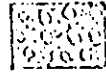
POZO SAIN ALTO, ZAC.

LITOLÓGICA

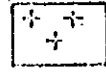
0.00



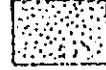
SIMBOLOGIA



CONGLOMERADO



TODA RIOLITICA



GRAVA Y ARENA

NIVEL ESTÁTICO ----- 15.13 M.

NIVEL DINÁMICO ----- 25.33 M.

CAUDAL ----- 100. L.P.S.

AGUA TERMAL.

183.00 M.

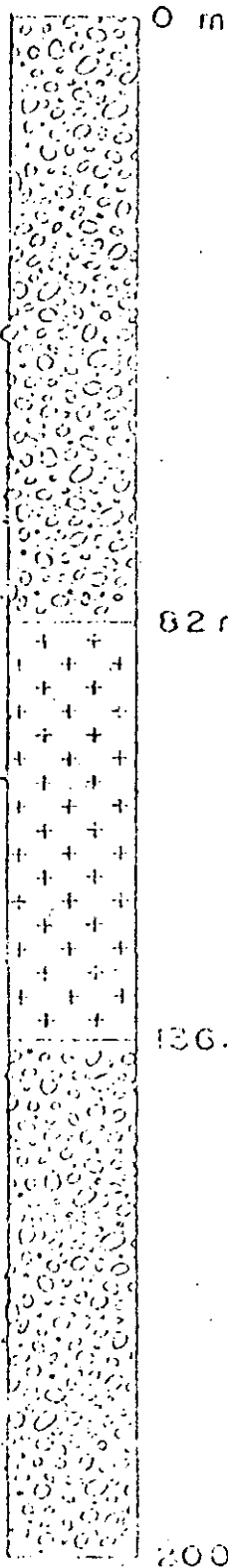
EXPLORACION 3

21

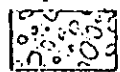
22

MARAVILLAS MPIO DE NORIA DE ANGELES, ZAC.

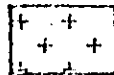
LITOLOGIA



SIMBOLOGIA



Grava y arena



Toba riolitica

N. E. = 27.41 m

N. D. = 70.07 m

Q. = 81.75 Lps

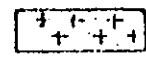
AGUA TERMAL

LITOLOGIA. 0.00

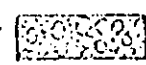
POZO CRISOSTOMOS

EJIDO DE CRISOSTOMOS
MPIO. A SIENTOS.
EDO. AGUASCALIENTES.
CLAVE: PAB-30

SIMBOLOGIA



TOBA RIOLITICA



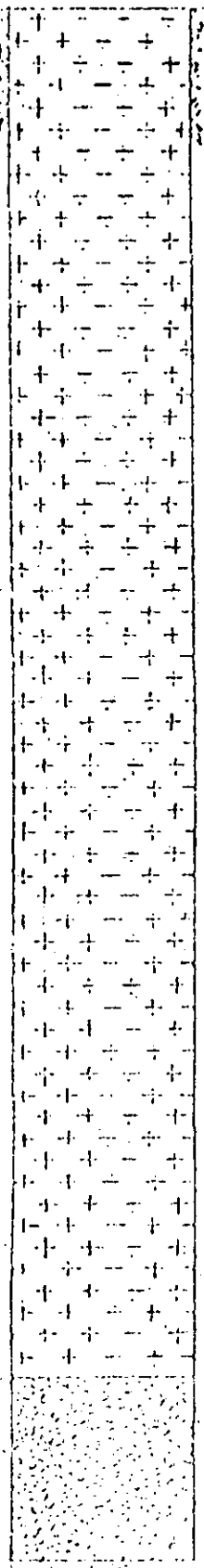
ARENA Y GRAVA

N. E. = 5.95 M.

N. D. = 6.50 M.

CAUDAL = 33 L.P.S.

TEMPERATURA = 30°C



374.00

435.35 MTS.

Se considera que el agua adquiere calor al estar en contacto con rocas ácidas o sedimentos que contienen minerales en decaimiento radioactivo.

Este tipo de termalismo relacionado con sedimentos y rocas ácidas se diferencia del originado por cámaras magmáticas jóvenes de tipo basáltico o andesítico en lo siguiente.

- a). - Muy alta temperatura.
- b). - Abarca áreas pequeñas.
- c). - El agua generalmente tiene mal olor y es de mala calidad.

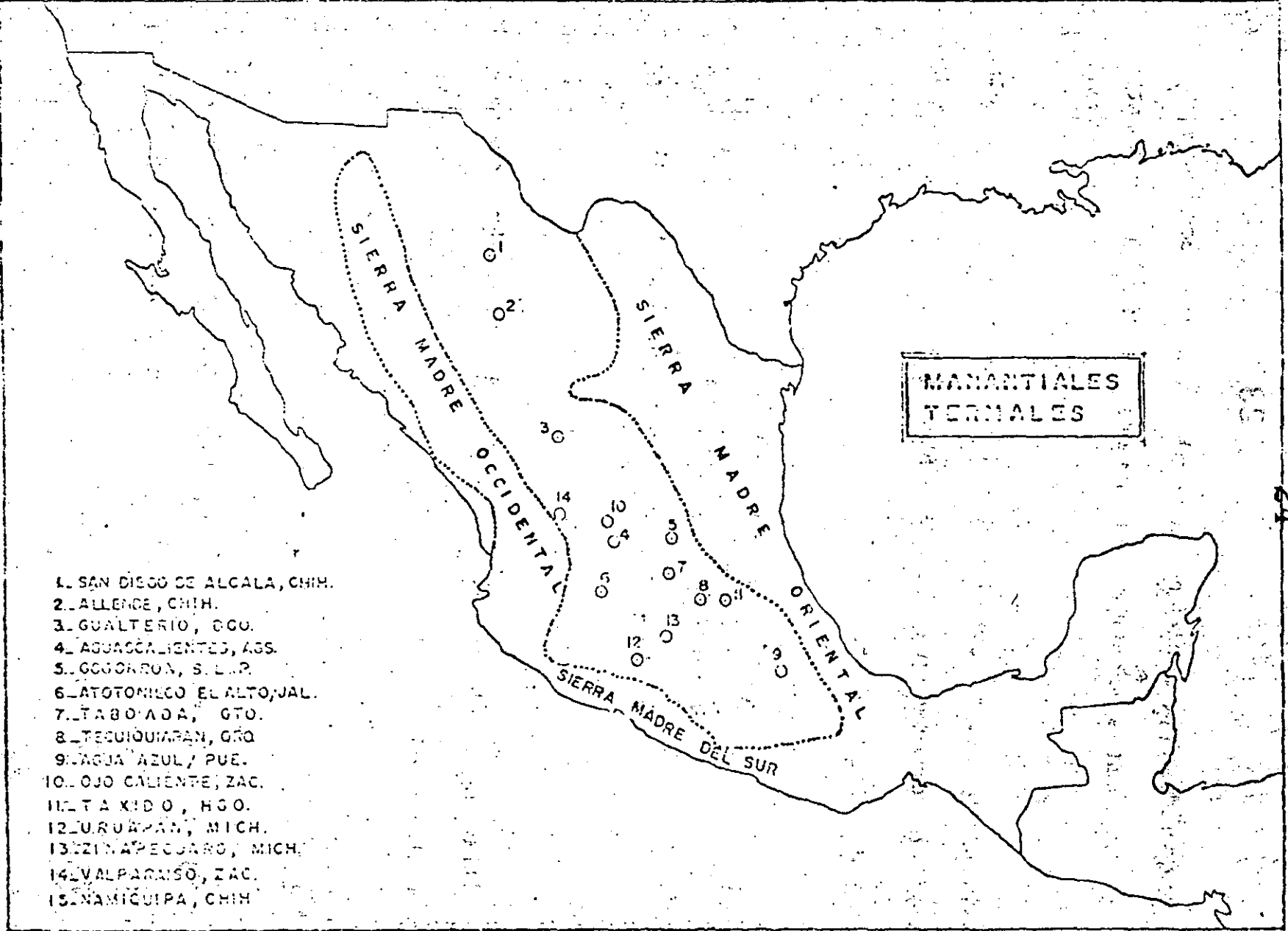
Un ejemplo es la zona geotérmica de Ixtlán de los Hervores en el Estado de Michoacán.

CONCLUSIONES. -

1). - Se ha comprobado que grandes afloramientos de sedimentos clásticos continentales considerados hasta hace poco tiempo de edad cuaternaria, son en realidad de edad terciaria.

2). - La mayor proporción del agua subterránea que se explota en el País, proviene de acuíferos en sedimentos clásticos continentales de edad terciaria.

25



- 1. SAN DIEGO DE ALCALA, CHIH.
- 2. ALLENDE, CHIH.
- 3. GUALTERIO, OCU.
- 4. AGUASCALIENTES, AGS.
- 5. GOGORON, S. L.P.
- 6. ATOTOMECO EL ALTOJAL.
- 7. TABOADA, GTO.
- 8. TECUIQUIARAN, GRQ.
- 9. AGUA AZUL, PUE.
- 10. OJO CALIENTE, ZAC.
- 11. TAJIKO, HGO.
- 12. LURUPAN, MICH.
- 13. ZINAPEGUARO, MICH.
- 14. VALPARAISO, ZAC.
- 15. NAMIQUIPA, CHIH.

FIG. II

- Bryan, K., 1948. - Los Suelos Complejos y Fósiles de la Altiplanicie de México, en relación a los cambios climáticos. Bol. - Soc. Geol. Mexicana, XIII: (1a. Parte).
- Schulze Gustavo. - 1953. - Conglomerados Terciarios Continentales en la Comarca Lagunera de Durango y Coahuila y sus Relaciones con Fenómenos Igneos Geomorfológicos y Climatológicos. Boletín N^o. 30 del Instituto Nacional para la Investigación de Recursos Minerales.
- De Cserna Zoltán. - 1955-56. - Congreso Geológico Internacional XX Sesión México Excursiones A-9 y C-12, Hoja N^o 7.
- Edwards John D. - 1956. - Estudio Sobre Algunos de los Conglomerados Rojos del Terciario Inferior del Centro de México, XX. - Congreso Geológico Internacional.
- Carl Fries Jr. 1956. - Bosquejo Geológico de las partes Central y Occidental del Estado de Morelos y áreas contiguas de Guerrero y México. Cong. Geol. Intern. XX Sesión México, 1956. Libreto Guía de la Excursión C-9
- W. R. Lowell, 1956. - Tertiary Geologic History of the Rocky Mountains in Montana, U. S. A. XX Congreso Geológico Internacional. México.
- Carl Fries Jr. 1957. - Bosquejo Geológico de la Región entre México, D. F. y Acapulco, Gro. -Boletín N^o 5 y 6 del Volumen IX de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros.
- De la Vega, Enciso. 1963. - Hoja Cuencamé 13 R-1 (7) Instituto de Geología UNAM
- Villalobos Crescencio I. 1969. - El Probable Gran Acuífero Taboada, Cogorrón. Folleto Técnico N^o 22 del Inst. de Geología y Metalurgia. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- De Ford, Ronald K. -1969. - Some Keys to the Geology of Northern Chihuahua. - Guidebook, Twentieth Field Conference The Border Region. Chihuahua and the U. S. A. New Mexico Geological Society.
- Joba, Diego 1969. - Hoja Ciudad Juárez 13 R-a (3) Instituto de Geología U. N. A. M.
- Dietz Robert S. y Holden John C. 1970. -La Desintegración de la Pangea. Selección de Scientific American.

3). - Es factible obtener buena producción acuifera mediante la perforación de pozos sobre rocas riolíticas o andesíticas impermeables, ya que se ha comprobado que en algunos lugares, estas descansan o están intercaladas con unidades constituidas por clásticos continentales permeables. Esto abre a la explotación acuifera extensas áreas del País, antes desechadas por estar ocupadas superficialmente por rocas volcánicas impermeables. (Fig. 9 y 10)

4). - Los límites fisiográficos de una cuenca, si están formados por rocas volcánicas impermeables, no necesariamente serán los límites hidrológicos de la misma, pues puede existir circulación subterránea de agua a través de sedimentos clásticos subyacentes.

5). - Una gran proporción de pozos y manantiales en este tipo de acuíferos produce agua termal (Fig. 11) y este termalismo está asociado principalmente a rocas de tipo riolítico.

6). - Algunas unidades de sedimentos terciarios continentales, son tan impermeables que pueden actuar como confinantes.

A principios de 1975 presenté este nuevo concepto geohidrológico al Ing. Heinz Lesser Jones, Director de Geoh. y Zonas Áridas, de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos habiéndolo recibido su apoyo para el desarrollo del estudio a detalle que se está llevando a cabo.

México, D. F., Enero de 1978.

Andrés J. J. C.

- Dewey John F. 1972. - Placas Tectónicas. Deriva Continental y Tectónica de Placas. Selecciones de Scientific American.
- Maltick R. E. 1967 A Seismic and Gravity Profile Across The Hueco Bolson, Texas U.S. G. S. Prof. Paper 575-D. Bibliografía citada por Tom Cliett 1969.
- Tom Cliett 1969. - Groundwater Occurrence of the El Paso Area and Its Related Geology. New Mexico Geological Society-twenty Field Conference.
- Kenneth Segerstrom. - 1961. - Geología del Suroeste del Estado de Hidalgo y del Noroeste del Estado de México. Boletín N° 3 y 4 del Volumen XIII de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros.
- Guillermo P. Salas 1949. - Bosquejo Geológico de la cuenca sedimentaria de Oaxaca. Boletín N° 2 del Volumen I de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros.
- Ernesto López Ramos. 1961. - Comentarios sobre la tectónica de México. Boletín N° 9 y 10 del Volumen XIV de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros.
- Manuel Alvarez Jr. 1961. - Orogenias Pre-Terciarias en México Boletín N° 1 y 2 del volumen XIV de La Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros.
- H. Alonso Espinoza. - L. F. de Anda y F. Mooser 1964. - Focos Termales en la República Mexicana. Boletín N° 7 y 8 del Volumen XVI de La Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros.
- Carmen J. Schlaepfer y Liberto de Pablo Galan 1971. - Minerales arcillosos e interpretación sedimentológica de las Capas Rojas de la Formación Yanhuitlan, Oaxaca. Boletín N° 7-12 del Volumen XXIII de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros.
- Kenneth Segerstrom. 1961. - Estratigrafía del área Bernal Jalapan, Estado de Querétaro. Boletín N° 5 y 6 del Volumen XIII de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros.
- Francisco Viniegra. 1965. - Geología del Macizo de Teziutlan y la Cuenca Cenozoica de Veracruz. Boletín N° 7-12 del Volumen XVII de La Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros.
- Ernesto López Ramos. 1974. - Geología General y de México Edición Escolar.
- F. J. Pettijohn. 1963. - Rocas Sedimentarias. Editorial Universitaria de Buenos Aires.

Frederic H. Lahee. 1955. - Geología Práctica. Editorial Omega.

Don. L. Anderson. 1971. - Deriva Continental y Tectónica de Placas. Se-
lecciones de Scientific American.

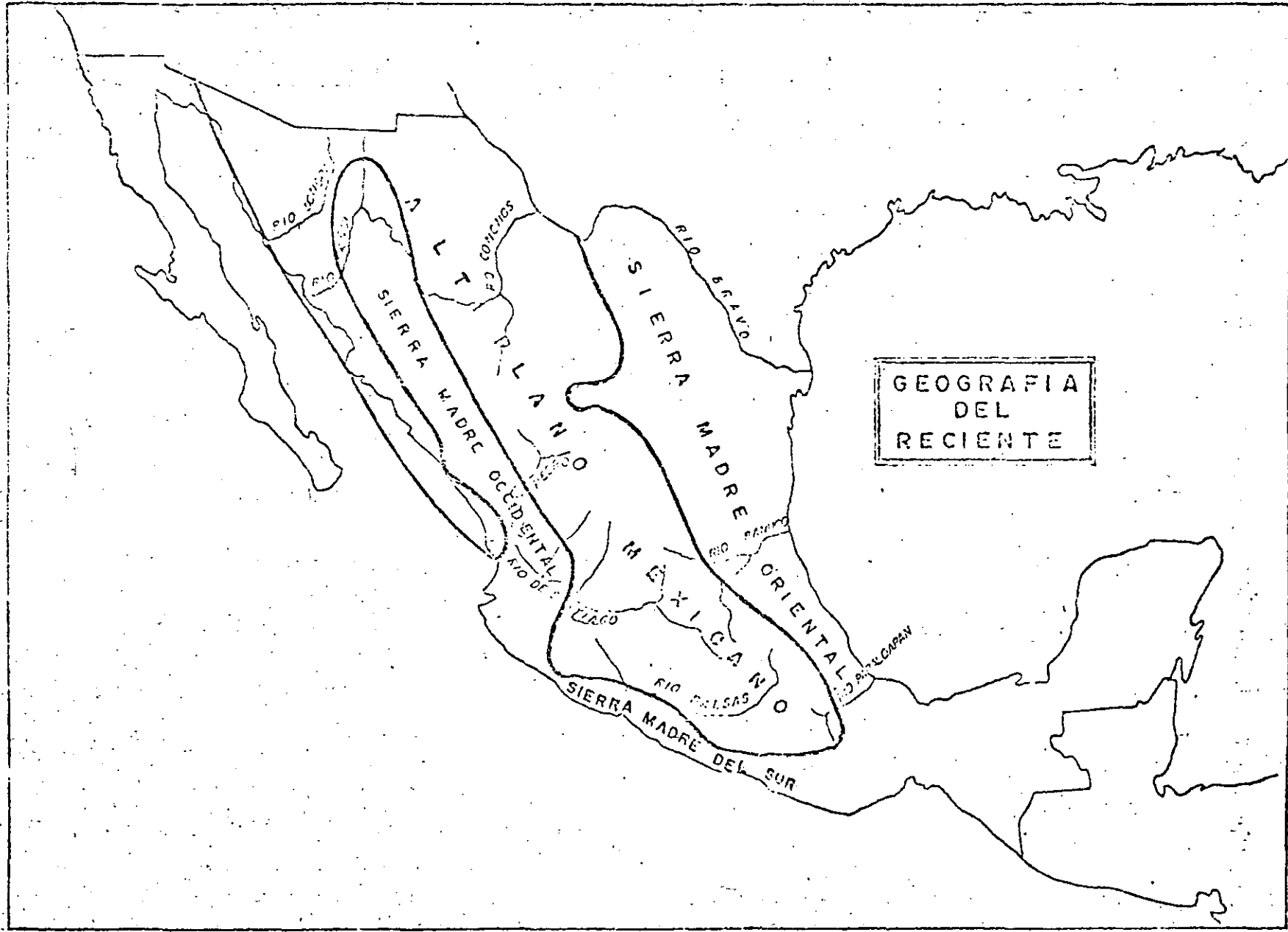


FIG. 6

En este período, el vulcanismo se ha presentado principalmente a lo largo del Eje Neovolcánico, produciendo rocas andesíticas y basálticas.

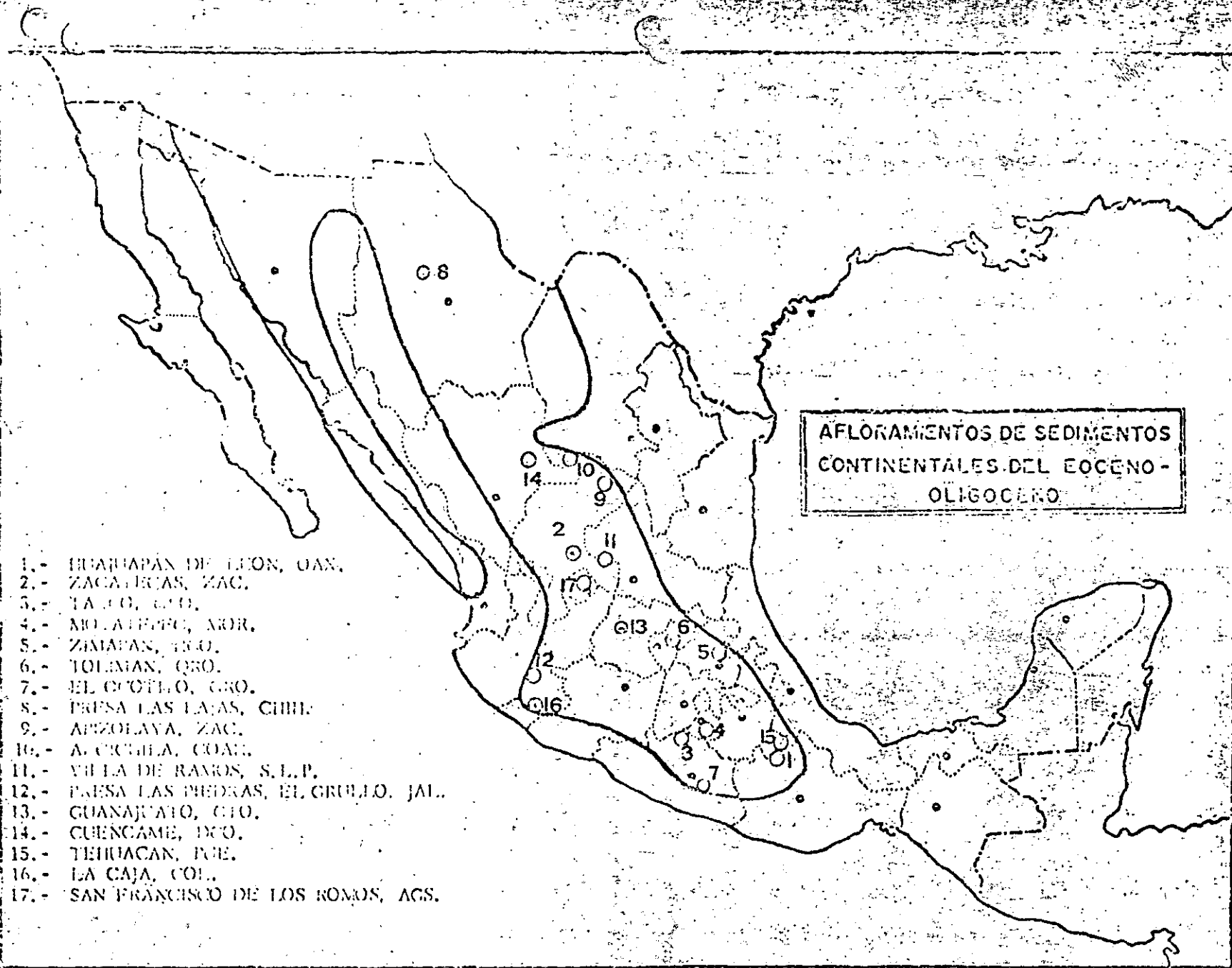


Fig. 7

E S T R A T I G R A F I A

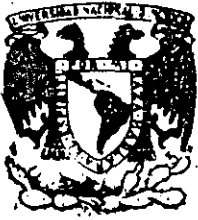
Se describe la columna estratigráfica del Terciario Continental, de la base hacia la cima.

Conglomerados Rojos, (Eoceno-Oligoceno). -

Descansando discordantemente sobre rocas cretácicas o más antiguas, se observan en numerosas localidades del Altiplano unidades litológicas, constituidas por conglomerados formados por fragmentos arredondados de caliza, riolitas, andesitas, rocas metamórficas, granitos, etc. Predominando algunos de ellos según la región de que se trate, empacados en una matriz arcillosa o arcilloarenosa de color generalmente rojo, razón por la cual se les conoce como Conglomerados Rojos. (Fig. 7)

Intercalados con los conglomerados, se encuentran capas de lutitas, areniscas, calizas lacustres, yeso y tobas de composición riolítica y andesítica.

Normalmente se presentan en estratos bien definidos con echados fuertes; afectados por fallas y fracturas, siendo por lo contrario muy raros los pliegues.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

PROSPECCION GEOHIDROLOGICA

ING. JORGE A. TRUJILLO CANDELARIA

ABRIL, 1985

PROSPECCION GEOHIDROLOGICA

Por: Ing. Jorge Antonio Trujillo Candelaria.

I. - EL CICLO HIDROLOGICO.

El agua subterránea explotable es un recurso renovable que proviene de la lluvia.

Como es sabido, el agua de lluvia que se precipita sobre los continentes, tiene tres caminos por seguir: 1) evaporarse para formar las nubes 2) escurrir por la superficie del suelo formando arroyos y ríos que finalmente vierten sus aguas al mar; 3) infiltrarse en el subsuelo para formar acuíferos; (Fig. 1)

En esta etapa del Ciclo es donde nos interesa encontrar el agua.

II. - DEFINICIONES. -

Porosidad. - Poro significa intersticio, hueco. La porosidad de una roca es la relación del volumen de sus huecos con su volumen total (Fig. 2)

Permeabilidad. - La palabra permeable significa penetrable, un cuerpo es permeable si se deja atravesar por los fluidos o las radiaciones.

Para el caso que nos ocupa, la permeabilidad de las rocas es la propiedad de dejarse atravesar por el agua.

La permeabilidad de las rocas puede ser primaria cuando se forma al mismo tiempo que la roca, como los huecos que quedan en un depósito de grava al irse acumulando, o secundaria como en una roca compacta que por algún movimiento de la corteza terrestre se fractura y la adquiere.

III. - LAS ROCAS Y SU PERMEABILIDAD. -

Al iniciarse el estudio de un lugar determinado lo primero que se debe conocer es su litología, ya que cada tipo de roca tiene una permeabilidad característica: esta propiedad limita las áreas de interés, pues la búsqueda

da se enfoca a las zonas donde se encuentren rocas consideradas favorables.

Para dar una idea aproximada de esta selección desde el punto de vista litológico, se presenta la siguiente tabla en la que se muestran algunos de los tipos de rocas más comunes en nuestro País. (Tabla I).

En la tabla aparecen tipos de rocas con características diferentes, sin embargo, son solo cuatro de estas, las que ofrecen posibilidades de permeabilidad para constituir acuíferos importantes; gravas, arenas, basaltos y calizas.

Gravas y Arenas. - Las gravas y arenas son sedimentos no consolidados constituidos por fragmentos de rocas arredondados por efecto del arrastre de los ríos que las transportan en grandes cantidades, depositándolas en su propio cauce o en cuencas lacustres y marinas.

La permeabilidad de estos depósitos es mayor cuando tengan mayor uniformidad en el tamaño de los fragmentos. Si hay una gran diversidad de tamaños, los más pequeños rellenan los espacios entre los grandes disminuyendo en forma notable su permeabilidad. (Fig. 2.)

Por su origen y medios de depósitos, las gravas están íntimamente relacionadas con las arenas y las arcillas, por lo que es común encontrarlas intercaladas en capas o mezcladas.

Los mayores afloramientos de gravas y arenas en el Altiplano Mexicano y en el Noroeste del País, son sedimentos de edad terciaria (Las Cuencas Lacustres Terciarias del Altiplano Mexicano, Jorge A. Trujillo C. 1975), y en ellos se localizan los principales acuíferos en explotación en el País. Fig. 3)

Las principales diferencias entre sedimentos terciarios y aluviones recientes son:

1º Es común encontrar a los sedimentos terciarios intercalados o cubiertos por materiales volcánicos, riolíticos, andesíticos y basálticos.

2º Los sedimentos terciarios por lo común están afectados por tectonismo en mayor o menor grado.

3º Por medio de análisis micropaleontológico, ha sido posible datar la edad de los sedimentos terciarios gracias a que es frecuente que es-

tos contengan diatoméas fósiles.

4º El espesor de los sedimentos terciarios es en general, mayor que el de los aluviones recientes pues el País debido a su geomorfología, se encuentra actualmente en una etapa de erosión activa.

Algunas recomendaciones para dar localizaciones sobre gravas y arenas son:

1º Deben buscarse lugares donde las gravas y arenas estén bien seleccionadas por tamaños, procurando evitar las zonas donde el contenido de arcilla sea grande.

2º Deben evitarse dar localizaciones en parteaguas o en mesetas cortadas por barrancas profundas.

3º Si se pretende perforar sobre riolitas o andesitas con el fin de atravesarlas para encontrar subyacentes gravas y arenas terciarias debe primero determinarse aunque sea en forma aproximada el espesor de cubierta, ya sea por métodos geológicos o geofísicos, pues podría resultar demasiado potente y ser incosteable su perforación.

Basalto. - Es una roca ígnea, volcánica, básica; se presenta en forma de derrames lávicos, brechas, aglomerados, conos cineríticos y de tezontle. Su gran permeabilidad se debe a los espacios huecos entre coladas superpuestas, a la existencia de fracturas originadas por enfriamientos, a las grietas originadas por la resistencia a la deformación plástica de las corrientes de lava solidificada y a las zonas de tezontle.

La presencia de horizontes de depósitos lacustres y suelos arcillosos poco permeables es frecuente en las potentes series de derrames lávicos originado acuíferos colgados, generalmente de bajo potencial pero de gran importancia, debido a la escasez de otros tipos de acuíferos en esas zonas.

La porosidad y permeabilidad de las rocas volcánicas tiende a disminuir con el tiempo geológico, debido al sellamiento de los espacios huecos con los materiales arcillosos producto de la descomposición de las propias rocas.

Para dar localización sobre éste tipo de rocas donde la permeabilidad es generalmente grande, deben escogerse sitios bajos, respecto a la topografía regional, pues es común que el agua que se infiltra en ellos, se drene rápidamente.

Calizas. - Las calizas son rocas formadas principalmente por carbonato de calcio, originadas por procesos orgánicos y químicos en medios lacustres y marinos, las cuales han emergido a la superficie por medio de movimientos tectónicos.

Estas rocas tal como surgen a la superficie, por lo común presentan baja permeabilidad que puede ser primaria como la causada por la porosidad entre los fragmentos fósiles en las zonas arrecifales o en los planos de estratificación entre dos capas superpuestas o secundaria, como la que se presenta por fracturamiento y principalmente por la disolución de la roca por el agua de lluvia.

El agua de lluvia a su paso por la atmósfera se carga de ácido carbónico, el cual ataca fuertemente a las rocas calcáreas, disolviéndolas. Al caer sobre ellas, si encuentra alguna zona fracturada, así sea poco permeable inicia su infiltración y ataque ensanchando las grietas y produciendo conductos y cavernas, lo cual incrementa grandemente su permeabilidad.

Debido a la plasticidad de este tipo de rocas, es común que al verse afectados por movimientos tectónicos no se fallen y fracturen tan fácilmente sino que primero se pliegan, formando anticlinales y sinclinales.

Para dar localizaciones sobre este tipo de rocas, se deben localizar:

a). - Zonas donde las calizas estén lo más pura que sea posible, o sea que su contenido de arcilla sea mínimo, pues mientras más contenga será menos soluble.

b). - Las zonas donde se observan gran cantidad de cavernas y conductos de disolución son favorables.

c). - Las zonas arrecifales, frecuentemente ofrecen buena permeabilidad.

d). - Que no hayan capas de lutitas intercaladas en gran proporción.

e). - El fracturamiento, por lo general es mayor en los lomos de los anticlinales y en los fondos de los sinclinales resultando sitios buenos para la perforación de pozos, sin embargo, los lomos anticlinales hay ocasiones en que son de difícil acceso y los sinclinales es frecuente que estén cubiertos por gruesos depósitos de formaciones impermeables, por lo que muchas de las perforaciones se dan en los flancos de estas estructuras.

f). - Siendo la permeabilidad, entre estratos la más importante, es conveniente dar localizaciones de tal manera que corten el mayor número de estratos posible, siendo más favorables las zonas que han sido afectadas por tectonismo. Por lo que es recomendable situarlas en formaciones medianamente plegadas.

g). - Existen formaciones calcáreas que en un determinado lugar se presentan permeables y producen eficientemente y en distancia más o menos cortas se encuentran impermeables e improductivas. Uno de los principales motivos de éste comportamiento son los cambios laterales en su composición como por ejemplo, un aumento de su contenido en arcilla, lo que provoca una disminución en su solubilidad.

Otras Rocas. - Los demás tipos de rocas no deben desecharse totalmente, pues hay varios lugares donde algunas de ellas están produciendo en forma eficaz.

Sin embargo, deben considerarse con posibilidades, mucho menores pues su permeabilidad dependerá de zonas de fracturamiento, las cuales no siempre son fáciles de detectar a profundidad.

Hay ocasiones en que no se tiene otra alternativa y es necesario dar localizaciones para perforación sobre este tipo de rocas, en cuyo caso deben buscarse zonas afectadas por fallas y fracturas, tratando de cortarlas en forma y a la profundidad más conveniente. De ser posible se recomienda -- efectuar exploraciones directas con pozos de pequeño diámetro, con equipo de muestreo de núcleos.

IV. - MÉTODOS DE EXPLORACION. -

Los métodos de exploración se dividen en directos e indirectos. Los métodos directos más comunes consisten en observaciones de campo y perforaciones; los indirectos en métodos geofísicos.

Métodos Directos. - En la Dirección de Geohidrología y de Zonas Aridas, los métodos directos de exploración más utilizados son:

Observaciones de campo. - En éstas se aplican lo que se ha tratado de exponer en los párrafos anteriores. Para lo cual nos auxiliamos con planos geológicos, topográficos, climatológicos, fotografías aéreas y equipo de campo, esencialmente brújula, altímetro y martillo.

Perforaciones Exploratorias. - Consisten en perforaciones en diámetro de 3 a 4 1/2", con brocas de diamante o de roles, con o sin muestreo de núcleos. En estas perforaciones se obtienen los siguientes datos:

- a). - Columna litológica.
- b). - Nivel estático.
- c). - Calidad del agua.
- d). - Una idea sobre las posibilidades de producción de acuerdo con las pérdidas de fluidos de perforación, sifoneo, extracciones con émbolo, - inyección de agua, etc.

Además se puede obtener el registro eléctrico del pozo.

Métodos indirectos. - La característica principal de estos métodos es que las mediciones de ciertos parámetros físicos (resistividad, elasticidad, etc.) se realizan desde la superficie del terreno, y en base a éstos es posible inferir ciertas condiciones del subsuelo. Dentro de esta clasificación se encuentran los métodos geofísicos, de los cuales, los mayormente utilizados en la prospección para el agua subterránea son:

- a). - Método Eléctrico de resistividad.
- b). - Método Sísmico de refracción.

Los cuales nos ayudarán entre otros, a definir la geometría del sistema acuífero y auxiliarnos en diversos problemas de tipo estructural.

7

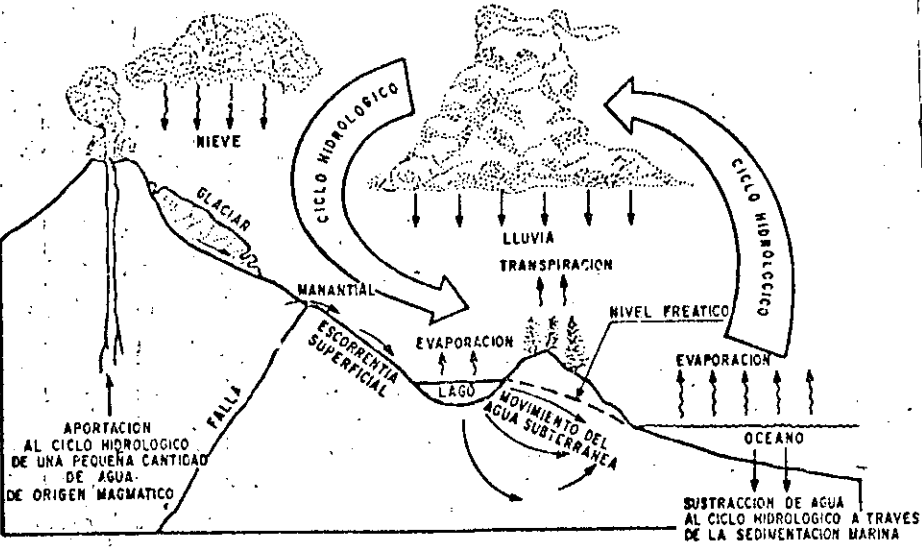
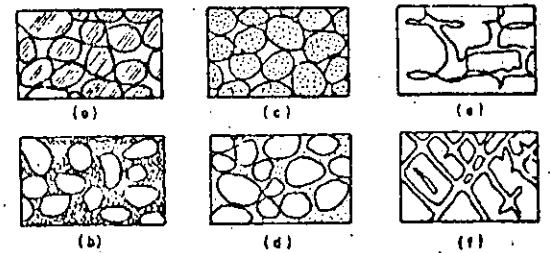


FIG. - 1



Distintos tipos de intersticios y relación entre la textura y la porosidad de las rocas. a) Depósito sedimentario de elementos de tamaño uniforme; porosidad alta. b) Depósito sedimentario constituido por elementos heterométricos; baja porosidad. c) Depósito homométrico de cantos rodados - porosos; porosidad muy alta. d) Depósito sedimentario cuya porosidad ha disminuido por colmatación de los intersticios con materiales finos. e) Rocas cuya porosidad se debe a fenómenos de disolución. f) Rocas porosas por fracturación.

FIG. - 2

IGNEAS	INTRUSIVAS O PLUTONICAS	ACIDAS INTERMEDIAS BASICAS	GRANITO DIORITA GABRO
	EXTRUSIVAS O VOLCANICAS	ACIDAS INTERMEDIAS BASICAS	RIOLITA ANDESITA BASALTO
SEDIMENTARIA	CONSOLIDADAS	CALIZAS ARENISCAS LUTITAS CONGLOMERADOS	
	NO CONSOLIDADAS	GRAVA ARENA ARCILLA	
METAMORFICAS		PIZARRA ESQUIRTO GNEIS.	

Tabla No. 1



FIG. - 3





**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

ANEXO 1

ING. JORGE A. TRUJILLO CANDELARIA

ABRIL, 1985.

FOTOINTERPRETACION Y SU APLICACION EN LA PROSPECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS.

Notas formuladas por Ing. Robi
sel Chiñas L.

I.- INTRODUCCION

En la planeación de los Recursos Hidráulicos, se plantea la necesidad de elaborar proyectos integrales de aprovechamientos tanto del agua superficial como subterránea basados en la evaluación de dichos recursos. En estas actividades el agua subterránea ocupa un renglón muy importante, y requiere para su investigación, de la participación interdisciplinaria y la aplicación de varias tecnologías.

En nuestro país donde existen muchas áreas con escasa información geohidrológica, se hace necesario iniciar prácticamente con la prospección o búsqueda del agua subterránea, fijando los sitios para las exploraciones geofísicas o para las perforaciones y posteriormente, en otras etapas, dentro de la metodología de investigación de los recursos hidráulicos, es conveniente establecer un marco geohidrológico o modelo conceptual que sirva de base para la interpretación del funcionamiento de los acuíferos a fin de definir las zonas de explotación más convenientes o en su caso regular la extracción del agua subterránea.

Mucha de la información necesaria para llegar a estos objetivos puede ser obtenida con rapidez y bajo costo, mediante la interpretación de fotografías aéreas, ya que ellas ofrecen una visión regional del terreno, de todos los aspectos que interesan al estudio del agua subterránea, tales como la geomorfología, el drenaje superficial, las fronteras superficiales de unidades geohidrológicas, la vegetación y uso del suelo, y por esa razón es útil también para aquellas zonas que ya están en explotación o que cuentan con cartas geológicas, pues éstas generalmente no registran toda la información útil para el estudio del agua subterránea.

Por ser de mucha utilidad y por la riqueza de información que se obtiene de las fotografías aéreas, en estas notas se señalan los alcances y procedimientos de la fotointerpretación en el estudio del agua subterránea y sobre la manera más conveniente de registrar la información obtenida.

II.- INTERPRETACION DE FOTOGRAFIAS AEREAS.

La interpretación de fotografías aéreas es una técnica basada en la observación y análisis de las imágenes fotográficas a fin de deducir el significado de ellas: la calidad y cantidad de información que se puede obtener, depende de la formación y experiencia del fotointerprete y del tipo de material fotográfico utilizado.

La técnica de fotointerpretación proporciona información eminentemente de tipo cualitativo y requiere de la identificación

cación análisis y clasificación de los rasgos de los objetos fotografiados a fin de conceptualizar la interrelación que existe entre cada uno de los factores que condicionan un terreno determinado, que está en proceso de observación. Esta actividad de ninguna manera desecha los trabajos de campo, pero se ve considerablemente reducida, en virtud de que previamente se pueden ubicar en las fotografías aéreas los sitios de muestreo y se puedan programar los recorridos a los lugares de interés.

En los estudios de fotointerpretación intervienen distintos factores que influyen en la calidad de la fotointerpretación; entre los más importantes se tienen los siguientes.

- a).- Característica de la fotografía aérea
- b).- La imagen estereoscópica
- c).- Característica de la fotointerpretación

Fotografías aéreas.- La fotografía es una proyección central que registra todos los objetos visibles en superficie terrestre cuyas características geométricas resultan incorrectas debido al desplazamiento causado por el relieve y por la distorsión de la cámara fotográfica. Existen numerosas características de la fotografía aérea que influyen en la fotointerpretación y que son: calidad de la imagen, tipo de cámara, tipo de películas, tipo de filtro, proceso de revelado, estación durante la cual fue tomada la fotografía, escala, dirección del vuelo.

Entre la variedad de películas existentes, la película pancromática (blanco y negro) tiene el mayor uso y tradicionalmente es la que se ha utilizado en los trabajos de fotointerpretación, sin embargo actualmente con el avance de las nuevas técnicas de percepción remota, se han desarrollado nuevos tipos de película y filtros permitiendo mejorar también la calidad de la fotointerpretación y consecuentemente obtener una mayor riqueza de información.

En la práctica de la fotointerpretación la utilización de las fotografías a color e infrarrojo a color ha dado buenos resultados en los estudios de cobertura vegetal, suelos y cuerpos de agua, ya que por la calidad de la información, se disminuye considerablemente la verificación de campo.

La escala de la fotografía está determinada por la relación que existe entre la distancia focal de la cámara y la altura de vuelo. La elección de las escalas fotográficas depende mucho del tipo de trabajo por desarrollar; comunmente se recomienda la escala 1:25,000 a 1:50,000 para trabajos de reconocimiento y 1:10,000 a 1:20,000 para trabajos de detalle; sin embargo debe tenerse presente dos factores que influyen en el uso de la fotografía y que son el relieve y la vegetación. Para fines geomorfológicos a veces es conveniente contar con fotografías de escala chica ya que en una sola fotografía pueden aparecer estructuras geológicas de conjunto, que a una escala mayor, registrados parcialmente, pudieran pasar desapercibidos.

Estereoscopia. - La interpretación de fotografías aéreas requiere primordialmente de la utilización de fotografías estereoscópicas y éstas no son más que fotografías que contienen rasgos y objetos registrados desde posiciones diferentes del avión y que al examinarlos a través de un estereoscopio se puede observar tridimensionalmente.

En general puede decirse que cuando los objetos son observados con un solo ojo (visión monocular) estos se perciben únicamente en dos dimensiones y solamente la sensación de profundidad se obtiene utilizando los dos ojos (visión binocular). La visión estereoscópica es la reproducción artificial de la visión binocular y se puede obtener utilizando estereocópios o anaglifos. Comúnmente en los trabajos de fotointerpretación se utilizan estereocópios de lentes, prismas y espejos.

Características de la fotointerpretación. - La parte más importante de los trabajos de fotointerpretación la constituye el elemento humano y a las finalidades a la que va orientada la fotointerpretación; en la mayoría de los casos, la calidad depende fundamentalmente de la experiencia y formación profesional del interprete.

La práctica de la fotointerpretación aconseja que los trabajos con fines geológicos, agua, suelos, bosques, urbanismo, actividades agrícolas, etc, sean desarrollados por personas con una formación acorde a esas disciplinas; las cuales deben reunir ciertas condiciones fisiológicas y psicológicas favorables para aplicar la técnica inductiva y deductiva que se utiliza en la fotointerpretación.

Para el caso de una interpretación geohidrológica los fotointérpretes, deben tener una base de conocimientos geológicos e hidrológicos y de uso del suelo; para poder conceptuar a través de fotografías una zona en proceso de estudio geohidrológico.

De todas maneras, en términos generales; la fotointerpretación utiliza una serie de criterios para identificar, analizar y clasificar los rasgos fotográficos, bajo una visión estereoscópica, como son:

Criterios derivados de las características físicas de la fotografía como son: textura, tono y color fotográfico.

Criterios derivados de las características de tamaño y forma de los objetos fotografiados.

Criterios derivados de las características topográficas y geomorfológicas de las zonas fotografiadas.

Criterios derivados de las características de los suelos, cobertura vegetal y su relación con el uso actualizado del suelo o actividad agrícola.

III.- INTERPRETACION FOTOGEOHIDROLOGICA

La investigación del agua subterránea requiere de varias etapas que son:

- La prospección y determinación de las condiciones geohidrológicas.
- La determinación de las características físicas e hidrodinámicas de los acuíferos.
- La hidrología subterránea o la determinación del comportamiento de los acuíferos ante la extracción y la recarga.

En la primera etapa se trata de determinar la presencia del agua subterránea en regiones prácticamente libres de explotaciones; basándose en el conocimiento de la climatología y geología, ya que la presencia; naturaleza y flujo del agua subterránea, es función del clima actual, de la morfología petrográfica, estratigráfica y de la estructura geológica.

En el caso del clima generalmente se trata de hacer el análisis de la precipitación, la temperatura y evaporación como -- elementos que intervienen en los términos del ciclo hidrológico, -- pero también es importante en el aspecto geohidrológico ya que en muchos acuíferos son función del clima del pasado; por ejemplo: -- aquellas zonas que por disolución se han convertido en acuífero. -- Asimismo es importante el clima en la calidad del agua pues sabido es; que muchas rocas de origen marino o depositadas bajo condiciones de aridez extremada, frecuentemente contienen agua salina que no ha podido ser lavada debido principalmente a condiciones climáticas.

La otra base para determinar la presencia del agua es la geología, ya que con éllas se trata de definir y analizar las -- características de los terrenos para deducir las condiciones geohidrológicas. Es en esta etapa, donde conviene utilizar las fotografías aéreas como medio para estudiar la geología del agua subterránea.

El objetivo de la prospección fotogeohidrológica es definir, a través de fotografías aéreas, donde quedan ubicadas las -- zonas de recarga y de acumulación del agua subterránea, para fijar los sitios más convenientes y efectuar estudios de resistividad -- eléctrica o para ubicar los pozos de exploración; estos tendrán -- por objetivos serán las de establecer un modelo tridimensional de la zona estudiada y de definir las características hidrodinámicas de los acuíferos en una segunda etapa de investigación del agua -- subterránea.

En las etapas subsecuentes del estudio del agua subterránea se trata de establecer una base objetiva que sirva de marco y de base, para que los hidrólogos cuenten con el material necesario para desarrollar la etapa de evaluación de los acuíferos; -- esta base objetiva puede estar representada por una -----

carta geohidrológica o un plano fotogeohidrológico, conteniendo todos los datos investigados (forma, drenaje, fronteras de las unidades hidroestratigráficas o geohidrológicas y secciones geológicas) que señalen la estructura geológica y que ayuden a establecer un modelo tridimensional de los acuíferos.

En efecto la interpretación de las medidas geofísicas y la interpretación de la estructura del subsuelo con datos aislados de las perforaciones pueden ser auxiliados con los datos obtenidos en superficie con la fotointerpretación. Asimismo al hacer el estudio de pozos y manantiales, con dicho modelo se puede auxiliar a la interpretación de los análisis geoquímicos, y las curvas de elevación y evaluación de los niveles estáticos. Finalmente, al analizar el uso del suelo o las actividades agrícolas es posible estimar aproximadamente el volumen de extracción que se utiliza para el riego de determinados cultivos.

En los estudios geohidrológicos a partir de fotografías aéreas, se incluyen los siguientes procesos:

- a).- Obtención del material fotográfico
- b).- Estudio de la geología del agua subterránea
- c).- Análisis del uso del suelo
- d).- Comprobación de campo
- e).- Registro de la información obtenida
- f).- Interpretación de las condiciones geohidrológicas

a).- Obtención del material fotográfico.- En estas notas no se tratará el tema de cual es el procedimiento de obtener las fotografías aéreas y la forma de obtención de los mosaicos fotográficos de contacto; basta decir que la escala más conveniente para un estudio fotogeohidrológico pueden variar entre 1:25,000 a 1:50,000 y para integrar los datos de la fotointerpretación -- conviene utilizar mosaicos de contacto, (no es necesario que sean rectificadas) escalas de 1:50,000 a 1:100,000. Conviene señalar que para estos estudios de fotointerpretación, se pueden utilizar vuelos aerofotográficos ya existentes en oficinas gubernamentales, como por ejemplo la Comisión de Estudios del Territorio Nacional que tiene levantado una gran parte del país o adquirirlos de los archivos de compañías especializadas en levantamientos aerofotográficos. Desde luego es recomendable utilizar un -- vuelo reciente, si éste se aprovecha para proyectos integrales, en donde se requieran investigar otros recursos o el uso actualizado del suelo.

b).- Estudio de la Geología del Agua Subterránea.- En la fotointerpretación geohidrológica, el estudio del agua subterránea abarca: el análisis de las formas del terreno, el análisis -- las características del drenaje superficial, el análisis de la -- estructura geológica y la delimitación de las fronteras de las --

unidades geohidrológicas e hidroestratigráficas.

c).- Las formas del terreno.- En el análisis de las formas del terreno se trata de señalar las variaciones de las pendientes del relieve, lomeríos y llanuras, a través de la observación estereoscópica, e interpretar en cada tipo de terreno la presencia de la cobertura intemperizada o ausencia de ella por erosión, que son algunos de los factores que intervienen en el escurrimiento superficial o retención del agua de lluvia.

El estudio de la morfología también debe hacerse analizando conjuntamente las características de las zonas donde aparecen cuerpos de agua manantiales, ríos, lagos, pantanos. Este procedimiento permitirá introducir más los datos geohidrológicos con la geomorfología, ya que en realidad la morfología es función del clima, la geología y el tiempo.

Por otra parte aunque existe una gran variedad de formas del terreno es conveniente agruparlas de acuerdo a su origen y estructura e integrarlas a provincias geológicas para facilitar su estudio, en una etapa de reconocimiento, pues frecuentemente se observan características similares entre las cadenas montañosas y las divisiones climáticas; incluso de un continente a otro. Este criterio podría ser útil para iniciar el establecimiento de un modelo que puede diferir de un lugar a otro pero en general puede tener muchas similitudes.

A continuación se señala los tipos más frecuentes de morfologías que están relacionadas con la estructura y la calidad de los terrenos, de acuerdo con la clasificación geomorfológica de Von Engel. En la figura 1 y 2 puede apreciarse las formas típicas que adoptan los materiales volcánicos.

Clasificación Geomorfológica de Von Engel.

1.- CLASES DE ESTRUCTURAS SIMPLES

A.- Unidades geomórficas de materiales no consolidados o débilmente consolidados que tienen en lo general una estructura horizontal o simple que está bien definida o en algunos casos poco definida.

- 1.- Llanura costera de levantamiento
- 2.- Llanura o meseta de pie de monte
- 3.- Llanura de tundra
- 4.- Llanura fluvial, lacustre y deltaica
- 5.- Erg o llanuras de dunas de arena
- 6.- Llanura glacial
- 7.- Llanura de loess

B.- Unidades geomórficas compuestas de roca sedimentarias más o menos consolidadas o en algunos casos de rocas de origen ígneo. Los materiales, como en el caso A se encuentran agrupados uniformemente y con una estructura simple.

- 8.- Meseta interior
- 9.- Cuenca de lopolito
- 10.- Meseta o llanura de corriente de lava
- 11.- Edificio volcánico

C.- Unidades geomórficas de rocas casi totalmente calcárea con una estructura simple debido a la homogeneidad del material.

- 12.- Carst
- 13.- Isla o barrera de coral

2.- CLASES DE ESTRUCTURA DESORDENADAS

D.- Unidades geomórficas plegadas o falladas que se formaron de rocas compuestas de sedimentos consolidados o que incluyen otros materiales sedimentarios.

- 14.- Domo de levantamiento
 - a).- Lacolito
 - b).- Batolito
- 15.- Montaña plegada
 - a).- de pliegues simples
 - b).- de pliegues dislocados

16.- Montañas de fallamiento

F.- Unidades geomórficas constituidas principalmente por escudos de rocas rígidas y antiguas; en este caso la morfología puede ser de llanura, de meseta y de domo.

- 17.- Escudo de rocas ígneas metamórficas antiguas
- 18.- Peneplano de sedimentos y de rocas ígneas
- 19.- Glaciar continental

d).- Drenaje Superficial. - El análisis del drenaje superficial se hace con el fin de señalar, junto con la morfología, las diferencias que existen en la densidad del drenaje, para definir las zonas que ofrecen mayor escurrimiento o infiltración. Durante el análisis del drenaje también se puede obtener información sobre la ubicación de los aprovechamientos hidráulicos como presas y bordos o sobre la ubicación de los manantiales puesto que ellos influyen sobre la recarga de los acuíferos.

Al hacer el estudio del drenaje se señalarán en las fotografías: el cauce principal y todos los tributarios indicando o separando las subcuencas que interesen al estudio; esto es con el objeto de establecer la densidad de drenaje en longitud de cauce por superficie y relacionarlo con el tipo de cobertura -- intemperizada y tipo de roca, al hacer un análisis muy preliminar de la disponibilidad de agua en una cuenca.

Existen muchos arreglos de drenaje que son indicativos de las características geohidrológicas de los terrenos, como -- por ejemplo: Los drenajes con textura abierta, frecuentemente -- son indicativos de materiales permeables, rocas difíciles de -- erosionar o formaciones masivas y los drenajes con textura fina, se desarrollan normalmente en materiales impermeables en zonas -- fácilmente erosionables o donde el drenaje interno es lento.

Otras características que se debe tener presente durante el análisis del drenaje, es el grado de uniformidad de los modelos de drenaje ya que un sistema de drenaje uniforme y bien integrado, puede ser indicativo de cierta homogeneidad en la constitución de los terrenos y pueden manifestar susceptibilidad de erosionarse; en cambio las zonas no integradas o con ausencia de drenaje, puede deberse a la presencia de materiales granulares (aluviones), a la presencia de rocas permeables por fractura --- ción o cavidades y también puede desarrollarse en regiones de -- morfología plana, que presentan zonas inundables o de encharcamiento.

Estructura geológica. -- El análisis de la estructura geológica se dirige principalmente a definir el grado de fracturación, posición, estratificación y potencia de las formaciones, -- en forma cualitativa, pero también pueden definirse cuantitativamente mediante el uso de la regla de paralaje, apoyada en datos de campo o cotas altimétricas.

Atendiendo a este tipo de medidas y a las características geomorfológicas se puede deducir en forma especulativa la -- estructura del subsuelo que es un factor decisivo en las condiciones de flujo y acumulación del agua subterránea.

Cuando se tienen medidas geofísicas y datos de perforaciones, estos pueden correlacionarse con las características -- estructurales de superficie para definirse una distribución en el espacio de los distintos tipos de terrenos y establecer la -- interrelación entre las distintas unidades los cuales --

pueden ser concordantes, discordantes, en bloques, o aparecer --- como un fondo rocoso de morfología irregular.

Delimitación de las fronteras de las unidades geohidrológicas o hidroestratigráficas. - Esta actividad probablemente sea la de mayor significación en el estudio del agua subterránea ---- porque con ella se puede valorar cualitativamente la permeabili- dad de los materiales ya que durante el análisis, se toma en con- sideración la naturaleza, secuencia y distribución, tanto de los- materiales consolidados como de los no consolidados y también se- toma en cuenta la granulometría morfología y estructura de las -- formaciones.

La delimitación de las fronteras entre rocas y sue- los se hace principalmente por la observación de las discontinui- dades y heterogeneidades de los terrenos que son derivados de las- condiciones de depósito, de la fracturación, disposición de la es- tratificación, o por la presencia de zonas arcillosas. El análi- sis de estos factores son los que permiten indicar los sitios de- retención, recarga, flujo y acumulación del agua subterránea o -- simplemente señalar zonas impermeables.

Para la delimitación de las fronteras de unidades - de rocas y suelos se presentan ciertas dificultades por la enorme variedad de condiciones geológicas que existen y que frecuentemen- te se observan en la superficie con rasgos morfológicos determina- dos y otras veces están enmascarados o poco definidos por una co- bertura intemperizada o por efecto de la erosión. En estas unida- des pueden estar incluidos las rocas estratificadas, solubles, fo- liadas, las derivadas de emisiones volcánicas, o los materiales - poco consolidados que forman rellenos de cuenca o de valles. La - mayoría de las veces, estas unidades presentan condiciones aniso- tropas que condicionan las características de permeabilidad y geo- hidrológicas en general.

Las rocas estratificadas son bastante complejas, no sólo porque algunas veces están falladas plegadas o fracturadas, - sino porque algunas tienen normalmente una disposición de asocia- ciones alternantes o con cambios de facies laterales, de materia- les de diferente calidad y permeabilidad.

En el caso de las rocas solubles, la presencia de - cavidades, frecuentemente con una distribución irregular hace que la circulación de agua en una red cárstica, presente serios probl- mas de determinación.

En zonas de actividad volcánica solo con excepción- aparecen estructuras mas o menos definidas, pues normalmente se - encuentran asociadas emisiones de diferente composición (lavas y- tobas) cuyas características geohidrológicas y de permeabilidad - resultan diferentes.

En el caso de los materiales poco consolidados los- mas importante desde el punto de vista del agua subterránea, ellos ofrecen una estructura heterogénea que obedece a la forma y medio

de depositación y cuyo funcionamiento geohidrológico resulta diferente porque existen diferencias en la estructura, granulometría y continuidad; tales condiciones se presentan por ejemplo - de cuencas cerradas (bolsones), rellenos de valle o depositos de llanuras costeras.

Son muchos los casos en que las rocas y los suelos - presentan condiciones estructurales complicadas; en la práctica, las unidades geológicas simples y homogéneas, son poco frecuentes; por esa razón en un estudio geohidrológico, se tiende hacia la agrupación de rocas y suelos en unidades geohidrológicas o - unidades hidroestratigráficas de acuerdo a sus características de permeabilidad.

Cuando se hace referencia a una unidad geohidrológica, se piensa en una agrupación de rocas o suelos con características hidrológicas similares, de manera de evitar trabajos demasiado detallados, innecesarios para el estudio del agua subterránea y cuando se hace mención de unidades hidroestratigráficas se trata de una investigación estratigráfica que se efectúa como - parte de un modelo hidrológico, en la cual se trata de agrupar - formaciones contiguas con las mismas características geohidrológicas, independientemente del piso o período geológico a que pertenezcan.

Es muy frecuente, por ejemplo, que paquetes grandes - de areniscas o calizas que presentan divisiones estratigráficas - y que presentan varios pisos contiguos, desde el punto de vista geohidrológico pueden resultar acuíferos, entonces para el estudio del agua subterránea se trata de una unidad hidroestratigráfica. También es cierto que a menudo formaciones estratigráficas cuando son homogéneas pueden corresponder a unidades hidroestratigráficas, o también de una sola formación, por cambio de - facies, se puede derivar otra unidad,

En suma la delimitación de las fronteras, de las unidades geohidrológicas e hidroestratigráficas en superficie, complementada con informaciones que situen estas unidades en el espacio, permitirá llegar a la conclusión de que se puede tener - una clasificación de modelos geohidrológicos en un número menor de categorías que las que pudieran derivarse únicamente por el - análisis geológico, de cada una de las diferentes condiciones que se presentan en las provincias geológicas mencionadas.

c.- Análisis del uso del suelo. - Otro tipo de análisis - que se realiza por medio de la fotointerpretación con fines de - investigar el agua subterránea, es el de estimar los volúmenes - de extracción mediante el uso del suelo por las actividades agrícolas, en zonas que están sujetas a explotación. Aunque este análisis requiere de contar con fotografías actualizadas, a veces - es necesario realizarlos, ya que la mayoría de las zonas donde - se explota el agua subterránea con fines de irrigación, no se miden los caudales de extracción; por este motivo, en los estudios de cuantificación se recurre, el procedimiento de considerar la superficies cultivadas y las láminas de riego utilizadas.

En este caso es relativamente fácil identificar en la fotografía aérea la superficie y el tipo de cultivo que riega cada pozo.

d).- Comprobación de campo.- La interpretación fotogeohidrológica no excluye los trabajos de campo sino que únicamente los disminuye en un alto porcentaje y éllo necesariamente debe realizarse atendiendo los renglones mencionados, para un estudio geohidrológico; durante el trabajo de fotointerpretación, debe señalarse los rasgos de interés para su comprobación así como los accesos a estos sitios de interés. Esto permitirá al fotointerprete rectificar o ratificar lo realizado durante la interpretación de los modelos estereoscópicos, complementando el estudio mediante el análisis, en los laboratorios, de las muestras de rocas suelos y agua que son colectados durante el reconocimiento de campo.

c).- Registro de la información obtenida.- Los resultados obtenidos mediante fotointerpretación y su correspondiente comprobación de campo, es conveniente reunirlos en unidades de igual característica para hacer una explicación práctica de las condiciones geohidrológicas y que puede ser de mucho interés por las analogías que se presenten en otras provincias geológicas. Estas agrupaciones forman las unidades geohidrológicas o hidroestratigráficas cuyas fronteras se transfieren a plenos base o a mosaicos fotográficos de contacto, a efecto de tener una base objetiva donde se presenten conjuntamente, todos los factores que intervienen en el estudio y que deberá conducir prácticamente en un plano de isopermeabilidad. La transferencia de datos a los mosaicos se puede hacer por comparación de los rasgos de las imágenes fotográficas y dados los niveles de estudio, que son de tipo regional, no se requiere que los mosaicos sean rectificadas.

Otro tipo de registro lo constituye las secciones transversales que con la información puntual de las perforaciones o secciones de la geofísica, nos permitirá representar un modelo tridimensional de la estructura del subsuelo, conjuntamente con la morfología.

Al agrupar los diferentes tipos de materiales se buscará la forma de hacerlo de una manera práctica, que explique a través de la simbología, tanto las características geológicas (morfología, petrografía, estratigrafía y estructura) adaptada a la nomenclatura geológica de la región, como las características geohidrológicas de cada unidad hidroestratigráfica (permeabilidad condiciones de recarga, flujo y almacenamiento).

Cuando se trata de materiales no consolidados generalmente de tipo aluvial es conveniente registrar la información de acuerdo con la granulometría de los sedimentos utilizando el sistema unificado de clasificación de suelos, para hacer mas comprensible las condiciones de permeabilidad. En el cuadro 1 se señala el sistema unificado de clasificación de suelos versión S.O.P. La utilización de símbolos, de esta clasificación, ayuda bastante a comprender cual ha sido el proceso de la depositación en una zona de

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS

(VERSION S.O.P)

PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACION EN EL CAMPO (Excluyendo las partículas mayores de 7.6cm (3") y basando las fracciones en pesos estimados)		SIMBOLOS DEL GRUPO (+)	NOMBRES TIPICOS	INFORMACION NECESARIA PARA LA DESCRIPCION DE LOS SUELOS	
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla N° 200 (+) Más de la mitad de las partículas mayores de 7.6cm (3") son aproximadamente las mas pequeñas visibles a simple vista	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida en la malla N° 4 Para clasificación visual puede usarse 1/2 cm. como equivalente a la abertura de la malla N° 4	GRAVAS LIMPIAS (Poco o nada de partículas finas)	GW	AMPLIA GAMA EN LOS TAMAÑOS DE LAS PARTICULAS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS.	<p>Dese el nombre tipico; indiquense los porcentajes aproximados de grava y arena, tamaño máximo, angulosidad, características de la superficie y direzo de las partículas gruesas; nombre local y geológico; cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entre paréntesis</p> <p>Para los suelos incluídos agréguese información sobre estratificación, compactación, cementación, condiciones de humedad y características de drenaje</p> <p>Ejemplo: Arena limosa, con grava, como un 20% de grava de partículas duras angulosas y de 1.5 cm de tamaño máximo; arena gruesa a fina de partículas redondeadas subangulosas, alrededor de 15% de finas no plásticas de baja resistencia en estado seco; compacta y húmeda en el lugar; arena aluvial (SM)</p>
		GRAVAS MAL GRADUADAS (Contenido apreciable de partículas finas)	GP	PREDOMINIO DE UN TAMAÑO O UN TIPO DE TAMAÑOS CON AUSENCIA DE ALGUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS.	
		GRAVAS CON FINOS	GM	FRACCION FINA POCO O NADA PLASTICA (PARA IDENTIFICACION VEASE GRUPO ML ABAJO).	
		GRAVAS CON FINOS	GC	FRACCION FINA PLASTICA (PARA IDENTIFICACION VEASE GRUPO CL ABAJO).	
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla N° 4 Para clasificación visual puede usarse 1/2 cm. como equivalente a la abertura de la malla N° 4	ARENAS LIMPIAS (Poco o nada de partículas finas)	SW	AMPLIA GAMA EN LOS TAMAÑOS DE LAS PARTICULAS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS.	
		ARENAS MAL GRADUADAS (Contenido apreciable de partículas finas)	SP	PROMEDIO DE UN TAMAÑO O UN TIPO DE TAMAÑOS CON AUSENCIA DE ALGUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS.	
		ARENAS CON FINOS	SM	FRACCION FINA POCO O NADA PLASTICA (PARA IDENTIFICACION VEASE GRUPO ML ABAJO)	
		ARENAS CON FINOS	SC	FRACCION FINA PLASTICA (PARA IDENTIFICACION VEASE GRUPO CL ABAJO)	
PROCEDIMIENTOS DE IDENTIFICACION EN LA FRACCION QUE PASA LA MALLA N° 40					
SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material pasa la malla N° 200 (Las partículas de 0.075 mm de diámetro (malla N° 200) son aproximadamente las mas pequeñas visibles a simple vista)	LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO MENOR DE 50	NULA A LIGERA	RAPIDA A LENTA	NULA	<p>Dese el nombre tipico; indiquense el grado y carácter de la plasticidad, cantidad y tamaño máximo de las partículas gruesas, color del suelo húmedo, olor, nombre local y geológico; cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entre paréntesis</p> <p>Para los suelos inalterados agréguese información sobre la estructura, estratificación, consistencia tanto en estado inalterado como remoldeado, condiciones de humedad y de drenaje</p> <p>Ejemplo: Limo arcilloso, café, ligeramente plástico porcentaje reducida de arena fina; numerosos agujeros verticales de raíces, firme y seco en el lugar; loess (ML)</p>
		MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	MEDIA	
		LIGERA A MEDIA	LENTA	LIGERA	
	LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50	LIGERA A MEDIA	LENTA A NULA	LIGERA A MEDIA	
		ALTA A MUY ALTA	NULA	ALTA	
		MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	LIGERA A MEDIA	
SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS		P _t	TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS		

CLASIFICACIONES DE FRONTERA - Los suelos que poseen las características de dos grupos se designan con la combinación de los símbolos. Ejemplo GW-GC mezcla de grava y arena bien graduada con cementante arcilloso.

Todos los tamaños de las mallas en esta carta son los U.S. Standard

f).- Interpretación de las condiciones geohidrológicas.-

La deducción de las condiciones geohidrológicas será el resultado de un análisis generalmente por provincias o cuencas hidrográficas, con el objeto de señalar las zonas de recarga, dirección de flujo y zonas de acumulación del agua subterránea, según la posición de las fronteras impermeables con relación a los acuíferos.

En las diferentes provincias se pueden presentar diferentes condiciones geohidrológicas cuyas características permiten definir las como acuíferos en:

- piédemontes, aluviones recientes y antiguos
- valles y cursos de antiguos ríos
- llanuras aluviales
- llanuras costeras
- llanura de cuenca cerrada original, pero con procesos actuales de drenaje exorreico
- sedimentos clásticos de baja cementación
- rocas volcánicas fracturadas, generalmente en alternancia con piroclásticos
- rocas de fracturación profunda
- rocas rígidas estratificadas y fracturadas
- rocas con cavidades de disolución
- rocas plegadas con estructuras favorables para una circulación y alimentación del agua subterránea.

Si observamos la carta geológica del país, se verá que esta variedad de condiciones pueden ser agrupadas y pueden integrarse los datos geológicos e hidrológicos a un modelo conceptual, bien definido por límites conocidos o supuestos, que luego se verificarán en el transcurso del estudio. En la práctica se pueden establecer algunos modelos como los siguientes:

Zonas de rocas volcánicas.- En el frente oriental de la Sierra Madre Occidental y en la parte central del país, existen valles intramontanos en donde se forman acuíferos, en los rellenos de aluviones y tobas redepositadas, cuyos límites tanto lateral como en el subsuelo, son de rocas volcánicas (riolitas, tobas y basalto); la alimentación es producida por los escurrimientos superficiales que descargan en los rellenos del valle y por el agua que circula por la fracturación subvertical que presenta la propia roca volcánica. La circulación normalmente es hacia el centro del valle, ya que en algunos casos éstas originalmente fueron cuencas cerradas y actualmente por erosión pueden permitir la salida del escurrimiento superficial y en ocasiones del flujo subterráneo.

También es posible las salidas del flujo subterráneo por zonas de fracturación profunda. En estas zonas generalmente constituidas por una alternancia de lavas y tobas, los primeros pueden permitir la circulación del agua debida a la fracturación.

Zonas de cuencas cerradas.- En la mesa del norte, existen zonas de cuencas cerradas cuyos rellenos están limitados por sedimentos calcáreos y arcillosos; en muchos casos las depre-

siones fueron rellenos de sedimentos de naturaleza arcillosa provenientes de montañas con cobertura de formaciones del cretácico superior (lutitas o calizas arcillosas). Al interpretar las condiciones de depósito en estas depresiones se observa una gradación de la granulometría con sedimentos gruesos en la periferia de la cuenca (piedemontes) y materiales finos en la parte central con condiciones de baja permeabilidad y formación de cuerpos de agua superficial sujeta a una evaporación intensa. Cuando existen materiales gruesos en la llanura, ellos están empacados en materiales finos; por estas condiciones los acuíferos resultan pobres y de mala calidad. En estas zonas pueden presentar atractivo las zonas que limitan los rellenos de cuenca o sean las rocas calcáreas, cuyas condiciones geohidrológicas están regidas por la estructura geológica, ya que paquetes de rocas calizas limitadas por sedimentos arcillosos, pueden llegar a presentar condiciones de confinamiento. El estudio de las calizas por sí solas constituye el análisis de demasiados factores y parámetros que es necesario integrarlos, para formar un modelo de tipo calcáreo que puede ser de mucho interés, ya que tienen una distribución grande en el noreste y sureste del país.

Zonas de llanura costera.- Otro conjunto de características similares, que pueden llegar a formar un modelo conceptual, se presenta en las zonas costeras donde sedimentos de tipo continental están intercalados con sedimentos marinos y asociados también a desembocaduras de corrientes fluviales antiguos o modernos. Los límites laterales pueden ser de diferente naturaleza pero todos, en común, presentan una zona de interface, que por la estructura complicada de los sedimentos puede tener diferentes configuraciones. Lo mismo se puede decir de las condiciones de los acuíferos en la que la mayoría de las veces son del tipo semi confinados. Al analizar este modelo es necesario tener presente la mecánica de la sedimentación por efecto de las corrientes fluviales y por las variaciones en las condiciones ambientales en las costas ocasionada por las fluctuaciones del nivel del mar ocurrida principalmente en el Pleistoceno.

En estas notas se ha hablado de los modelos, basados con factores geológicos, que comunmente se pueden interpretar en el estudio del agua subterránea; sin embargo hay que considerar que cada región o cuenca tiene sus características particulares y que cuando se analicen los cambios que se deben a factores de tipo climatológico, que es el otro factor mencionado al principio, se estará en condiciones de llegar a conclusiones más firmes respecto a la presencia del agua en el subsuelo. Por último hay que considerar que los factores geológicos y climáticos no son suficientes en el estudio del agua subterránea, y que es necesario introducir el tiempo para integrar efectivamente un modelo geohidrológico.

Finalmente para concluir, sólo es necesario reiterar que el estudio del agua subterránea, requiere de la participación interdisciplinaria y de la aplicación de varias tecnologías, entre las que se encuentra la interpretación de fotografías aéreas, de mucha utilidad para la determinación de los factores geológicos, que ayuden a establecer un modelo conceptual geohidrológico.

BIBLIOGRAFIA

- Las Doce Principales Reglas de la Interpretación Fotogeológica y las Bases Fundamentales de que se derivan.
Felipe Guerra Peña. 1961
- Geomorphology. Von Engeln.
- Photografie Aeriene Panorama Intertechnique. Redacteur Pilote. R. Chevallier. Paris. 1965
- Introducción a la Fotogrametría. Curso Especial de ---- Fotogeología. C.I.A.F. Bogotá, Colombia. 1968
- Manual of Photographic Interpretation. The American Society of Photogrametry. 1960
- Notas del Seminario sobre -- Desarrollo y Manejo de Recursos Hídricos Subterráneos. Buenos Aires, Argentina. 1971
- Clasificación de los Materiales Pétreos y Suelos. Secretaría de Obras Públicas. 1968
- Prospección Fotogeohidrológica en las Zonas Áridas de -- México. Robisel Chiñas Laló
- Memoria Técnica del 1er. Congreso Nacional de Fotogrametría, Interpretación y Geodesia. 1971
- Metodología para determinar la cuantía de los recursos de Agua Subterránea en una Región dada. Ing. Ignacio Sainz Ortíz
Ing. Ruben Chávez Guillén
Memoria de la Primera reunión Nacional del Grupo de Perforación de Pozos.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

G E O F I S I C A

ING. RAYMOND VIGNAUD COMBAS

ABRIL, 1985

México, D. F., a 28 de Mayo de 1982.

Centro de Educación Continua, UNAM.
Palacio de Minería
México, I. D. F.

CURSO DE PERFORACION DE POZOS PARA AGUA.

Métodos Indirectos (Geofísica)

Tema: Resistividad Eléctrica.

Ing. Raymond Vignaud Combas
Investigaciones Técnicas del Subsuelo, S. A.

Introducción:

Si se emplea la palabra Geotécnica en su terminología técnica, la exploración geotécnica se limita a los problemas de Ingeniería Civil, quienes son, en su mayoría, problemas de cimentación. La concepción y el precio de una obra dependen muchas veces de la forma y de la naturaleza de los terrenos que constituyen el subsuelo.

El conocimiento de los terrenos de apoyo tiene una gran importancia en la concepción de los proyectos. La economía máxima para una seguridad fijada no puede ser alcanzada, si los datos "base" no son bastante seguros. Un conocimiento imperfecto del subsuelo trae como consecuencia un encarecimiento generalmente muy alto de los costos de la obra - - proyectada.

Dentro del contexto de las herramientas disponibles para la investigación del subsuelo con fines a obtener datos para un proyecto, se encuentra la geofísica (o métodos indirectos).

Aunque no cabe lugar aquí para hacer una exposición de los diferentes métodos geofísicos aplicables, no es inútil recordar lo que se entiende por prospección geofísica y cuales son los métodos más empleados.

Se entiende por prospección geofísica la realización de uno o varios estudios que agrupan un conjunto de medios de investigación del subsuelo, orientado hacia el estudio de las propiedades físicas del material. El número de propiedades físicas utilizables es bastante elevado y cada una de ellas puede ser explorada de varias maneras, así vemos que la cantidad de métodos de prospección geofísica es muy grande; no obstante, ellas se reducen a un tipo uniforme de exploración que consiste en obtener, a partir de la superficie, los valores de las variaciones de las magnitudes que existen, en forma natural o artificial, en el subsuelo. Este valor puede ser fijo o transitorio.

Los métodos más conocidos son:

- la gravimetría: que consiste en medir el valor del potencial de gravedad.
- los métodos magnéticos: que consiste en medir el valor del campo magnético terrestre.
- los métodos eléctricos: que se basan en el estudio de la corriente eléctrica existente naturalmente en el suelo (polarización espontánea, corrientes telúricas, etc.).
- los métodos eléctricos: llamados "de resistividad", en razón del parámetro físico que interviene en las mediciones.
- los métodos sísmicos: que consisten en el exámen de la propagación de una onda elástica en el subsuelo.
- Se puede todavía emplear mediciones de temperaturas, de radiación, etc.

La finalidad de la prospección geofísica consiste en determinar las características del subsuelo a partir de mediciones efectuadas en la superficie.

Por el hecho de que todos estos métodos consisten en explorar un campo natural o artificial, el resultado obtenido será un resultado global y no puntual. Además, la calidad del resultado obtenido, por cualquier método, será función de la diferenciación existente entre el valor de cada estrato y el que lo subyace.

Por otra parte, hace falta agregar que, respecto a los aparatos de medición, la agudeza de los instrumentos y la distancia más o menos grande a la que ellos pierden prácticamente la sensibilidad, existe un cierto número de métodos que no puede ser empleado por necesitar un campo a gran escala. Generalmente las necesidades de los trabajos de geotecnia alcanzan áreas en donde tanto la superficie como la profundidad son pequeñas.

Es bueno mencionar que, por ser obtenidas a partir de la superficie, las mediciones se interpretarán más fácilmente, si el relieve topográfico es más regular.

En geotecnia, los únicos métodos que prácticamente se emplean, en la actualidad, son los métodos de resistividad y sísmicos, por ser -- aquellos los que necesitan poca área y facilidad de manejo como de interpretación. A continuación se expone el método de resistividad eléctrica.

Método de Resistividades :

En este método, tal como se había mencionado anteriormente, el parámetro que define las características de los diferentes estratos del subsuelo es la resistividad eléctrica específica.

Lo que se busca es la determinación de la repartición de las resistividades en función de la profundidad. El problema es teóricamente accesible por medio del estudio de las potenciales de superficie, a partir de una circulación de corriente determinada en el subsuelo; veamos el

problema.

Suponemos que se inyecta una corriente I en un punto A del medio a investigar (medio homogéneo, isótropo y de resistividad ρ). Las superficies equipotenciales son naturalmente unas esferas centradas en A (ver fig. 1) y la ley de ohm entre las esferas de radio a y da permite escribir:

$$-dv = \rho I \cdot \frac{da}{4\pi a^2} \quad \text{y} \quad V = \frac{\rho I}{4\pi a}$$

Como realmente se trata de una semiesfera, tenemos:

$$V = \frac{\rho I}{2\pi a} \quad \text{o} \quad \rho = 2\pi a \cdot \frac{V}{I} \quad (1)$$

Podemos así medir la resistividad conociendo la tensión y la corriente. Pero no es de gran utilidad conocer el valor puntual de la resistividad, por ser prácticamente imposible conocer el valor real de la tensión en un punto dado. Lo que se hace es medir una diferencia de potencial - entre dos puntos y en la práctica se emplea el esquema de las figuras 2 y 3.

Dos electrodos A y B ligados a un generador, inyectan una corriente I en el suelo y dos electrodos M y N , situados en línea con los primeros son unidos a un voltímetro dando la diferencia de potencial - que existe entre dos puntos.

Podemos considerar el campo eléctrico como la superposición de dos campos esféricos: el primero positivo, centrado en A , y el segundo negativo, centrado en B . Como estamos en un plano de simetría, las magnitudes se suman algebraicamente y la aplicación de la fórmula (1) da:

$$\text{Potencial en } M: \quad V_m = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right)$$

$$\text{Potencial en } N: \quad V_n = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right)$$

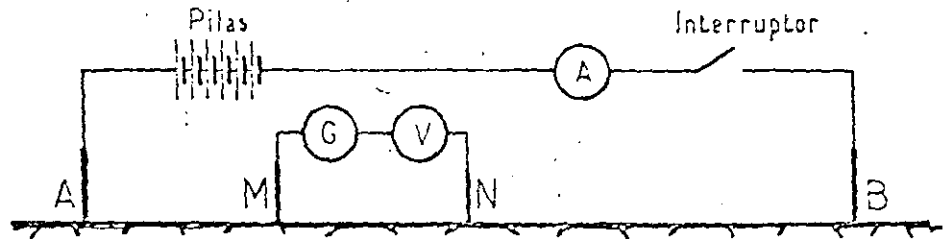


FIG. 3 ESQUEMA DE PRINCIPIO

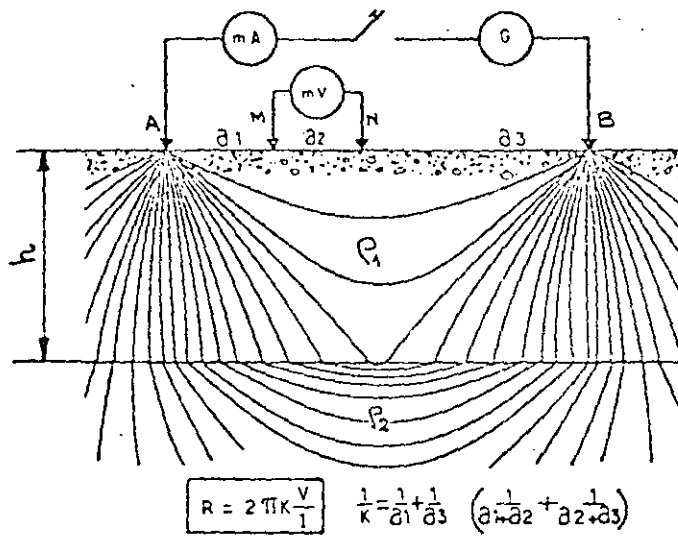


FIG. 2 : REPARTICION DE LAS LINEAS DE CORRIENTE

$$R = 2\pi k \frac{V}{I} \quad \frac{1}{k} = \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_3} \left(\frac{1}{a_1 a_2} + \frac{1}{a_2 a_3} \right)$$

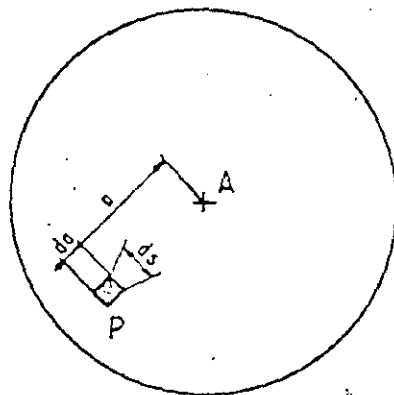


FIG. 1 : $-dv = \rho \frac{I}{A \pi a^2}$

Diferencia de potencial medida :

$$V = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{AN - AM}{AM \cdot AN} + \frac{BN - BM}{BM \cdot BN} \right) = \frac{\rho I}{2\pi} \cdot MN \left(\frac{1}{AM \cdot AN} + \frac{1}{BM \cdot BN} \right)$$

Prácticamente se emplea siempre una repartición de electrodos simétrica en relación al medio de AB, y si llamamos $2a$ la longitud MN y $2d$ la longitud AB, tenemos la fórmula siguiente :

$$V = \frac{2\rho I}{\pi} \left(\frac{a}{d^2 - a^2} \right)$$

si conocemos la tensión V , la corriente I y las distancias a y d , podemos determinar la resistividad por la fórmula :

$$\rho = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{V}{I} \cdot \frac{d^2 - a^2}{a} \quad (2)$$

En esta fórmula (2) si se mide V en milivoltios, I en miliamperios, d y a en metros, tenemos la resistividad en ohmios metro cuadrado por metro ($\Omega m^2/m$), unidad usualmente empleada en geofísica, en la actualidad.

La fórmula (2), aunque establecida a partir de una hipótesis particular, es muy importante. En efecto, intuitivamente que cuanto más se parados se encuentran los electrodos A y B, más profundamente penetran en el suelo las líneas de corriente ; por consiguiente, en el caso de terrenos no homogéneos, la resistividad calculada a partir de la fórmula (2) tendrá una variación función de la relación entre el espaciamiento de los electrodos A, B y la profundidad. Es evidente que la aplicación de la fórmula (2) no nos daría la resistividad real de un estrato pero más bien un valor intermedio entre las resistividades de todos los terrenos atravezados por la corriente.

Se da el nombre de resistividad aparente al resultado del cálculo para diferenciarla del valor que sería obtenido "in situ". Esta resistividad aparente ρ_a tiene interés si está asociada a su magnitud geométrica, es

decir, a la distancia AB.

Estos principios anteriores van a permitir el entender de cómo se realiza un sondeo resistivo y cómo se puede interpretarlo.

Suponemos un terreno homogéneo horizontal de espesor h y de resistividad ρ_1 , sobreyaciendo a un terreno de resistividad ρ_2 y de espesor infinito (fig. No. 2). Vamos a calcular la resistividad aparente a partir de distancias crecientes entre los electrodos AB.

Al principio, únicamente el terreno superior será prácticamente interesado por las líneas de corriente y la resistividad aparente ρ_a será prácticamente igual a ρ_1 . Poco a poco las líneas de corriente serán influenciadas por el terreno profundo y prácticamente ρ_a empezará a diferenciarse de ρ_1 . Cuando la distancia AB será muy grande en comparación de h , la resistividad ρ_a variará asintóticamente hacia ρ_2 . Generalmente, para poder determinar una profundidad h , hace falta tener una relación variable de 5 a 20 entre la profundidad real y la distancia AB, en esto interviene también la relación entre ρ_1 y ρ_2 .

El caso de dos terrenos es accesible para cálculo, se puede, con un cierto número de mediciones, determinar ρ_1 , ρ_2 y h . Siendo el cálculo generalmente penoso, se recurre al artificio de emplear ábacos.

En un diagrama logarítmico sin dimensión, se traza la familia de curvas calculadas de ρ_a / ρ_1 en función de $h/2d$ para diferentes valores de ρ_2 / ρ_1 . Basta reportar sobre este diagrama la curva obtenida a partir de las mediciones de campo para tener, por extrapolación, ρ_2 y h ; teniendo en cuenta que el valor de ρ_1 es obtenido a partir de las mediciones iniciales.

Para facilitar el trabajo de interpretación se puede utilizar una serie de diagramas establecidos para diferentes resistividades.

Cuando el terreno está compuesto por varias capas horizontales, la interpretación se pone mucho más compleja. Evidentemente se puede emplear el artificio anterior (del ábaco) teniendo en cuenta, por ejemplo, que en el caso de tres capas, el número de parámetros variables es de 5

(tres resistividades y dos espesores) mientras que en el caso de 2 capas - este número es de 3 (dos resistividades y un espesor).

En el caso de tres capas, se obtiene un resultado conveniente -- cuando la segunda capa tiene un espesor suficientemente grande en relación a la primera y que su resistividad sea bastante distinta.

El problema se complica todavía más cuando existe una variación continua de resistividad en la misma capa, cuando las capas no son horizontales pero oblicuas y cuando el subsuelo no es isótropo (los esquistos por ejemplo), ver figs : 4 a 9.

La técnica de campo varía un poco según los aparatos empleados : la corriente enviada puede ser directa, directa alternada o alternativa a muy baja frecuencia. Para las investigaciones geofísicas destinadas a la Geotecnía, en donde las líneas de envío de corriente no pasan de 800 a 1000 m, no hace falta tener un generador muy potente, las intensidades alcanzadas son del orden de unos cuantos décimos de amperios a lo máximo.

Para los electrodos de envío de corriente (A y B) no hace falta tener un cuidado especial, sólomente intentar tener el mejor contacto posible con el suelo, para disminuir las resistencias de contacto. Para los electrodos de tensión (M y N) se puede emplear electrodos impolarizables o bien un metal buen conductor (tipo laton, cobre o acero inoxidable, etc...) con el fin de no introducir deformaciones del campo eléctrico en el momento de las lecturas. En el caso de trabajo con corriente directa, existe la necesidad de una corrección de la polarización natural del terreno.

En fin, los electrodos de tensión (M - N) pueden ser fijos (medición tipo Schlumberger) o móviles (medición tipo Wenner).

Existen otros medios de investigación basados en la resistividad - diferentes del sondeo eléctrico propiamente dicho; los principales son el "trainé" o calicata, el Racom - Lee y el registro eléctrico.

La calicata consiste en desplazar el conjunto tetrapolar AMNB - paralelamente ael mismo, guardando los espaciamientos fijos. Al contrario

del método resistivo que acabamos de analizar, que da la exploración en profundidad en un punto fijo de la superficie (por eso se llama sondeo eléctrico), la calicata es una exploración a profundidad constante. No se puede a partir de una calicata, deducir las profundidades de las capas; pero, se puede, por medio de este procedimiento, poner en evidencia las discontinuidades subverticales de los terrenos del subsuelo. Por ejemplo, si tenemos que determinar la línea de contacto entre dos terrenos verticales enmascarados por aluviones, realizaremos varios perfiles de calicatas: - con los resultados obtenidos podemos dibujar el mapa de las resistividades aparentes para una distancia constante entre los electrodos de corriente; no se podrá deducir gran cosa de las variaciones graduales de resistividad, pero se podrá generalmente definir con cierta exactitud los puntos de transición que se marcaron para la variación rápida de la resistividad aparente.

El Racom - Lee (o caída de potencial) es un método de exploración en donde los electrodos de corriente son fijos y los electrodos de tensión (en cantidad de tres) son móviles. Se emplea, desde el principio de la investigación, una distancia grande entre los electrodos de corriente y se realizan las mediciones a partir de una de ellas, considerando la otra al infinito.

Se supone que los tres electrodos de tensión están alineados con la emisión de corriente y se mide las tensiones entre el electrodo central y los dos extremos. Es fácil de darse cuenta que si el terreno es homogéneo, la proporción entre estas dos tensiones es constante cuando las distancias entre electrodos de tensión y el electrodo de corriente varían proporcionalmente.

Se puede, cuando el terreno no es homogéneo, trazar los diagramas dando la relación entre las tensiones medidas y la longitud (espaciamiento entre electrodo de corriente y electrodo central de tensión por ejemplo).

Este método es muy valioso, sobre todo, para definir contactos subverticales, porque tenemos mediciones mucho más finas y contrastadas que en el caso de una calicata: las variaciones de la relación de ---

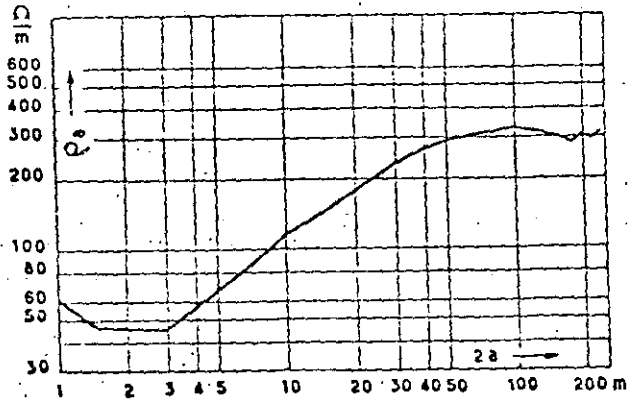


FIG. 4 : CASO $\rho_2 > \rho_1$

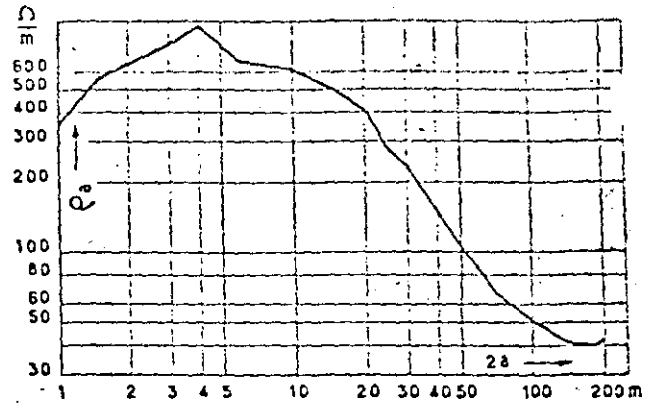


FIG. 5 CASO $\rho_2 < \rho_1$

MEDICION DE RESISTIVIDADES (dos capas)

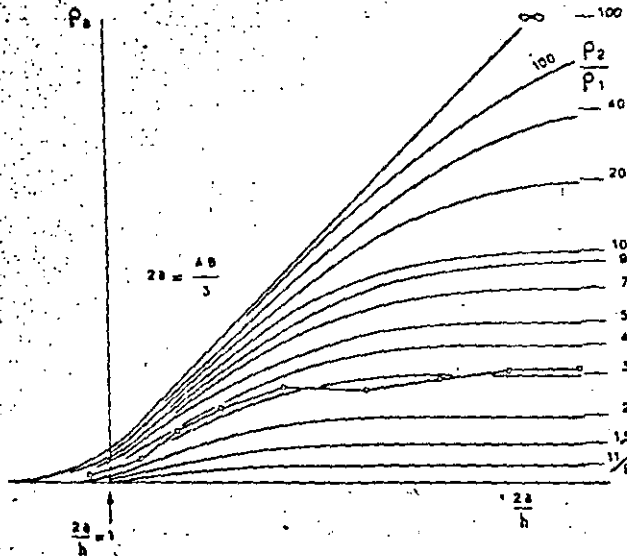


FIG. 6 : SUPERPOSICION DE LA CURVA DE CAMPO CON EL ABACO (dos capas)

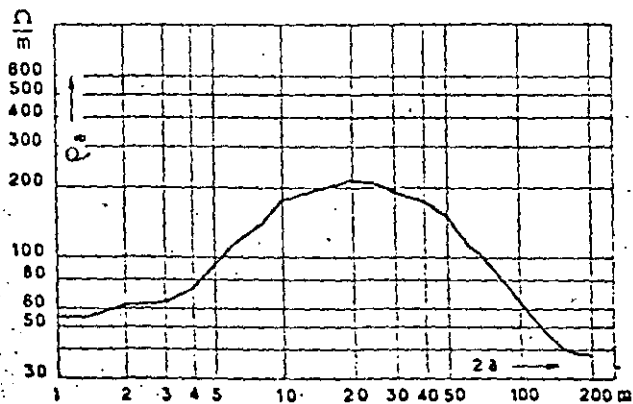


FIG. 7 : MEDICION DE RESISTIVIDADES (tres capas)

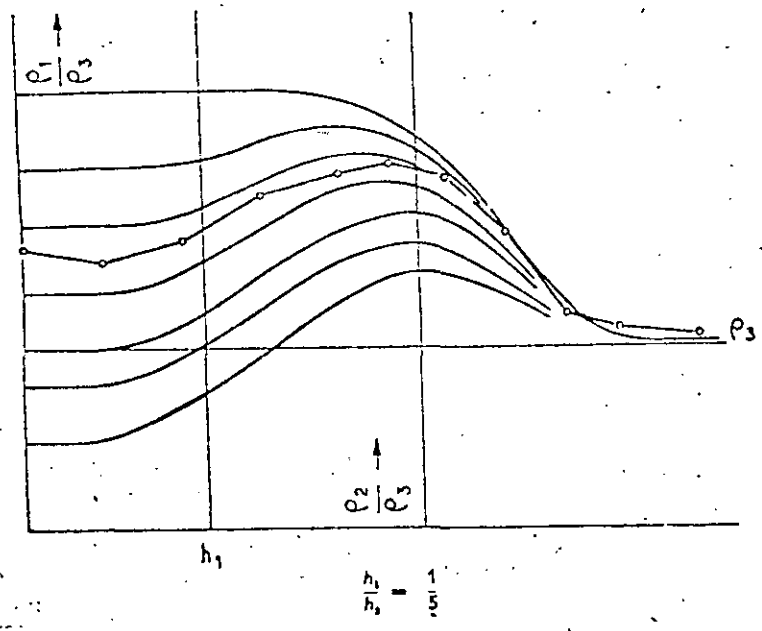
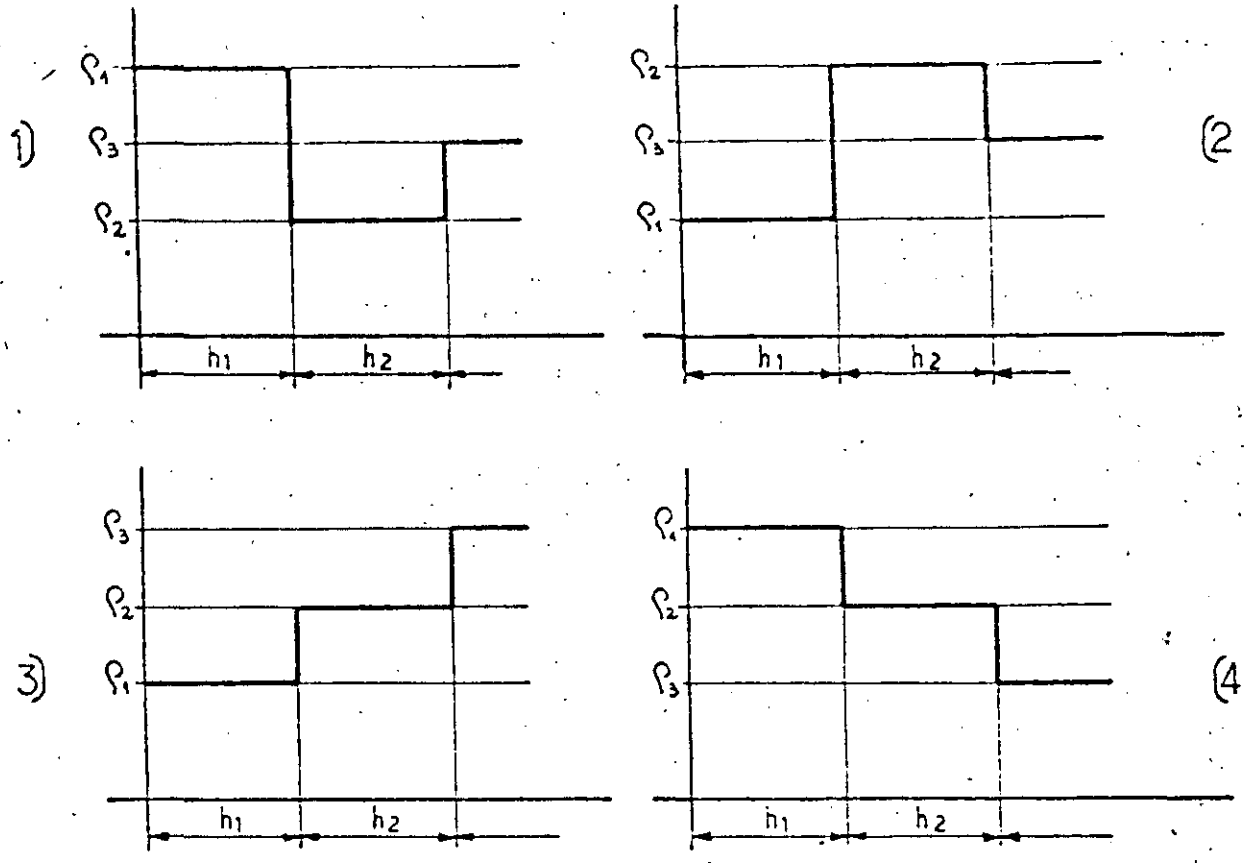


FIG. 8 : SUPERPOSICION DE LA CURVA DE CAMPO CON EL ABACO (tres capas)

CASO DE 3 CAPAS



- 1) Tipo H: $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$
- 2) Tipo K: $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$
- 3) Tipo A: $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$
- 4) Tipo Q: $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$

FIG. 9 : DIFERENTES CASOS DE RESISTIVIDADES QUE SE PUEDEN PRESENTAR PARA TRES CAPAS

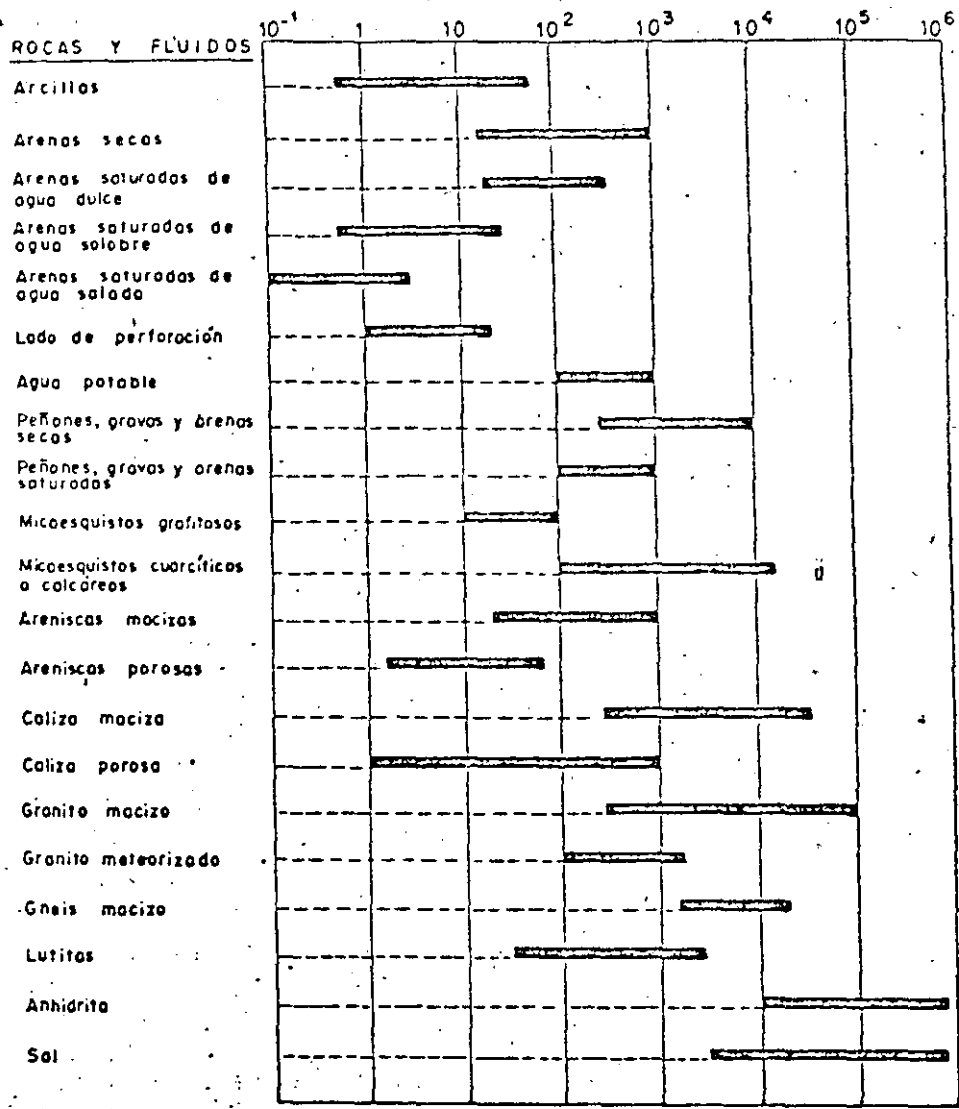
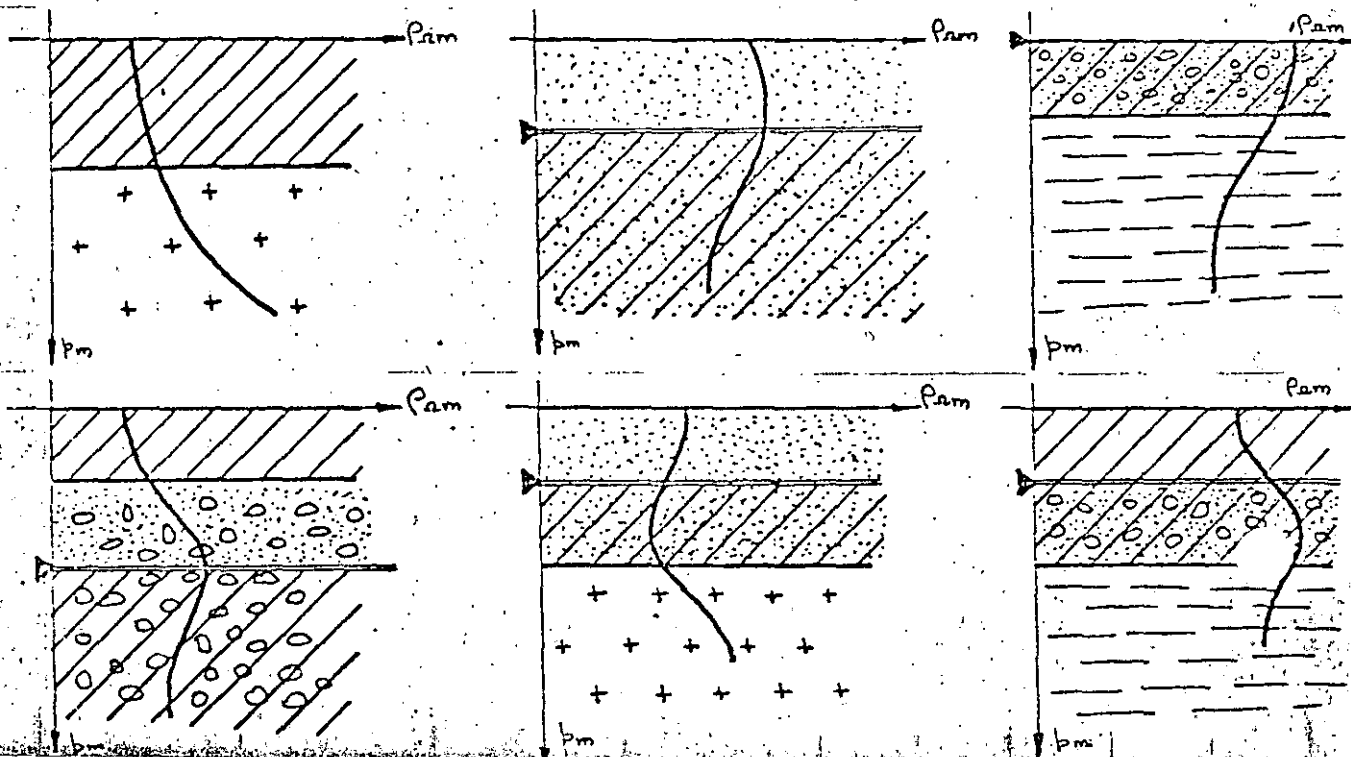


FIG. 10:



tensiones son mucho más rápidas en las proximidades de un contacto vertical que las de las resistividades aparentes de una calicata.

Se puede emplear variantes del Racom para definir la dirección de un buzamiento en relación a la superficie. Esta dirección puede ser obtenida haciendo mediciones de resistividad en tres direcciones alrededor de un punto. Se dibuja la elipse de resistividad en la cual uno de los ejes corresponde a la dirección del buzamiento.

El registro eléctrico consiste en la medición de resistividades a distintas profundidades de una perforación (sin entubados). Los dispositivos de medición son muy variados: este método permite verificar los resultados de un sondeo, o bien permitir la calibración de una prospección geofísica cuando no se tienen afloramientos cercanos, o bien cuando se quiere verificar la calibración, con más precisión, de la medición realizada en aflojamiento (diferencia de humedad o de alteración posible entre la roca en aflojamiento y la subyacente.)

A título informativo, la tabla de la fig. 10 indica el orden de variación de la resistividad de diferentes materiales. La figura 11 da una idea sobre las formas de las curvas de resistividad en función de diferentes materiales, teniendo en cuenta el nivel freático.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

REGISTROS ELECTRICOS

ING. LUIS LARA TRUJILLO

ABRIL, 1985.

Introducción.- Los registros de pozos representan en la actualidad el método seguro y conveniente para la obtención de datos de subsuelo, al efectuarse la perforación de pozos que tienen como objetivo la localización de hidrocarburos, agua ó minerales. En general puede decirse que de acuerdo con la cantidad de información requerida así como su confiabilidad y costo, existen en la tecnología de registros varios tipos de métodos y herramientas, siendo en algunos casos necesario utilizar computadoras no solamente por la rapidez de obtención de resultados sino por lo complejo y/o rutinario de los procedimientos de cálculo.

Las características ó propiedades físicas de las rocas, son de importancia básica para los distintos tipos de registros que existen: cuándo están parcial ó totalmente saturadas de agua, se aprovechan sus propiedades eléctricas; sus propiedades radioactivas ya sea en forma natural ó inducida por bombardeo de neutrones; sus propiedades de propagación de ondas acústicas; y su densidad y conductividad termal.

Atendiendo a razones de costo, los programas de registros en pozos de agua, se configuran sobre la base de un registro eléctrico y en ocasiones la curva de rayos gamma. La información obtenida a partir de éstos registros es complementada por el conocimiento geológico del área, muestras litológicas, observaciones sobre la perforación y cierta experiencia.

Con el objeto de lograr el aprovechamiento adecuado de los registros tomados en la perforación de pozos de agua, se describirán los métodos comunes, sus principios e interpretación de resultados.

Registro eléctrico. - Para nuestros propósitos, puede considerarse que un registro eléctrico es la gráfica de ciertas propiedades eléctricas de las rocas atravesadas por un pozo. Tales propiedades son medidas por dos ó más configuraciones de electrodos, los cuales son bajados dentro del pozo por medio de cables eléctricos. Generalmente el registro eléctrico presenta dos gráficas diferentes: en la parte izquierda aparece el potencial espontáneo

también llamado SP, mientras que las mediciones registradas de la resistividad están en la porción derecha. Tanto el potencial natural como las resistividades, son registradas simultáneamente en una sola "corrida" ó viaje del instrumento.

Las mediciones de los parámetros mencionados, solo pueden efectuarse en los pozos que no tienen ademe ó tubería de revegetamiento y que estén llenos de un fluido conductor.

El procedimiento para obtener el registro eléctrico consiste en bajar un sistema de electrodos sobre un cable multiconductor aislado, hasta el fondo del pozo y al subirlo a la superficie ir registrando de acuerdo a la profundidad, las lecturas correspondientes a los parámetros medidos, sobre un papel con las escalas convenientes.

Potencial espontáneo.- La curva del potencial espontáneo, es el registro de los potenciales naturales que se generan en el pozo, siendo la representación de las diferencias de potencial que existe entre un electrodo colocado en la superficie y otro que se introduce al pozo.

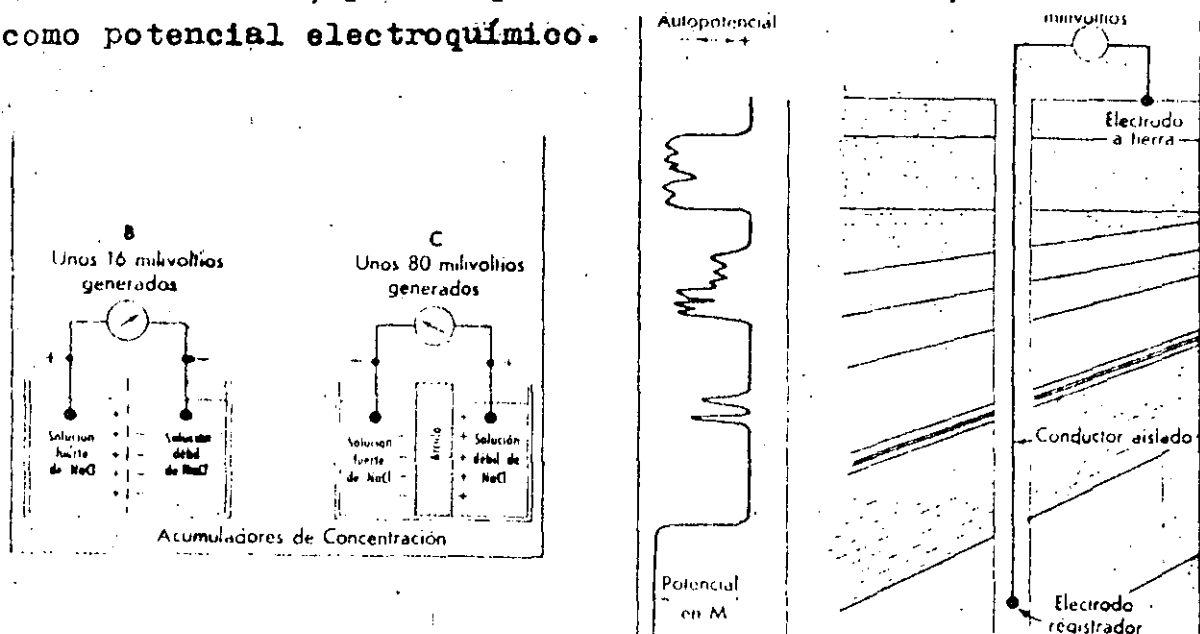
El potencial espontáneo es obtenido simultáneamente a otros registros. Las variaciones de la curva reflejan las diferencias de potencial entre puntos dentro del agujero frente a rocas porosas y puntos frente a cuerpos arcillosos. Cuando las rocas atravesadas están constituidas por capas de arcilla ó lutita, se observa que tienen aproximadamente el mismo potencial, lo cual provoca que en la curva del potencial espontáneo aparezca casi una línea recta vertical, llamada "línea base de lutitas". A partir de ésta línea base se miden las deflexiones de la curva ocasionadas por las otras rocas.

Generalmente la curva del potencial espontáneo permite obtener la siguiente información:

- 1.- El límite de capas y su espesor efectivo.
- 2.- Determinar en forma aproximada la resistividad -- (ó bien la salinidad) del agua contenida en la roca.
- 3.- Correlación de capas.

Experimentalmente se ha logrado demostrar que las principales fuentes de potencial que originan la curva del SP, son las siguientes: Potencial de difusión ó efecto de la pila de con-

centración, potencial de membrana ó de Nerst y el potencial de electrofiltración ó de corriente. Los dos primeros son resultados de fenómenos electroquímicos y responsables principales de la curva del SP, por lo que sumando sus efectos, se les conoce como potencial electroquímico.



Los fenómenos electroquímicos que producen la mayor parte del potencial natural, se puede explicar por su analogía con las llamadas pilas de concentración. Estas se forman al contacto de dos soluciones salinas de diferente concentración: los iones

Na^+ y Cl^- pueden pasar de una solución a otra. Como los iones de Cl^- tienen mayor movilidad que los iones de Na^+ resulta un flujo de cargas negativas de la solución más concentrada a la menos concentrada. Esto equivale a un flujo de corriente convencional en la dirección opuesta. El fenómeno se reproduce en un pozo en el límite de la zona invadida por el filtrado del lodo de perforación que ha penetrado a la formación y el agua que contiene ésta, produciendo el potencial de concentración.

Cuándo una arcilla separa soluciones de NaCl de diferente concentración, los cationes Na^+ se desplazan a través de la arcilla (las arcillas son permeables a los cationes Na^+ e impermeables a los aniones Cl^-), desde la solución más concentrada hacia la menos concentrada. Esta situación se presenta en los pozos cuando se encuentra una formación permeable entre dos cuerpos de arcilla, siendo las soluciones el filtrado del lodo de perforación y el agua intersticial.

El movimiento de iones de Na^+ a través de la arcilla, desarrolla el potencial de membrana.

Tanto el contacto de las dos soluciones representadas por el filtrado del lodo de perforación y el agua contenida en la roca permeable, como la relación de las mismas a través de la arcilla producen la fuerza electromotriz electroquímica total, - que está representada por la siguiente ecuación:

$$E_c = -K \log \frac{a_w}{a_{mf}} \quad (1)$$

en donde:

E_c = fuerza electromotriz electroquímica.

a_w = actividad química del agua intersticial.

a_{mf} = actividad química del filtrado del lodo.

K = coeficiente proporcional a la temperatura absoluta. Para soluciones de NaCl es igual a 71 á 25°C.

Para soluciones de NaCl no demasiado concentradas, las resistividades son inversamente proporcionales a las actividades químicas, por lo que la ecuación anterior se puede escribir:

$$SP = -K \log \frac{R_{mf}}{R_w} \quad (2)$$

en donde:

SP = potencial espontáneo obtenido del registro.

R_{mf} = resistividad del filtrado del lodo.

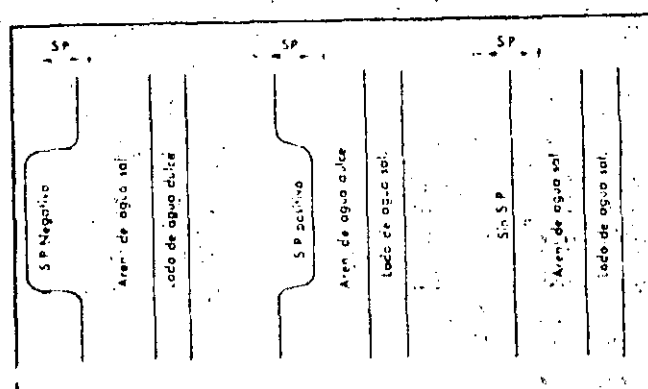
R_w = resistividad del agua intersticial.

K = coeficiente proporcional a la temperatura abs.

Por lo anterior, en algunos casos es factible obtener un valor estimado de R_w (ó la salinidad del agua de formación), aunque teniendo en mente siempre que la fórmula (2) es una aproximación permisible cuando el contraste de salinidades entre el agua de formación y del filtrado del lodo es grande y la formación no contiene arcilla que pudiera reducir la amplitud del SP . En pozos de agua, donde el interés reside en la obtención de la salinidad de aguas útiles, ésta posibilidad se ve muy restringida, por lo que generalmente el uso de la curva del potencial espontáneo, es de tipo cualitativo.

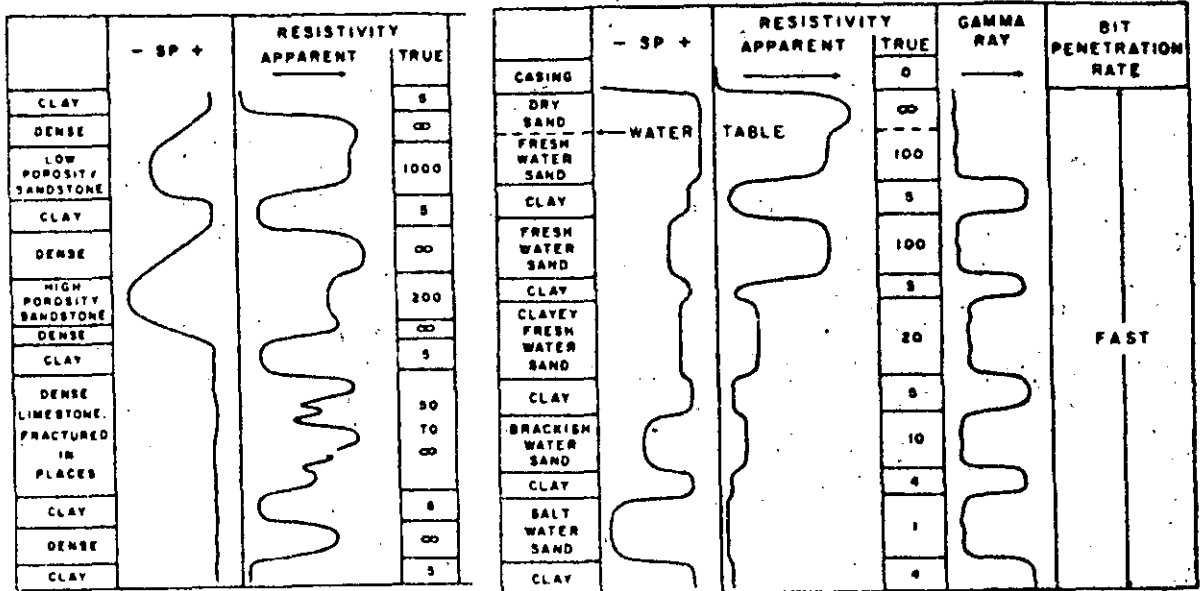
Tomando como referencia, la línea base de lutitas, el potencial espontáneo que es medido en milivolts, puede ser negativo si su deflexión es a la izquierda, positivo si la deflexión es a la derecha de la misma referencia ó bien nó dar ningún valor relativo.

De acuerdo al principio electroquímico que genera los potenciales dentro del pozo, se puede considerar como una regla: si la curva del potencial es negativa, el agua contenida en la roca es más salada que la del lodo de perforación; en cambio si es positiva, el agua intersticial es más dulce que la del lodo y si nó tiene expresión en uno ú otro sentido, el agua intersticial es muy semejante a la del lodo de perforación.



En la práctica, la medición del SP se obtiene mediante un circuito potenciométrico, que es conectado entre un electrodo móvil (M) y un electrodo fijo en la superficie (N). El medidor (R), registra las deflexiones del potencial por medio de un galvanómetro que responde a las variaciones de las corrientes que fluyen a través del circuito.

Existen algunos modelos teóricos de las curvas de potencial, aunque pueden existir diferencias notables con respecto a las curvas reales, siendo las principales las siguientes:



a.- Comúnmente la línea base de lutitas es recta y vertical, pero en algunos pozos y a profundidades someras, se desvía ya sea en forma total ó en los intervalos arcillosos y generalmente hacia la izquierda conforme decrece la profundidad.

b.- Cambio brusco en la línea base de lutitas, frecuentemente observado cuando hay un fuerte cambio en la salinidad de las aguas de formación.

c.- Inestabilidad en la curva del SP, principalmente en la parte superior de los agujeros en donde hay un movimiento apreciable de agua, como en los pozos artesianos, en donde la señal cambia constantemente, aún si el electrodo de registro se conserva estacionario. La inestabilidad desaparece abajo de la zona de agua en movimiento.

d.- Cambios de polaridad en la curva del potencial espontáneo en acuíferos de algunos pozos, aún teniendo sus aguas salinidades del mismo orden. Estos cambios son generalmente debidos a variaciones en el tipo de iones ó a las cantidades de algunos de esos iones.

Efecto de la porosidad: Aunque el potencial electroquímico no es influenciado por la porosidad, la amplitud de la curva del SP es indirectamente afectada por los cambios de porosidad. Una disminución en la porosidad de la roca, incrementa su resistividad reduciendo la amplitud de la curva del SP.

En acuíferos de tipo granular, empaçados en formaciones arcillosas, la respuesta de la curva de potencial es clara y se puede considerar que: si las aguas en el acuífero son de mayor salinidad que el lodo de perforación, el SP es negativo y si las aguas son menos salinas que el lodo, el SP será positivo - con respecto a la línea base de lutitas.

Los acuíferos que se encuentran interestratificados con capas de arcilla y capas densas, tanto la forma como amplitud -- del potencial son diferentes de aquellos obtenidos en los acuíferos del caso anterior. La curva del potencial, generalmente se distorsiona y nó puede por sí sola ser interpretada.

Cuándo existen acuíferos asociados con rocas densas pero -- ausentes de capas arcillosas, el potencial electroquímico discutido anteriormente, prácticamente desaparece y, al no haber otra fuente de potencial, la curva del SP es aproximadamente -- una línea recta vertical.

Haciendo un resumen y mientras no se puedan aplicar las determinaciones cuantitativas de la curva del SP, es permisible -- utilizar cualitativamente el potencial espontáneo de acuerdo -- con las siguientes reglas generales:

1.- Los acuíferos que presentan un SP positivo bien definido ó estable, casi invariablemente contienen agua de menor salinidad que la contenida en el fluido de perforación.

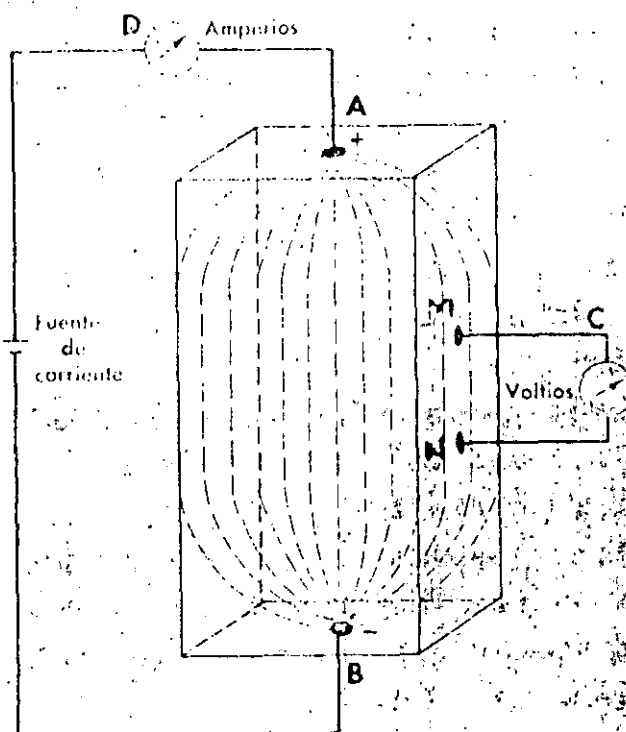
2.- En los intervalos en donde la amplitud del SP frente a los acuíferos potentes, permanece constante con respecto a la profundidad, todas las aguas de formación tienen aproximadamente la misma salinidad.

3.- Si la curva del SP en los acuíferos penetrados por un agujero, se presenta cada vez más negativo con la profundidad, indica que la salinidad de los acuíferos se incrementa con la profundidad.

4.- Los acuíferos que presentan un franco y amplio SP negativo, generalmente contienen aguas que son mucho más saladas que en donde el SP tiene una baja amplitud ó es positivo.

5.- Los cambios erráticos en la polaridad del SP, provocan que la amplitud del SP sea pequeña, pudiendo o nó corresponder a cambios significativos en la salinidad del agua.

RESISTIVIDAD DE LAS ROCAS.- La forma más simple de determinar la resistividad en las rocas, es considerar una muestra y conectar en las partes superior e inferior, los polos de un generador eléctrico. La corriente fluye del punto A al punto B a través de la muestra, siendo mayor el potencial en el punto A y teniendo una pérdida ó caída de potencial en el punto B debido a la resistencia eléctrica que ofrece la roca. La resistencia que ocasiona una pérdida de potencial entre M y N es una característica de la roca que está siendo analizada. A mayor resistencia eléctrica de la roca, corresponderá una mayor pérdida de presión entre los puntos M y N.



Si se considera una cierta unidad de volumen de roca, la resistencia ofrecida se puede considerar como una resistencia específica, llamada resistividad, la cual será una propiedad de la roca, independiente de la forma y dimensiones de la misma, en función únicamente de la naturaleza y temperatura del material considerado. En la práctica el efecto de la temperatura no es demasiado grande y puede ser despreciado, por lo que la resistividad de un material, puede ser considerada como dependiente de la naturaleza del mencionado material únicamente. Por otra parte, la resistencia es una propiedad eléctrica que depende no solamente de la

naturaleza del material considerado, sino también de la forma y dimensión de éste, siendo distinta por lo tanto, de la resistividad. Las expresiones que nos definen tanto una como otra propiedad, son las siguientes:

$$r = \frac{V}{I}, \text{ para la resistencia y}$$

$$R = \frac{r A}{L} \text{ para la resistividad.}$$

en donde:

I = corriente

V = Voltaje

R = resistividad del medio

r = resistencia del conductor ó de medio.

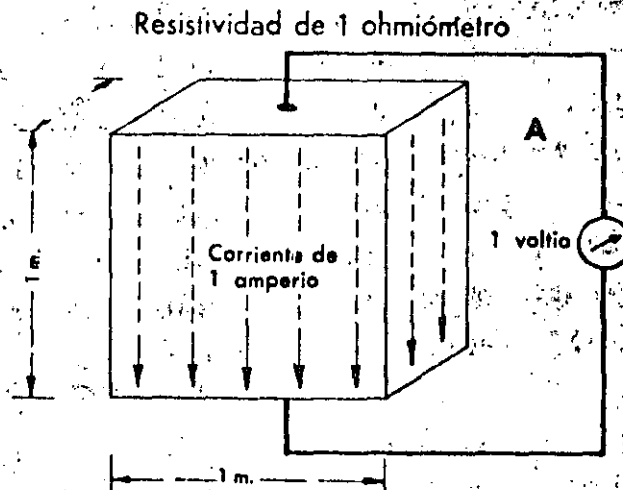
A = Area del conductor.

L = longitud del conductor.

Si la resistividad es la resistencia específica ó sea la resistencia por unidad de volumen, en las mediciones que se hacen de resistividad en los pozos, es común utilizar como unidad:

$\text{ohm} \times \frac{\text{metro}^2}{\text{metro}}$ ó simplemente ohm-metro.

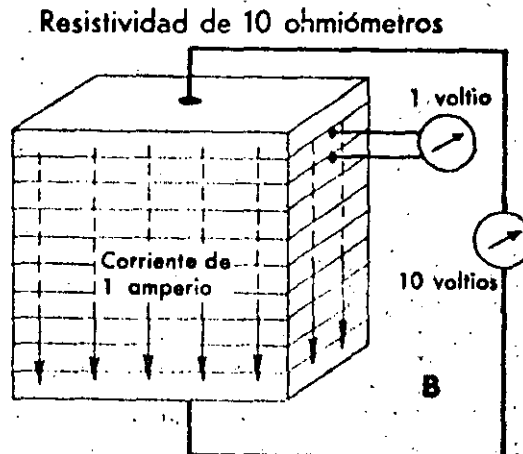
Para ilustrar el concepto, en la siguiente figura se tiene un cubo de un metro por lado de un determinado material,



Si la diferencia de potencial entre los extremos del cubo, es de un volt y la intensidad de corriente de un amperé, se tendrá representada la unidad de resistencia eléctrica: $\frac{1 \text{ volt}}{1 \text{ amperé}} = 1 \text{ ohm}$

y también la unidad de resistividad: $1 \text{ ohm} \times \text{m}^2/\text{m}$, utilizada en registros eléctricos.

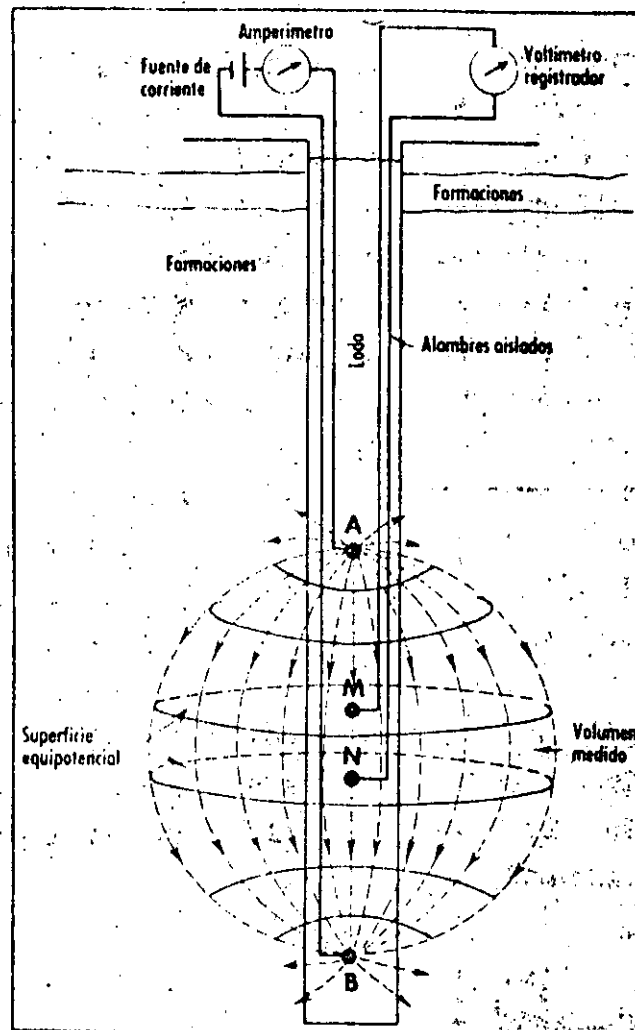
Si se tuviese el mismo volumen de roca y la misma corriente, pero una diferencia de potencial de 10 volts, la resistencia en tal caso será: $\frac{10 \text{ volts}}{1 \text{ ampere}} = 10 \text{ ohms}$ y la resistividad igual a: $10 \text{ ohms} \times \text{m}^2/\text{m}$, que puede expresarse más comúnmente como 10 ohms-metro.



MEDICION DE LA RESISTIVIDAD EN EL POZO.— Para efectuar la medición de la resistividad en pozos, se pueden utilizar los registros convencionales de resistividad, en los cuales se envían corrientes a la formación a través de unos electrodos y se miden los potenciales eléctricos entre otros. La medición de éstos potenciales permite determinar las resistividades.

Considerando una formación homogénea, isotrópica y de extensión infinita, en la cual se encuentran los electrodos A, B, M y N. Una corriente eléctrica es enviada entre los electrodos A y B, la cual fluirá en una trayectoria esférica dentro de la formación. Utilizando los electrodos M y N para medir el voltaje entre ellos, se puede investigar la resistencia entre las dos superficies equipotenciales que pasan por M y N.

En la práctica el medio que rodea a los dispositivos de medida no es homogéneo, por lo que la corriente fluirá desde el electrodo que se envía, en forma distorsionada.

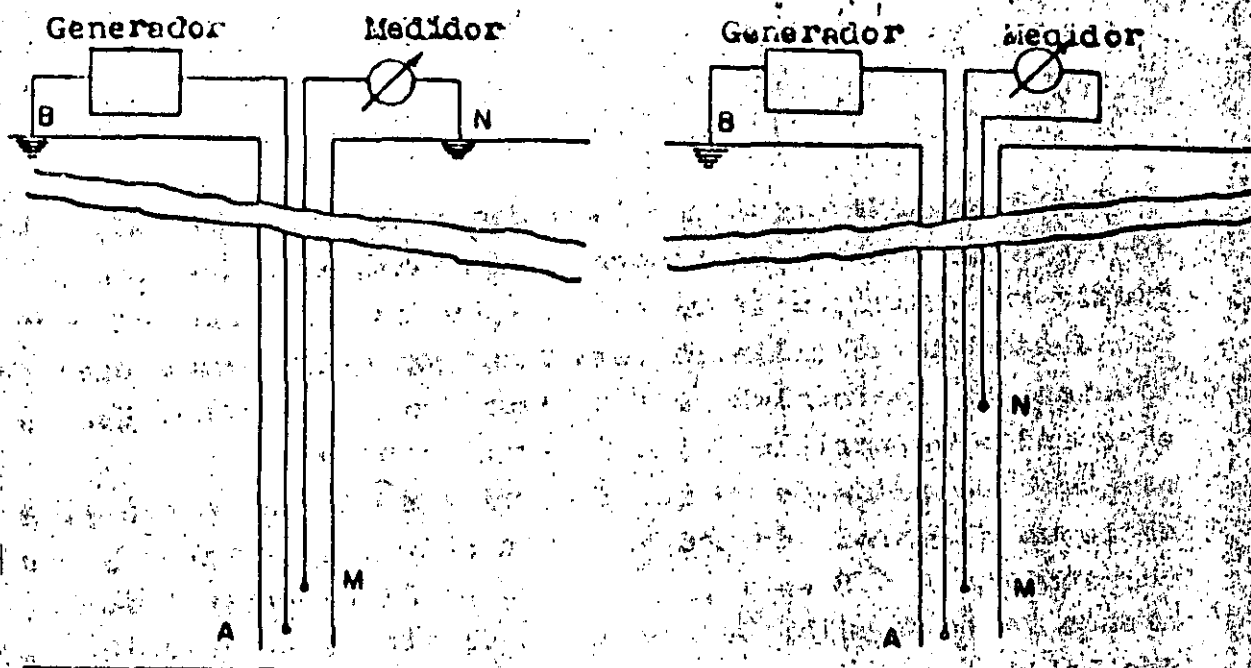


Los dispositivos usados para medir la resistividad, comúnmente llamados sondas, consisten fundamentalmente de un cable conductor múltiple que en el extremo que se introduce al pozo quedan dentro de un cilindro metálico, con orificios a ciertas distancias, en los cuales se localizan los electrodos. Con éstos electrodos es posible formar distintos arreglos ó configuraciones de electrodos de medida y corriente. La distancia existente entre un electrodo de medida (M ó N de las figuras) y uno de corriente (A ó B en las figuras), se llama espaciamento, teniendo la particularidad de que a distintos espaciamentos miden la resistividad de las rocas a diferentes distancias a partir del eje del pozo. Si por penetración de la sonda se define el radio al cual la caída de potencial es el cincuenta por

ciento de la caída total, se tiene que para algunos arreglos la penetración de investigación es el doble del espaciamento.

De acuerdo con el arreglo ó disposición de los electrodos de medida y de corriente, se construyen sondas que reciben nombres convencionales para su identificación por parte del analista y su diferenciación entre ellas.

SONDA NORMAL.- El dispositivo conocido con éste nombre, teóricamente lo integran un electrodo de corriente A y un electrodo de medida M dentro del pozo. Estos electrodos tienen una separación ó espaciamento pequeño en comparación con los otros electrodos B y N que cierran el circuito, que pueden quedar situados en la superficie. En la práctica el segundo electrodo de corriente B, también es bajado al pozo pero a una distancia tal del conjunto AM, que la influencia que pudiese tener en el potencial medido por M, en la mayoría de los casos es despreciable. El objeto de introducir también el electrodo B dentro del pozo, es el de utilizar el circuito para medir simultáneamente el potencial espontáneo. La figura siguiente ilustra tanto el circuito teórico como el arreglo real utilizado.



A). CIRCUITO DE DOS ELECTRODOS

B).- CIRCUITO REAL

El espaciamiento comunmente empleado en las sondas normales es de 0.40 m. y 1.60 m. Estas gráficas se toman al mismo tiempo y para diferenciarlas entre sí, una de ellas, la de 0.40 m. de espaciamiento, recibe el nombre de normal corta y su gráfica se hace con raya continua. La de 1.60 m. de espaciamiento se conoce como normal larga y se grafica con raya discontinua. Estas dos curvas de resistividad nos indican la resistividad en zonas someras y más o menos profundas, en donde existe en todas aquellas rocas permeables, un cierto contenido del filtrado del lodo, el cual ha desplazado o se ha mezclado con el fluido original de la roca. En otras palabras, las sondas normales estarán midiendo a una distancia tal del pozo, que los fluidos existentes en la formación han sido alterados por la introducción en ella del filtrado del lodo principalmente en aquellas rocas permeables que tienen una porosidad pobre o regular. Esta zona afectada por el filtrado del lodo se conoce con el nombre de "zona de invasión" o "zona invadida". En los casos de formaciones con alta porosidad la invasión no es profunda y probablemente las mediciones hechas por la normal larga no se encuentran afectadas por la invasión del filtrado del lodo.

Las curvas típicas registradas por un dispositivo normal, indican:

- a) La curva es simétrica con respecto al centro de la capa.
- b) Las capas que tienen un espesor menor que el espaciamiento, indicarán una baja resistividad o depresión en la curva.
- c) Debido a su corto espaciamiento y por lo tanto sujeta a la influencia del agujero y a la zona invadida, las curvas norma-

les no pueden ser adoptadas, en la mayoría de los casos, para mediciones directas de la resistividad verdadera (R_f) de la formación.

SONDA LATERAL.

Cuando se tiene un arreglo tal que sean tres electrodos - los que se bajen al pozo, mientras que un cuarto electrodo es conservado en la superficie, se trata de un arreglo de tres electrodos o un arreglo "Lateral". Este dispositivo lateral fué diseñado para atravesar la zona de influencia del agujero y la zona de invasión e investigar la resistividad de la roca sin alteraciones. En la figura del circuito, dos electrodos M y N están relativamente cerca con respecto del electrodo A. La distancia desde A hasta O, punto medio de M y N, es considerado el espaciamiento y al referirse a él se hará como AO.

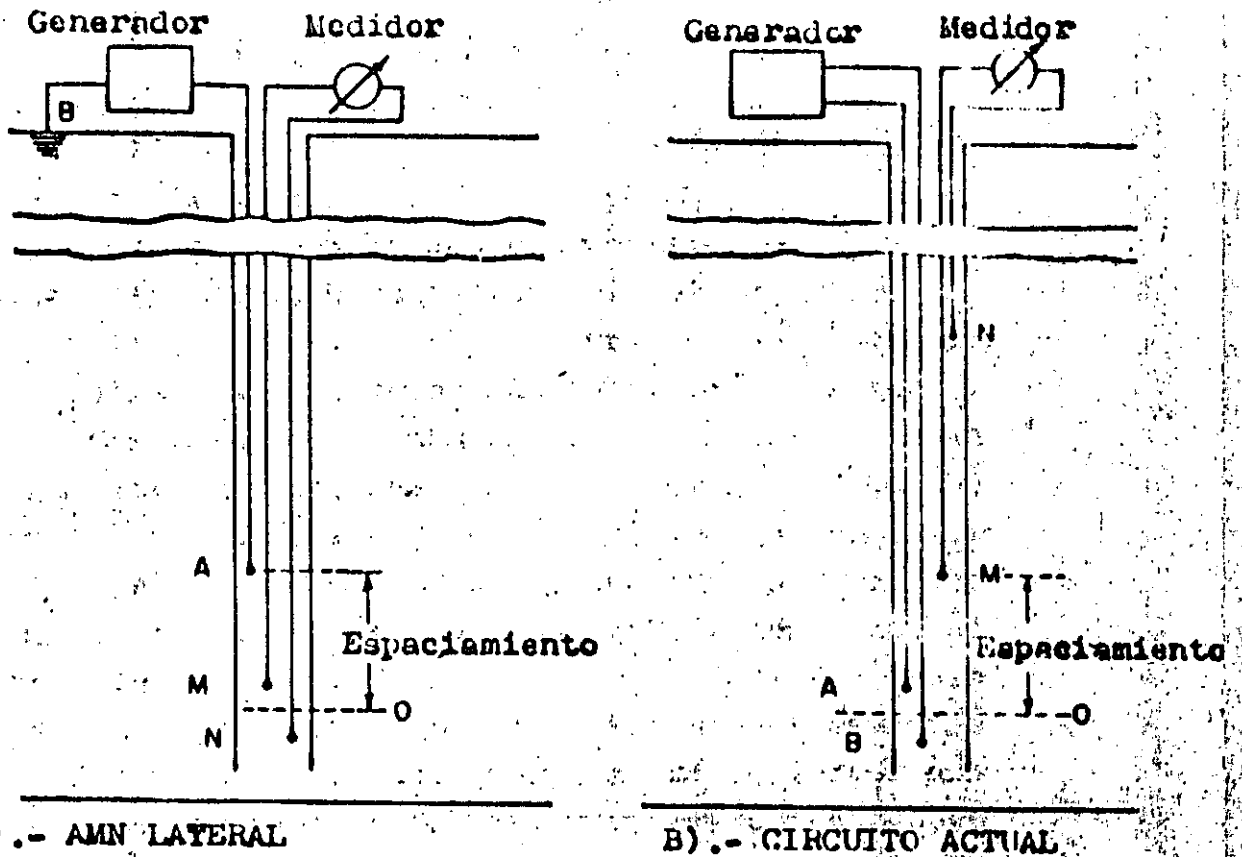


Figura 7

Aún cuando los efectos del agujero y de la zona invadida son despreciables en un espaciamiento AO suficientemente grande, las lecturas tomadas de este registro son consideradas como de una resistividad aparente (R_a) de la formación, por lo que se ha de necesario aplicarle ciertas correcciones para convertirlas en resistividades verdaderas de la formación.

En la práctica el espaciamiento de la lateral es generalmente de 5.70 m. lo cual da un considerable radio de investigación, aunque también causa una pérdida de detalle en capas delgadas así como distorsión en determinados casos. Aún con estos inconvenientes, su uso en ocasiones es muy ventajosa.

Tipo de sonda	espaciamiento	radio de investigación
Normal corta	0.25 a 0.50 m	0.50 a 1.00 m.
Normal larga	0.50 a 2.00 m	1.00 a 2.00 m.
Lateral	4.00 a 10.00 m	4.00 a 10.00 m.

Características de investigación de distintos tipos de sondas

El concepto básico para la interpretación de las propiedades eléctricas de las rocas como auxiliar en el análisis de los fluidos contenidos en ellas, es el conocimiento que se tiene de que las rocas sedimentarias en general, tienen un cierto rango de porosidad ya sea de origen primario ó secundario y de que esos espacios intergranulares ó fracturas están ocupados generalmente por agua.

Una roca que tiene una porción de su volúmen ocupado por agua, su resistividad depende en forma notable del tipo de agua contenida, pudiendo hacerse una diferenciación inicial entre una roca porosa que contiene agua salada y una roca semejante que contenga agua dulce, porque en el primer caso, o sea la roca con agua salada, como ésta es buena conductora de la electricidad, la resistencia ofrecida al paso de una corriente enviada a través de ese material será mínima, por lo que la resistividad medida en tales condiciones será baja; cosa distinta ocurre cuando ese mismo material poroso está ocupado por agua dulce, puesto que no es buen conductor eléctrico, dá por resultado que aparezcan valores más altos de resistividad al efectuarse su medición.

Esta característica general, que establece una diferenciación inicial entre los acuíferos de agua dulce y salada, por medio de sus resistividades, se combina con la medición del potencial espontáneo, que es la gráfica generada por los fenómenos electroquímicos de soluciones de distinta concentración, producidos en el pozo al entrar en contacto el filtrado del lodo de perforación, con el agua intersticial de las rocas. Efecto del filtrado del lodo en rocas permeables.- El lodo de perforación está constituido en términos generales por partículas coloidales y agua, siendo introducido durante la operación de perforación con una determinada presión por el interior de la tubería, sale por los orificios de la barrena en el fondo del pozo y regresa a la superficie por el espacio existente

entre el exterior de la tubería y las paredes del pozo.

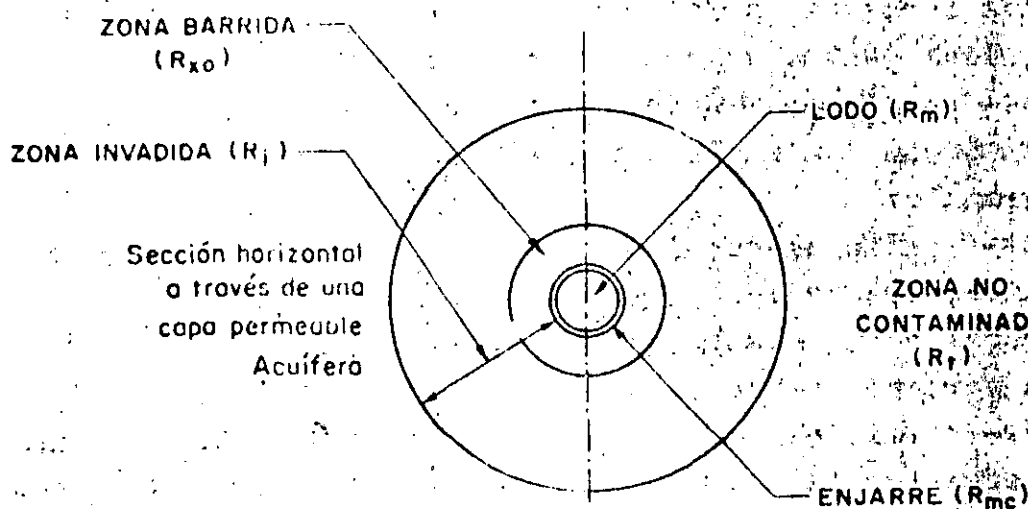
En los intervalos permeables atravesados, la presión del lodo hace que se forme una película con las partículas en suspensión y penetre en la roca agua constituyente del lodo, que recibe el nombre de filtrado del lodo. El agua ó filtrado del lodo que penetra en la formación permeable, puede ser de distinta composición en cuanto a salinidad, que la existente en la roca, alterando por lo tanto la resistividad de la roca - en esa zona en que ha penetrado el filtrado del lodo.

Debido a éste fenómeno, se pueden distinguir a partir de la pared del pozo y en sentido horizontal, en la mayoría de las rocas permeables, las siguientes zonas:

a). - Zona "lavada", que es la inmediata a la pared del pozo, y es donde probablemente haya habido un desplazamiento casi total del agua intersticial de la roca por la del filtrado del lodo.

b).- Zona "invadida" ó de transición, es la zona inmediata a la zona lavada y que ha recibido parcialmente agua del filtrado del lodo.

c).- Zona "no contaminada" que es la zona a donde no ha llegado el filtrado del lodo, conservándose intacta en cuanto a los fluidos originales de la roca.



La penetración del filtrado del lodo a la formación es variable, pues depende de varios factores que están un poco fuera de control, sin embargo, puede decirse que en lo relativo a la roca, mientras menor sea su porosidad, mayor puede ser la penetración del filtrado del lodo.

Para conocer con cierta confiabilidad a partir de la resistividad de la roca, si ésta contiene agua dulce ó agua salada, es indispensable tener la certeza de que las lecturas de resistividad han sido hechas en la zona no contaminada. Esta es la razón fundamental por la cual existen varias posibilidades de arreglos en las sondas, como son normal corta ó larga y lateral, ya que con una sola de ellas, aunque en muchos casos es suficiente, existe la posibilidad de que esté afectada su lectura por fenómenos de invasión del filtrado del lodo.

Clasificación de formaciones.- Para el propósito de interpretación de registros en pozos de agua, se ha encontrado conveniente clasificar las formaciones entre los siguientes grupos:

1.- Acuíferos granulares limpios. Comprende gravas, arenas, areniscas y rocas carbonatadas que tengan porosidad granular. el aluvión podría agregarse a éste grupo, si sus partículas no están compuestas de minerales arcillosos.

2.- Acuíferos granulares arcillosos.- Este grupo incluye cualquier acuífero granular que en parte esté compuesto de granos formados por minerales arcillosos ó contengan material arcilloso dentro de sus espacios porosos.

3.- Acuíferos fracturados. Representado por rocas fracturadas ó con juntas teniendo escasa ó ninguna porosidad de tipo granular.

4.- Acuíferos complejos, en los que la porosidad es un tipo diferente de los especificados anteriormente, por ejemplo, carbonatos que tienen porosidad granular y por fracturamiento, lava y rocas cavernosas.

5.- Formaciones densas, ó sea, rocas que tienen una porosidad efectiva tan baja, que normalmente no se podría obtener agua de ellas. Aparte de algunas rocas carbonatadas, se incluyen anhidrita, yeso, sal, así como muchas clases de rocas ígneas y metamórficas.

6.- Arcillas. En éste grupo se incluyen todas las formaciones que consisten de partículas muy finas, que reciben el nombre genérico de arcillas ó lutitas. Por tener todas ellas propiedades semejantes en cuanto al registro eléctrico y rayos gamma se refiere, por razones de simplicidad son llamadas arcillas.

Por conveniencia, especialmente en el análisis del registro de rayos gamma, cualquier formación de los grupos 1 a 5 es llamada "roca".

Si se considera como un acuífero limpio, el constituido por una estructura rocosa no conductiva y agua intersticial, su resistividad queda determinada por:

- a).- La resistividad ó salinidad del agua.
- b).- La cantidad de agua que contiene ó sea la porosidad de la roca.
- c).- La distribución y continuidad del agua contenida en los espacios porosos.

De acuerdo con lo anterior, se ha encontrado que la resistividad R_t , de un acuífero limpio puede expresarse así:

$$R_t = F \times R_w \quad (1)$$

en donde:

R_w = resistividad del agua.

F = es una constante que representa el efecto de la porosidad.

La constante F , es denominada factor de resistividad de la formación ó simplemente factor de formación y está dada por la siguiente fórmula:

$$F = A/\phi^m \quad (2)$$

en donde:

ϕ = porosidad efectiva.

A = constante que se determina empíricamente.

m = factor de cementación.

La resistividad del agua R_w , decrece cuando la salinidad se incrementa. A una temperatura dada, la resistividad del agua está en relación con el contenido de sólidos disueltos, en partes por millón (ppm), de acuerdo a la siguiente expresión:

$$R_w = k/ppm \quad (3)$$

en donde k es un factor que es aproximadamente constante para una sal, cuando la concentración es baja (menos de 3000 ppm de sólidos disueltos). Para aguas de baja salinidad, $k=6500$ a 25°C .

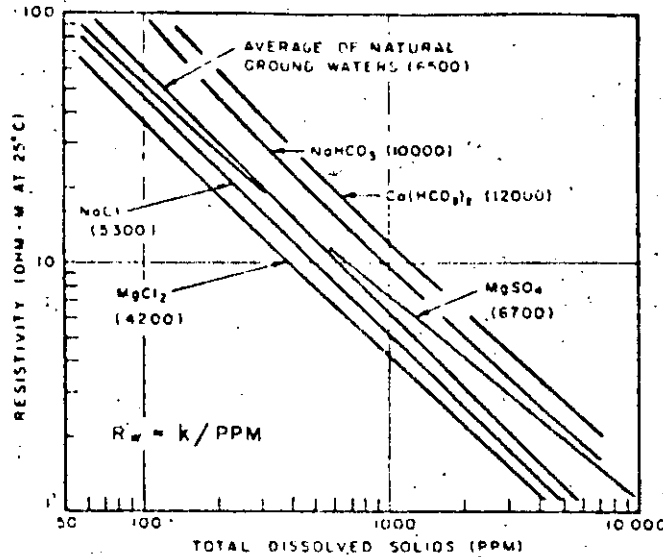


Fig. 1 - Solution resistivity vs. total dissolved solids at 25°C. Figures in parenthesis are k values. (After Agriculture Handbook 60, USDA).

Para rocas granulares limpias, que tienen una porosidad mayor del 10 por ciento, A y m tienen los siguientes valores:
 rocas poco cementadas ó no cementadas:

$$F = \frac{0.62}{\phi^{2.15}}$$

rocas que están más cementadas:

$$F = \frac{1}{\phi^2}$$

La siguiente figura ilustra la relación entre el factor de formación y la porosidad, utilizando los valores anteriores.

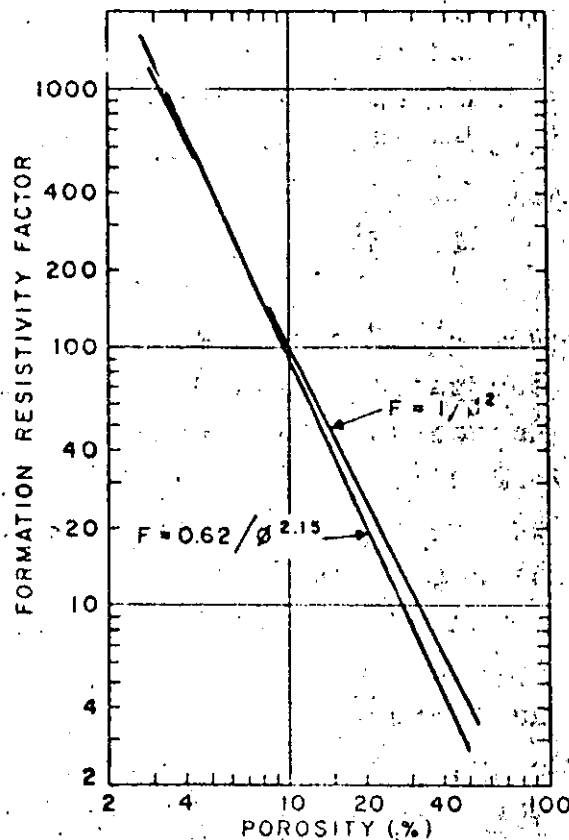


Fig. 2 - Approximate formation resistivity factor vs. porosity for granular aquifers.

Combinando las fórmulas (1), (2) y (3), así como el factor de formación de acuíferos granulares limpios, poco cementados, se obtiene:

$$R_t = \frac{0.62 k}{\phi^{2.15}_{ppm}} \quad (4)$$

La figura 3 es una carta basada en ésta fórmula, usando para k el valor de 6500. Esto proporciona la resistividad de acuíferos granulares limpios, como una función de sus porosidades, expresados en porciento del volúmen total, utilizando unos cuantos valores de salinidad de aguas. Este nomograma es solamente aproximado cuando se aplica a acuíferos particulares puesto que A, m y k, tienen asignados valores promedio; sin embargo, es confiable en forma estadística y aceptable cuando no existen nomogramas más exactos, especialmente cuando la porosidad es alta.

La geometría y continuidad de los espacios porosos, en materiales de baja porosidad granular, es bastante irregular y no es posible asignar a los parámetros A y m, promedios ó valores aproximados que pudieran ser aplicables a una roca dada. A pesar de lo anterior, la fórmula (4) ó la figura 3, pueden ser usadas para obtener datos semi-cuantitativos.

Se puede observar en la figura 3 que los otros factores permanecen constantes:

- 1.- Para las mayores porosidades, corresponden a las menores resistividades del acuífero.
- 2.- Para las más bajas salinidades del agua, corresponden las más altas resistividades del acuífero.

La porción superior derecha de la figura 3 corresponde a los acuíferos de agua dulce, comúnmente sus resistividades son del orden de 50 a 1000 ohm-m. Los acuíferos de agua salobre y salada, de buena porosidad, tienen resistividades que son menores que los 50 ohm-m.

Los acuíferos no granulares, tienen una porosidad tan variable e irregularmente distribuida, que podría ser ilusorio buscar una expresión ó establecer una gráfica que relacionase la resistividad con la porosidad. Todo lo que puede decirse con certeza es que la resistividad decrece cuando la porosidad ó salinidad del agua se incrementan, si los otros factores permanecen constantes.

Las rocas que no tienen porosidad efectiva, tienen resistividades extremadamente altas, generalmente del orden de 100,000 ohm-m.

En cuanto a resistividad se refiere, las arcillas pueden ser consideradas como un material granular, cuyos espacios porosos tienen una geometría particular. Por lo anterior, la fórmula (2) es aplicable, pero los parámetros A y m tienen valores que probablemente sean algo diferentes de aquellos previamente especificados.

Las arcillas tienen una alta porosidad y generalmente contienen agua salobre, dos factores que hacen que sus resistividades sean bajas: comúnmente en el rango de 2 a 10 ohm-m, esto es, que tienen más bajas resistividades que la de los acuíferos de agua dulce, con los que están asociadas. Este rango se muestra en la porción inferior derecha de la figura 3.

Acuíferos granulares arcillosos.- La arcilla diseminada -- dentro de los espacios porosos, reduce la resistividad de los acuíferos de agua dulce. La figura 4 proporciona la resistividad reducida para un acuífero granular, como una función de su contenido arcilloso.

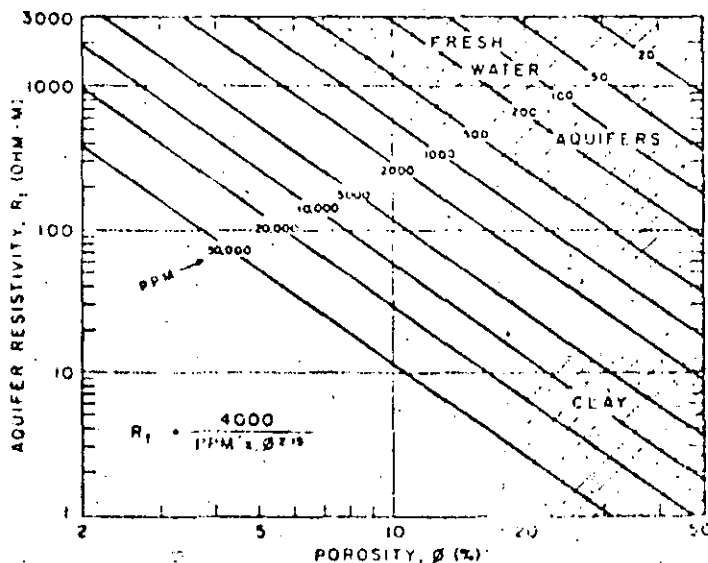


Fig. 3 - Approximate resistivity of granular aquifers vs. porosity, for several water salinities.

La curva ó curvas de resistividad, se toman simultáneamente con la del potencial espontáneo y su conjunto es, como se mencionó anteriormente, el registro eléctrico.

La ventaja de disponer de dos ó más curvas de resistividad en un registro eléctrico, es la posibilidad de establecer con mayor confiabilidad, aún en el análisis cualitativo, si las lecturas de resistividad de la roca están efectuándose sin la influencia de agua filtrante durante la operación del pozo.

Como una guía general para el análisis cualitativo del registro eléctrico, se puede considerar la siguiente figura que representa un registro con dos curvas de resistividad con diferente espaciamiento y el potencial natural; el lodo de perforación es de agua dulce.

Las formaciones A_1 , A_2 , ..., son de lutita considerando:

- a).-- La uniformidad en la curva de potencial.
- b).-- La resistividad es baja y muy semejante en valor en -- las dos curvas.

La formación B es una arenisca con interrelación de lutitas-- por las siguientes razones:

- a).-- El potencial manifiesta amplitud negativa.
- b).-- La resistividad mostrada en ambas curvas, tiene un valor ligeramente mayor que el de las lutitas, indicando que están presentes arena y lutitas.

La formación C_1 es una arena con agua dulce por:

- a).-- La curva del potencial natural es positiva.
- b).-- Ambas curvas de resistividad muestran valores altos.

La formación C_2 es una arena petrolífera debido a:

- a).-- La curva de potencial espontáneo es negativa en forma -- amplia.
- b).-- La resistividad con el espaciamiento corto, es mayor -- que la del otro espaciamiento por la influencia del filtrado del lodo.
- c).-- La resistividad con el espaciamiento largo, también tiene valor alto, atribuible a la presencia de petróleo.

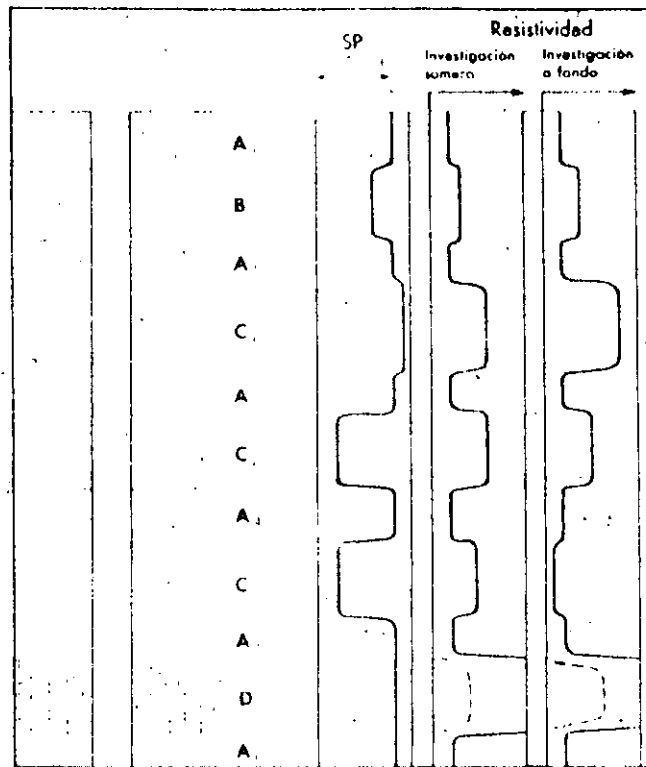
La formación C_3 , es una arena con agua salada por:

- a).-- El potencial muestra deflexión negativa amplia.
- b).-- La resistividad del espaciamiento corto, es alta, debido al desplazamiento del agua salada por agua dulce del filtrado del lodo.
- c).-- La resistividad del espaciamiento largo es muy baja, -- por estar midiendo atrás de la zona lavada en donde la roca tiene agua salada que es conductiva.

La formación D es de una caliza dura por:

- a).- SP no tiene desplazamiento, indicando impermeabilidad en la roca.
- b).- Ambas resistividades son muy altas.

Estas reglas básicas para la interpretación de registros eléctricos, se complementan con la información geológica del área, así como de la obtenida durante la perforación del pozo. Es conveniente cuando el caso lo amerite, disponer de información que proporcionan otro tipo de registros como el microregistro, sísmico, radioactivo, etc.



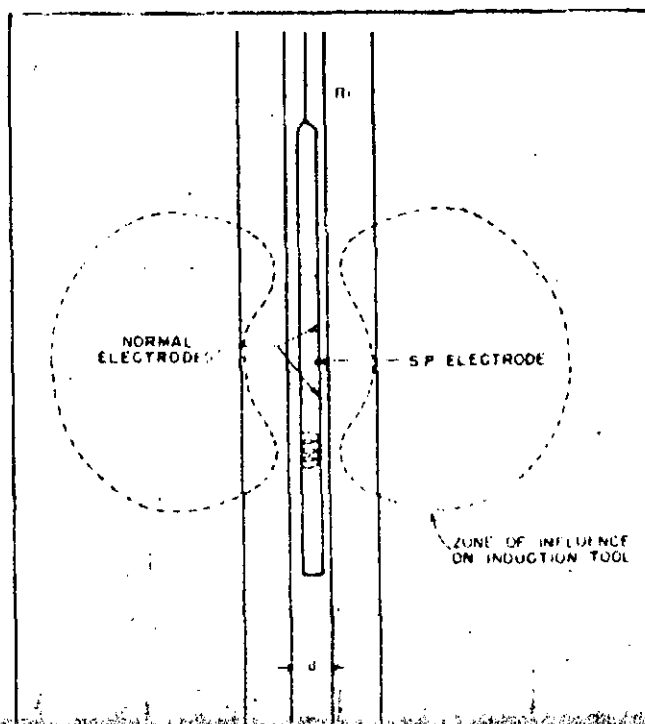
PRESENTACION ESQUEMATICA de las curvas típicas de las necesarias para establecer las reglas básicas de interpretación • 5

REGISTRO DE INDUCCION

Actualmente se encuentra generalizado el uso del registro de inducción para determinar de manera más confiable el tipo de fluidos contenidos en las rocas, sin influencia del filtrado del lodo que penetra en éstas durante la perforación del pozo.

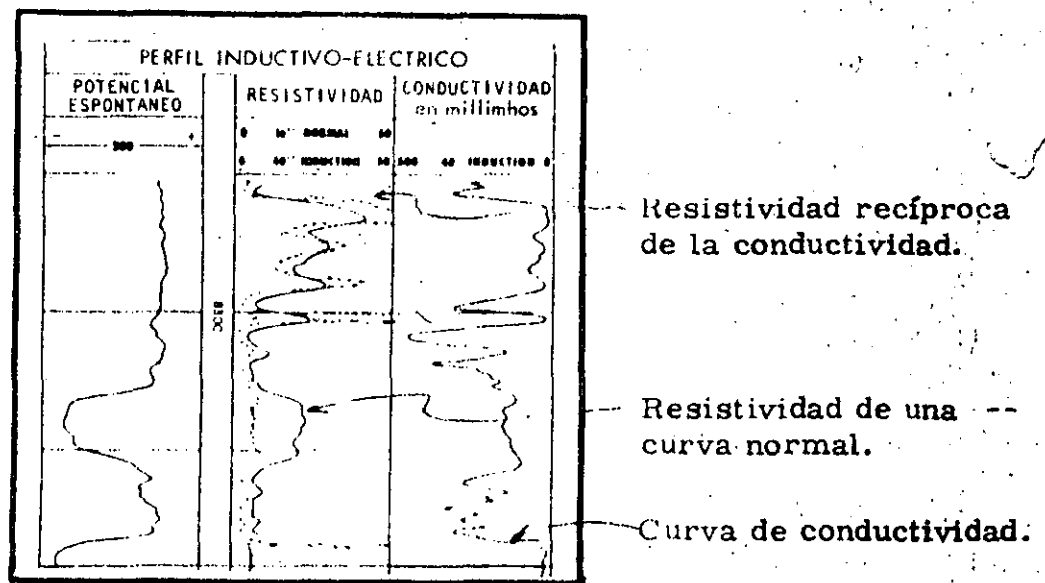
El registro de inducción mide la conductividad de las formaciones, mediante corrientes alternas inducidas. La resistividad en las rocas es determinada con el cálculo de la recíproca de la conductividad que se mide con el registro de inducción, apareciendo en la gráfica tanto los valores de resistividad calculados como los de conductividad.

Las sondas de inducción tienen un grupo ó sistema de varias bobinas transmisoras y receptoras. En forma esquemática se puede ver en la figura siguiente una bobina transmisora que envía corriente alterna de alta frecuencia y de intensidad constante, generándose un campo magnético que induce corrientes secundarias en la formación. Estas corrientes crean a su vez campos magnéticos que inducen señales en la bobina receptora. Las señales recibidas son proporcionales a la conductividad de la formación.



El registro de inducción proporciona valores que requieren poca ó ninguna corrección por diámetro de agujero, resistividad del lodo, invasión del filtrado ó espesor de las capas. Tiene además la ventaja en la perforación de pozos de agua de no requerir para su funcionamiento, que exista algún líquido dentro del pozo, por lo que es el más conveniente en aquellos pozos que se perforan con pulseta.

La combinación del registro de inducción es al igual que el registro eléctrico convencional, pudiendo ser juntamente con una curva de potencial natural ó con una de rayos gamma para definir los estratos ó cuerpos litológicos que se atraviesan.



REGISTRO DE RAYOS GAMMA.— El registro de rayos gamma es una medida de la radioactividad natural de las formaciones. En las rocas sedimentarias refleja el contenido ó la presencia de lutita, esto es debido a que los elementos radioactivos tienden a concentrarse en arcillas y lutitas.

Las formaciones limpias (sin contenido de arcilla), tienen generalmente un nivel bajo de radioactividad, a menos que estén contaminadas con cenizas volcánicas, cantos rodados graníticos que sean radioactivos ó bien si sus aguas intersticiales tienen sales de potasio disueltas.

El registro de rayos gamma puede ser tomado en pozos que ya han sido adomados, lo cual lo hace útil en operaciones de reconocimiento.

La particularidad del registro de rayos gamma de identificar por su contenido radioactivo a las arcillas, diferenciándolas de otras rocas, lo hace convenientemente sustituible del potencial espontáneo cuando éste no es satisfactorio.

Los rayos gamma son erupciones de ondas electromagnéticas de alta energía que son emitidas espontáneamente por algunos elementos radioactivos. Casi toda la radiación gamma en la tierra es emitida por el isótopo radioactivo del potasio de peso atómico 40 y por elementos radioactivos de la serie uranio y torio.

La emisión de los rayos gamma, por la desintegración de los elementos radioactivos, se hace juntamente con los rayos alfa y beta, pero éstos tienen un poder de penetración bajo a través de la materia por lo que no pueden ser medidos en un pozo.

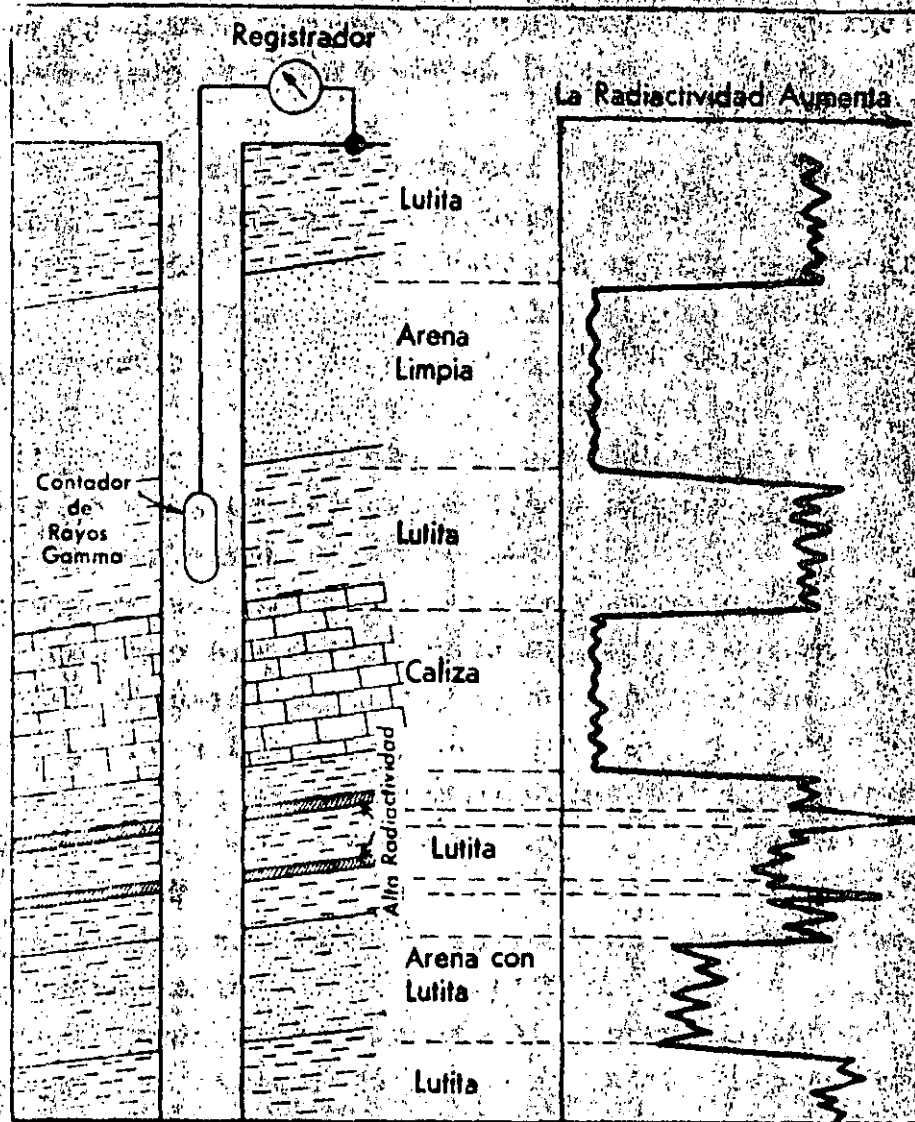
La energía de los rayos gamma emitida por las rocas sedimentarias, es variable, pero en promedio es de 1 Mev, aunque la emitida por el potasio tiene una energía de 1.5 Mev.

Los rayos gamma, que son ondas electromagnéticas como la luz y el calor, no paran su penetración en forma repentina, sino que declina gradualmente con la distancia. En general se puede decir que la distancia investigada por el registro de rayos gamma es de aproximadamente 30 centímetros en acuíferos de arena y caliza.

Medición de los rayos gamma.- Los rayos gamma no pueden ser detectados directamente, solamente a través de su interacción con la materia por medio del proceso de ionización; esto es liberando uno ó más electrones de átomos neutros. Debido a que tanto los iones y electrones están eléctricamente cargados, el proceso puede ser detectado.

Hay tres distintos tipos de detectores que han sido usados para el registro de la radioactividad natural: La cámara de ionización, el contador Geiger-Mueller y el de centelleo.

Una tonelada métrica de una lutita promedio, contiene aproximadamente unos 6 gramos de uranio, 12 de torio y 20 kg de potasio aunque el potasio es cerca de 1/10,000 menos radioactivo. La contribución respectiva del potasio, uranio y torio, es de importancia comparable.



En la figura aparece en forma generalizada la respuesta de una sonda con registrador de rayos gamma en distintas formaciones. La radioactividad natural de las rocas se grafica de menor a mayor cantidad a partir de la izquierda de la pista, dando un aspecto muy semejante a la gráfica del potencial natural para facilitar en caso necesario, su comparación ó correlación.

29

La radioactividad total según la registra el detector se puede expresar en términos del peso de un elemento (radio por ejemplo) que produzca una cantidad de radiación equivalente. Por lo tanto la intensidad de las rocas se puede calibrar en microgramos de radio equivalentes por tonelada métrica de esa formación. También se puede medir en unidades rayos gamma API. Las unidades API indican la radioactividad de una roca artificial que sirve de norma, en la que se han diseminado cantidades conocidas de uranio, torio y potasio. Todos los registros actuales están calibrados en unidades API.

La sonda de rayos gamma contiene un detector para medir la radiación originada en el volumen de formación cercano a la sonda. Se ha generalizado el uso de cintilómetros para la medición de la radioactividad en pozos. Son más eficientes que los contadores Geiger-Mueller que se usaban antes.

Los rayos gamma pueden ser registrados simultáneamente con otro tipo de curvas.

En la actualidad ningún equipo comercial permite la diferenciación de rayos gamma del potasio y de la serie de uranio y torio. Un equipo tal tendría que ser sensible a variaciones en el nivel de energía de los rayos gamma.

Variaciones estadísticas. Dada la naturaleza estadística de la radiación, el número de rayos gamma que llegan al contador fluctúa incluso cuando la sonda está inmóvil en el pozo. Las variaciones son más grandes para un número bajo de cuentas ó pulsos. Sin embargo el número de rayos gamma contados por segundo sobre un período de tiempo suficientemente largo será prácticamente constante. El período de tiempo necesario para obtener un buen promedio de cuentas, usualmente es de varios segundos.

Se utilizan circuitos amortiguadores de variaciones estadísticas a base de acoplamiento capacitor-resistor en los circuitos de medida, pudiendo seleccionarse distintas "constantes de tiempo" de acuerdo con el nivel de radioactividad medido.

El circuito amortiguador de variaciones estadísticas introduce un retraso en el registro de la señal y para evitar una excesiva distorsión en la curva, se elige una velocidad de registro tal que el contador no se desplace más de un pie durante una constante de tiempo. Así por ejemplo para una constante de tiempo de 2 segundos, la velocidad de registro es de 1800 pies/hora (550 metros/hora.)

Aplicaciones del registro de rayos gamma.

1.- El registro de rayos gamma es particularmente útil para la definición de estratos de lutita, cuando la curva del SP está redondeada (en formaciones muy resistivas) ó cuando no tiene expresión por ser la resistividad del filtrado del lodo muy semejante a la del agua intersticial.

2.- Puede ser usado para efectuar correlaciones.

3.- Algunas veces el registro de rayos gamma es usado en relación con operaciones en que se usan trazadores radioactivos.

Bibliografía:

F.L. Bryan

Application of Electric Logging to Water Well Problems.
Water Well Journal, Vol. 4, No. 1, January-February, 1950.

Carl Gatlin

Petroleum Engineering. Drilling and Well Completions.
Prentice-Hall, Inc. 1960.

Hubert Guyod:

"Interpretation of electric and gamma ray logs in water wells."
The Well Log Analysts - January-March 1966.

L.A. Puzin.

¿Qué es Perfilaje de Pozos?

Artículos publicados de junio a diciembre de 1962. Petróleo Interamericano.

W.C. Hamilton and J.I. Myung.

Summary of Geophysical Well Logging. Birdwell Division.

Schlumberger Limited

Fundamentos de la interpretación de perfiles. julio de 1970.



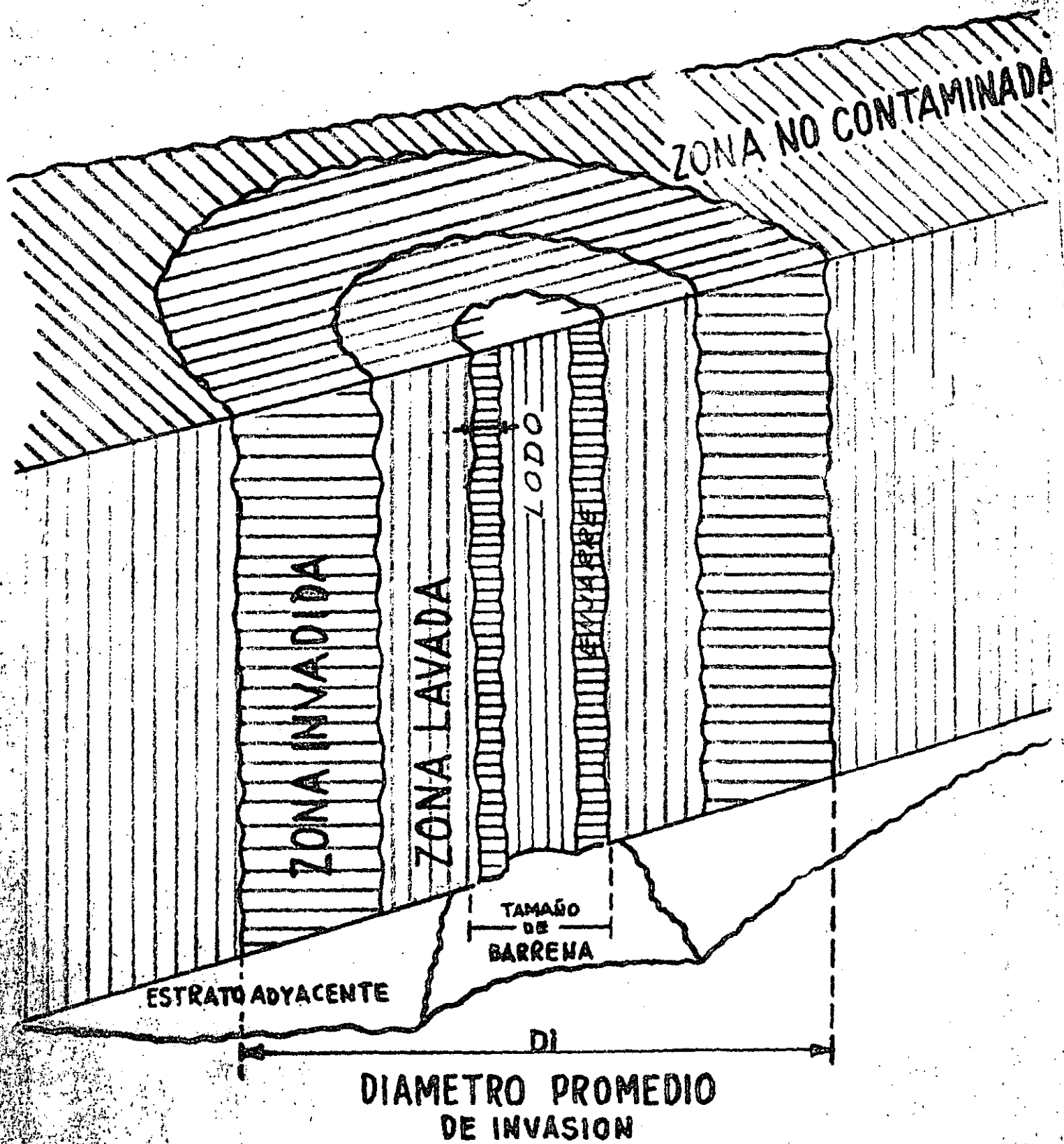
**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

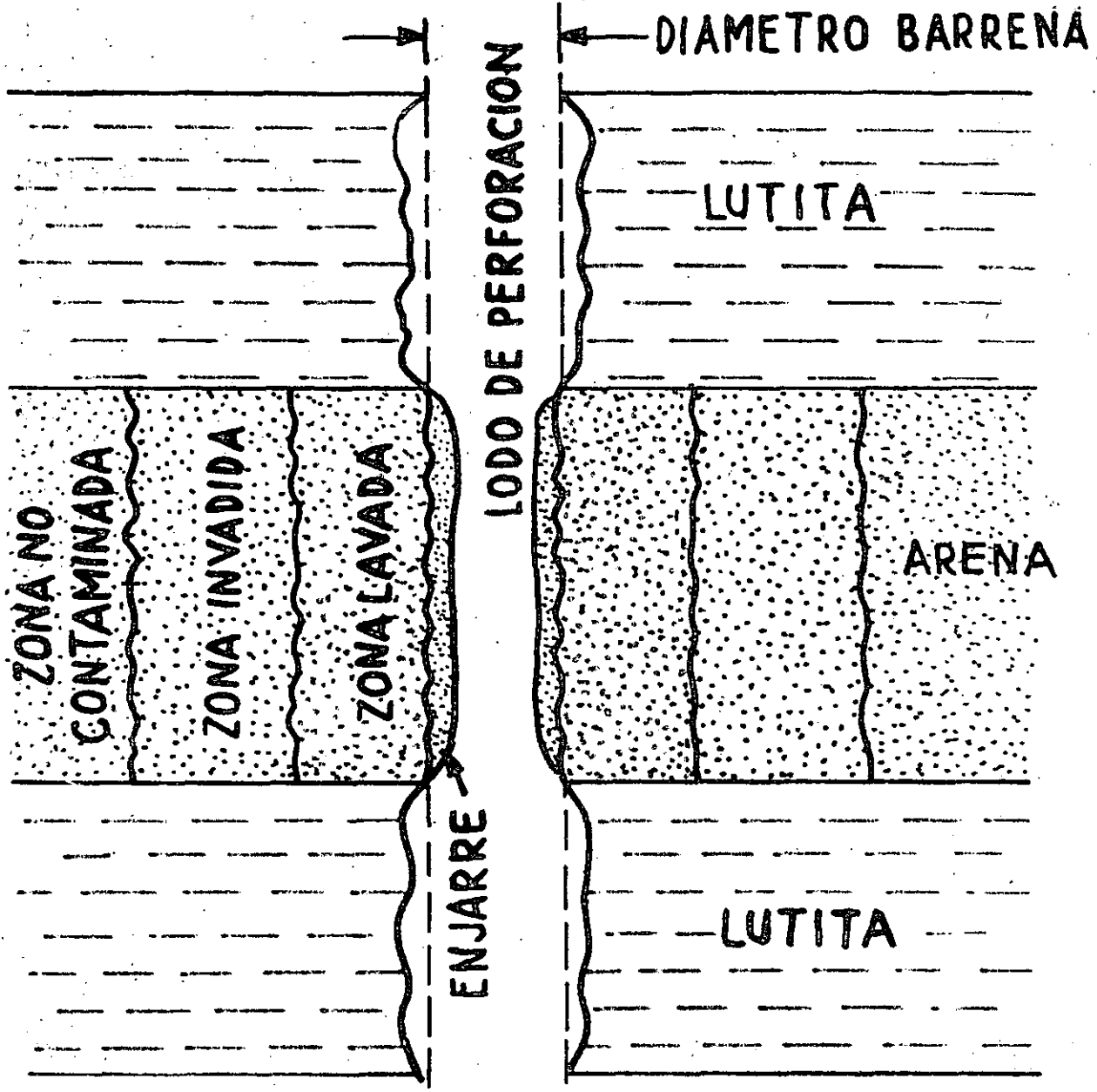
PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

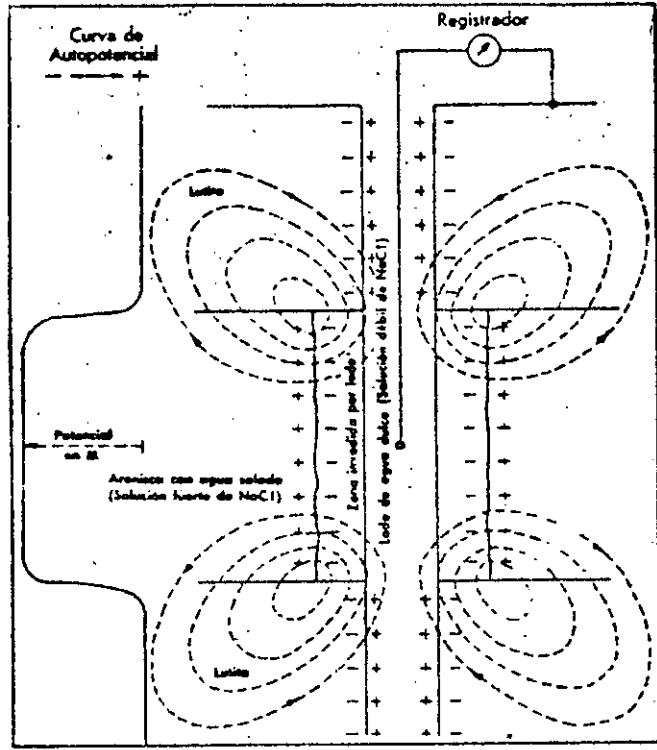
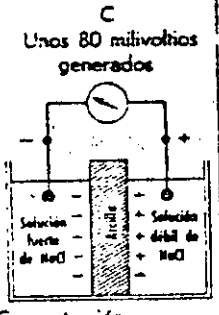
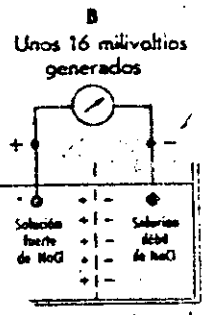
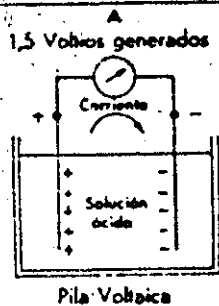
REGISTROS ELECTRICOS
(A N E X O)

ING. LUIS LARA TRUJILLO

ABRIL, 1985

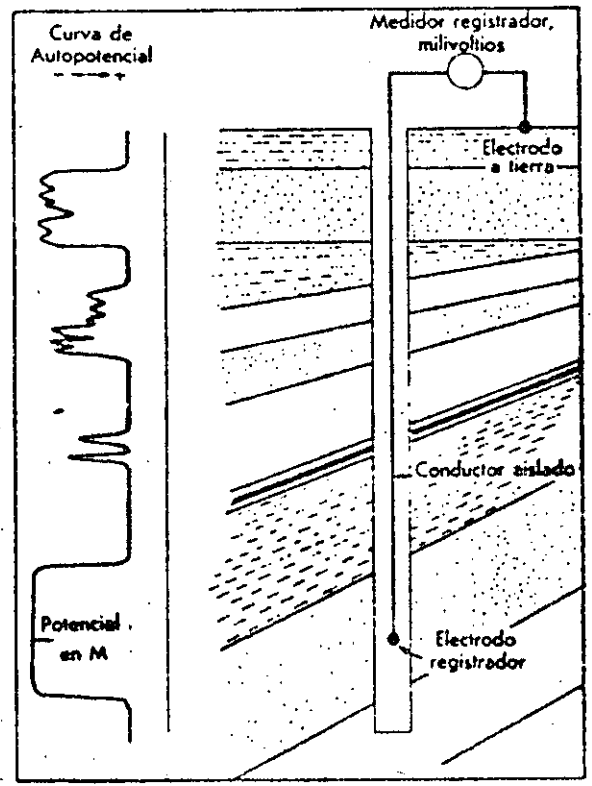






ILUSTRACION del efecto del potencial de lutita

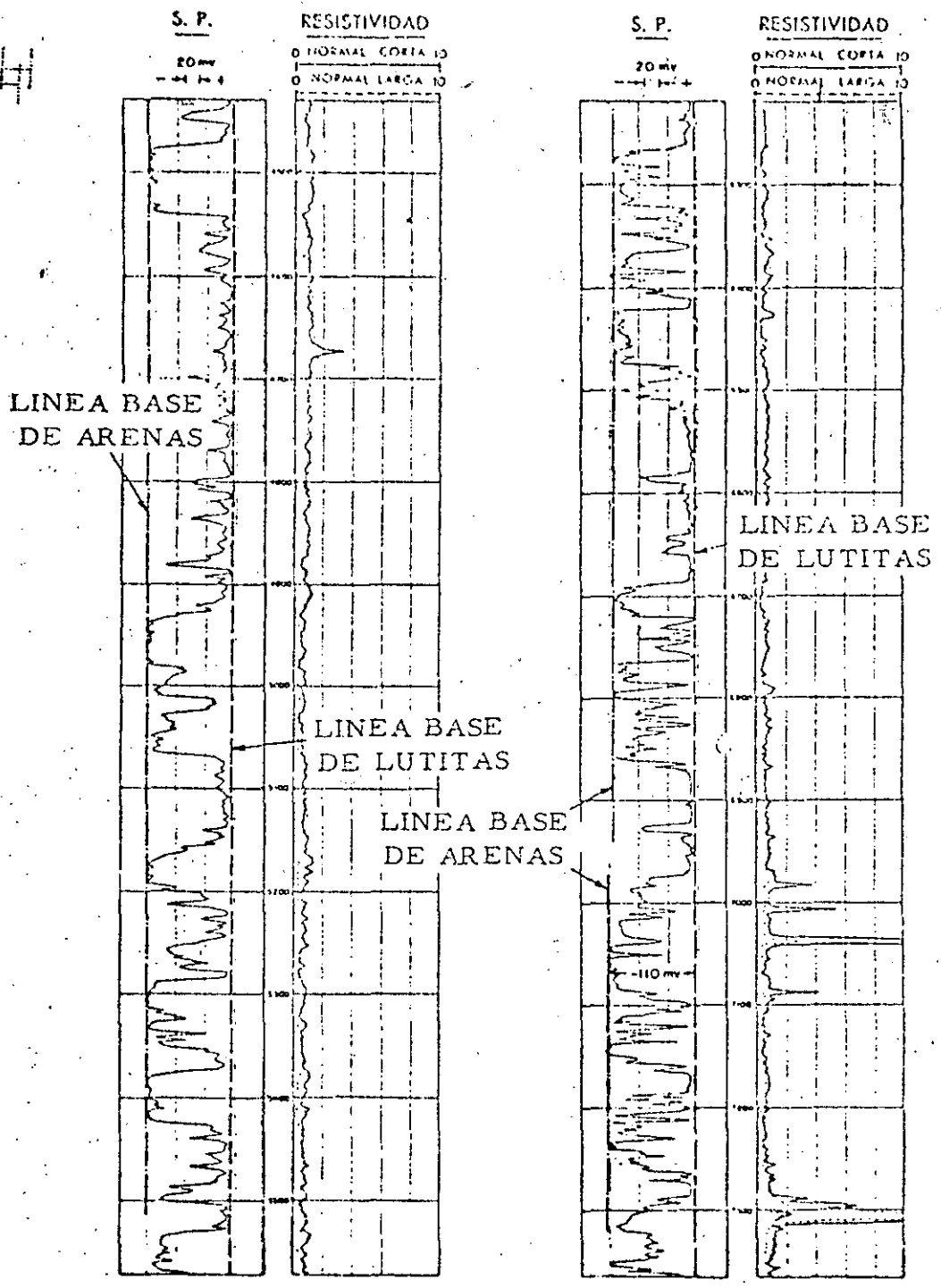
COMO SE PRODUCEN en un pozo los autopotenciales eléctricos



LA CURVA de autopotencial (izquierda) y el arreglo correspondiente

H L

H L



$$R_m = 0.95 \cdot T_{max} ; d = 8-5/8''$$

Fig. 3.2.- Ejemplo de registro de SP en regiones de Arena-Lutita (Cortado de Schlumberger. Ref. 2).

H

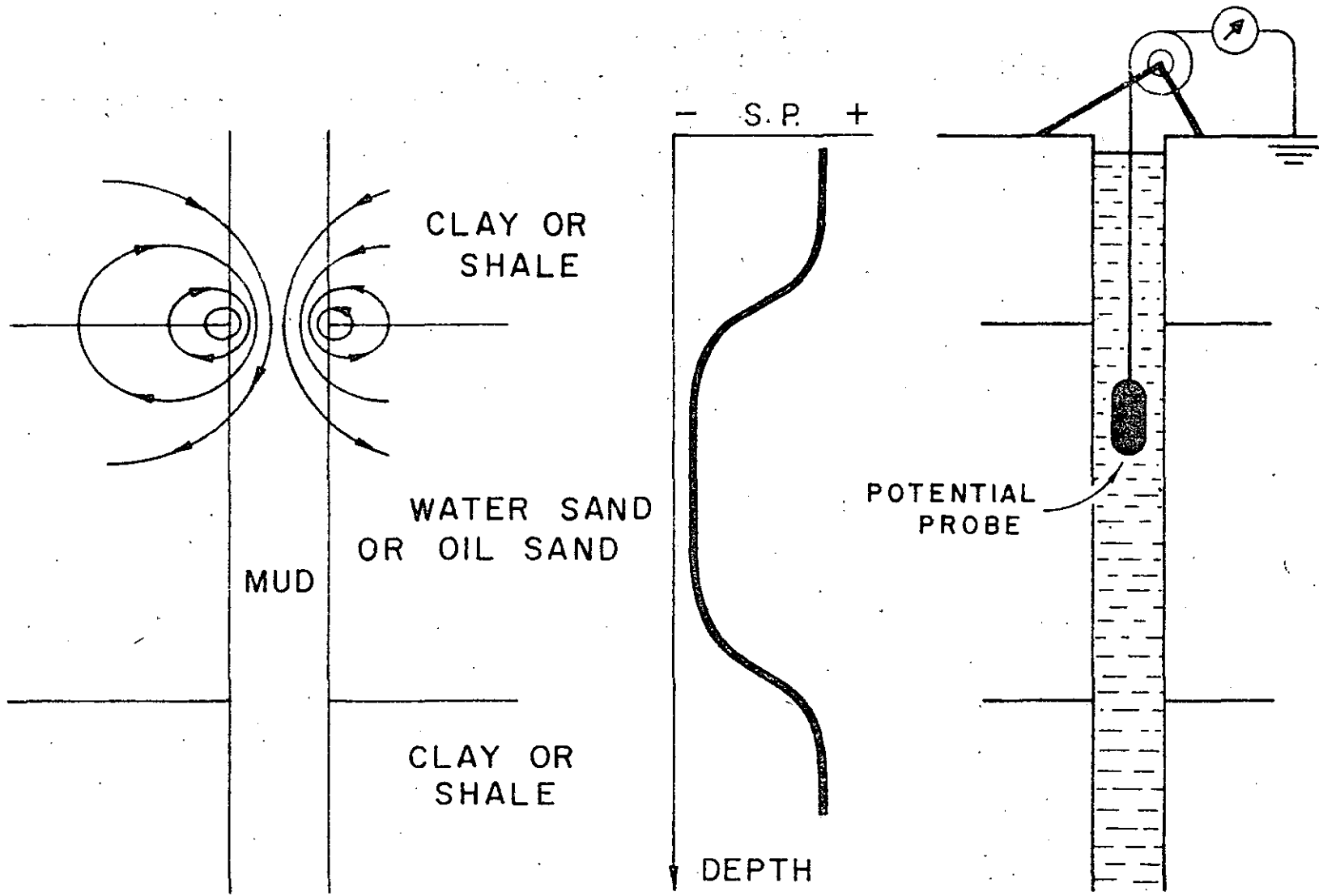


FIGURE 5

PRINCIPLE OF POTENTIAL (SP) MEASUREMENTS IN BORE HOLES (RIGHT),
 SP CURRENT PATTERN NEAR CLAY-SAND BOUNDARY (LEFT), AND RESULTING SP CURVE (CENTER).

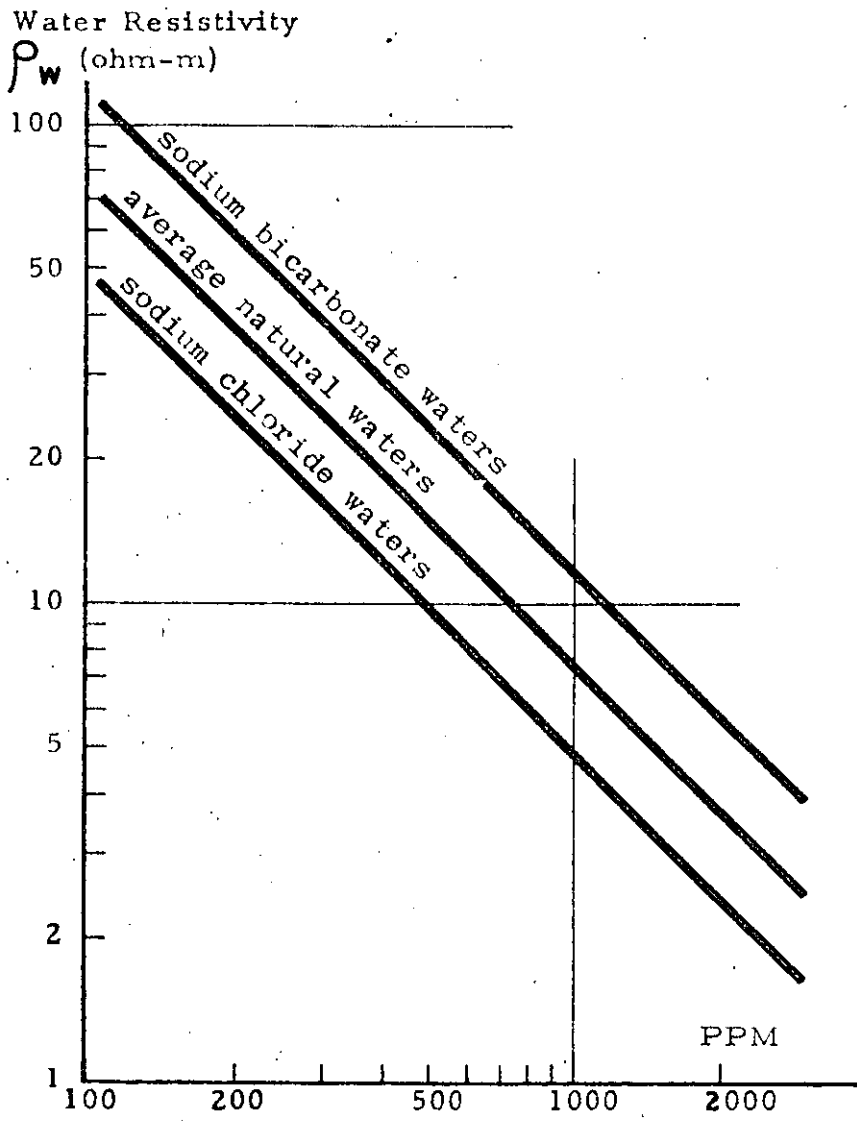


FIGURE 6

RESISTIVITY OF WATER IN TERMS OF TOTAL DISSOLVED SOLIDS (PPM)

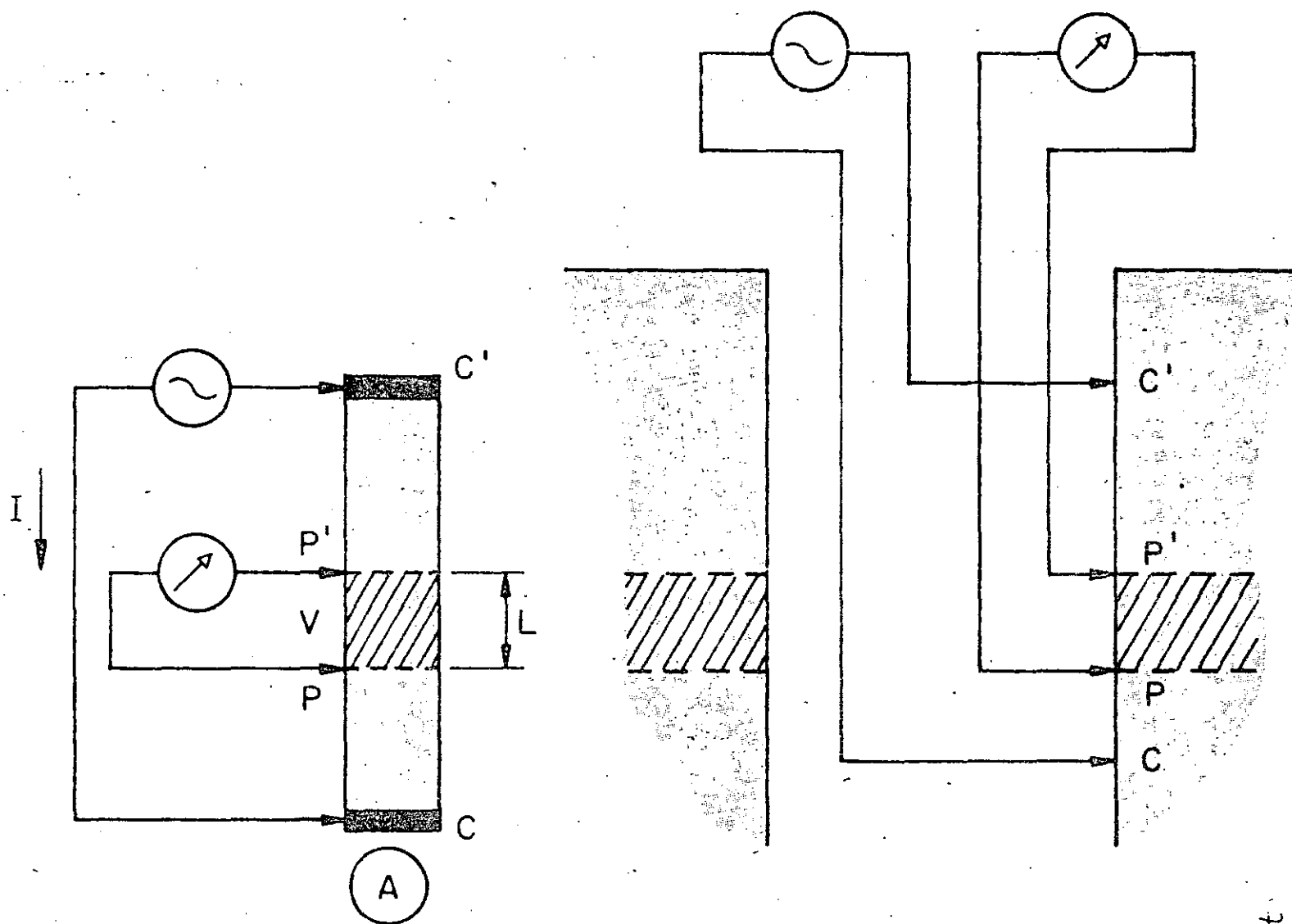
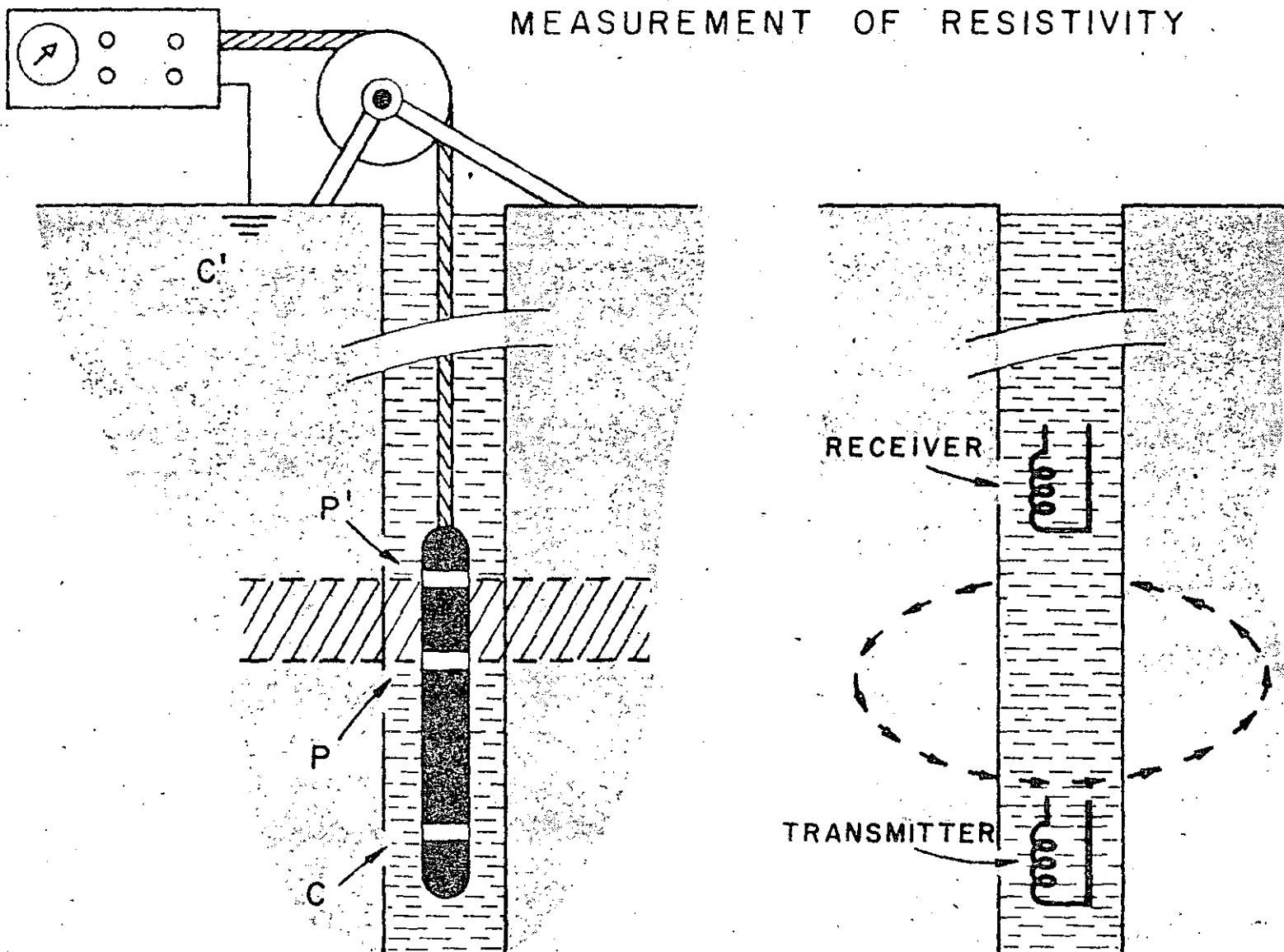


FIGURE 3

PRINCIPLE OF MEASUREMENT OF SAMPLE RESISTIVITY (LEFT),
AND OF FORMATION RESISTIVITY IN A BORE HOLE (RIGHT).

MEASUREMENT OF RESISTIVITY



CONVENTIONAL METHOD

FIGURE 4

INDUCTION METHOD

MEASUREMENT OF RESISTIVITY IN A BORE HOLE.

8

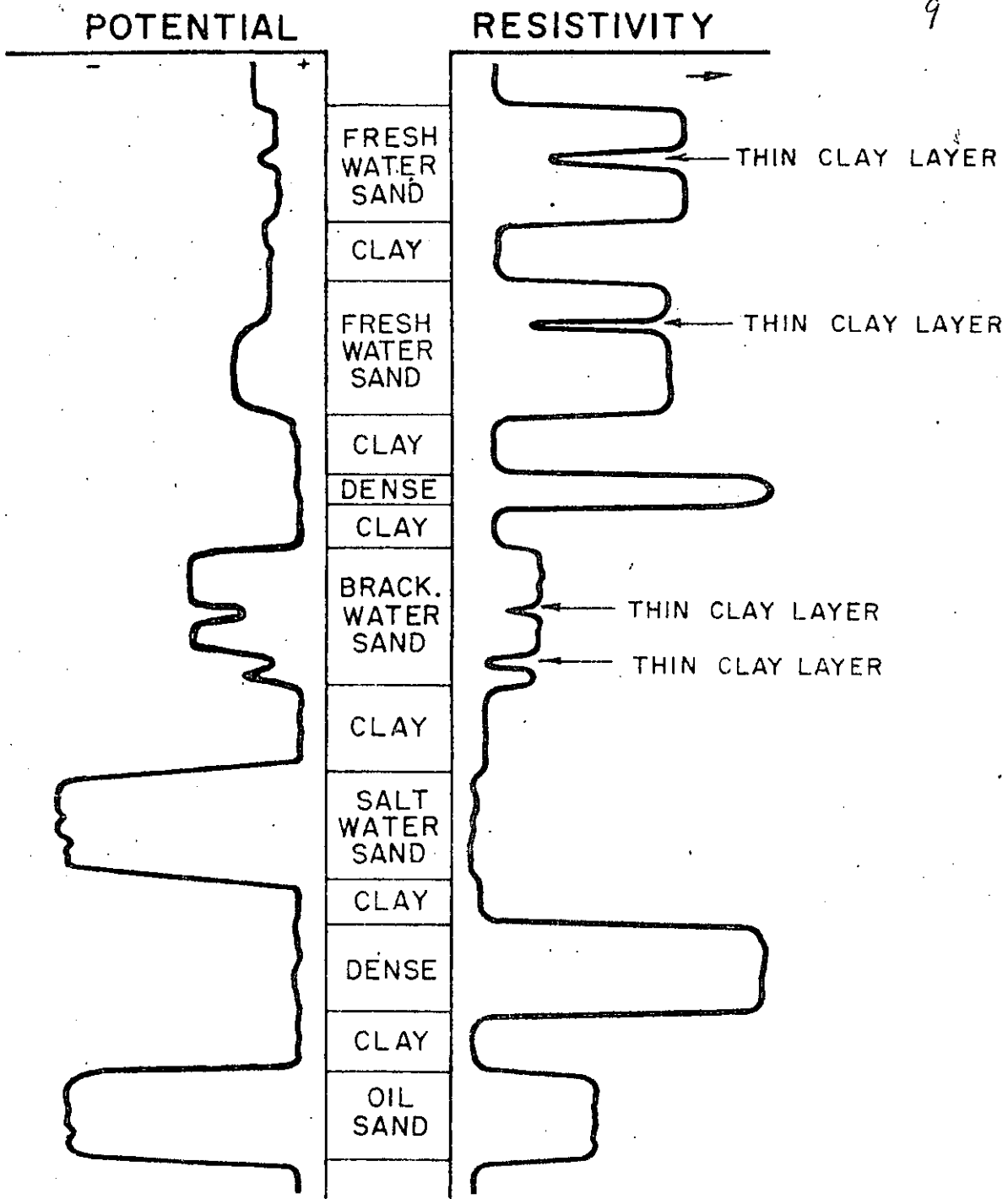


FIGURE 7
IDEALIZED ELECTRIC LOG

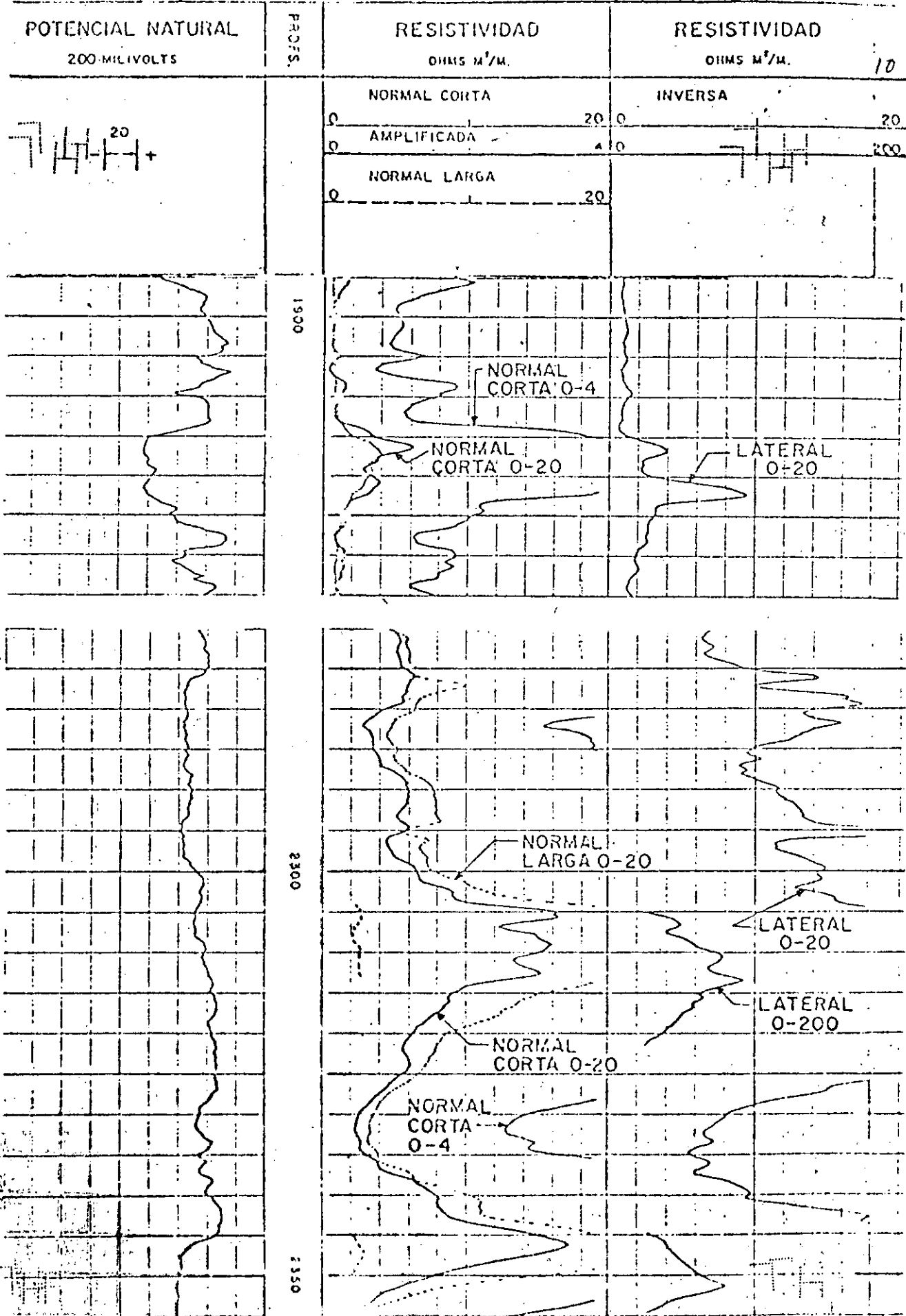
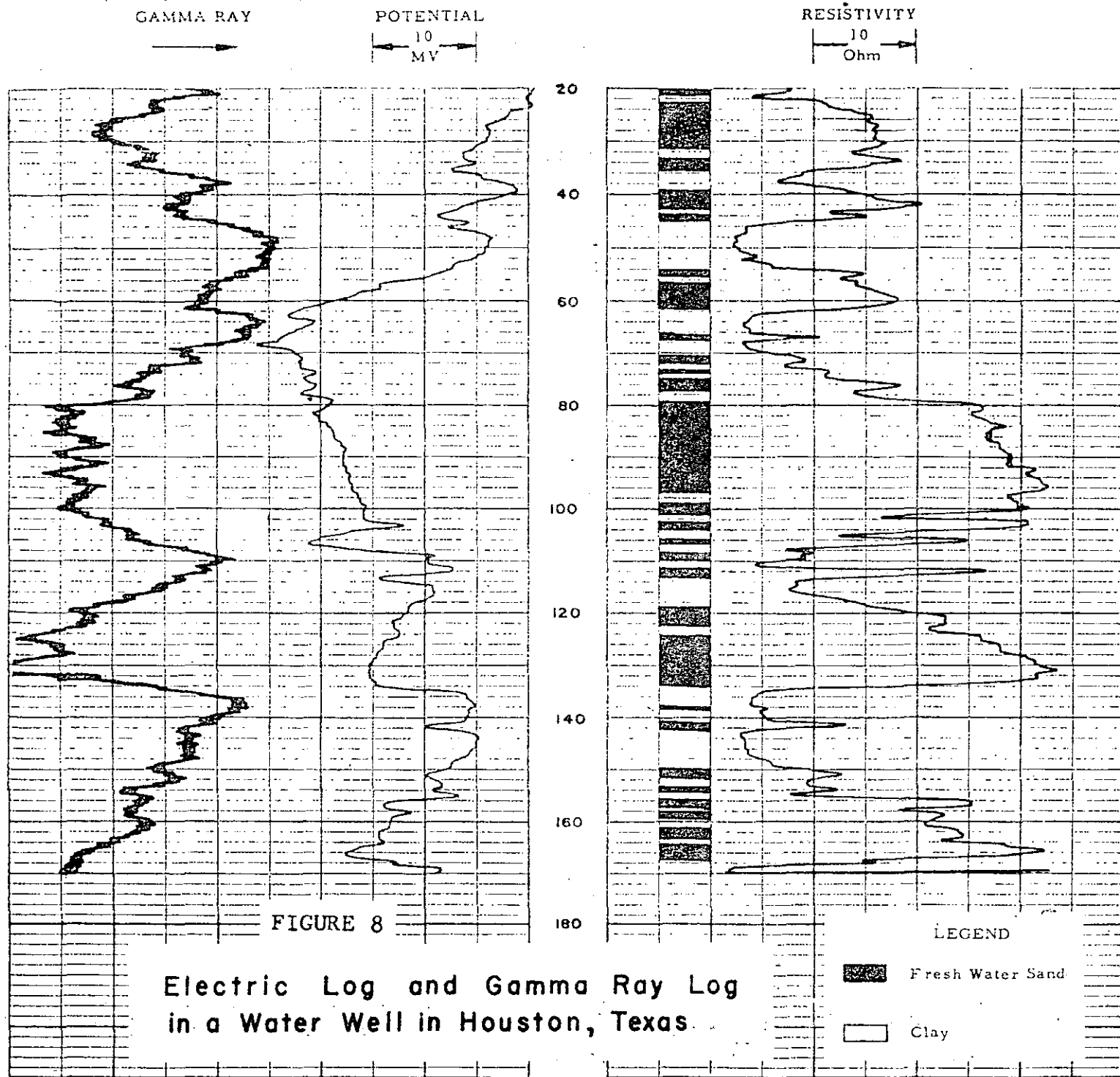


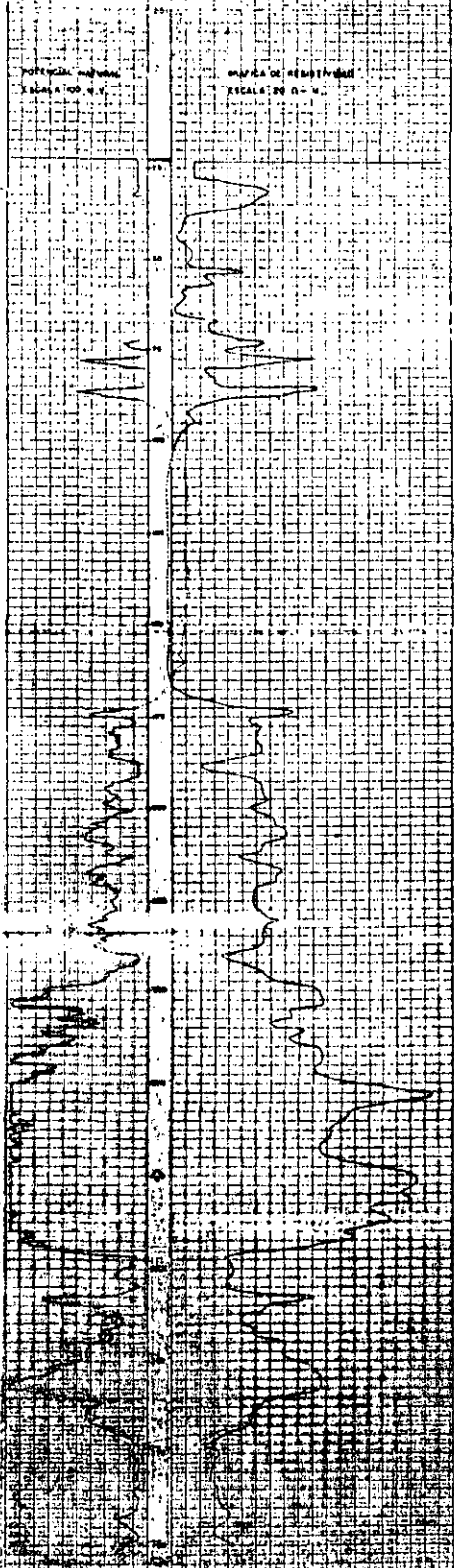
Fig. 4.19.- Ejemplo de un perfil de potencial natural y resistividad, mostrando



SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS
DIRECCION DE GEOLOGIA
DEPARTAMENTO DE GEOFISICA

SECCION ELECTROGALVANICA PARA EL PUNTO
DE LA CUBA N. 1, LOS BARRILES, CUBA

Numero de estudio: 2-10-1964
Fecha de estudio: 10-10-64
Escala de tiempo: 1:10000
Escala de profundidad: 1:1000
Escala de resistividad: 1:1000
Escala de potencia: 1:1000
Escala de distancia: 1:1000
Escala de area: 1:1000000



SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS

DIRECCION DE GEOLOGIA

DEPARTAMENTO DE GEOFISICA

Registro Electrico del Pozo N.º 3

Resido de Miqu. Esa. de N. L.

Cota = 535.25 M.S.N.M.

Profundidad Potencial = 923.00 Mts.

Profundidad Real = 925.00 Mts.

Diámetro del Pozo = 305 cm (12")

Completado por G. G. O. y N. S. L.

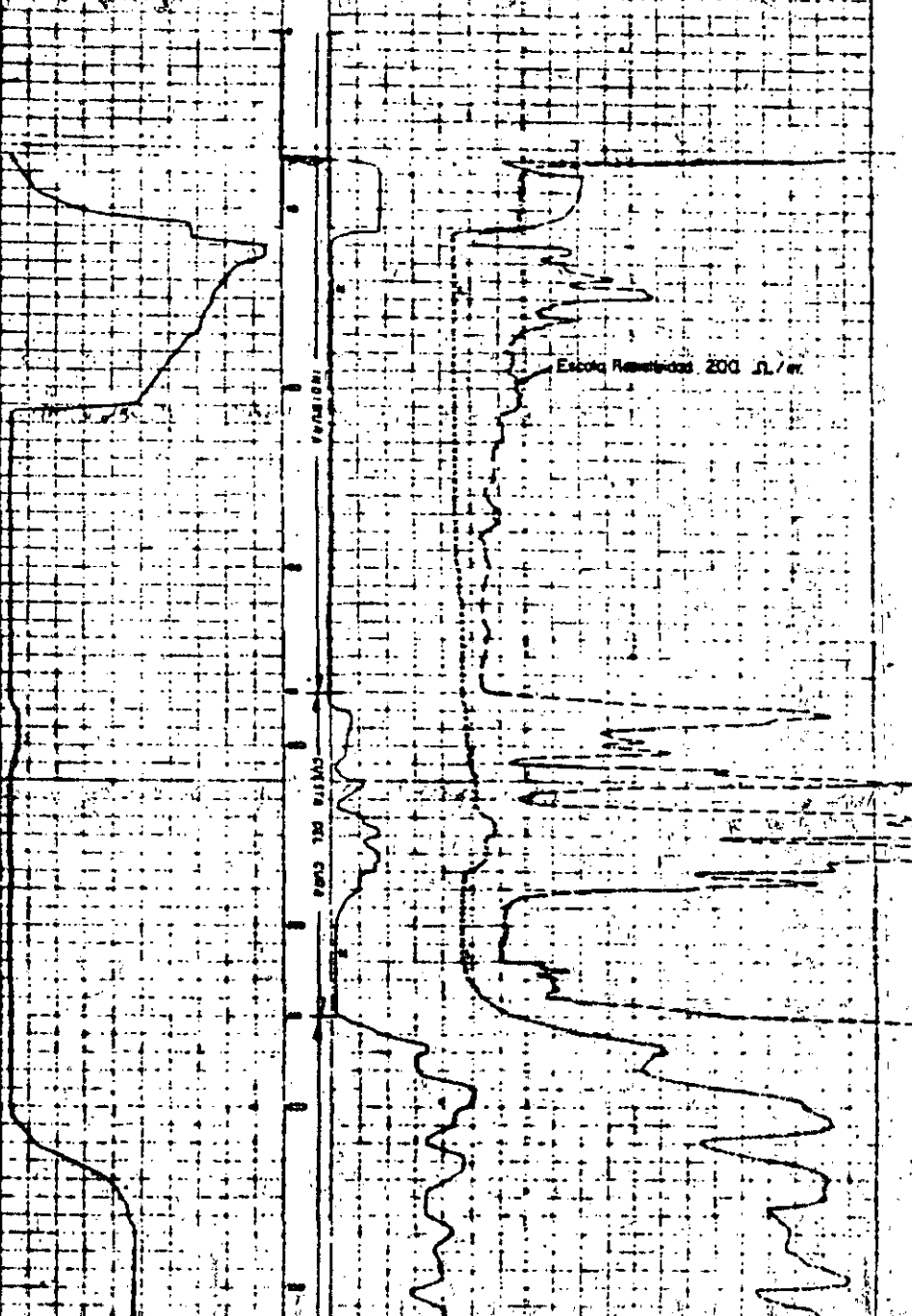
El 20 de Julio de 1957

GRAFICA POTENCIAL

Escala = 200 M. V.

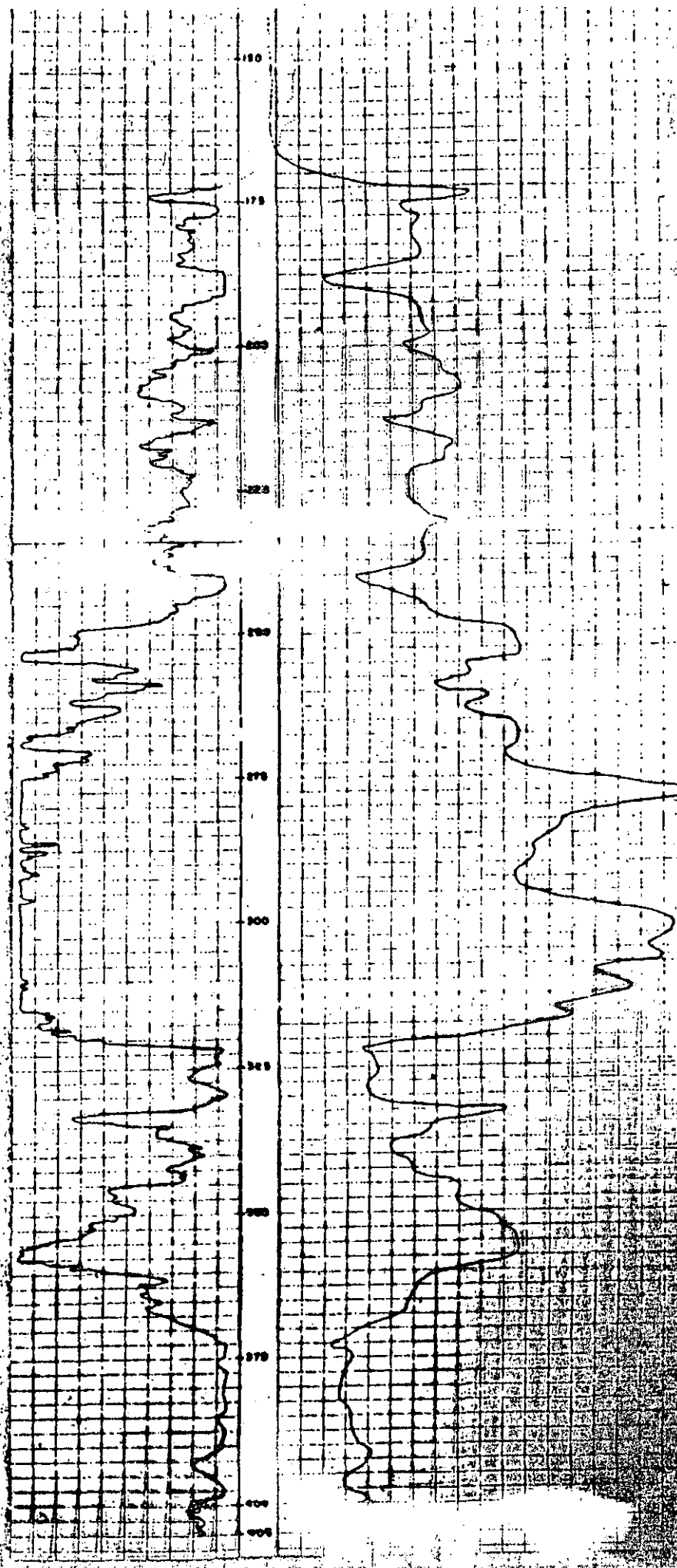
GRAFICA RESISTIVIDAD

Escala = 2000 Ω .m. (Normal y Logar.)



Escala Resistividad 200 Ω .m.

CINTA DEL CUBO



V. F. C. L. L.

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS
DIRECCION DE GEOLOGIA
DEPARTAMENTO DE GEOFISICA

REGISTRO ELECTRICO DEL POZO PC - 4 PERFORADO

EN LA CIUDAD DE LEON, EDO. DE GUANAJUATO.

Antes de la perforación

Profundidad de Perforación 1382 m.

Profundidad de Registro 1377.5 m.

Diámetro del Pozo 66.04 cm. (26")

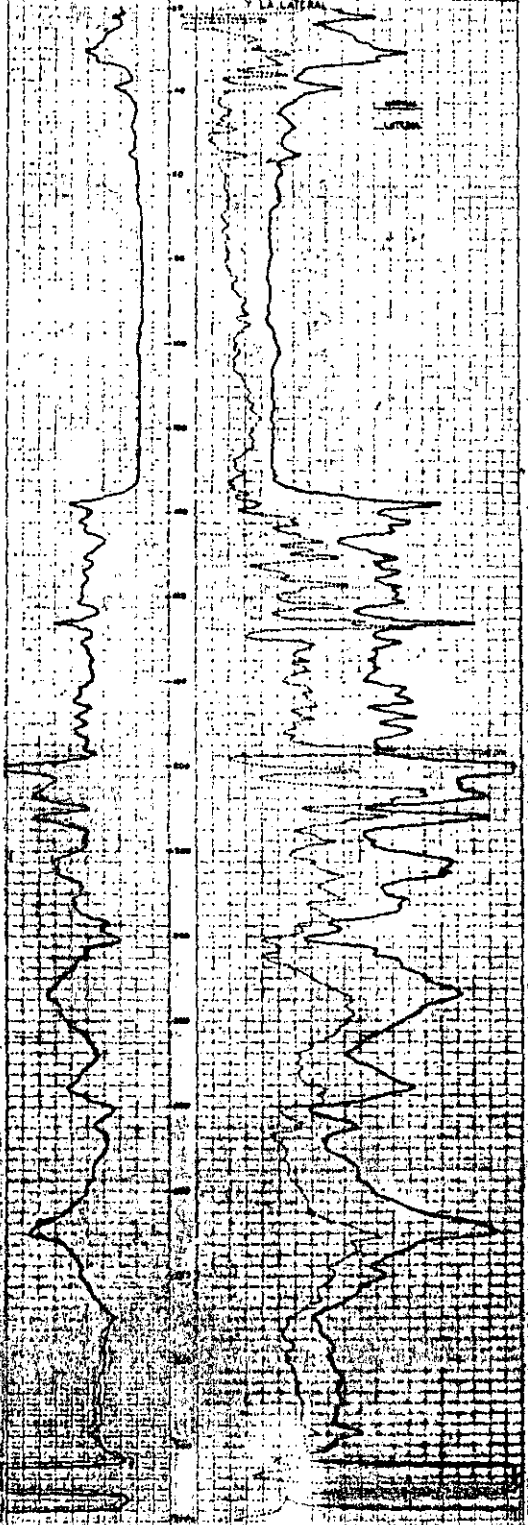
Equipo Registrador

Operado por el Sr. Juan L. y R. Alvarez P.

Fecha 13 de Mayo 1968

GRAFICA DE POTENCIAL
ESCALA EDO. M.V.

GRAFICA DE RESISTIVIDAD
ESCALA 10 OHMS - M. PARA LA NORMAL
100 MA



DIRECCION DE GEOLOGIA
DEPARTAMENTO DE GEOFISICA

REGISTRO ELECTRICO DEL POZO PL - 4 PERFORADO

EN LA CIUDAD DE LEON, EDO. DE GUERRERO.

Antiguo Camino a Guadalupe

Profundidad de Perforacion = 388m.

Profundidad de Registro = 377.5m

Diámetro del Pozo 66.04 cms (26")

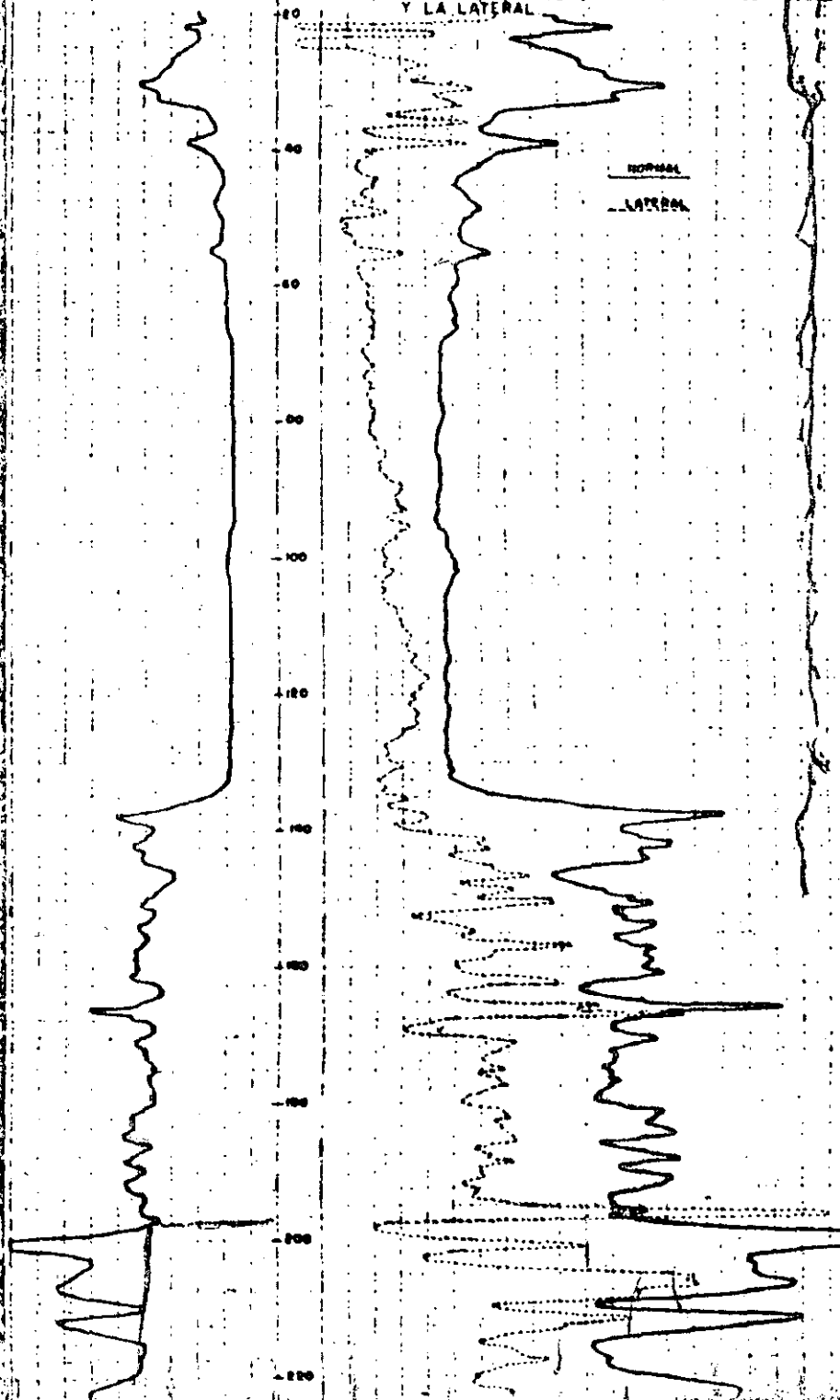
Equipo Geotest

Operó: Ing. H. Salgado L. y R. Alfaro P.

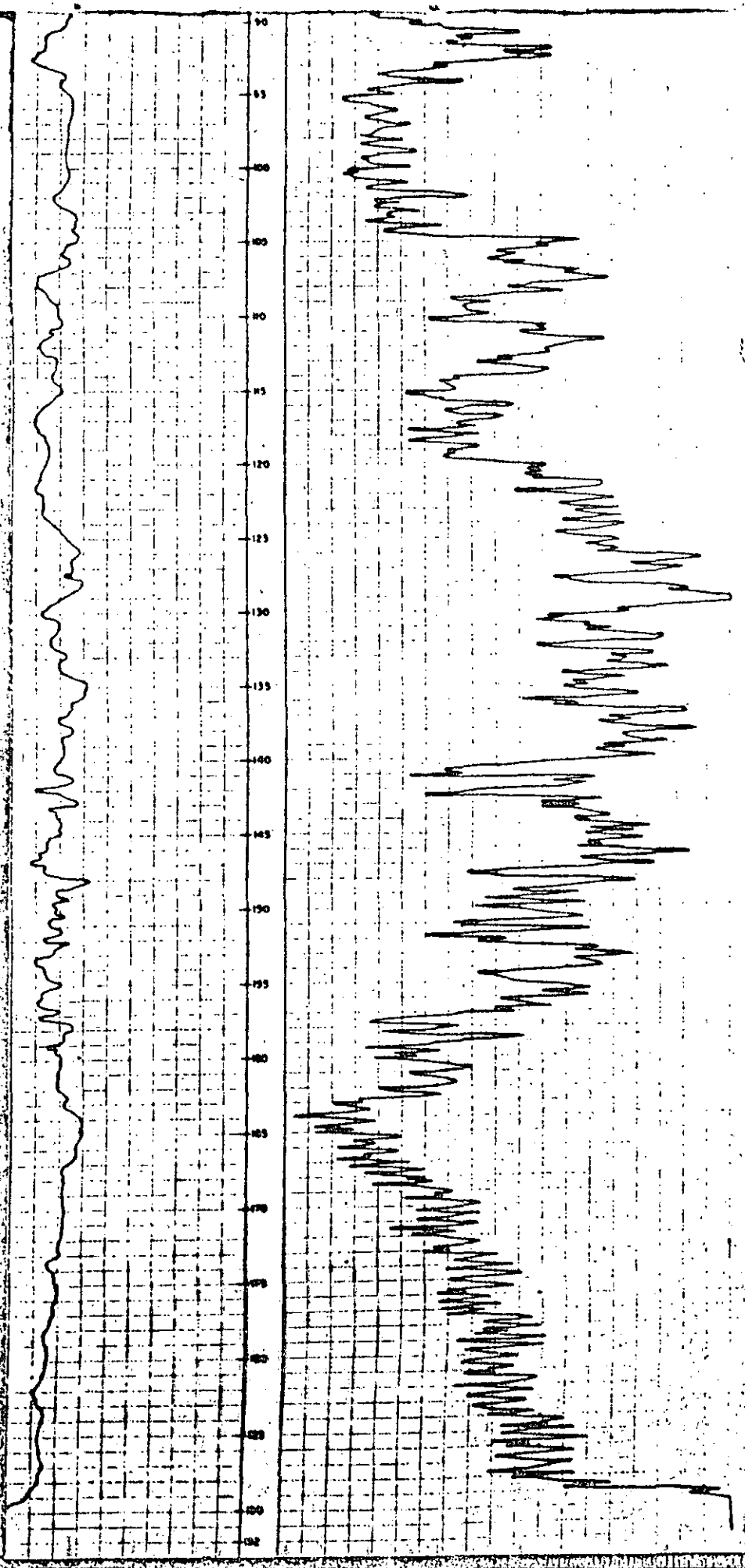
Entre 13 de 1962

GRÁFICA DE POTENCIAL
ESCALA 200 M.V.

GRÁFICA DE RESISTIVIDAD
ESCALA 20 OHMS-M PARA LA NORMAL
Y LA LATERAL



10/5/62



DIRECCION DE GEOLOGIA
DEPARTAMENTO DE GEOFISICA

REGISTRO ELÉCTRICO AL POZO Nº 2 CHALCO, MEX

Profundidad de perforación 192 m

Profundidad del registro 192 m

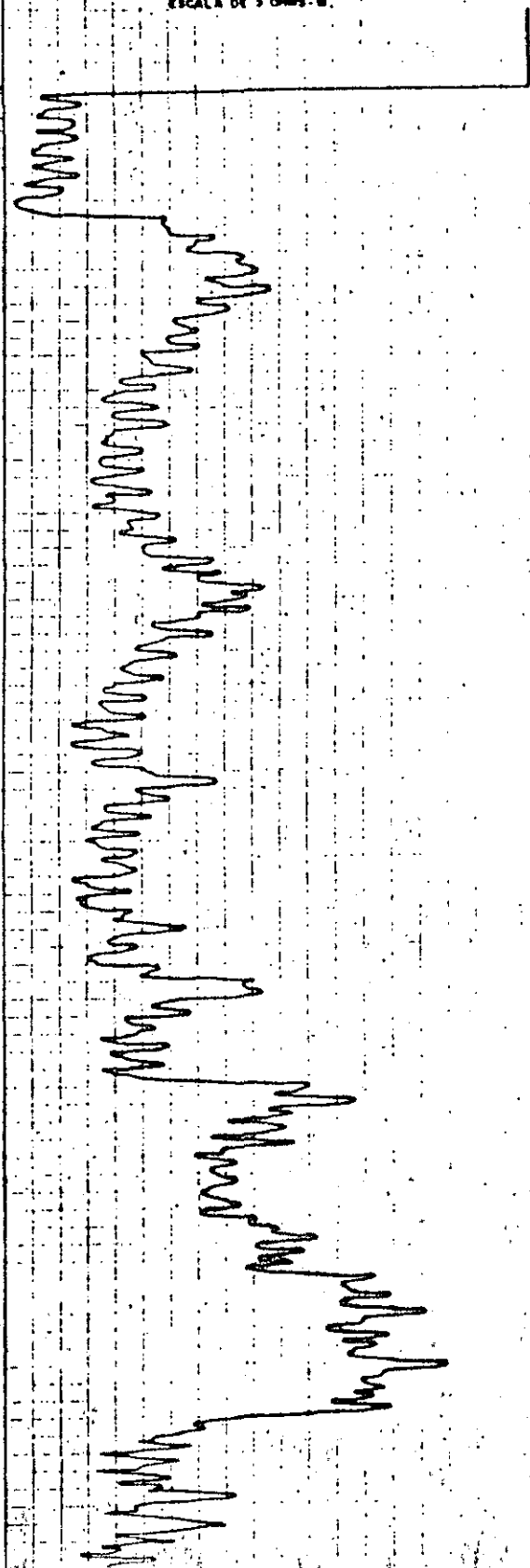
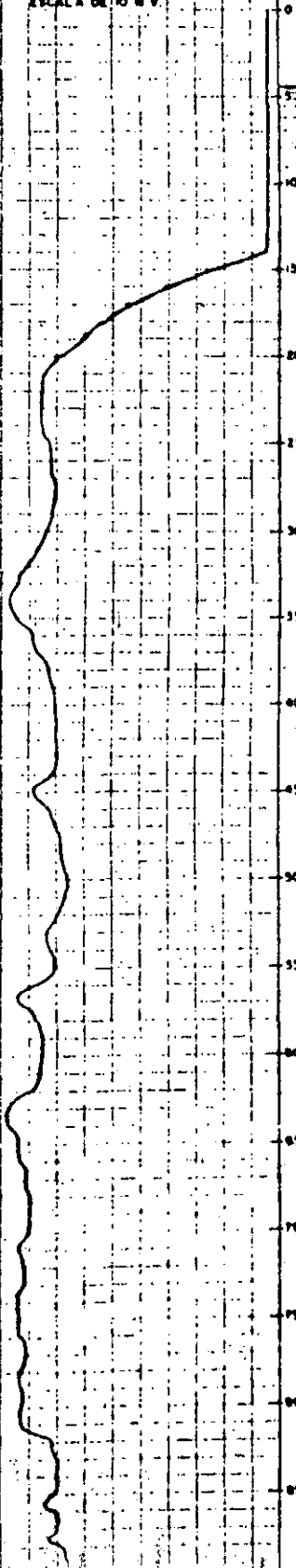
Diámetro de perforación 22"

Módulo de Percepsol

Operador: Ing. M. Sergio Laviano

GRÁFICA DE POTENCIAL NATURAL, Nov. 22 de 1966.
ESCALA DE 10 M.V.

GRÁFICA DE RESISTIVIDAD
ESCALA DE 5 OHMS-M.



TWO ASPECTS OF GEOPHYSICAL EXPLORATION
FOR GROUNDWATER
IN
SASKATCHEWAN

WELL LOGGING

DIRECT CURRENT RESISTIVITY

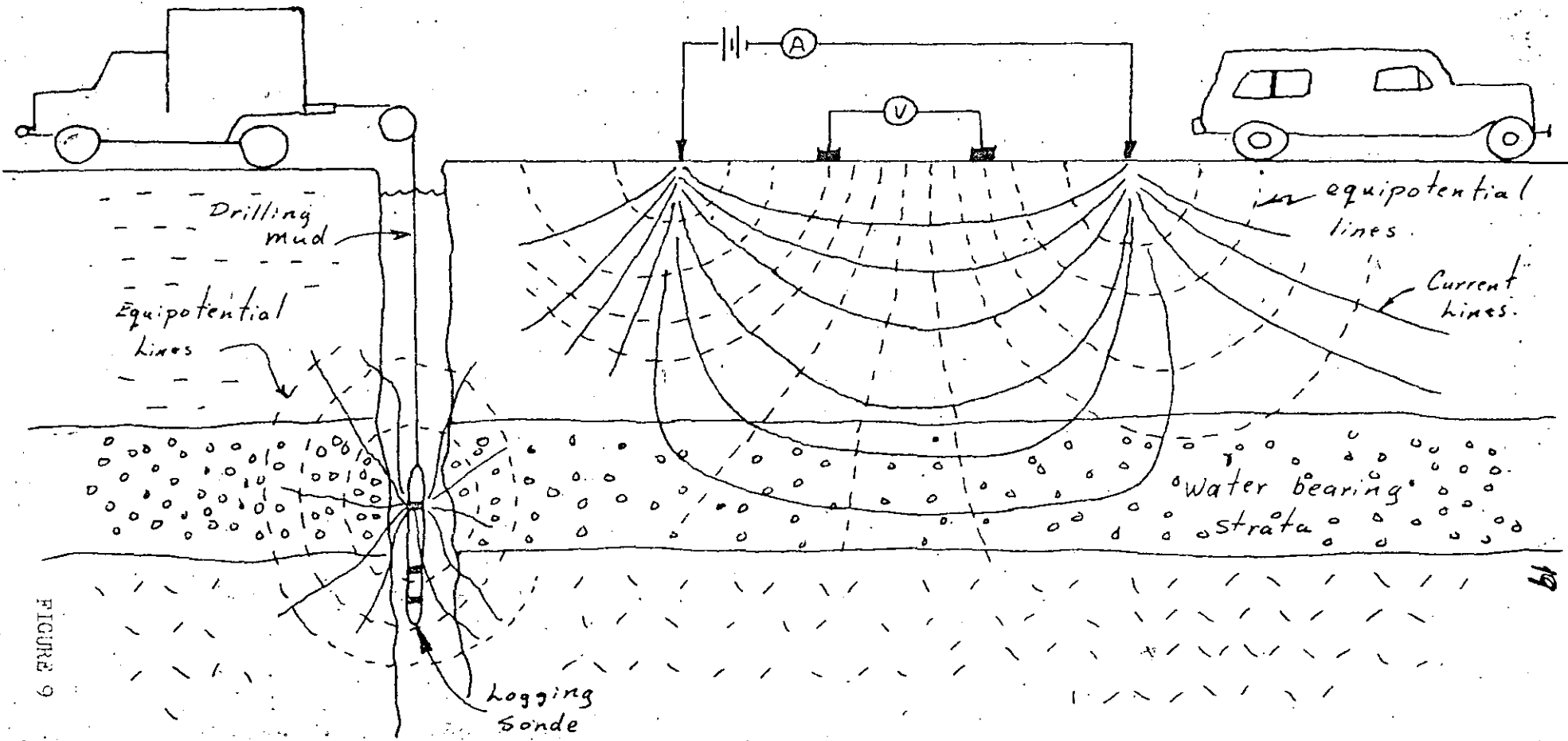
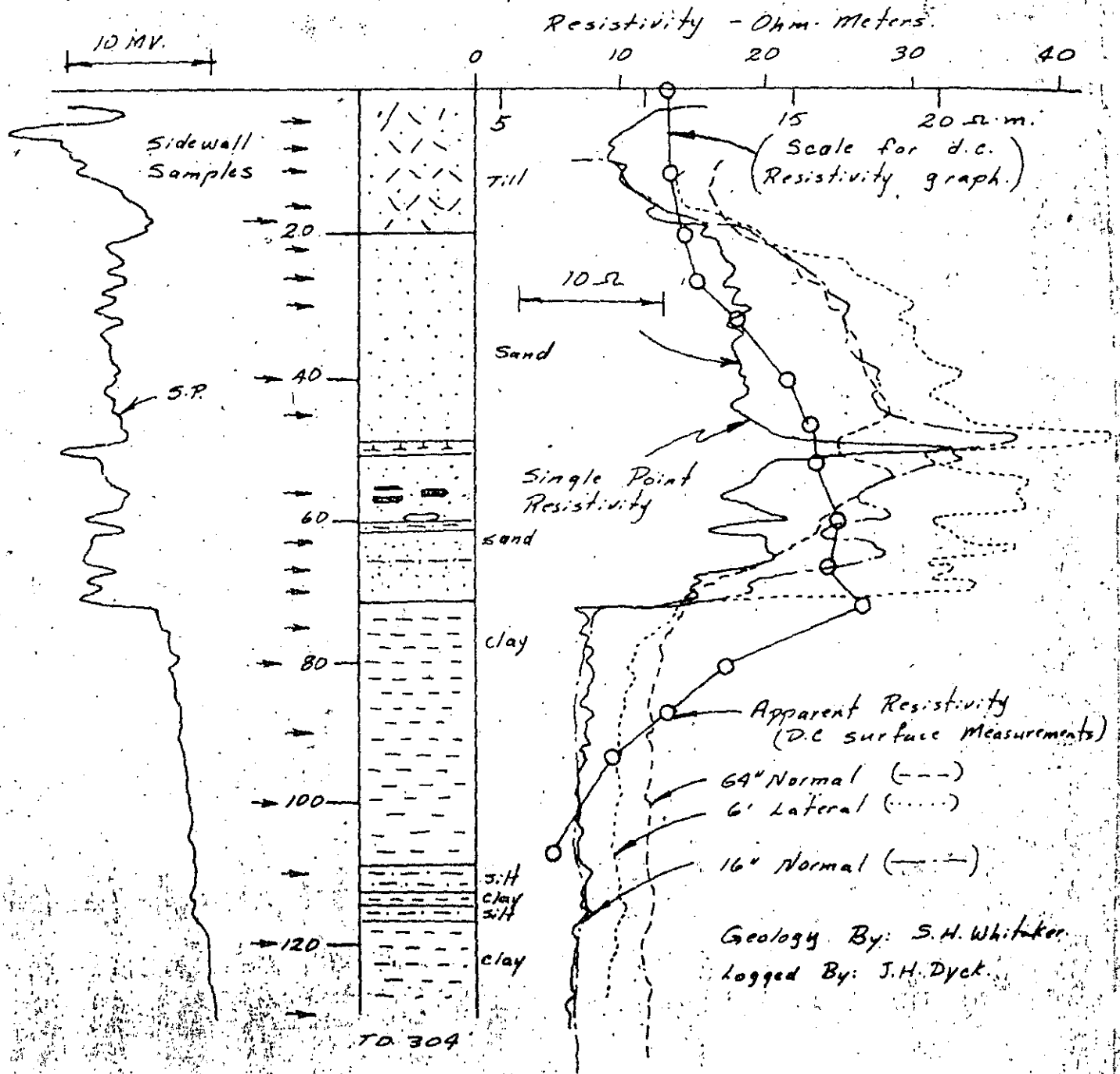


FIGURE 9

SHAUNAVON
66-31

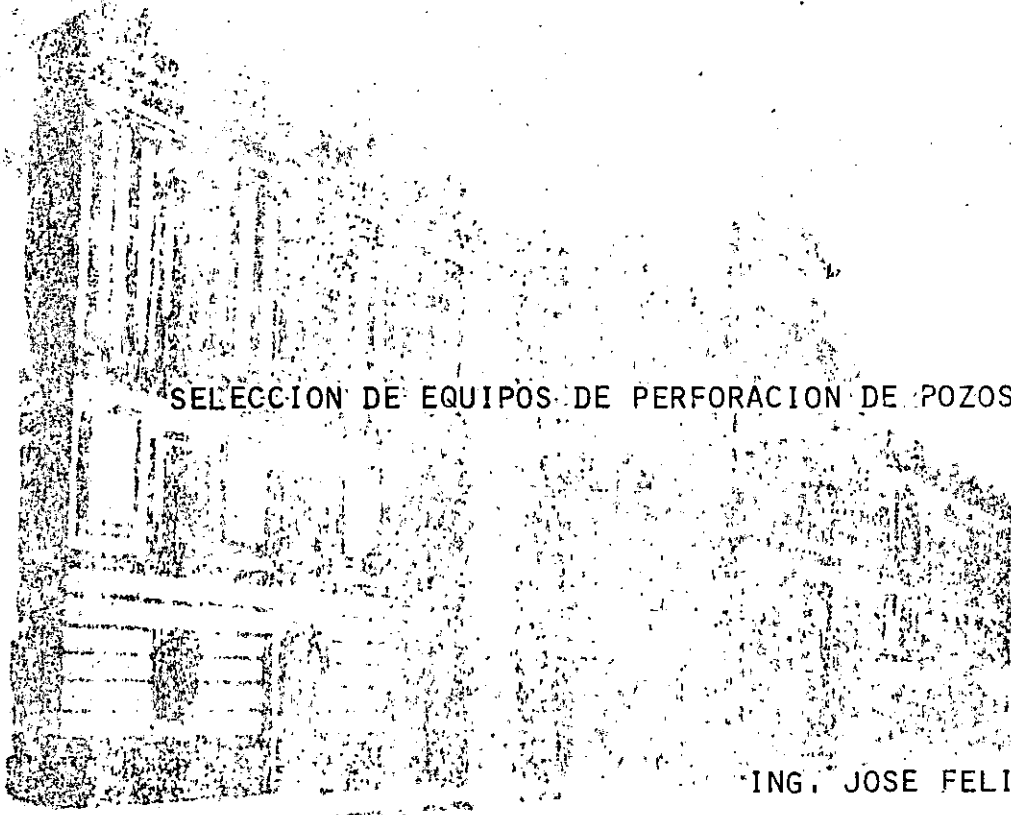


RESPONSE OF ELECTRIC LOG AND SURFACE D.C. RESISTIVITY TO SAND.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA



SELECCION DE EQUIPOS DE PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

ING. JOSE FELIPE YTUARTE O.

ABRIL, 1935

SELECCION DE EQUIPOS

En esta parte del curso se hablará sobre los criterios que deben prevalecer para la selección del equipo de perforación más adecuado para los programas de pozos que se tienen en proyecto realizar. Aunque en estos momentos en que el país atravieza por una situación difícil para el pensar en la adquisición de nuevos equipos se tratará que el criterio que se fije sea aplicable tanto para la adquisición como para determinar las características del equipo que ya se encuentra actualmente operando.

En la selección de un equipo no solamente tiene que pensarse en el equipo básico sino que debe analizarse todos los elementos complementarios que lo conforman tales como tubería de perforación, lastra-barrenas, llaves de apriete, etc. con el fin que todo el conjunto sea congruente para los programas de perforación y en sí de la operación general.

Los principales conceptos que deben analizarse para tomar una determinación de designar el equipo adecuado serán:

1. - Aspecto programas de perforación
2. - Aspectos humanos, de servicio y refaccionamiento.
3. - Análisis del equipo complementario
4. - Aspecto económico

1.- ASPECTO PROGRAMAS DE PERFORACION

Este es uno de los aspectos que en la mayoría de los casos tanto en el sector público como en el privado no se ha analizado a fondo provocando muchas veces limitaciones de los equipos adquiridos, y con esto no poder abarcar todos los programas deseados.

Por lo tanto se tendrá que hacer, un estudio de los programas de perforación llevados principalmente por las Dependencias Federales en función de las profundidades y diámetros de perforación ya que estos dos factores podran por sí solos eliminar un sin número de equipos que actualmente se encuentran en el país y que analizaremos el porque en el punto 3..

2.- ASPECTOS HUMANOS, DE SERVICIO Y REFACCIONAMIENTO

HUMANO.- En este punto el aspecto humano para el autor es tan esencial que muchos pensarán que tiene que ver en la selección del equipo de perforación pero por la experiencia y el conocimiento del personal que labora en todos los trabajos de perforación de pozos de agua a nivel preparación y educativo es generalmente bajo a la vez que no existen programas de capacitación o preparación anterior para la operación de los equipos, es por ello que es tan importante conocer este aspecto pues es demasiado aventurero dejar

en manos de personal impreparado un equipo que si lo consideramos nuevo en la actualidad tiene un costo - de alrededor de \$ 100,000,000.-

Lo anterior tiene como objetivo el tener un - cuidado mayor en la selección del equipo en lo refe- rente a su mayor o menor sofisticación.

SERVICIOS.- Uno de los principales problemas que se han tenido en este país con los equipos de perfora- ción es el que no se producen en México, y general- mente ha sido un mal tanto en la iniciática privada como en el gobierno que se hayan adquirido equipos - por oportunidad en esos momentos y normalmente las compañías representantes venden los equipos olvidán- dose del futuro servicio.

El análisis adecuado de cada uno de los compo- nentes básicos en este punto y conociendo los medios con que se cuentan en el país para un buen servicio de cada uno de los elementos sera una base de gran - peso para la decisión final.

REFACCIONAMIENTO .- Como el punto anterior es de vi- tal importancia hacer un análisis exhaustivo de to- dos los elementos del equipo básico ya que en ocasión el costo por equipo parado por una insignificante re- facción es de grandes dimensiones en comparación con

el costo de la refacción y más aún en las condiciones actuales que ya no existe la facilidad de la importación, por ello entre menos componentes integrantes menor será el problema.

3.- ANALISIS DEL EQUIPO COMPLEMENTARIO

a) EQUIPO DE BOMBEO.- En este renglón el criterio para decidir ya sea para sistemas de perforación con lodo o bien usando aire como fluido de perforación será igual en ambos casos dependiendo del programa de perforación ya que será la base para determinar capacidades de la bomba de lodos o del compresor para que en la operación se puedan resolver todos los problemas que se presenten.

En muchos casos las capacidades de estos elementos limitan la utilización del equipo o bien hacen una operación lenta e ineficiente.

b) SARTA DE PERFORACION.- En este análisis se tendrá ya conocimiento de los programas de perforación que se vayan a ejecutar y en función de ellos decidir el diámetro de la Sarta de perforación.

Consideraremos que el diámetro sea de 22" para entubar a 16" que generalmente se proyectan en las dependencias oficiales será conveniente la utilización de una tubería de perforación de 4 1/2" O.D. y lastra barrenas (Drill Collars) de 7 3/4" en número total que está en función de la capacidad del equipo.

A menor diámetro de perforación y profundidad se podrá combinar tubería de perforación de 3 1/2" - o 2 7/8" con lastra barrenas de 6" o 5" sin embargo siempre existirá una limitación para cubrir otros programas.

c) SISTEMA DE ROTACION.- Dentro del sistema de rotación generalmente se tienen dos formas de transmitir la rotación: por medio de mesa rotaria o mediante cabeza rotaria. En muchos casos se tiene que analizar la capacidad del par de rotación para asumir -- los esfuerzos que se transmiten a través de la sarta de perforación y los diámetros de los agujeros. Sin embargo un factor principal es que cualquier -- sistema que se analice siempre se tratará de que en función de los programas de entubado el equipo permita la operación a través del mismo sin ninguna -- restricción ya que se dan casos que se tiene que retirar el equipo de perforación y utilizar un equipo adicional para poder llevar a cabo la colocación de la tubería lo que significa un costo adicional en los trabajos.

d) LLAVES DE APRIETE .- En este aspecto se buscará que cualquiera que sea el equipo cuente con un sistema hidráulico para operar las llaves de apriete -- de las diferentes marcas que hay en el mercado, pues es el sistema que proporciona la suficiente fuerza

para aplicar el par para desconectar y conectar la sarta de perforación

4.- ASPECTO ECONOMICO

Una vez que se hayan analizado todos los puntos anteriores a detalle y aunque este aspecto es el principal, será más fácil para tomar una decisión tener la seguridad que se han estudiado todos los factores que se mencionaron para formar el cuadro comparativo de los equipos con el mismo criterio en todos sus componentes.

Independientemente que se tendrá que analizar además del precio del equipo total, las facilidades de financiamiento, tiempos de entrega, refaccionamiento mínimo de un año para parte de consumo normal así como los aspectos de contratación que se lo logren obtener.

En forma general se han analizado los aspectos principales para decidir la selección de un equipo para perforación de pozos de agua que pueden ser aplicables para equipo nuevo o en operación y que el hacer un buen análisis llevará por lo tanto a la obtención de mejores resultados y la seguridad que cualquier proyecto quede terminado y no dejado a medio camino con los problemas que ello representa para un programa general.

THE MODERN ROTARY DRILLING COMPLEX

ALL STUDENTS: Be sure to complete the unit pre-test before
you begin your study.

THE MODERN ROTARY DRILLING COMPLEX PROGRAM OBJECTIVES

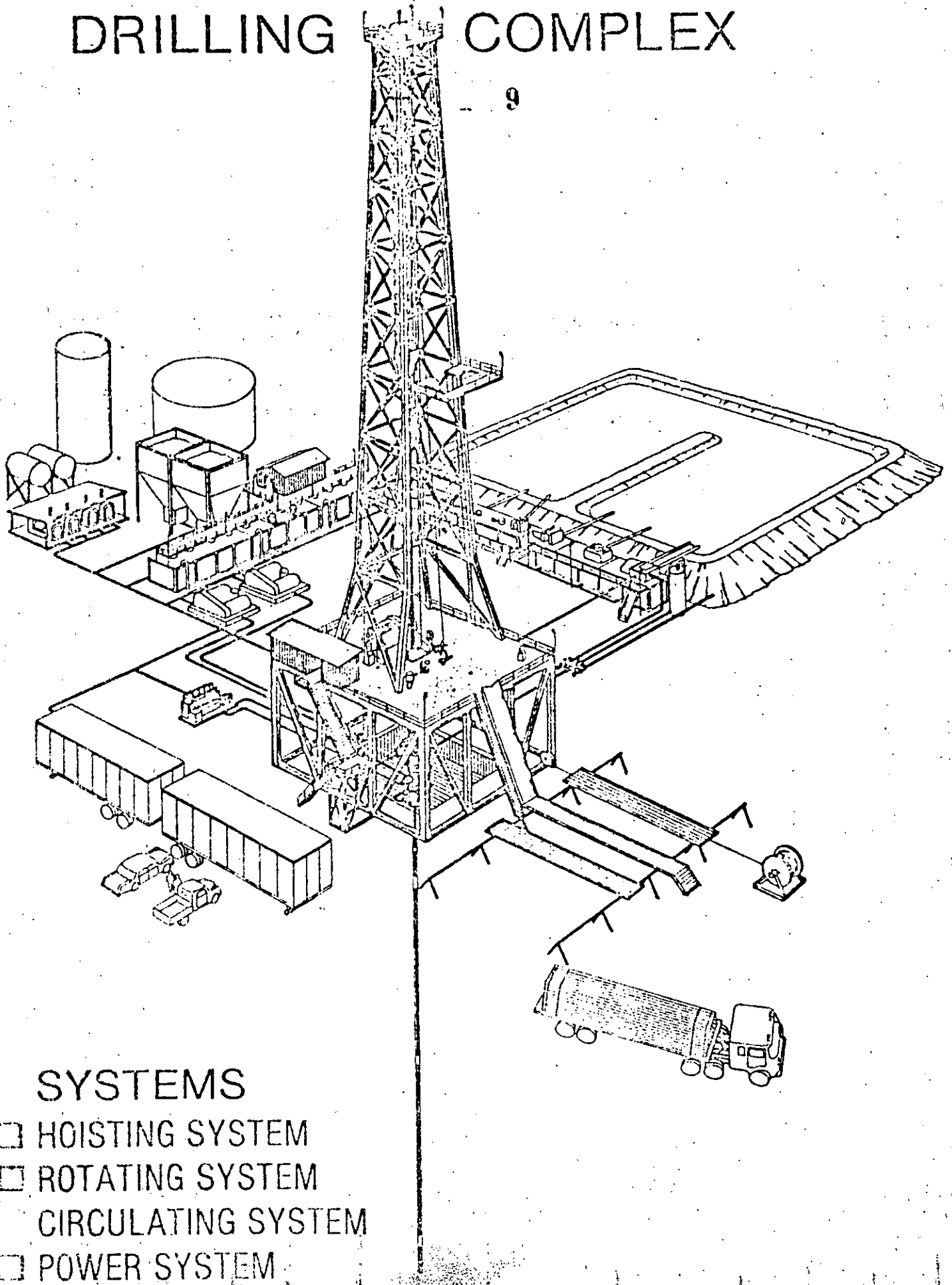
Upon completion of this section, you should be able to:

- Identify and describe each major component system within a modern rotary drilling complex; and
- Identify and describe the major subcomponents within each system.

ALL STUDENTS: When you are ready to begin your study, open this section.

THE MODERN ROTARY DRILLING COMPLEX

9



SYSTEMS

- HOISTING SYSTEM
- ROTATING SYSTEM
- CIRCULATING SYSTEM
- POWER SYSTEM

AN INTRODUCTION

The modern rotary drilling complex is a highly sophisticated industrial facility that has one major function—to safely drill a subsurface hole, called a "well bore," until it penetrates a potential petroleum-bearing formation, permitting any oil or gas to be recovered at the surface.

These drilling operations are achieved by experienced and skilled drilling crews using a modern rotary drilling complex. The complex is an assemblage of specialized equipment and tools that are organized into five interrelated and dependent component systems. The components are: 1) a hoisting system, 2) a rotating system, 3) a circulating system, 4) a power system, and 5) a blowout prevention (BOP) system.

This section (pages 1-16) will provide you with a review of Unit II — The Rig and Its Component Systems.

THE COMPONENT SYSTEMS

11

THE HOISTING SYSTEM

The hoisting system, as represented by the distinctive silhouette of a mast or derrick, is probably the most recognized component of a modern rotary drilling complex. Its primary function is to support the rotating system in "drilling a well" by providing the appropriate equipment and working areas needed for lifting, lowering and suspending the tremendous weights required by the rotating system during drilling operations.

THE ROTATING SYSTEM

The rotating system is the focal point of the entire modern rotary drilling complex. Its primary function is to actually drill the well bore, which is popularly called "making hole." The rotating system is directly or indirectly supported or aided in this operation by all other component systems.

THE CIRCULATING SYSTEM

The circulating system is another major component of a modern rotary drilling complex, providing vital support to the rotating system as a well is drilled. The system provides equipment, materials and working areas to prepare, maintain and revise the "lifeblood" of modern rotary drilling operations—the drilling fluid (popularly called "mud"), which is used to clean and control the well bore during drilling operations.

THE POWER SYSTEM

The power system is the "nucleus" of a modern rotary drilling complex. Its prime movers, or large engines, generate the power required to operate almost all of the components in each system within the complex.

THE BLOWOUT PREVENTION SYSTEM

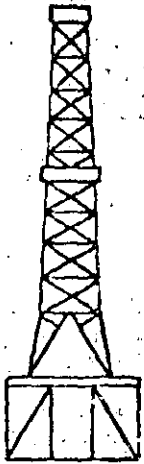
The blowout prevention (BOP) system is a primary "safety" system of a modern rotary drilling complex. Its primary function is to control a "kick," which can result in a drilling disaster that may occur if control over the drilled well bore is lost and subsurface formation fluid under high pressure erupts from the well (a "blowout").

To develop a better understanding of each of the important modern rotary drilling complex components, turn to the next two-page display.

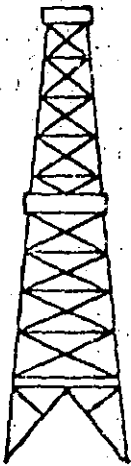
1 THE HOISTING SYSTEM

DRILLING TOWERS

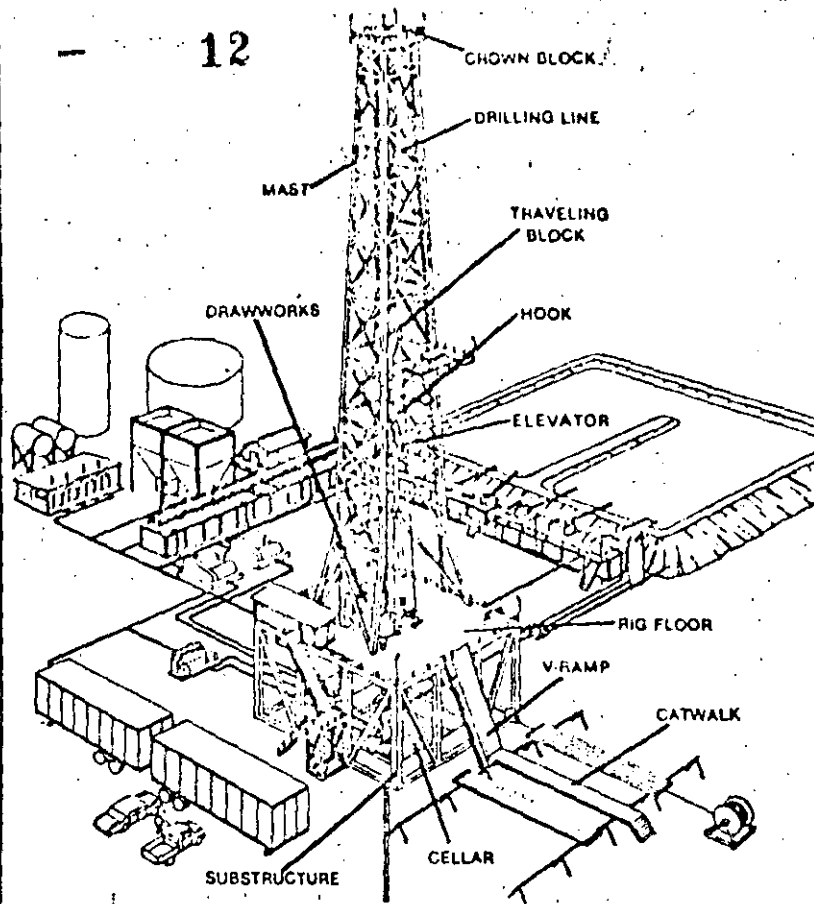
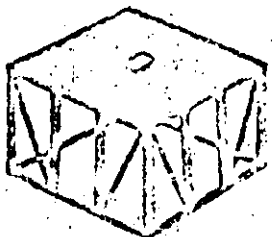
A MAST



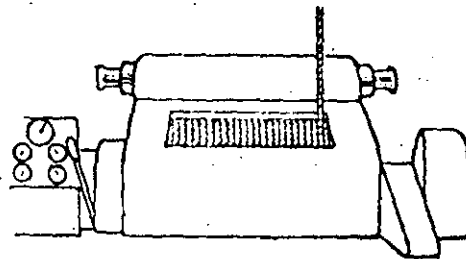
A DERRICK



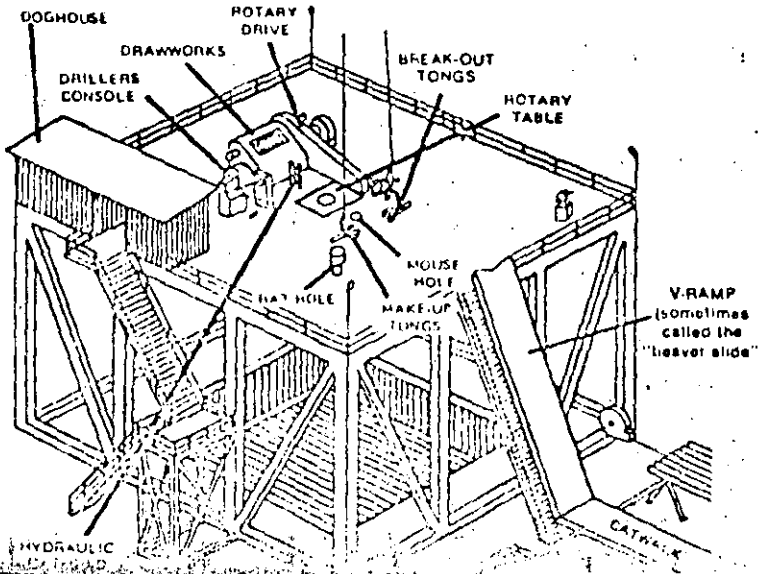
THE SUBSTRUCTURE



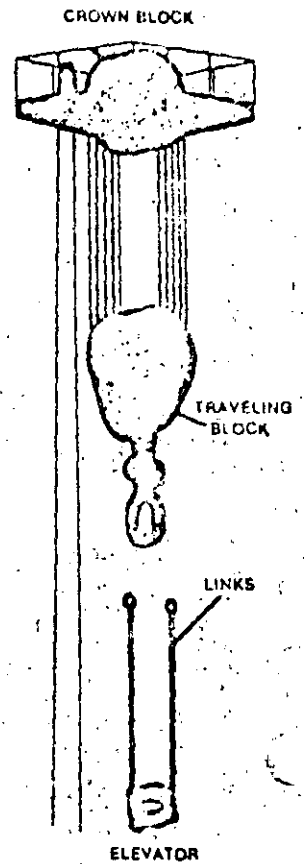
THE DRAWWORKS



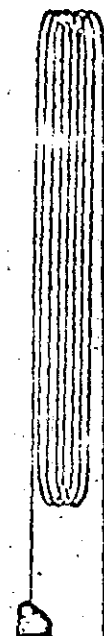
THE RIG FLOOR



THE OVERHEAD TOOLS



DRILLING LINE



THE HOISTING SYSTEM

The hoisting system is one of the most important components in a modern rotary drilling complex. Its primary function is to support the rotating system in "drilling the well" by providing the appropriate equipment and working areas needed for lifting, lowering and suspending the tremendous weights used in the rotating system as it drills the well bore. The hoisting system consists of two major sub-components: 1) the supporting structure (popularly called the "rig"), and 2) the hoisting equipment.

THE SUPPORTING STRUCTURE (RIG)

THE SUPPORTING STRUCTURE IS

A steel framework assembled over the drilling site. The supporting structure includes the following:

- **DERRICK DRILLING TOWER** -OR- **MAST DRILLING TOWER** - A tower-like framework which is assembled piece-by-piece over the well site, above the substructure. This framework covers the entire rig floor and supports the assemblage of tools and equipment used in modern rotary drilling.
- **SUBSTRUCTURE** - A large steel framework assembled over the drilling site which provides work space for equipment and men on and below the rig floor.
- **RIG FLOOR** - The covering placed over the substructure framework which provides a working platform for most rotary drilling operations.

The supporting structure provides the appropriate working space required for using the specialized hoisting equipment.

THE HOISTING EQUIPMENT

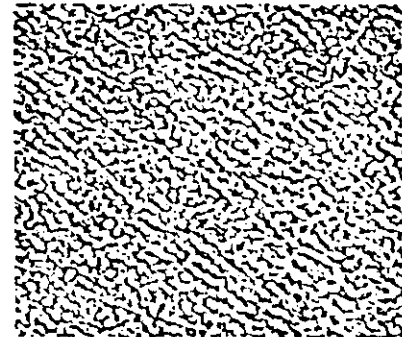
THE HOISTING EQUIPMENT IS

The specialized equipment that lifts, lowers, and suspends the drill stem and bit in the well bore. The hoisting equipment includes:

- **DRAWWORKS** - A powerful hoisting assembly (specialized winch) located near the rotary table on the rig floor. The "connecting links" within the hoisting system—they include:
 - **CROWN BLOCK** - An assembly of sheaves located on a framework at the top of a mast or derrick.
 - **TRAVELING BLOCK** - An arrangement of sheaves that is suspended below the crown block and above the rig floor.
 - **HOOK** - A large hook-shaped device beneath the traveling block from which the swivel and drill stem are suspended during drilling operations.
 - **ELEVATORS** - Extremely rugged, heavy-duty clamps attached to the traveling block or hook by means of elevator links. They are used to lower or raise drill stem sections in and out of the hole.
- **DRILLING LINE** - Heavy-duty steel wire rope that connects all components in the hoisting system.

SELF-CHECK COMPLETE THE FOLLOWING QUESTIONS:

1. The hoisting system supports the r_____ s_____ in drilling a well.
2. The two major sub-components of the hoisting system are the s_____ s_____ and the h_____ e_____.
3. The three major components of the supporting structure are the d_____, t_____, the s_____, and the r_____.
4. The major hoisting equipment components are the d_____, o_____, t_____, and the d_____, l_____.



THE ROTATING SYSTEM

THE DRILL STEM

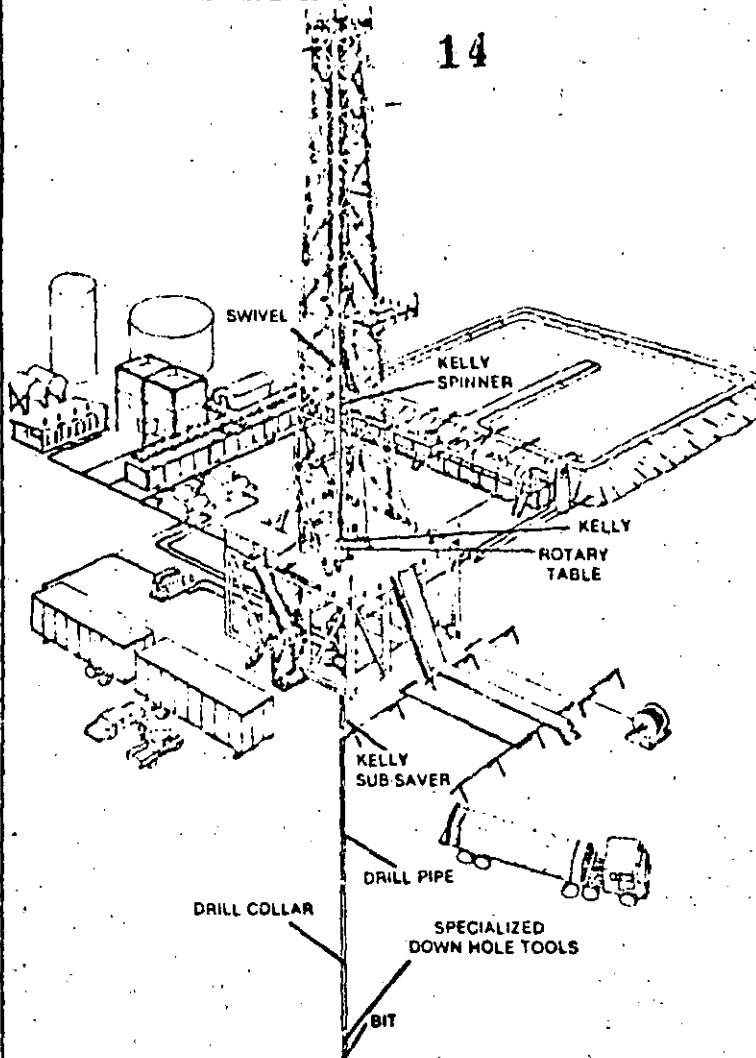
THE SWIVEL



KELLY SPINNER



THE DRILL PIPE KELLY PIPE COLLAR



THE ROTARY KELLY BUSHING



THE ROTARY SLIPS



THE MASTER BUSHING



DOWN HOLE TOOLS

SAVER SUB



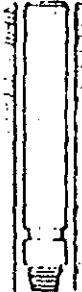
STABILIZERS



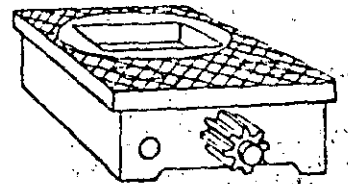
REAMERS



SHOCK ABSORBERS (SHOCK SUB)

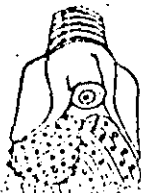


THE ROTARY TABLE



BIT TYPES

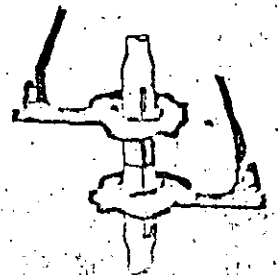
ROLLER-CONE OR ROCK BIT



DIAMOND BIT



ROTARY TONGS



THE ROTATING SYSTEM

The rotating system is another of the important components in a modern rotary drilling complex. Its primary function is to rotate the drill stem and bit, which actually drills the hole (well bore). The rotating system has three major sub-components: 1) the rotary, 2) the drill stem and 3) the bit.

THE ROTARY

15

The rotary is located in the rig floor beneath the crown and over the hole. Rotary operations require the use of the following: the rotary table, master bushing, kelly bushing, rotary slips, and make-up and break-out tongs.

- **ROTARY TABLE** - An extremely rugged and powerful rotating device containing a turntable assembly.
- **MASTER BUSHING** - A removable device that fits into the rotary table and is used with either the kelly bushing or the rotary slips.
- **KELLY BUSHING** - A device that is engaged in the master bushing and transmits torque to the kelly and drill stem during drilling operations.
- **ROTARY SLIPS** - A set of tapered steel gripping devices that are placed inside the master bushing around a section of the drill stem to suspend it in the well bore when adding or removing drill stem sections.
- **MAKE-UP & BREAK-OUT TONGS** - Large wrenches suspended above the rig floor that are used to "make-up" or "break-out" a joint of drill pipe, etc.

The rotary table, master bushing and kelly bushing are used together to rotate the drill stem.

The rotary table, master bushing and rotary slips are used to suspend the drill stem in the hole while adding and removing sections of drill pipe with the assistance of the make-up and break-out tongs.

THE DRILL STEM

The drill stem is suspended beneath the hook and traveling block. It extends through the rotary where it is suspended in the well bore. The drill stem hangs beneath the hook and traveling block by:

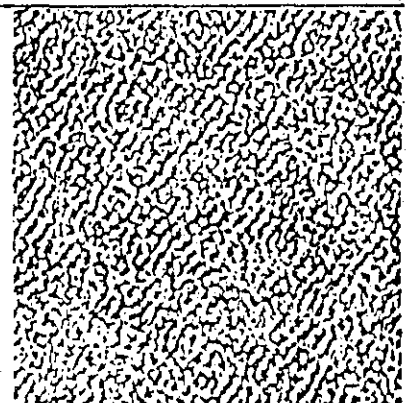
- **THE SWIVEL BAIL & SWIVEL** - A uniquely shaped tool which is located above the drill stem. It allows the drill stem to rotate.
- The drill stem includes:
- **THE KELLY** - A square or hexagon-shaped pipe suspended beneath the swivel bail and swivel that passes through the rotary and transmits torque from the rotary to the drill stem.
 - **THE KELLY SAVER SUB** - A short device connected to the bottom of the kelly to save wear and tear on the lower kelly connection threads.
 - **DRILL PIPE JOINTS** - Round, hollow steel tubes with tool joints attached, located in the upper and middle sections of the drill stem. They are used to lengthen the stem and act as a connecting link to the drill collars and bit.
 - **DRILL COLLARS** - Thick-walled, heavy steel tubes placed on the bottom of the drill stem to provide concentrated weight to the bit.
 - **SPECIALIZED DOWN-HOLE TOOLS** - Tools used in the lower 120 feet of the drill stem to influence the behavior of the bit.

THE BIT

The bit is the tool that actually cuts or bores the hole at the bottom of the well bore.

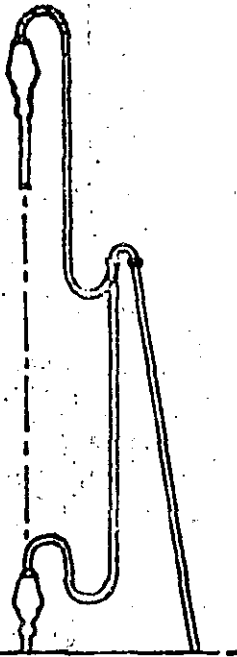
SELF-CHECK COMPLETE THE FOLLOWING QUESTIONS:

1. The rotating system actually d_____ the well.
2. The three major components of the rotating system are the r_____, the d_____ s_____ and the b_____.
3. The rotary consists of a number of important components including the r_____, t_____, m_____, b_____, k_____, b_____, and the r_____, s_____.
4. The drill stem includes the k_____, k_____, s_____, s_____, d_____, p_____, j_____, d_____, c_____, and s_____, d_____, -h_____.



3 THE CIRCULATING SYSTEM

ROTARY HOSE
AND
STAND PIPE



CONDITIONING
EQUIPMENT

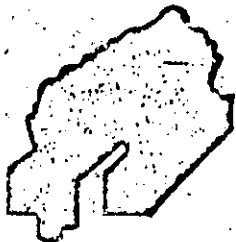
SHALE SHAKER



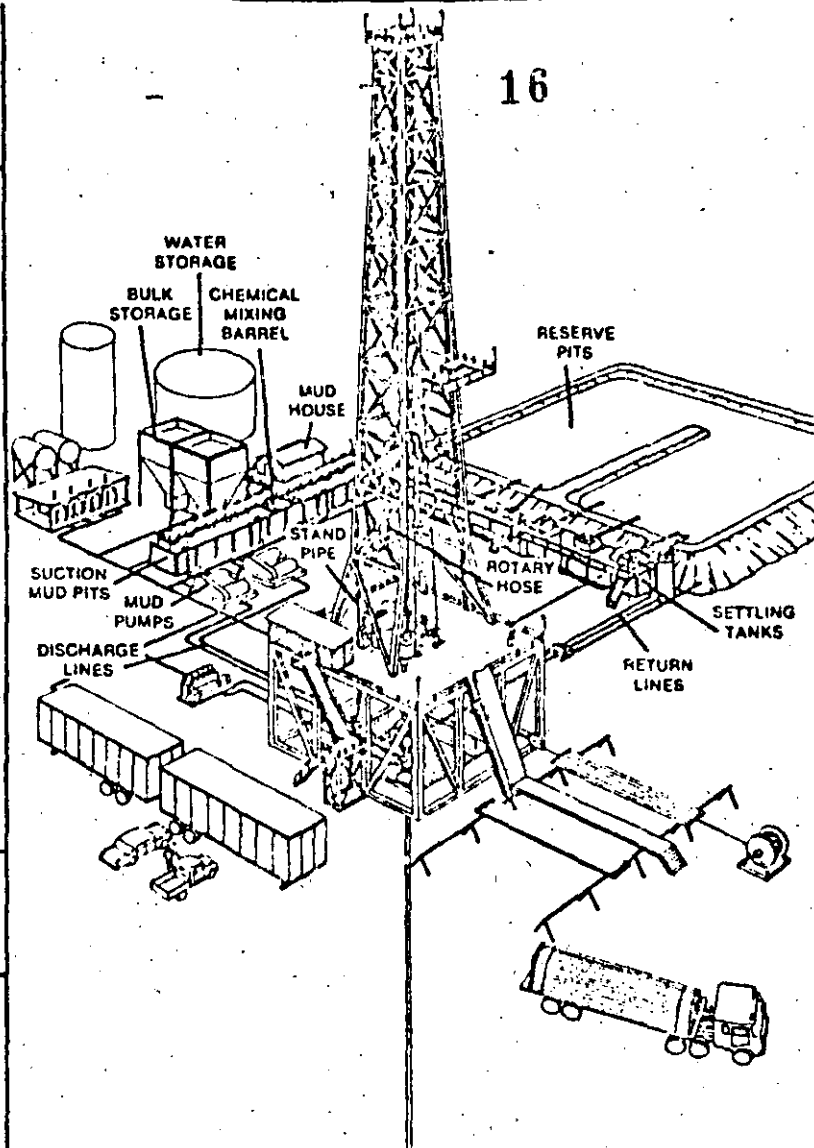
DEGASSER



DESANDER



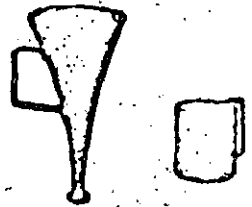
DESILTER



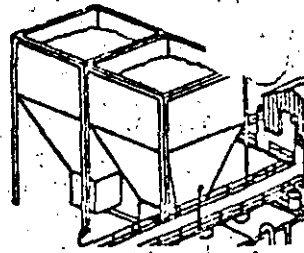
MUD
TESTING
WEIGHT TEST



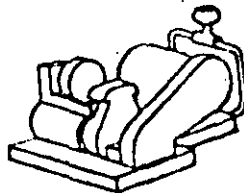
MARSH FUNNEL



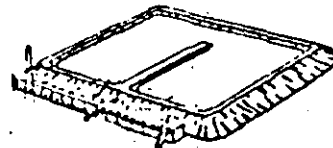
BULK STORAGE



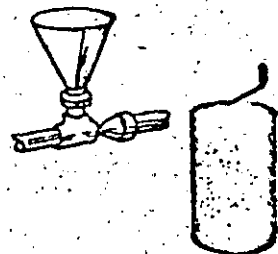
MUD PUMPS



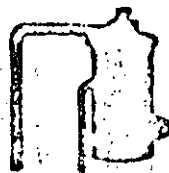
RESERVE PITS
(Earthen)



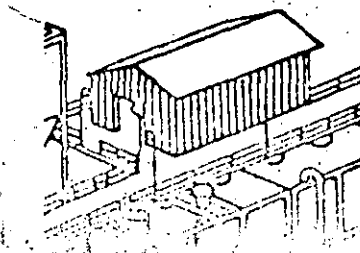
MIXING
EQUIPMENT



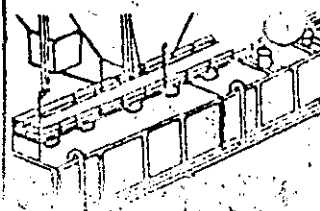
MUD-GAS
SEPARATOR



THE MUD HOUSE



STEEL MUD PITS



THE CIRCULATING SYSTEM

The circulating system is another important component in a modern rotary drilling complex. Its primary function is to support the rotating stem in "drilling the well" by providing the appropriate equipment, materials and work areas needed to prepare, maintain and revise the "blood" of rotary drilling operations — the drilling fluid. The drilling fluid is popularly called "mud." The circulating system consists of four major sub-components: 1) the drilling fluid, 2) the preparation area, 3) the circulating equipment and 4) the conditioning area.

17

THE DRILLING FLUID

The drilling fluid is the special liquid that is circulated down into the drilled hole, assisting the bit in drilling the hole, and then helping control conditions within the well bore. There are three basic types of drilling fluid: 1) water-based, 2) oil-based, and 3) air or gas-based. The drilling fluid is tested continually. Two basic tests are: 1) the weight test which measures the density of the drilling fluid and 2) the marsh funnel test which measures the viscosity of the drilling fluid.

THE PREPARATION AREA

The preparation area is located at the start of the circulating system near the "mud pumps," where drilling fluid is initially prepared, maintained or altered, depending on well bore conditions. The area contains:

- MUD HOUSE - A storage shed for additives.
- STEEL MUD PITS - Steel containers that facilitate handling of drilling fluid at the surface.
- MIXING HOPPER - A device used to add additives to drilling fluid.
- CHEMICAL MIXING BARREL - A device used to add chemicals to drilling fluid.
- BULK MUD STORAGE BINS - Large bins used for storing additives used in large quantities.
- WATER TANK - A storage container for water used in the preparation area.
- RESERVE PIT - A large earthen pit used to hold wastes from the well bore and to store excess drilling fluid.

THE CIRCULATING EQUIPMENT

The circulating equipment is the specialized equipment that physically moves the drilling fluid from the preparation area in and out of the well bore, to the conditioning area, then returns it to the preparation area for recirculation. The equipment includes:

- DISCHARGE AND RETURN LINES - Connecting lines that transport drilling fluid to and from the well bore.
- STAND PIPE - A steel pipe clamped vertically to the derrick or mast, connecting the drilling fluid discharge lines to the rotary hose.
- ROTARY HOSE - A strong, flexible rubber hose that connects the stand pipe with the swivel.
- MUD PUMPS - Powerful pumps that physically move the drilling fluid during circulation.
- SPECIAL PUMPS AND AGITATORS - Devices used to mix or assist in mixing the drilling fluid.
- STEEL MUD PITS - Additional steel containers that facilitate the handling of drilling fluid.
- RESERVE PITS - Large earthen pits used to hold wastes from the well bore.

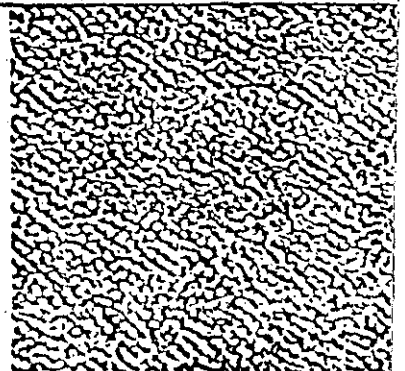
THE CONDITIONING AREA

The conditioning area is the area where drilling fluid is "cleaned-up" after it has been brought up out of the well bore. The area includes:

- SETTLING TANKS - Steel containers (mud pits) used to hold drilling fluid used during conditioning.
- MUD-GAS SEPARATOR - A device that removes larger quantities of entrained gases that have entered the drilling fluid.
- SHALE-SHAKER - A device that removes large formation cuttings from the drilling fluid.
- DEGASSER - A device that continuously removes entrained gases that have entered the drilling fluid.
- DESANDER - A device that removes granular particles from the drilling fluid.
- DESILTER - A device that removes the most minute formation particles from the drilling fluid.

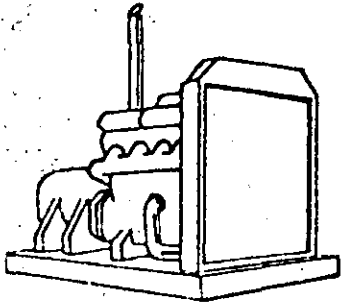
SELF-CHECK COMPLETE THE FOLLOWING QUESTIONS:

1. The circulating system supports the r _____ s _____
2. The four major components of the circulating system are the d _____ f _____, the p _____ a _____, the c _____ e _____ and the c _____ a _____
3. The conditioning area includes the s _____ t _____, the m _____ g _____ s _____, the s _____ s _____, the d _____, the d _____ and the d _____
4. Drilling fluid is popularly called "m _____"



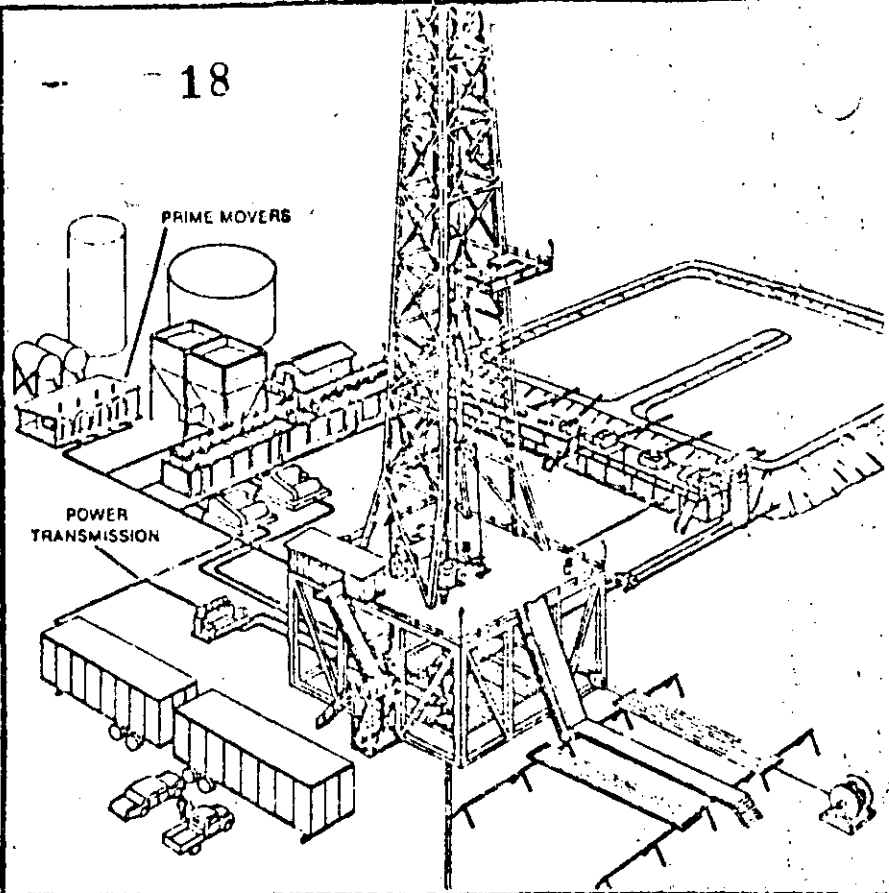
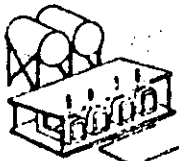
THE POWER SYSTEM

THE PRIME MOVER

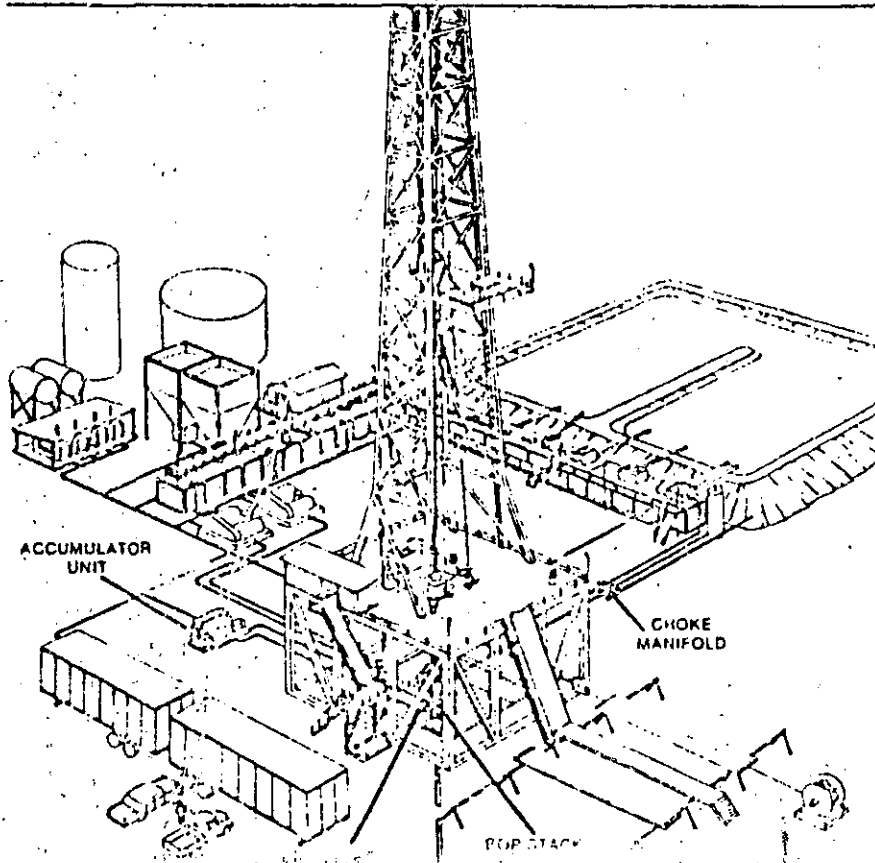


18

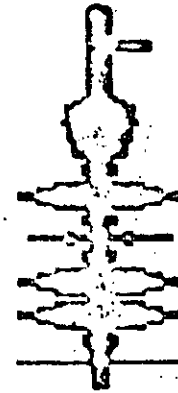
POWER TRANSMISSION



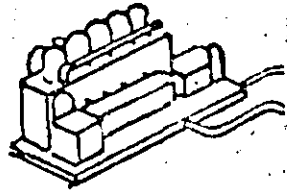
5 THE BLOWOUT PREVENTION SYSTEM



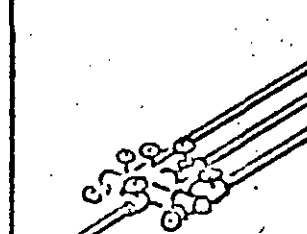
THE BOP STACK



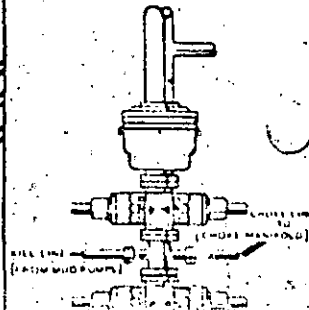
THE ACCUMULATOR UNIT



THE CHOKER MANIFOLD



THE KILL LINE



THE POWER SYSTEM

The power system is another major component in a modern rotary drilling complex. Its primary function is to support ALL of the other systems by providing a source for the energy requirements of modern rotary drilling operations. The power system consists of two major sub-components: 1) the primary power source (prime movers) and 2) the accompanying power transmission system.

19

THE PRIMARY POWER SOURCE

The primary power source for a rotary drilling complex is provided by the prime movers. Prime movers are large internal combustion engines that are arranged into a compound. The engines may be with or without generators. Rigs are classified as being either gas, diesel or diesel-electric.

THE POWER TRANSMISSION SYSTEM

The power generated by the prime movers is distributed to the appropriate locations on a rig complex by mechanical or electrical means.

- MECHANICAL TRANSMISSION - Uses an elaborate gear and chain arrangement requiring careful alignment.
- ELECTRICAL TRANSMISSION - Uses a system of cables providing greater flexibility and efficiency.

SELF-CHECK COMPLETE THE FOLLOWING QUESTIONS:

1. The power system supports a _____ of the other component systems.
2. The two major sub-components of the power system are the p _____
p _____ s _____ and p _____ t _____ system.
3. Power is generated at the rig complex by large engines called
p _____ m _____
4. Power is distributed around a rig by one of two methods:
m _____ or e _____ transmission.

ADVANCED STUDY STUDENTS: Refer to the "Supplemental Self-Check" booklet.

THE BLOWOUT PREVENTION SYSTEM

The blowout prevention (BOP) system is the final major component in a modern rotary drilling complex. Its primary function is to control a "kick," which can result in a "blowout." The blowout prevention system consists of two major subcomponents: 1) the blowout preventor (BOP) stack and accumulator unit, and 2) the supporting units.

THE BOP STACK AND ACCUMULATOR UNIT

The blowout preventer (BOP) stack is an assembly of special pressure-sealing devices located at the casing (well) head directly under the rotary table. Its major function is to seal the well bore when a blowout is imminent. This is done with the assistance of the accumulator unit.

THE SUPPORTING CHOKES AND KILL SYSTEM

- CHOKEMANIFOLD - An assembly of high pressure flanged pipe fittings and lateral outlets used to control and maintain back pressure during a severe "kick" and to disperse well bore fluids to the pit or the mud-gas separator until the "kick" is controlled.
- KILL LINE - A line attached to the blowout preventer (BOP) stack that permits heavy-duty drilling fluid to be pumped into the well bore in order to regain well bore balance (control) during a "kick."

NOTE: REGARDLESS OF THE TYPE OF BLOWOUT PREVENTION (BOP) SYSTEM ON A RIG, THE MAINTENANCE AND SUPERVISION OF THE SYSTEM IS EXTREMELY IMPORTANT. IN EFFECT, THE FINAL "SAFETY SYSTEM" IS THE RIG CREW, WHO MUST MONITOR AND OPERATE THE BOP SYSTEM WHEN A PROBLEM OCCURS.

SELF-CHECK COMPLETE THE FOLLOWING QUESTIONS:

1. The primary function of the blowout prevention system is to c _____
a "k _____"
2. The BOP system consists of two major sub-components: the B _____
s _____ and a _____ u _____ and the
s _____ u _____
3. The BOP supporting units are the c _____ m _____ and
the k _____

THE MODERN ROTARY DRILLING COMPLEX

The major function of a modern rotary drilling complex is to drill a subsurface hole, called a "well bore," which penetrates a petroleum-bearing formation. These drilling operations are achieved by experienced and skilled drilling crews using the complex's five interrelated and interdependent component systems described below:

THE HOISTING SYSTEM

- Supports the rotating system in drilling the well bore and is made up of two sub-components:
 - 1) a supporting structure
 - 2) the hoisting equipment

THE ROTATING SYSTEM

- Rotates the drill stem and makes the bit drill a subsurface hole, called a "well bore," and is made up of three sub-components:
 - 1) the rotary
 - 2) the drill stem
 - 3) the bit

THE CIRCULATING SYSTEM

- Supports the rotating system as it circulates the "lifeblood" of rotary drilling operations—the drilling fluid. The circulating system is made up of four major sub-components:
 - 1) the drilling fluid
 - 2) the preparation area
 - 3) the circulating equipment
 - 4) the conditioning area

THE POWER SYSTEM

- Generates and distributes the primary power required to operate all other component systems. It is made up of two major sub-components:
 - 1) the primary power source (prime movers)
 - 2) the power transmission system

THE BLOWOUT PREVENTION (BOP) SYSTEM

- Controls one of the major problems that may be encountered when drilling a well—a "kick," which can result in a blowout. It consists of two major sub-components:
 - 1) the blowout preventer (BOP) stack and accumulator unit
 - 2) the supporting choke and kill system

When you are ready to check your mastery of the information contained in this section, fold in page 3, cover this review page and complete the Information Mastery Self-Check on the next page.

INFORMATION MASTERY SELF-CHECK

COMPLETE THE FOLLOWING SECTIONS AS DIRECTED:

21

PART I Match the correct function in Column B by placing the letter in front of the system in Column A.

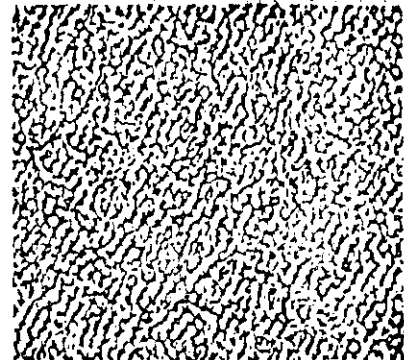
COLUMN A

- ___ 1. Hoisting System
- ___ 2. Rotating System
- ___ 3. Circulating System

- ___ 4. Power System
- ___ 5. Blowout Prevention (BOP) System

COLUMN B

- A. Supports rotating systems by moving drilling fluid.
- B. Controls drilling problems.
- C. Supports rotating system by lifting tremendous weights
- D. Supports almost all component systems
- E. Actually drills the well



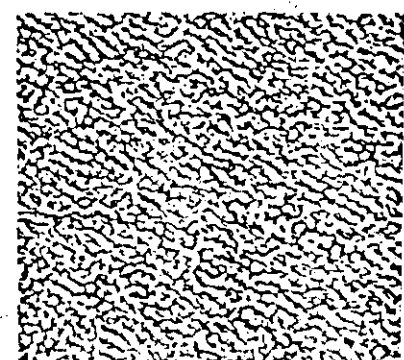
PART II Classify each of the system components listed below by placing the letter of the system in Column B in front of the component in Column A. Column B letters may be used several times.

COLUMN A

- ___ 6. The drilling fluid
- ___ 7. Prime mover
- ___ 8. The preparation area
- ___ 9. Supporting structure
- ___ 10. The rotary
- ___ 11. The drill stem
- ___ 12. BOP stack
- ___ 13. The conditioning area
- ___ 14. The bit
- ___ 15. Power transmission system

COLUMN B

- A. The Hoisting System
- B. The Rotating System
- C. The Circulating System
- D. The Power System
- E. The Blowout Prevention (BOP) System



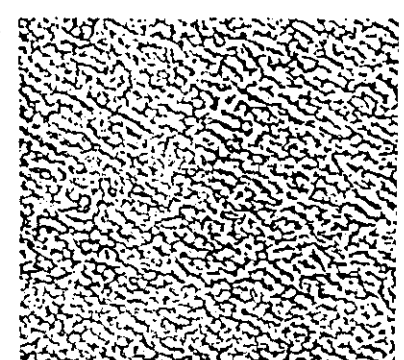
PART III COMPLETE THE FOLLOWING STATEMENTS:

15. What is the major function of a modern rotary drilling complex? _____

16. A subsurface hole is also called a "w _____ b _____."

17. Primary power is provided by the p _____ m _____.

18. Describe the function of the BOP system. _____





**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

SISTEMA DE PERCUSION Y PESCA

ING. RAFAEL JIMENEZ GRANADOS

ABRIL, 1935

PERCUSION SIMPLE

La perforación es una de las técnicas más antiguas y la historia consigna obras de este tipo anteriores a la Era Cristiana; por ejemplo, el "Pozo de Jacob", que fué excavado hasta una profundidad de 50 metros hace aproximadamente 3,500 años y el de José en el Cairo, que alcanzó la profundidad de 90 metros y fué perforado empleando como herramienta una guía - en forma de espiral.

Se dice que los egipcios 500 años A. de C. empleaban una especie de corona de perforación para cortar la roca y que sus dientes estaban formados por piedras preciosas y cuarzo; pero es a los chinos a quienes se atribuye el haber construído el primer equipo de perforación aprovechando el principio de la caída libre

En el año 1600 A. de C. idearon el "mástil con pértiga de resorte", sentando con éste los principios básicos de la perforación de tipo percusión, ya que... "subían y bajaban una herramienta metálica suspendida de un cable de rota, (calamus rudentum, palmácea común en Asia) y que... "de -- cuando en cuando vaciaban algunos cubos de agua al pozo para ablandar la roca y reducirla a pulpa... " y ... " a ciertos intervalos bajaban al pozo un recipiente tubular para extraer la rezaga..."

Es importante consignar que en Artois, provincia del Norte de Francia, en 1126 fué perforado un pozo que resultó brotante y ha estado fluyendo desde entonces.

Con este motivo los pozos que al perforarse, sus aguas fluyen, re--

ciben el nombre de "Pozos Artesianos".

También fueron los chinos quienes aunque en forma elemental idearon varios tipos de herramientas usadas en los equipos actuales y construyeron mástiles, juntas de tuberías y llegaron a cementar sus ademes. Pero no fué sino hasta el Siglo XIX en el que aprovechando el principio de los chinos se desarrollaron nuevas técnicas en la perforación.

En sus inicios fué el hombre quien utilizó su fuerza para impulsar las herramientas dentro del pozo; posteriormente utilizó acémilas, pero -- siempre empleando mástiles con pértiga de resorte.

Alrededor del primer tercio de ese Siglo, hubo algunos cambios notables en la perforación: se patentaron las tijeras de perforación de dos eslabones, que incrementaron la profundidad de corte; se dió a conocer el uso del agua a presión para levantar la rezaga, que fundó las bases del sistema de perforación en inversa, y se empleó la máquina de vapor, que transformó el panorama: se inventaron máquinas, torres, herramientas, etc.

Fué hasta pasada la mitad del Siglo cuando las ideas y experimentos iniciados 20 o más años atrás, empezaron a dar sus frutos. Se patentó la perforadora de circulación inversa y por este método se perforó un pozo de 2,197 pies de profundidad.

También se patentaron y pusieron en práctica las primeras perforadoras de tipo rotatorio, aplicándolas a la minería y paralelamente se inició el empleo de las barrenas de perforación. Pero a la terminación de ese período se tuvieron los mayores logros respecto a la perforación rotatoria y

las experiencias cobradas por colapsos, dieron origen al empleo de los lodos como fluídos de perforación.

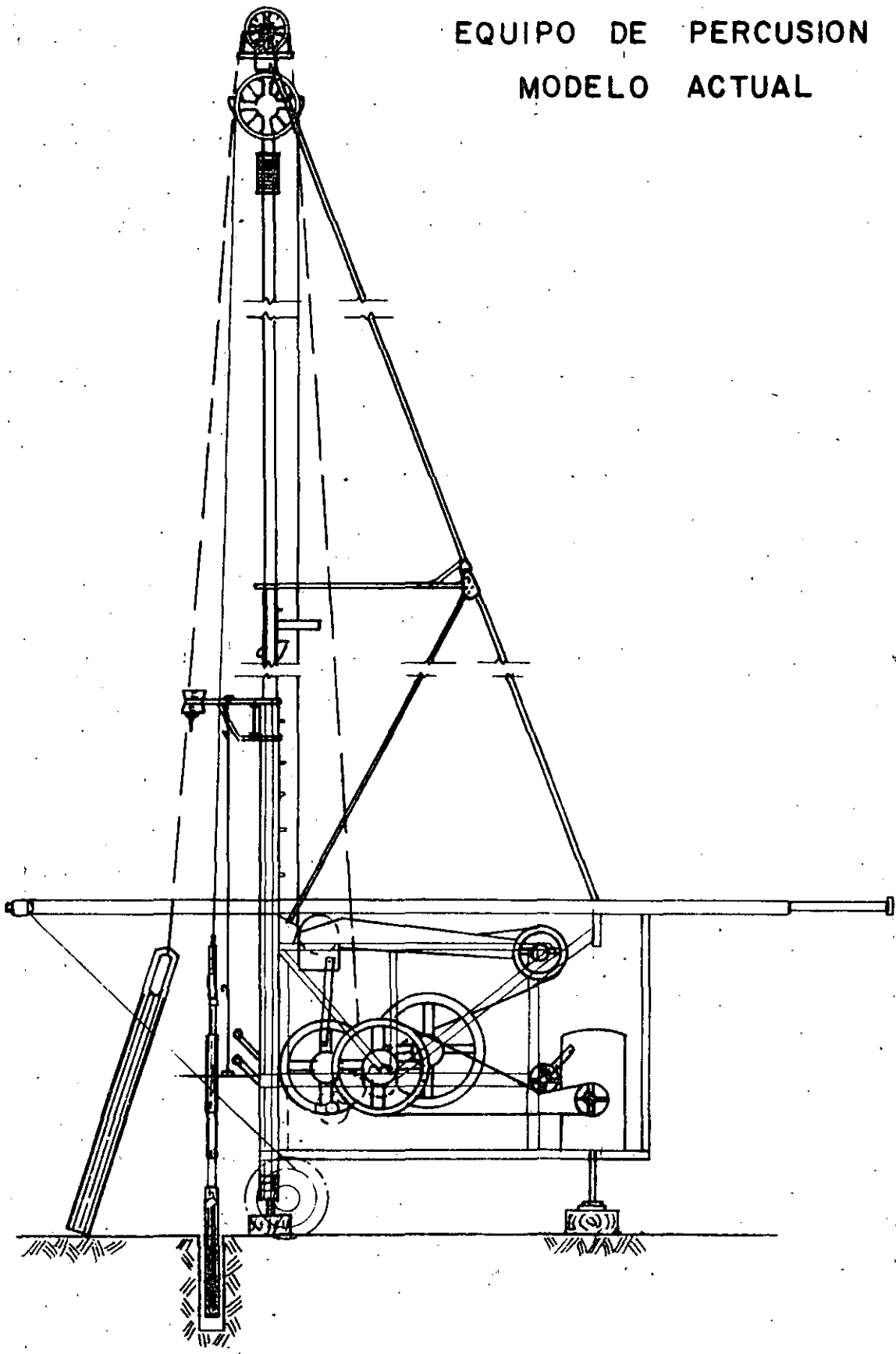
Todos los fracasos, desvelos y experiencias anteriores tuvieron su recompensa al alcanzarse el éxito deseado en el campo Spindletop de Beaumont, Tex. donde a la profundidad de 1,040 pies brotó el petróleo en tal abundancia que la producción de ese pozo fué de 100,000 barriles diarios.

Esta fecha, 10 de Enero de 1901, marcó el inicio de la curva ascendente de los equipos rotatorios a tal grado que 50 años después, los pozos de petróleo perforados en los Estados Unidos por el sistema de percusión, sumaban únicamente el 17 1/2 por ciento y actualmente el hablar de ese tipo de máquinas en la perforación de pozos de petróleo es casi como referirse a las primeras locomotoras de vapor.

El método de la "pertiga de resorte" con algunas variaciones fué aplicado en diversas partes del mundo a la perforación de pozos con varios propósitos; inicialmente a la extracción de salmuera.

Los americanos lo emplearon en sus primeras perforaciones en la forma más simple. Sobre una horqueta encajada en el suelo, se montaba el extremo mas grueso y corto de una rama de mas o menos 40 pies, flexible, recta y resistente que se anclaba en el piso. Al extremo libre, se ataban el cable de perforación y a éste la herramienta de corte. Otros cables con estribos eran atados a esa misma parte de la rama para producir el impulso necesario para bajar la herramienta al pozo. Este principio, con sus modificaciones fué utilizado en la construcción de equipos con los que se perfora

EQUIPO DE PERCUSION
MODELO ACTUAL



ron los primeros pozos en Estados Unidos, recibiendo el nombre de técnica de perforación americana. Utilizando este método el Coronel Drake perforó el Titusville, Pa. en 1859, el primer pozo petrolero, perforándose muchos pozos someros en la misma área.

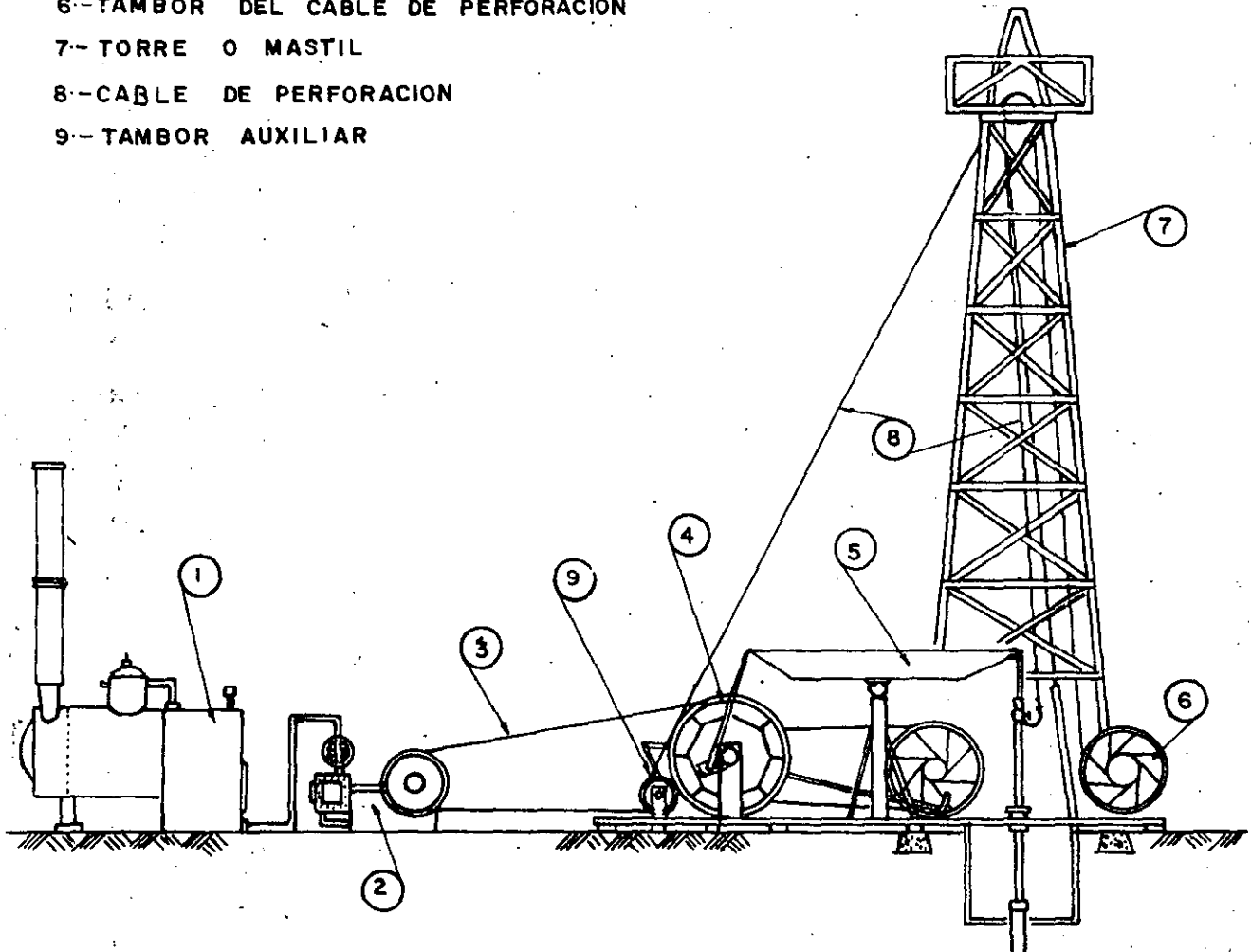
La máquina de vapor fué aplicada a esta clase de trabajos, utilizándose en su forma más simple: una máquina reversible común de un pistón controlado por una simple válvula de corredera, se utilizaba para producir un movimiento recíprocante al cable de perforación desde una gran polea llamada "polea de transmisión", la flecha metálica se conectaba al extremo del balancín de la biela por medio de una manivela. El cable de perforación se ataba al extremo opuesto al balancín, de tal manera que se accionara con cada revolución de la polea de transmisión. Figura I.

Los primeros equipos fueron pequeños y ligeros; para izar la herramienta se empleaba un simple trípode hecho de tres tiras de madera unidas por un extremo que soportaba una polea de madera o fierro. El cable de perforación pasaba sobre la polea y la energía era aplicada en el extremo libre por un malacate de operación manual o mecánico.

Con equipos semejantes se perforaron pozos en zonas donde las condiciones geológicas fueron favorables, pero hubo necesidad de hacerles algunos cambios, agregar nuevas partes que imponían los nuevos trabajos, hasta que finalmente se llegó al equipo de perforación a cable o de percusión al que se llamó "Equipo Estandar Americano".

EQUIPO DE PERCUSION MODELO ANTIGUO

- 1-- CALDERA
- 2-- PISTON
- 3-- BANDA DE TRANSMISION
- 4-- VOLANTE
- 5-- BALANCIN
- 6-- TAMBOR DEL CABLE DE PERFORACION
- 7-- TORRE O MASTIL
- 8-- CABLE DE PERFORACION
- 9-- TAMBOR AUXILIAR



Los equipos que conocemos actualmente, constan principalmente de un bastidor de acero estructural soldado eléctricamente en el que se instalan: la unidad de potencia, sistemas de transmisión, malacates para perforación, cuchareo y entubado, el balancín y la biela; el mástil o torre telescópica, compuesto de dos secciones fácilmente izables, que descansan sobre la estructura al ser transportado; polea y cables para los trabajos y maniobras. Figura 2.

La máquina se opera a través de controles localizados generalmente en la parte posterior derecha de la unidad. Para su transporte rápido se monta sobre un chasis de camión o remolque. Figura 3.

Al conjunto de herramientas para realizar los trabajos de perforación y/o pesca o rescate se le llama sarta y se compone de trépano o herramienta de corte, barretón o barra de peso, tijeras de perforación y portacable giratorio, al cual se conecta el cable de perforación. Cuando se trata de una sarta de pesca, en lugar de la herramienta de corte se coloca el pescador diseñado para ese trabajo específico, y en vez de las tijeras de perforación se utilizan las de pesca cuya carrera o desplazamiento es aproximadamente 8 veces mayor que la de perforación; además el portacable es fijo, para poder asegurar el "pescado" o herramienta que se encuentra dentro del agujero. La unión de las herramientas que forman la sarta se realiza mediante el enroscado de un piñón y una caja, empleando llaves especiales con boca de sección cuadrada. FIGURA 4

Antes de la fundación del Instituto Americano del Petróleo (American

TARIMA DE OPERACIONES

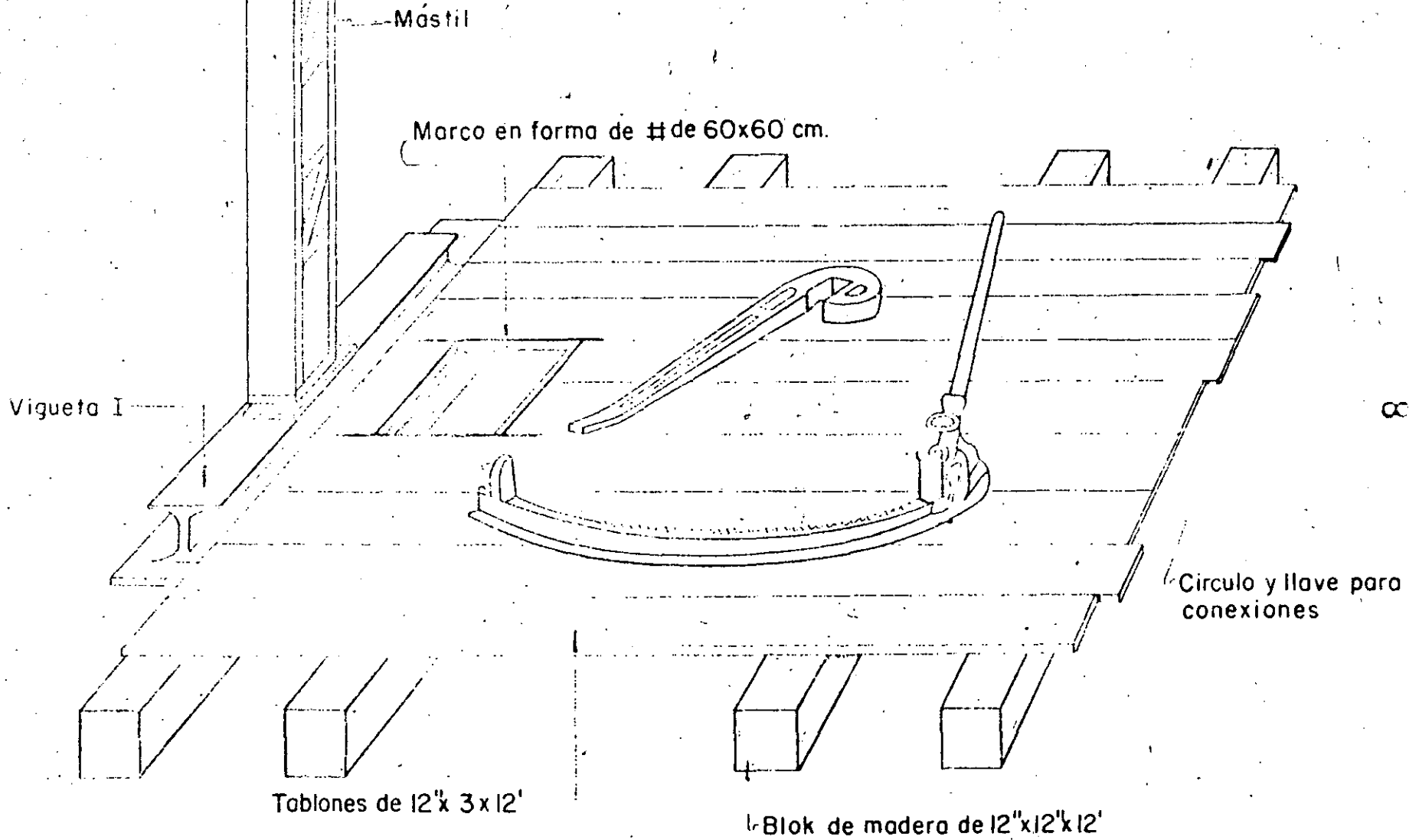
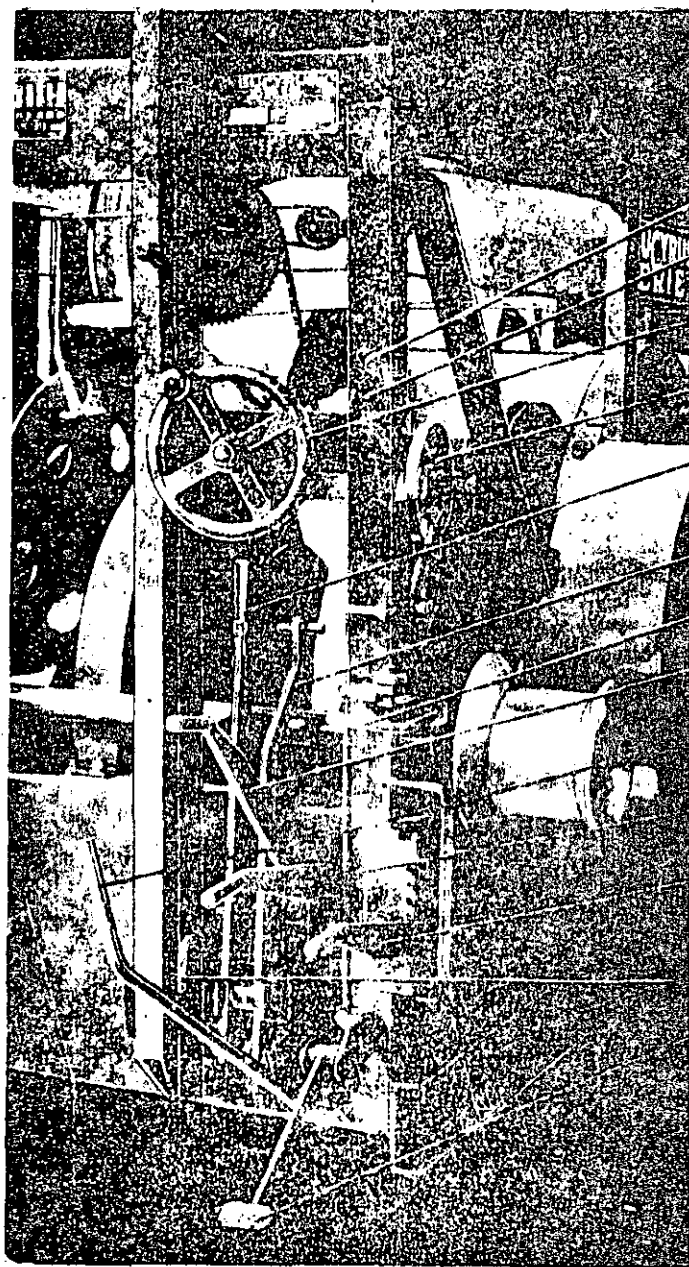


FIGURA 4

CONTROLES DE OPERACION



- Interrupor de encendido.
- Interrupor del arrancador - eléctrico.
- Volante manual para embobinar el cable.
- Acelerador del motor.
- Control de embrague de marcha adelante.
- Palanca de embrague de perforación.
- Palanca de embrague de contra marcha.
- Palanca del tambor de cucharreo y freno.
- Cambio de tambores de herramientas y ademado.
- Freno del tambor de ademado.
- Freno del tambor de perforación.
- Embrague del guinche del mástil.
- Pedal del acelerador del motor.

FIGURA 3

Petroleum Institute) A.P.I., cada fabricante de herramientas diseñaba sus propias cuerdas o roscas, generalmente rectas; con filetes rectangulares, angulares etc. y con un número arbitrario de hilos por pulgada. Las cuerdas rectas propiciaron frecuentes pescas y abandono de pozos. Actualmente, las uniones, piñón y caja, son cónicas - en forma de conos truncados - y en el caso de herramientas de perforación de percusión, tienen una diferencia de una pulgada de la base menor a la base mayor. Las mas comunes son $2\frac{3}{4}'' \times 3\frac{3}{4}''$; $3\frac{1}{4}'' \times 4\frac{1}{4}''$; $4'' \times 5''$ todas seguidas del número "7" que indica el número de hilos por pulgada. Las medidas anteriores se correlacionan con los espesores, longitudes y pesos de las sartas y éstas a su vez con la capacidad de los equipos.

Una de las partes complementarias de la sarta de perforación es el cable. Inicialmente se utilizó el de "manila", tanto para los trabajos de perforación como de cuchareo y maniobras con las pescas inherentes.

Una de sus funciones era la de absorber y amortiguar el impacto de la herramienta. Después se utilizó también con desventaja el de acero, por su poca flexibilidad. Para lograrlo se intercalaba un tramo de cable de manila entre las herramientas y el cable de acero; con lo cual se absorbían -- los impactos y las vibraciones de la sarta sobre la roca.

Actualmente se emplea ventajosamente el de acero con alma de fibra, que tiene mayor durabilidad y resistencia.

Los cables y su uso datan de la mas remota antigüedad. Se sabe que los egipcios hace 3500 años tejían cables a base de cuero, papiro y fibras

de algunas palmas.

Ya se mencionó que los chinos también lo usaron hace muchísimos años.

Con mucha frecuencia se hace mención a los "cables de manila" como si procedieran de ese lugar. En efecto, la fibra con la que se fabricaba el cable de manila es del "abacá", planta perteneciente a la familia de las musáceas, parecida a la palma, y que crece casi exclusivamente en las Is las Filipinas y ya transformada en cables se exportaba principalmente por el puerto de Manila. Por su resistencia y durabilidad siempre ocupó el primer lugar y el segundo le fué cedido al henequén, que como se sabe procede del Estado de Yucatán.

Se define como cable a una serie de hilos o alambres que al agruparse mediante un torcido determinado forman un torón y al grupo de torones ordenados en cierta forma o "construcción" permiten una combinación óptima de resistencia, flexibilidad y seguridad para determinado servicio.

Los cables se surten bajo Especificaciones API. Deben ser de acero arado mejorado, preformado con alma de fibra.

El "acero arado mejorado" es el de mayor resistencia y durabilidad y posee grandes cualidades para resistir la abrasión. Su resistencia es aproximadamente de 15% mayor al de acero arado.

Un cable "preformado" es aquel cuyos alambres y torones tienen un terminado helicoidal, de manera que al cortarse o romperse los alambres permanecen en su lugar.

El "alma" del cable sirve como soporte a los torones que están en-

rollados a su alrededor y se fabrica de diversos materiales dependiendo del trabajo al cual se va a destinar el cable; es decir, el alma del cable está formada por un torón que puede ser de acero o de fibra, vegetal o sintética.

Los cables, generalmente se fabrican en torcido "regular" o torcido "lang". En el torcido regular los alambres del torón están torcidos en dirección opuesta a la de los torones del cable; y en torcido lang están torcidos en la misma dirección. Figuras 5 y 6.

Los cables con torcido regular son mas fáciles de manejar, menos susceptibles a la formación de cocas y mas resistentes al aplastamiento y distorsión.

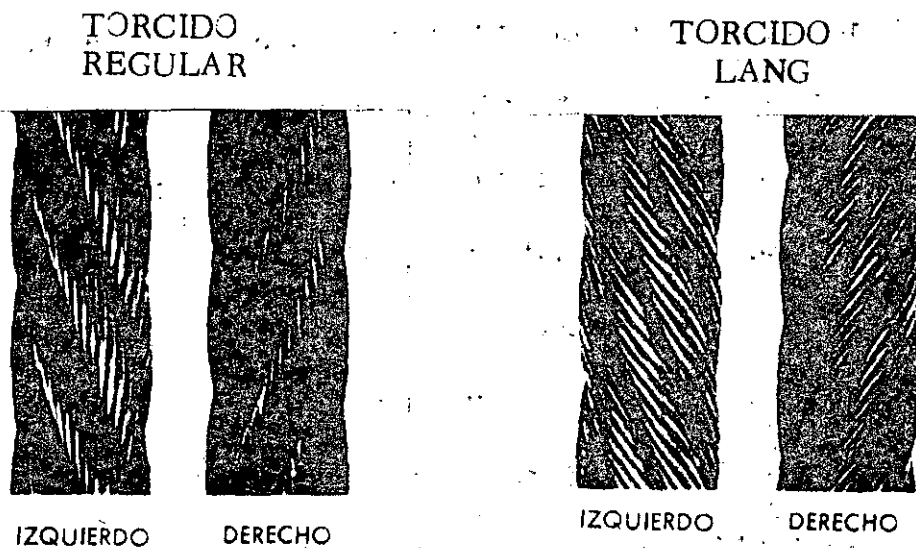


FIGURA 5

FIGURA 6

Además de los torcidos mencionados los cables se fabrican en torcido "derecho" y torcido "izquierdo".

"CONSTRUCCIONES DE CABLE"

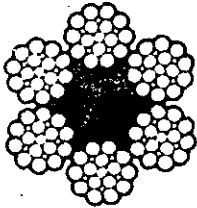


FIGURA 7

CONSTRUCCION 6 x 21- ALMA DE FIBRA.
TORCIDO IZQUIERDO, PARA PERFORACION.

CONSTRUCCION 6 x 7-ALMA DE FIBRA
TORCIDO DERECHO PARA CUCHAREO.

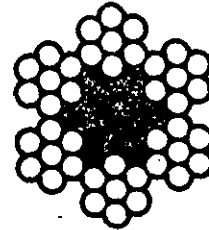


FIGURA 8

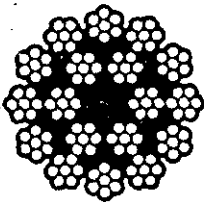


FIGURA 9

CONSTRUCCION 18 x 7 ALMA DE FIBRA.
NO ROTATORIO PARA ADEMADO.

Para los trabajos de perforación de "percusión simple" se utiliza el torcido izquierdo para la perforación; el torcido derecho para la cuchara y el llamado "no rotatorio" para los trabajos de ademado. En este caso los torones interiores tienen un torcido lang izquierdo y los exteriores, regular derecho; con lo cual se evita que el cable gire en cualquier sentido.

AMORTIGUADOR DE DISCOS



FIGURA 10

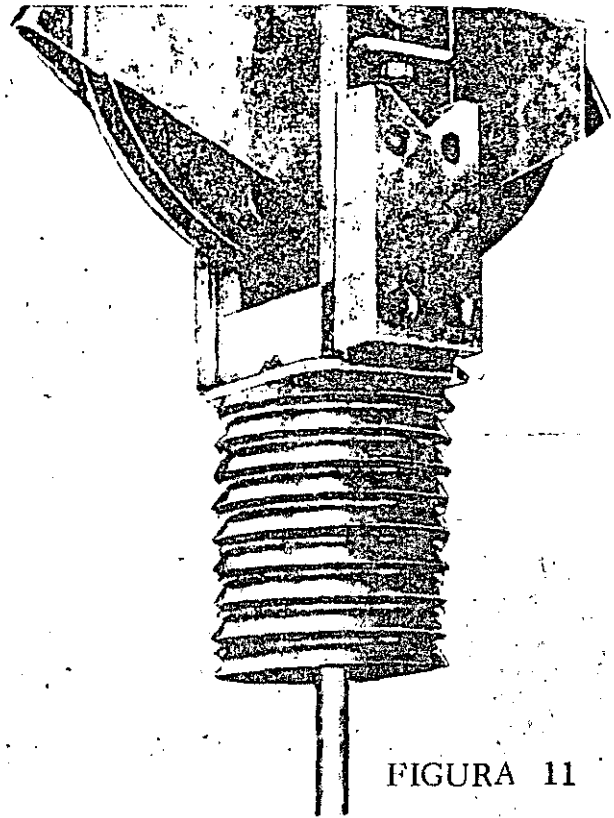
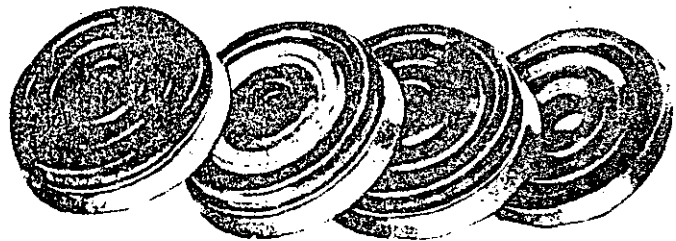


FIGURA 11

FIGURA 12 DISCOS DE HULE Y
PLATO DE LAMINA DE ACERO.



Las construcciones usuales para estos trabajos son: 6 x 21 para perforación; 6 x 7 para cuchareo y 18 x 7 para el ademado; todos con alma de fibra, con las fatigas de ruptura correspondientes. Figuras 7, 8 y 9.

Cabe repetir que al intercalar un tramo de cable de manila en la línea de perforación, tenía como finalidad la de absorber los impactos de la herramienta sobre el material por atravesar, sobre todo cuando éste era roca.

Para ello, actualmente los equipos cuentan con un dispositivo coloca

do en el extremo superior del mástil, formado generalmente por discos de hule compacto que descansan o se apoyan sobre platos de lámina de acero, los que a su vez, también lo hacen sobre un resorte lo suficientemente resistente para amortiguar dichos impactos. Figuras 10, 11 y 12.

Además en el cuerpo de la sarta se haya intercalada una herramienta que recibe el nombre de "percutor" o tijeras. Figura 13

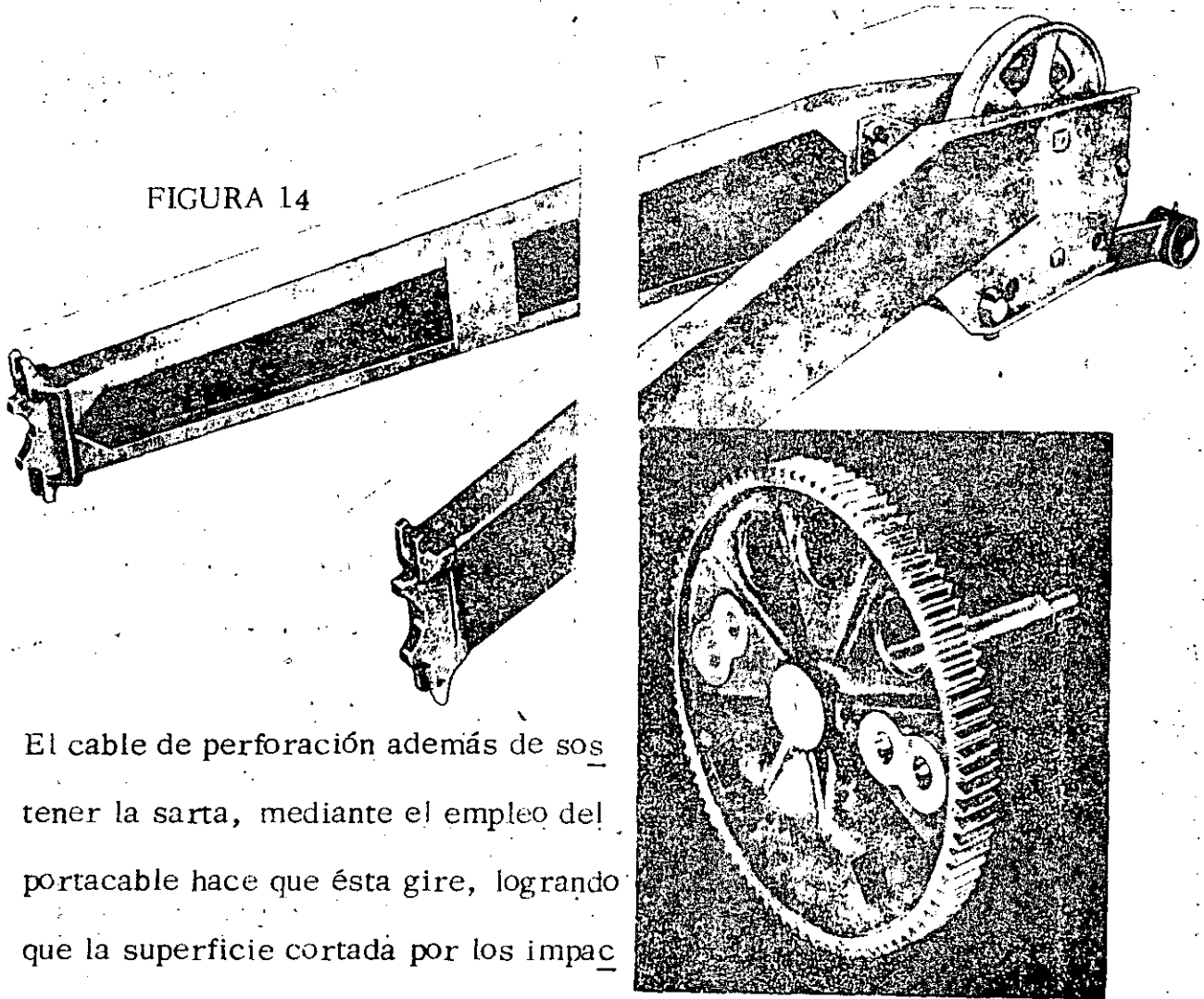


Su uso evita pegaduras de la sarta cuando se perforan materiales plásticos. Se colocan siempre entre el portacable y el barretón, excepto cuando se trata de operaciones de pesca, en las que se conectan después del barretón. Se construyen de acero de aleación forjadas de una pieza y los eslabones son unidos por soldadura a forja y posteriormente sometidos a un tratamiento térmico para uniformizar su estructura molecular. La longitud de la carrera de las tijeras varía de 114.3 mm a 203.2 mm (4 1/2 a 8") y su peso y diámetro están correlacionados con el de la sarta y capacidad del equipo.

FIGURA 13

BALANCIN Y ENGRANE DE PERCUSION

FIGURA 14



El cable de perforación además de sos
 tener la sarta, mediante el empleo del
 portacable hace que ésta gire, logrando
 que la superficie cortada por los impact
 tos del trépano, sea la de un círculo.

Para ello es necesario combinar la acción que imparte el engrane de percusión a través de la biela con cada movimiento del balancín y producir el latigazo o coscorroneo equivalente al producido con la pértiga de resorte. Figura. 14.

NOMBRES Y FUNCIONES DE LAS PARTES DE UN TREPANO

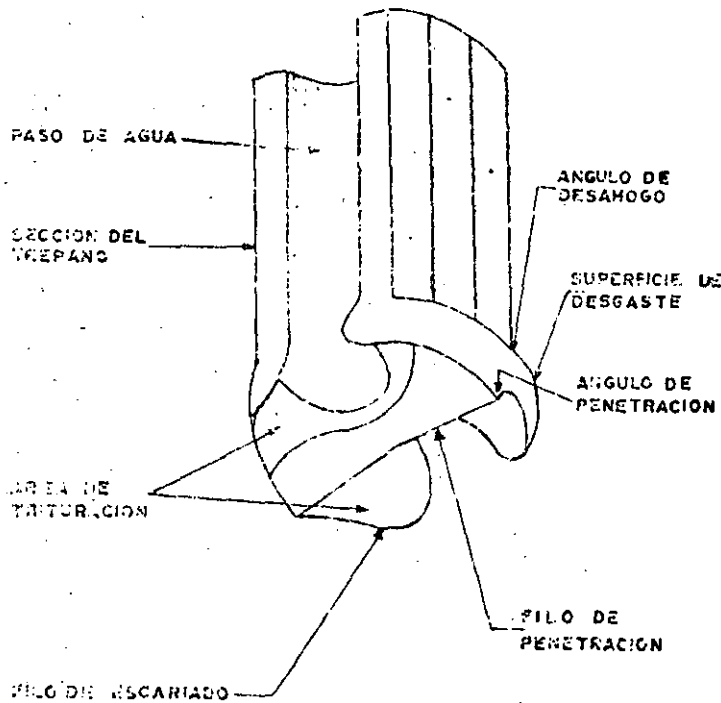


FIGURA 15

Pasos o Vías de Agua. - Son las partes huecas del trépano por las que el agua y el material triturado pasa cuando se está perforando.

Sección del Trépano. - Es la parte inferior del trépano - mostrada en la figura.

Areas de Trituración. - También llamadas de batido son las del fondo del trépano y

se encargan de desmenuzar el material cortado.

Filos de Escariado. - Son las aristas exteriores y forman parte de la circunferencia del extremo del trépano. Se localizan a los lados de las vías de agua.

Angulo de Desahogo. - Es la conicidad en las superficies de desgaste.

Superficie de Desgaste. - Es la parte que no tiene ángulo de desahogo y está en contacto con las paredes del pozo.

Angulo de Penetración. - Es el extremo de la superficie de corte que rompe el material.

Filo de Penetración. - Es el encargado de penetrar y romper el material en el fondo del pozo. Puede ser cóncavo, recto o convexo.

Para lograr un buen avance en los trabajos de perforación, se hace necesario que la herramienta de corte tenga el afilado correcto; para ello se dan las siguientes sugerencias. Figura 15. BIS

SUGESTIONES PARA EL AFILADO DE TREPANOS.

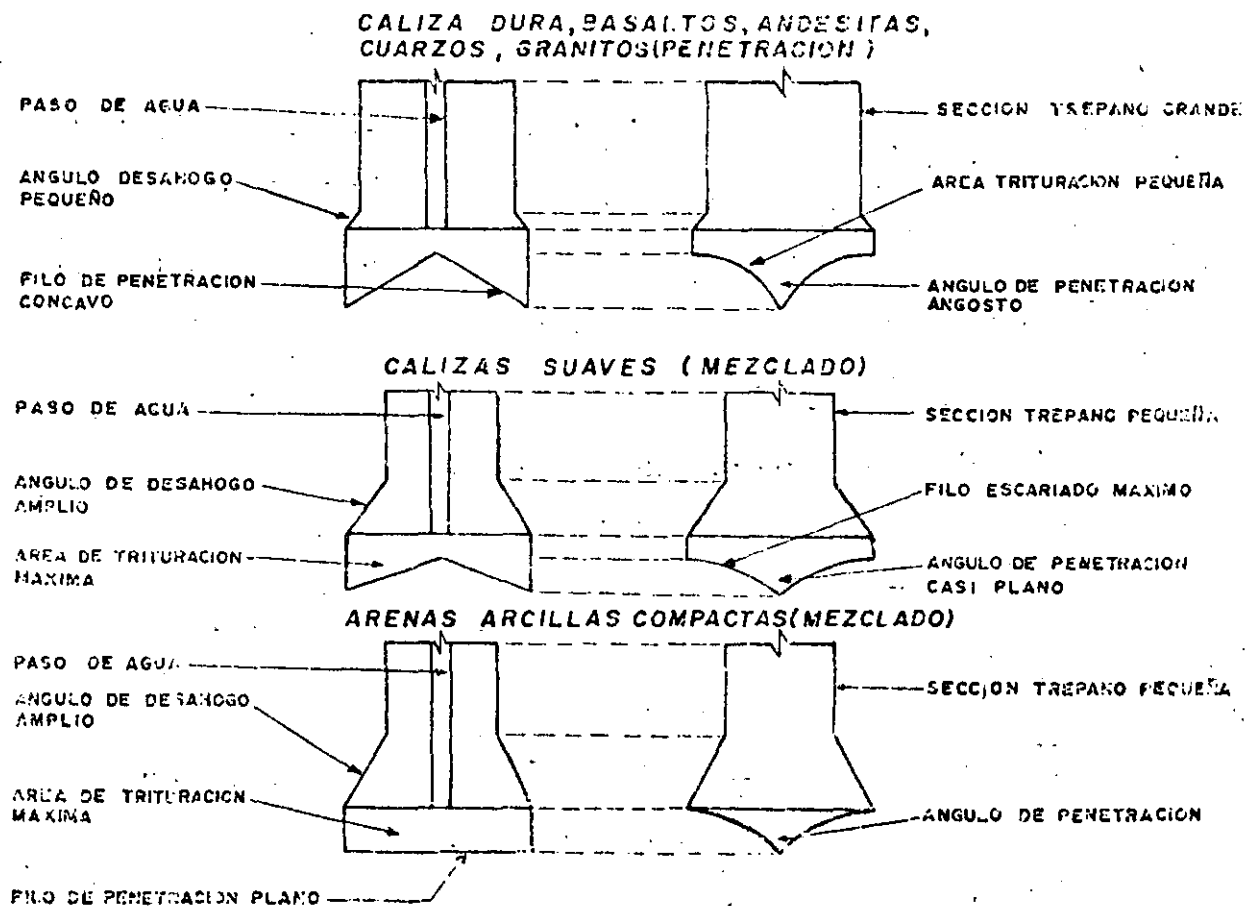
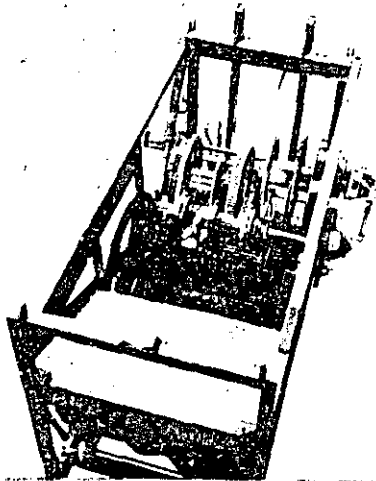


FIGURA 15 BIS

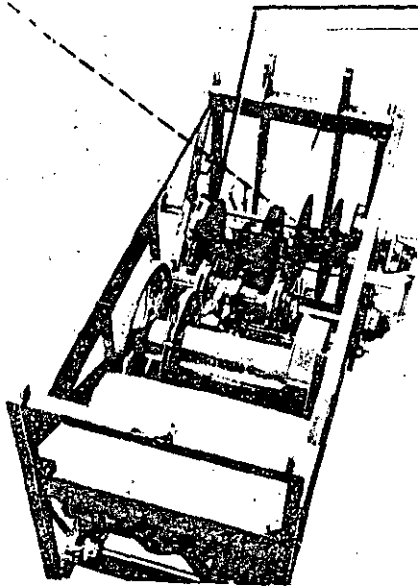
MALACATES PRINCIPAL Y AUXILIARES.



Malacate principal con tambor y repartidor para cable de herramientas. Es operado desde la parte posterior derecha del equipo a través de los controles correspondientes con avance y retroceso según se requiera el freno de fricción.

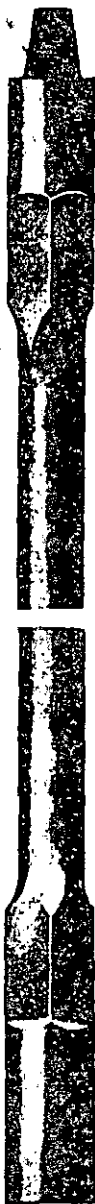
FIGURA 16

Malacate auxiliar con tambor para ademado. Es impulsado por el mismo engrane que mueve el malacate principal.



Malacate auxiliar con tambor diseñado para cuchareo y limpieza a velocidades relativamente altas. Tiene control de embrague y freno independientes.

FIGURA 17

BARRETON O BARRA MAESTRA FIGURA 18.-

Es una barra redonda de acero, con un piñón en su parte superior y una caja en la inferior. Su función es proporcionar el peso necesario a las herramientas de perforación y guiar éstas en forma vertical dentro del agujero. Generalmente son lingotes forjados de una pieza; pero hay casos en que sus extremos, el piñón y la caja, son forjados de acero al alto carbón, soldados y tratados térmicamente.

Las longitudes, diámetros y pesos de los barretones o barras maestras deben guardar una relación entre las herramientas que forman la sarta y la capacidad del equipo para lograr un trabajo rápido y eficiente.

GRAPAS GOLPEADORAS FIGURA 19 .- Cuando se sigue la práctica, no recomendable de hincar las tuberías de ademe, se instalan las grapas golpeadoras en el cuadrado para llaves superior y por cada

acción de la biela, la tubería recibirá un golpe con la herramienta.

FIGURA 18

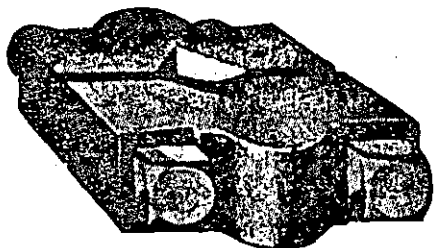


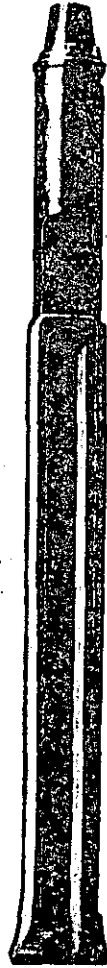
FIGURA 19

TREPANO O HERRAMIENTA DE CORTE

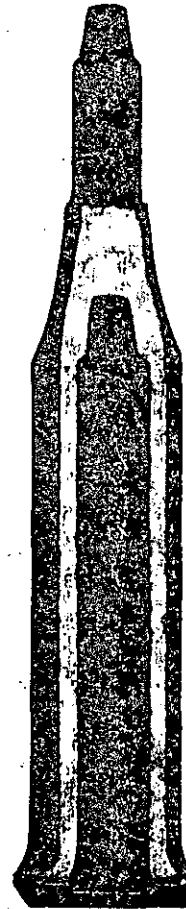
FIGURA 20



PARA INICIAR



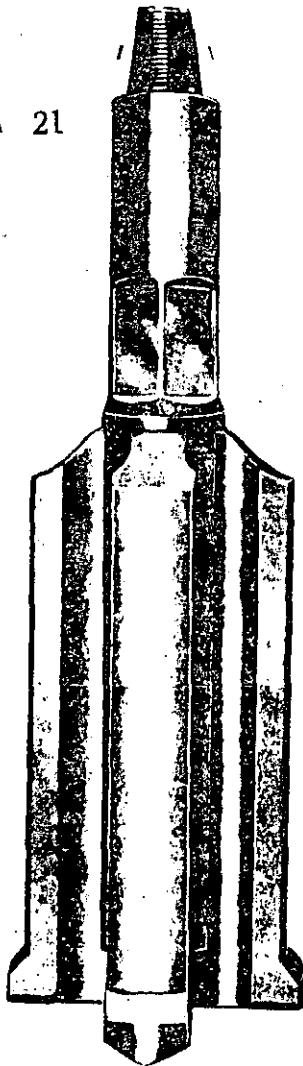
Regular



California

TREPANO. - Es la herramienta destinada a ejecutar la perforación y se considera la parte más importante de la sarta. Se compone de las siguientes partes: piñón, cuello, cuadrado para llaves, hombros, cuerpo, pasos de agua o canales de evacuación y filo cortante.

FIGURA 21



TREPANO CRUZ O ESTRELLA

De acuerdo con los materiales por atravesar se emplean varios tipos de trépanos: estandar, regular o california, de cruz, torcido, etc.

Estandar, regular o california, son los de uso más común ya que se emplean para cortar formaciones suaves o duras variando el tipo de afilado de acuerdo con las mismas. Recibe el nombre de california cuando su diámetro es mayor de 203 mm (8") y regular o estandar cuando es menor.

TREPANO TIPO CRUZ O ESTRELLA FIGURA

21 .- Se usa para perforar formaciones fisuradas o inclinadas que tienden a desviar las herramientas de la vertical. El cuerpo

de este trépano tiene 4 pasos de agua y su diámetro es ligeramente menor que el del área de corte.

TREPANO TORCIDO, - Es un trépano california con cuerpo en forma de espiral; sus características le permiten producir un batido mayor y agujeros más derechos.

PROTECTOR DE CABLE FIGURA 22. - Es una herramienta complementaria; su forma se ajusta al cuello del portacable y tiene una sección de un cuarto de círculo por donde se desliza el cable; evita que éste se quiebre cuando las herramientas se levantan de la posición horizontal hasta la vertical o viceversa.

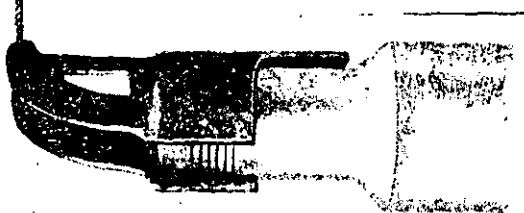


FIGURA 22

GUARDACABO FIGURA 23. - Cuando el cable se flexiona al extremo, se emplea el guardacabo para evitar que se quiebre.



FIGURA 23



PORTACABLE GIRATORIO FIGURA 24. - Tiene por objeto permitir que la sarta gire después de cada golpe. Es de sección cilíndrica, con una perforación concéntrica de diámetro tal, que permite el alojamiento de una bala o mandril que sirve de unión al cable de perforación con el resto de la sarta. En su extremo inferior tiene una caja para enroscar con el piñón de las tijeras de perforación. Cuenta

Fig. 24 además con varias perforaciones en su cuerpo para evitar atascamientos y facilitar la rotación.

CUCHARAS O CUBETAS Y BOMBAS ARENERAS. - FIGURAS
NUMEROS 25 y 26.

En los trabajos de perforación con equipo de percusión, el material triturado se extrae del pozo con una cuchara o cubeta. Están formadas por un tubo de lámina de acero de una sola pieza; en su parte superior lleva soldada o remachada un asa que se une al cable de la línea de cuchareo. Cuando es de válvula plana, en su extremo inferior tiene una válvula de charnela - con movimiento de bisagra, que al ser sumergida en el material se abre dejando que éste penetre, para cerrarse al ser elevada. Cuando la válvula es de dardo, ésta se levanta al entrar en contacto con el fondo del pozo permitiendo el paso de los materiales cortados, cerrándose automáticamente al levantar la cuchara.

También existen cucharas denominadas bombas de arena o areneras que se usan para extraer o limpiar el pozo de arenas o gravas. Se emplean cuando estos materiales son abundantes y las cucharas propiamente dichas no dan resultado.

Están formadas por un tubo con una válvula de gozne en su extremo inferior y un émbolo que trabaja como pistón dentro del cuerpo del tubo al ser levantado, succionando los cortes. Para vaciarla se desconecta la válvula. Esta puede ser de Dardo para los desazolves simples y de Tipo Trepano, cuando la formación está muy compacta.

HERRAMIENTAS COMPLEMENTARIAS DE PERFORACION

BOMBAS ARENERAS

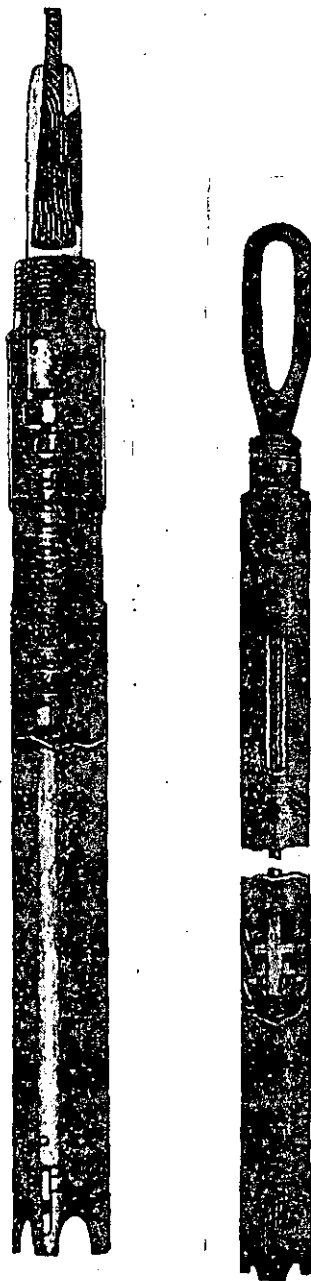


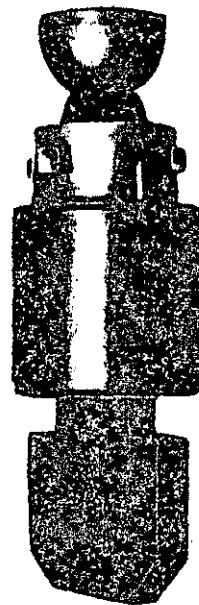
FIGURA 25

CUCHARA

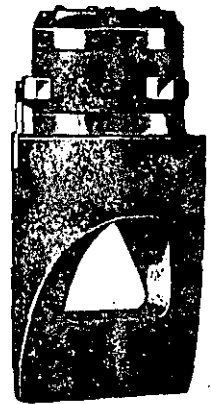


Fig. 26

VALVULAS



DE DARDO



TIPO TREPANO

ESPATULA Y GANCHO DE PARED

ESPATULA



Fig. 27

GANCHO DE
PARED



Fig. 28

Además de las herramientas de perforación mencionadas, existen de fábrica, (sin contar con las llamadas "hechizas", es decir a aquellas que los perforadores improvisan en el campo pero que dan muy buenos resultados) tantos como trabajos extraordinarios son necesarios realizar para llevar a feliz término la perforación de un pozo.

Entre ellos se pueden mencionar las espátulas y los ganchos de pared que se emplean para desbastar salientes del agujero, o bien para enderezarlo. Figuras

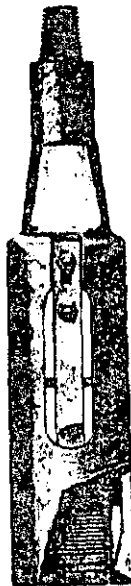
PESCAS. - También en la perforación de un pozo se presentan accidentes, tales como la caída o pérdida de herramienta dentro del agujero. A ésta se le nombra "pescado" y la acción de rescatarla, "pesca". Para llevar a cabo estos trabajos existen herramientas especiales, empezando por la sarta: el portacable no es giratorio sino fijo; el barretón es corto, de 3 m aproximadamente, la carrera de las tijeras es de mas o menos 8 veces las de perforación; y en lugar de llevar en el extre-

mo una herramienta de corte, aunque hay ocasiones que es necesario emplearla, se conecta un pescador.



PESCADOR
DE
RIENDILLAS

Fig. 29



PESCADOR
DE
CIRCULO
COMPLETO

Fig. 30



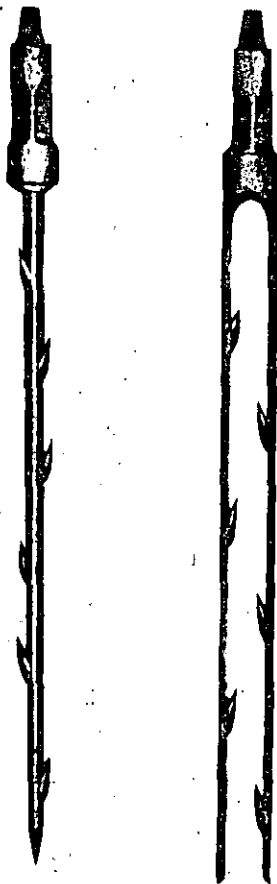
PESCADOR
DE

COMBINACION

Fig. 31

HERRAMIENTAS PARA PESCA

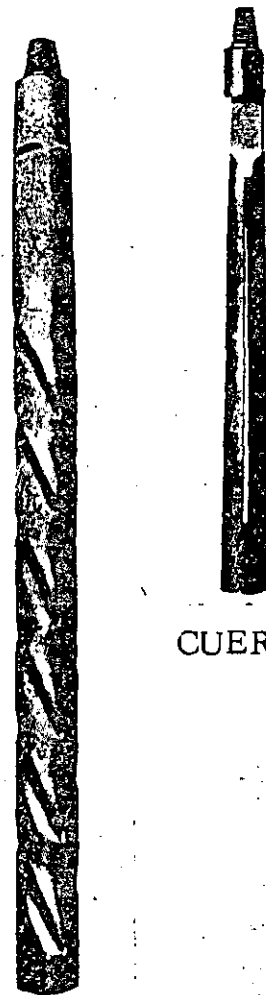
PARA CABLE



DE UNO O DOS
ARPONES

FIGURA 32

FIGURA 33
DE FRICCION



CUERNO

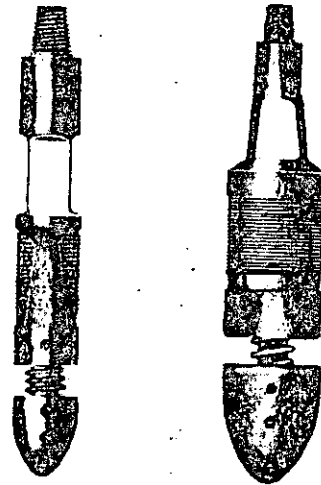
CORRUGADO

HERRAMIENTAS PARA PESCA



FIGURA 34

DE CUCHARAS

DE TUBERIA
FIGURA 35TROMPO

TROMPO. - Hay ocasiones en que las tuberías de ademe se colapsan es decir cambian de forma por impactos producidos dentro del pozo. Para devolverles su forma original se utilizan los trompos.

FIGURA 36

UNION DEL CABLE A LA BALA O MANDRIL

Para evitar que el cable, que es quien soporta la sarta, se salga de la bala o mandril, los perforadores acostumbran seguir los pasos ilustrados en la figura inferior.



Se emplea como metal, el zinc o el babbitt fundidos. Cuidando que tanto el cable y la bala estén perfectamente limpios para lograr una perfecta adherencia.

Para poder realizar con eficiencia y rapidez la perforación de un pozo, los operadores cuentan con varios trépanos de una sola medida previamente afilados, sustituyendolos a medida que se van desafilando; pero de -- tal manera que el diámetro del agujero sea el mismo, ya que cuando este -- se reduce al conectar un trépano con la medida correcta, tenderá a atorarse.

El trabajo de afilado inicialmente se realizó utilizando una forja, -- misma que en algunos casos formaba parte del equipo y el afilado se realizaba a base de golpes de marro.

Esta situación cambio al aparecer la soldadura autógena ya que el -- resultado fué el mismo con menor esfuerzo. A la fecha con el empleo de -- las soldaduras a base de carburo de tungsteno los resultados son los requeridos para llevar a cabo los trabajos a bajo costo.

BIBLIOGRAFIA

- Grown Water and Wells. E. Johnson.
- Water Well Drilling with cable. R. W. Gordon.
- Grown Water. Tolman.
- Mud Especifications. Baroid.
- Drilling and Fishing Tools. Bucyrus Erie Catalog.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACIÓN DE POZOS PARA AGUA

TECNICAS MODERNAS PARA LA CONSTRUCCION DE POZOS
(DEL SISTEMA DE PERCUSION)

ABRIL, 1985.

I. - INTRODUCCION

Puede parecer fuera de lugar hablar en este "SEMINARIO DE TECNICAS MODERNAS PARA LA CONSTRUCCION DE POZOS" del sistema de percusión, que es el más antiguo y al que algunos consideran como llamado a desaparecer. Sin embargo, aunque el sistema es antiguo, su técnica actual es moderna y está al día, pues se beneficia de los últimos adelantos.

No se puede perder el tiempo haciendo un bosquejo histórico del sistema a través de los tiempos, pero hay que decir que los precursores de la percusión han sido el pico y la pala, que cumplen funciones muy semejantes a las que hoy hacen el trépano y la válvula o cuchara.

A partir de ahí se ha ido perfeccionando el sistema comenzando a usar máquinas de madera, movidas por el hombre. Luego se introdujo la energía animal. Se utilizó cada vez más el acero en la construcción de máquinas. De energía animal se pasó así a la caldera de vapor y así sucesivamente hasta llegar a las máquinas actuales, totalmente metálicas y que aprovechan casi exclusivamente la energía de motores a explosión o combustión.

A estas máquinas actuales y a sus herramientas es a las que nos vamos a referir.

II. - MAQUINAS

Para mejor comprender los mecanismos de que tiene que estar dotada la máquina, veamos antes las funciones que tiene que cumplir.

1º Percusión. - Se consigue por la repetición del ciclo de elevación y subsiguiente caída libre de una sarta de herramientas compuesta de distinta forma según varemos.

2º Extracción de detritus o limpieza de sondeo. - Se hace con la cuchara o válvula y es preciso un mecanismo que permita, de forma rápida, su descenso al fondo del sondeo y su elevación a la superficie.

3º Manejo de tubería y herramientas. - Se emplea para ello un aparato con más o menos guarnes según la importancia de los pesos que haya que manejar.

Para conseguir estas tres funciones principales, la máquina de perforar a percusión, cuyo esquema simplificado se representa en la figura

numero 1, consta de dos partes principales: armazón con mecanismo y mástil.

El armazón, que primitivamente fue de madera, está formado de diversos perfiles unidos por soldadura o tornillos. Su forma es variable de unas marcas a otras y también la disposición de los distintos mecanismos. Por eso, y para más claridad de la figura, se representa de puntos. En el extremo contrario al mástil va el motor, que puede ser de explosión o de combustión, aunque a causa de la economía que supone usar gas-oil como combustible, generalmente son motores Diesel. Su potencia viene determinada por el tamaño de la máquina que, a su vez, depende de las profundidades y diámetros que se hayan de perforar con ella.

La salida del eje motor está provista de su correspondiente embrague y, algunas veces, de una caja de cambios de tres velocidades y marcha atrás que, aunque no es indispensable, sí es conveniente pues permite conseguir sin variar el régimen del motor, diversas velocidades en los movimientos de perforación, limpieza y entubación.

El movimiento del motor se transmite generalmente a través de correas trapezoidales a un eje que, por su posición en la máquina, se suele llamar eje central. El uso de correas trapezoidales viene impuesto por la poca distancia que suele haber entre los ejes y la gran velocidad lineal. Las demás transmisiones se suelen hacer por cadenas pues las velocidades lineales son pequeñas.

El eje central, por medio de embragues apropiados, que no se representan en orden a la claridad de la figura, acciona los demás mecanismos.

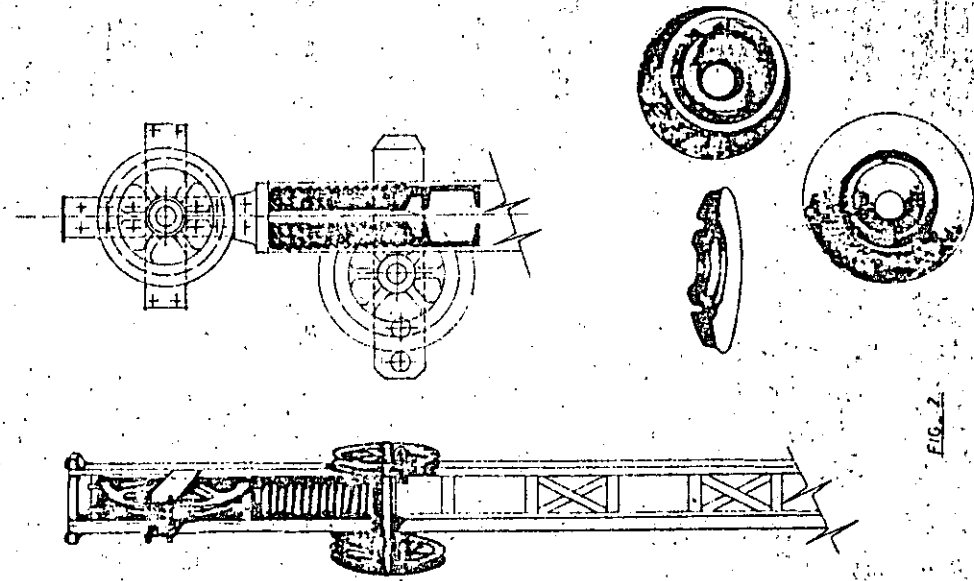
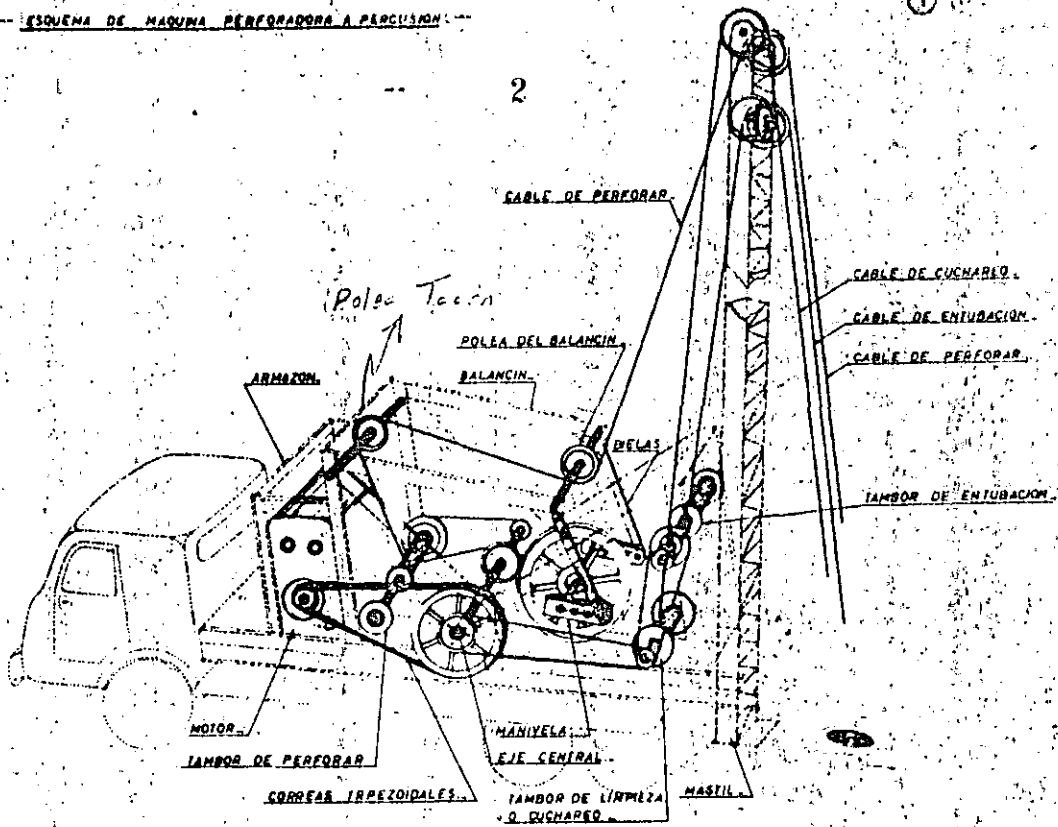
Por medio de una cadena, de movimiento, al tambor de perforar, en el que va enrollado el cable de la herramienta. El giro de este tambor en un sentido o en otro sirve para introducir o sacar la herramienta en el sondeo.

El cable de perforar pasa, al salir del tambor, por una polea o la que la mala traducción ha bautizado con el nombre de "polea de tación". Esta gira en un eje fijo y se puede deslizar a lo largo de él para acompañar el devanado longitudinal del cable en el tambor.

De la polea de tación pasa el cable a la polea de balanceo, después sube hasta una polea que hay en la parte superior del mástil y descendiendo, por último, a la perforación.

El eje central da también movimiento, por medio de un piñón,

FIG. N.º 1. -- ESQUEMA DE MÁQUINA PERFORADORA A PERCUSIÓN --



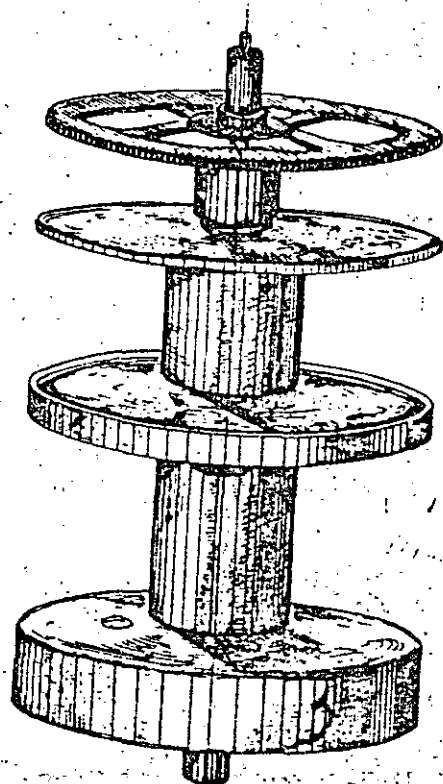


Fig 3

a una rueda dentada que lleva en su eje dos brazos o manivelas, las cuales, por medio de unas bielas, dan movimiento oscilante al balancín. Se comprende fácilmente que si el tambor de perforar está frenado, este movimiento oscilante del balancín produce el movimiento alternativo de subida y bajada de la herramienta, que es el que se utiliza para perforar.

Las manivelas llevan distintos orificios en los que se pueden ajustar los muñones de las bielas para obtener así un golpe más largo o más corto, según las condiciones del terreno que se perfora.

Este dispositivo de balancín movido por bielas, es el más empleado para conseguir el movimiento de percusión por la facilidad con que se regula la carrera de la herramienta. Hay otros sistemas que se valen de una polea montada excéntricamente en un eje, pero su uso es poco frecuente.

La polea del mástil lleva un dispositivo amortiguador (figura 2) formada por discos de goma con una base de acero estampado. El objeto del amortiguador es suavizar la reacción del movimiento de percusión sobre la máquina.

El tambor en que se enrolla el cable de perforar (figura 3), como se ve, lleva un separador que divide el tambor en dos partes. En la mayor se amarra el cable en varias capas, y en la pequeña se enrolla solamente la cantidad de cable que se emplea según la profundidad que se está perforando. Con esto se consigue que, cuando está el trépano en el fondo del sondeo, no haya más que una capa de cable enrollada, con lo cual sufre menos.

El tambor lleva un freno para dejar salir la cantidad de cable que se desea.

Los tambores de entubación y de cucharas reciben el movimiento a partir del eje central por medio de cadenas. Ambos tienen su freno y embrague. Los cables correspondientes suben desde los tambores a poleas que hay en la parte superior del mástil, y desde allí bajan al sondeo.

El mástil tiene por objeto permitir que la sarta de herramientas se deslice completamente del sondeo.

Generalmente es de celosía y de estructura telescópica, y para el traslado se retrae la parte superior y se dobla sobre la máquina.

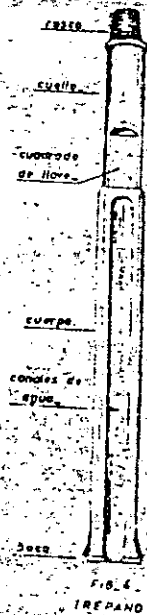
Suele llevar un sistema de tirantes y vientos para darla mayor solidez.

El conjunto de la máquina puede ir montado sobre un remolque o bien sobre un camión, con lo que se consigue mayor movilidad.

III. HERRAMIENTAS

La serie de herramientas está formada, normalmente, de abajo e arriba por las siguientes herramientas: trépano, barrón, tijera o des-trabador y montera. Veamos las características y función de cada una de ellas.

a) Trépano (figura 4). - Es la herramienta de perforar propiamente dicha y, por tanto, la más importante de todas. Hay muchos tipos de trépanos, como después enumeraremos, pero para su descripción nos referiremos al tipo llamado regular. Sus distintas partes se aprecian en la figura 4.



Se describen a continuación algunas características geométricas del trépano, varias de las cuales hay que modificar según las características del terreno que se perfora.

Ángulo de escape o de despeje (figura 5). - Conicidad por encima del filo escariador. Se representa un trépano con gran ángulo de escape y sin superficie de desgaste.

Ángulo de penetración (figura 6). - Es el bisel de filo de corte que penetra o parte el material en el fondo de la perforación.

Superficie de desgaste (figura 7). - Es el área que no tiene ángulo de escape y está en contacto directo con la pared de la perforación.



Borde de ensanche (figura 8). - Es el filo exterior del trépano y se mide en % de la circunferencia total.

Cara trituradora (figura 9). - Es la superficie inferior del trépano. Se mide en % de sección del sondeo. Los pasos de agua se indican en blanco.

Pasos de agua (figura 10). - Es la porción de la perforación no ocupada por el cuerpo del trépano. A su través pasa el agua y detritus cuando el trépano sube y baja.

Perfil del borde de penetración (figura 11). - Puede ser recto, cóncavo o convexo.

Sección recta del trépano (figura 12). - Es la sección del cuerpo por encima del ensanchamiento que forma la boca.

Además del trépano llamado regular, existen otros tipos:

California (figura 13). - De hombros en bisel, que le permiten pasar fácilmente por la boca de la tubería.

De hombros rectos (figura 14). - Que actúan como escariadores hacia arriba cuando se forma "cuello" en la perforación por encima del trépano.

Salomónico (figura 15). - Muy útil para perforar vertical en estratos inclinados o para prevenir desprendimientos, pues sus estrías efectúan una especie de enlucido en las paredes de la perforación.

Estrella (figura 16). - De cuatro hojas, que forman cruz, y que es útil para perforar formaciones fisuradas que tienen tendencia a desviar la perforación.

el corte seccional o cuerpo del trépano debe ser pequeño.

A la cara trituradora debe dársele gran superficie, al objeto de retardar la penetración y evitar que las herramientas se claven o atasquen en el fondo.

Para analizar cualquier problema de perforación es necesario saber el carácter físico del terreno. La función más importante del trépano se pueda así determinar y las cualidades de la misma se preparan para que dé los mejores resultados.

Para afilar el trépano, o sea, darle la forma conveniente a su boca y conseguir la dureza necesaria, se usa el procedimiento de forja y templeado. Generalmente se usan forjas portátiles a las que se les da giro con un ventilador movido por el mismo motor de la máquina. El combustible más conveniente empleado hoy día es el gas-oil.

Algunas normas sencillas ayudan a obtener los mejores resultados en el afilado de trépanos.

Lo primero que se necesita es disponer de una forja adecuada con válvulas regularadoras de la proporción de combustible y de aire. También es necesario disponer de barritas o distintas temperaturas (Templstick) para comprobar la temperatura del trépano en las sucesivas fases del forjado y templeado.

Las fases son las siguientes:

Precaentado. - Sobre todo importante en trépanos que ya han sido previamente templeados. Se deja el trépano en la boca de la forja hasta que alcance la temperatura de 320° C. (comprobar con Templstick). Si no se dispone de Templstick, precaentar hasta que comienza a tomar color. Calentar entonces lentamente hasta 750° (ceroza oscuro) moviendo el trépano para conseguir un reparto de temperatura uniforme. Se incrementa entonces la inyección de mezcla combustible/aire (rica en combustible y pobre por tanto en oxígeno para evitar la descarburización), subiendo más rápidamente la temperatura hasta 1.100° (amarillo brillante). A esta temperatura ya se puede forjar la boca, dándole la forma deseada según el terreno a perforar. Durante la forja no debe descender la temperatura de 850° (rojo brillante). Si es necesario, recalentar hasta terminar la forja. Dejar enfriar el trépano hasta una temperatura de 450° C. antes de normalizar o endurecer.

Normalización. - Recalentar muy lentamente hasta 900° C. (naranja). Mantener esta temperatura 20 minutos y dejar enfriar al aire hasta 410° C. (negro). La normalización elimina las tensiones internas y transforma el acero en una estructura homogénea lista para endurecer.



disminuyendo la posibilidad de grietas al hacerlo.

Endurecido. - Recalentar de nuevo muy lentamente hasta 850° C. (rojo brillante), girando el trépano con frecuencia. Mantener a esta temperatura unos 10 minutos para permitir que el calor penetre en el interior. Templar entonces rápidamente sumergiéndolo en agua lo suficiente para sumergir la cara trituradora. Se debe añadir agua fría para impedir la ebullición, pero asegurando un desegüe en el tanque de templear para que no suba el nivel.

Recocido. - Este proceso elimina las tensiones producidas al templear, le da tenacidad al acero y elimina el agrietado. En seguida que el acero, en los "pasos de agua", se ha puesto negro, sacar el trépano del agua. El calor del cuerpo se comunica entonces a la boca y vuelve a calentarse. Cuando alcanza la temperatura de 230° C., sumergirlo de nuevo en el agua.

No cabe duda que el procedimiento de afilado y endurecido mediante la forja es el mejor, pero ofrece grandes dificultades para ser practicado en el campo, sobre todo con trépanos de gran tamaño y muy pesados; por consiguiente, que presentan problemas de manejo. Por eso se ha ido extendiendo cada vez más el uso de la soldadura eléctrica, de la que hoy día se dispone en todos los equipos de perforación para soldar la tubería de revestimiento.

Se usa un electrodo "blando", forjeable, para formar un lamohadillado que dé la forma conveniente a la boca del trépano y después se hace un recubrimiento superficial / con electrodo "duro", que generalmente lleva como componente carbono de tungstenom con lo que se consigue extraordinaria dureza superficial.

Barrón (Figura 17). - Es una barra cilíndrica de acero forjado que lleve en su parte inferior una rosca hembra para recibir la rosca macho del trépano, y en su parte superior una rosca macho que conecta con la tija o moleta en su caso.

Cerca de sus dos extremidades lleva dos cuadrados de llave, necesarios para roscar y desroscar.

La misión del barrón es proveer a la serie de herramientas con el peso necesario para la perforación y también como guía para el movimiento alternativo de la serie.



Fig. 18



Fig. 19

(13)

Tijera o desahador (figura 18). -

Cuando se usa, pues no es una herramienta imprescindible, va inmediatamente encima del barrón. Lo mismo que éste, tiene rosca-hembra abajo y macho arriba, y los correspondientes cuadrados de llave.

Está formada por dos estabones que permiten un cierto juego longitudinal del orden de 10 a 20 centímetros.

No tiene una función perforadora, sino que se utiliza para desatracar la herramienta cuando ésta queda atascada en la perforación. Cuando esto ocurre, la tijera permite golpear hacia arriba y, a menos que las condiciones sean difíciles, se consigue desatracar la herramienta.

Desde el punto de vista de la perforación, su uso es más bien perjudicial pues disminuye el rendimiento de la perforación. Por eso no deben usarse más que cuando haya peligro de atasco.

Montera (figura 19). - Remata la sarta de herramientas y sirve para hacer la unión con el cable.

El cable se une a un bulón cilíndrico alojado en el interior de la montera, permitiendo así el giro de la sarta de herramientas alrededor de su eje longitudinal, con lo que se consigue que la perforación sea cilíndrica y no aplastada.

La unión del cable con el bulón puede hacerse de forma directa o bien con el uso de zinc fundido (o metal antirricción).

La figura 20 muestra el primer método.

Como se ve, se pase el cable a través de la montera y el bulón y se le da una ligadura con alambre a unos 15 centímetros del extremo para impedir que se destruya por debajo.

Amarrando una cuerda bien apretada

(14)

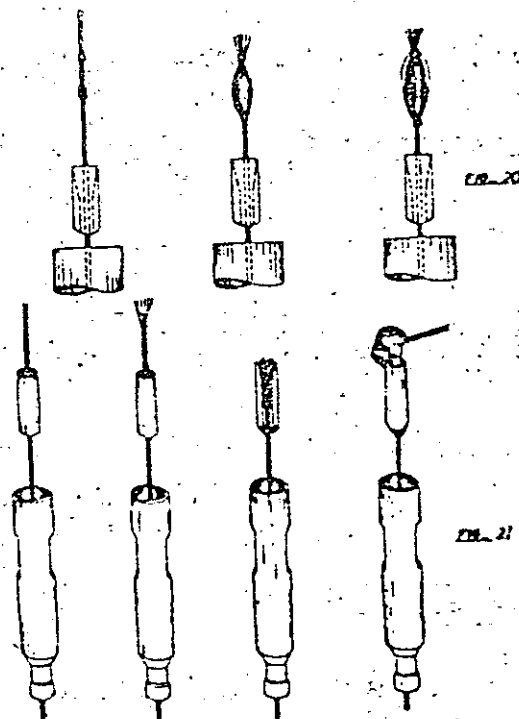


Fig. 20

Fig. 21

por debajo de esta ligadura, se forma una especie de nudo en forma de huso de unos 4 centímetros de diámetro máximo y 15 centímetros de longitud. Se destuerzan los cordones por encima del huso y se vuelven hacia abajo, dándoles otra ligadura por debajo del huso. Se corta el alma de cáñamo sobrante y entonces se introduce en el bulón valiéndose de un taco de madera y un martillo.

Este método se puede usar cuando el peso de las herramientas no es superior a 1.000 kg., pues tiene el inconveniente de que todos los cordones del cable no trabajan por igual.

Se use zinc fundido (o metal antifricción) cuando el peso de las herramientas es mayor. El método puede verse en la figura 21. Se limpia con cuidado el interior del bulón y después de pasar el cable a través de montera y bulón, se le dan dos ligaduras de alambre, una en el extremo y otra unos 10 centímetros más abajo. Se quita la ligadura superior y se descolchan los cordones. Se corta el alma sobrante. Se deshacen los cordones y se limpian perfectamente los alambres, abriéndolos sin enderezarlos. Se introduce entonces el extremo del cable en el bulón y se vierte el zinc fundido.

La unión del cable con el bulón es un punto débil que hay que vigilar constantemente y se debe renovar la unión, aproximadamente, a las 50 horas de trabajo.

Cuchara o válvula. Se usa para extraer del sondeo los detritus mezclados con agua. Su forma general es un tubo con asa en la

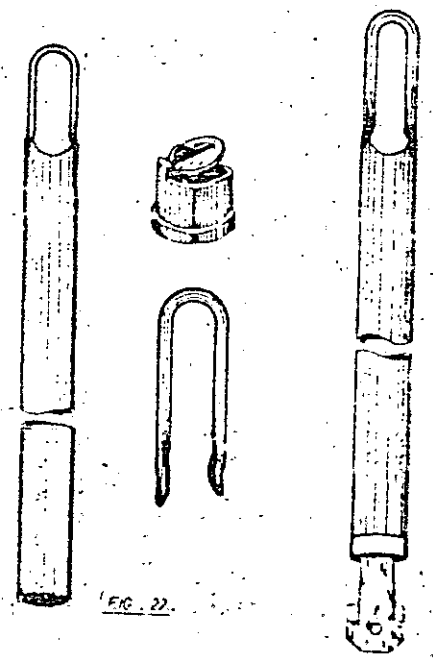


FIG. 22.

FIG. 23.

parte superior y una válvula en la inferior. Esta válvula se abre al descender la cuchara y se cierra en el movimiento ascendente. Según el tipo de válvula, la cuchara puede ser de válvula plana (figura 22) o de dardo (figura 23). La de válvula plana ~~proporciona~~ más la limpieza del sondeo y la de dardo es preferible para aforo de sondeos con poco caudal.

Roscas. La unión de las distintas herramientas entre sí se hace mediante una rosca cónica, con lo que se consigue que desenroscando solamente unas cuantas vueltas se puedan separar las herramientas.

Estas roscas cónicas están normalizadas según las normas conocidas como A.P.I., que son las iniciales de American Petroleum Institute. A causa de su origen, vienen expresadas en pulgadas.

En la figura 24 se muestra un esquema de dichas roscas y en el cuadro siguiente las dimensiones en pulgadas según los distintos tamaños.

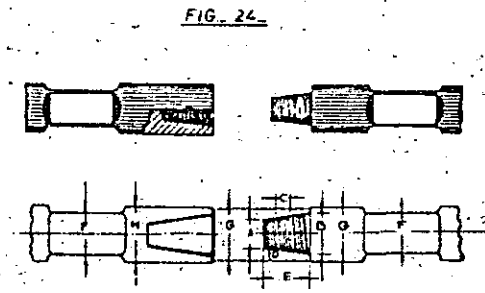


FIG. 24.

19
 los tipos y calidades. Refiriéndose a España, lo más usado es tubería de chapa soldada. No hay normas sobre grueso de chapa y diámetros.

Diámetro interior en m/m

450	7
400	6
300	5
200	4

La tubería soldada tiene la ventaja de su precio y además, el tener el exterior liso le hace más fácilmente hincable cuando eso es necesario.

En el extremo se ven quizá más las tuberías con mango roscado, según normas muy diversas (API, DIN, etc.), que no vale la pena indicar. Siempre se debe insistir en que los extremos de las tuberías deben hacer tope dentro del mango, pero que al hincar la tubería el golpe se transmite directamente de un tubo a otro y no a través del hilo de rosca.

Cuando hay que hincar la tubería, se le coloca en su extremo inferior una zapata de acero de borde afilado para facilitar la penetración. Cuando se usa tubería con mangos, el diámetro exterior de la zapata debe ser el mismo, igual o menor algunos milímetros superior al diámetro exterior del mango con objeto de abrir paso a éste.

V - METODO DE PERFORACION

Comienzo de la perforación. Durante este periodo las herramientas no han penetrado todavía en el terreno y están sobre la superficie, por lo que su movimiento puede ser peligroso y se deben tomar precauciones. Es conveniente usar una guía en el mechero.

Si al comienzo el terreno es blando conviene cavar con pala un agujero lateral de un metro aproximadamente de profundidad. Se hace el agujero de agua y se baja la herramienta comenzando la perforación.

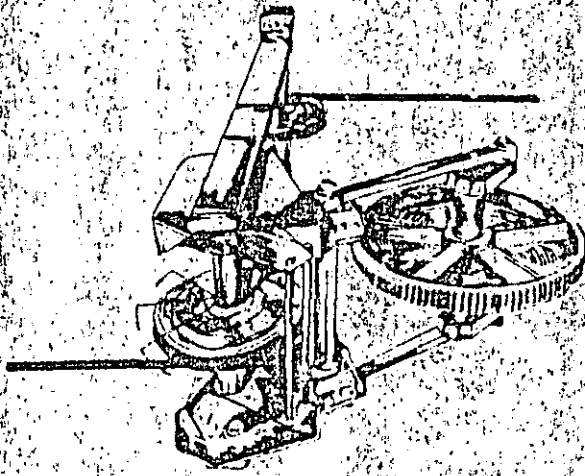
Para comenzar en terrenos duros conviene colocar un trazo de tubo como guía.

Al comenzar la perforación debe llevarse la velocidad a una velocidad pequeña hasta que se hayan obtenido un par de metros de per-

foración y entonces se puede aumentar la velocidad.

Hay un medio sencillo de comprobar que se perfora a la velocidad correcta y es el movimiento de giro de la polea del balancín. Al ir aumentando la velocidad de éste llega un momento en que el balancín asciende algo más rápido que la caída libre de la herramienta y entonces al quedar la polea libre de la presión del cable gira como se ve en la figura 30. Se consigue así que la caída de la herramienta sea libre y no frenada por el balancín y se obtiene de este modo el mayor rendimiento de perforación. Se ha comprobado que perforando 1 ó 2 golpes por minuto más lento se reduce grandemente el avance (hasta un 20%). No se debe sobrepasar esta velocidad pues el cable tendrá demasiadas sacudidas.

La velocidad puede cambiar a lo largo del sondeo. Por ejemplo, al comenzar el sondeo con agujero superficial y sin agua, puede perforarse a 56 golpes por minuto, porque la caída de la herramienta es libre y no está frenada. Al ir aumentando la profundidad y espesándose



el lodo, la velocidad de caída libre de la herramienta disminuye y habrá que disminuir el número de golpes por minuto, por ejemplo, a 40.

La velocidad de golpeo está también condicionada por la longitud del mismo que, como se sabe, se puede cambiar colocando los muñones de las bisías en los distintos orificios de las manivelas.

Empleo de la válvula.- Ya dijimos que una de las funciones del trépano era mezclar los detritus con el agua y después hay que extraerlos de cuando en cuando con la válvula.

Con la válvula solamente, no se perfora ningún sondeo; no obstante, es un elemento necesario y pocos sondeos pueden perforarse sin su uso.

El tiempo que se toma en utilizar este instrumento es improductivo y debe vigilarse muy de cerca a fin de convertir una parte de este tiempo en producción; es decir, reducir los rates de funcionar la válvula y aumentar el tiempo de perforación.

No se debe parar el movimiento de perforación hasta que la válvula esté lista para funcionar.

Tres o cuatro minutos antes de parar el movimiento de perforación, se vierte un cubo de agua para aclarar el lodo y de esta manera la válvula se hundirá hasta el fondo y recogerá una carga completa. El no hacer esto debta el tiempo para la limpieza del sondeo. Tres viertes de la válvula limpian el pozo, si la válvula es de tamaño apropiado y el lodo está en condiciones.

Cantidad de agua.- La cantidad de agua, la cantidad de agua vertida en el pozo y el período de tiempo entre cada vez que se echa el agua, tienen bastante efecto sobre los metros perforados en cada turno. Cuando se echa demasiada agua al pozo, éste tiende a aclarar demasiado el barro y los trozos gruesos de material bajan al fondo, donde el trépano debe pulverizarlos antes de continuar la perforación. La falta de agua produce una consistencia al lodo, perjudicial para el progreso de la perforación, pues retarda la caída de las herramientas.

Se debe vigilar cuidadosamente el movimiento de las herramientas perforadoras y cuando se observe algún arrastre o lentitud de las herramientas, hay que parar agua.

Después de limpiar el pozo, puede quedar unos 50 centímetros de lodo, que podría aclararse con 1/2 balde de agua, sin arrastrar al fondo materias gruesas.

Se echa agua en pequeñas cantidades cuando el lodo está bajo en el pozo y a medida que éste se profundiza y se produce más lodo, se aumenta la cantidad de agua vertida. En otras palabras se comienza a perforar en un agujero limpio con solo unos pocos litros de agua, y gradualmente se aumenta la cantidad de agua, a medida que aumenta la profundidad del lodo, pues el objeto es mantener constantemente la consistencia del barro, a un punto que los materiales gruesos no sean arrastrados al fondo y al mismo tiempo, que la herramienta no se retarde en su caída por gravedad.

El buen empleo del agua depende enteramente de la destreza del operador y del interés que demuestre en mantener un eficaz funcionamiento.

Un pequeño estudio y atención que se dé al empleo del agua, producirá más perforaciones con el menor esfuerzo.

Toma de muestras.- Con la válvula, manejada convenientemente, se pueden tomar muestras representativas del terreno que se está perforando. Para conseguir que la muestra sea del terreno que se está perforando, sin mezcla de los terrenos superiores, y sobre todo en zonas de arena y grava, se debe hacer bajar la tubería hasta el fondo de la perforación y se usa el trépano para mozzlar completamente el material que hay por debajo de la zapata de la tubería. Durante este proceso de mezcla, las partes más finas ocupan la parte superior y las gruesas la inferior; por consiguiente, no hay que limitarse a tomar una "cucharada", sino varias y mezclarlas, cuarteando después las veces que sea necesario.

En sondeos de pequeño diámetro se puede manejar la válvula a mano para conseguir un efecto de succión en el fondo del sondeo. Para eso se apoya la válvula en el fondo y se deja salir 10 ó 20 centímetros más del cable, aplicando entonces el freno. Se coge el cable con la mano y se le desvía lateralmente con rapidez varias veces, con lo cual la válvula sube y baja sobre los detritus que hay en el fondo, recogiendo así una muestra nuevamente.

Perforación en roca.- Se usa siempre la carrera más corta de golpeo y es conveniente usar la tijera o destrabador y no porque con ello se consiga mayor efecto, sino por razones de seguridad pues se pueden encontrar zonas que se desprenden o fisuras que hacen que la herramienta se acufe. Golpeando con la tijera hacia arriba es casi seguro desatascar la herramienta.

Las principales dificultades que se suelen encontrar al perforar roca son las cavernas y los estratos inclinados. Si las cavernas son grandes al trépano "baila" dentro de ellas y no se puede perforar. El remedio auste es detasar la caverna y reanudar después de ha-

ber fraguado o bien entubar para proporcionar así una guía al trépano.

Los estratos inclinados producen desviación del sondeo, lo que se comienza a detectar porque la herramienta no gira. Cuando ocurre esto hay que recuperar la verticalidad. Para eso se suele rellenar la parte inclinada con trozos de hierro fundido y se reperfora. Si no se dispone de hierro fundido se puede rellenar con trozos de roca dura, intercalando a intervalos de un metro algunos trozos de cable usado al que previamente se ha calentado para quitarle el temple. Es posible que esta operación de rellenar y reperforar haya que repetirla varias veces.

Se consigue a veces buen resultado al perforar en estratos inclinados entubando hasta donde comienza la inclinación apreciada con una tubería de pequeño diámetro, por ejemplo 200 m/m, y perforando por el interior de ella con un trépano muy ajustado a su diámetro y colocando además en la montera unos suplementos ajustados también al diámetro de la tubería. Se consigue así una guía muy eficaz para el trépano y se pueden perforar unos cuantos metros de sondeo vertical. Después se extrae la tubería pequeña y se ensacha la parte perforada a diámetro normal, valiéndose para ello de un trépano con guía que sigue la perforación pequeña.

Perforando en roca es conveniente recargar el trépano con frecuencia para mantener el diámetro. Lo mejor es usar dos trépanos y recargar uno mientras se perfora con el otro.

La entubación de los sondeos en roca no suelen ofrecer dificultad pues se perfora con diámetro suficiente para permitir la colocación de la tubería.

Perforación en formaciones no consolidadas. - El trabajo suele ser principalmente de mezcla. El golpeo se ajusta a la carrera más larga. El mejor terreno para perforar es el que tiene una textura no homogénea, es decir, que es una mezcla de arcilla, arena y grava. Cuando la textura es homogénea, se pueden producir dificultades y conviene en lo posible corregirla. Por ejemplo, si se perfora en arcilla, que puede ser muy pegajosa y retener el trépano, se consiguen buenos avances arrojando de cuando en cuando algo de arena o también, si no se dispone de ella, trozos de cable de perforar usado que se destrenzan previamente. En cambio si es arena lo que se perfora, conviene arrojar arcilla. Se consigue así una mezcla más fácil de extraer con la cuchara.

En estas formaciones no consolidadas, sobre todo cuando predomina la grava o la arena, no se mantienen las paredes de la perforación y es necesario ir entubando a medida que se perfora. Las presiones laterales retienen la tubería y es necesario golpearla para que avance. Para ello se usa una cabeza de golpeo (figura 31) puesta sobre la tubería y las bridas de golpeo (figura 32), que se atornillan abrazando el cue-

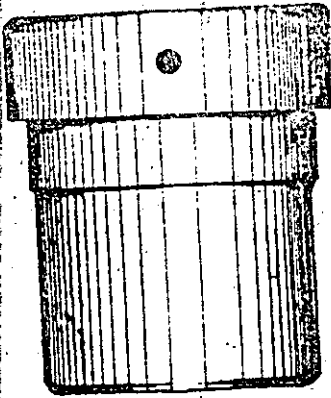


FIG. 31.

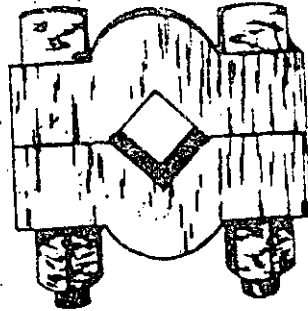


FIG. 32.



drado de llave superior del barrón. Con movimiento lento se va golpeando la tubería que se llega al fondo de la perforación y entonces se continúa perforando.

Nunca se deben usar las tijeras cuando se está entubando.

En las formaciones no consolidadas la mayor dificultad que se encuentra es cuando se perfora en arena muy fina, a la que vulgarmente se llama arena de playa o arena valorada. Esta arena penetra en la perforación y hay que sacarla con la cuchara en grandes cantidades antes de que permita avanzar la tubería. Además, como está saturada de agua, sube por el interior de la tubería comportándose casi como fluido. Hay que tener mucho cuidado pues al proceder así pueden quedar las herramientas enterradas en la arena análogamente a como quedan sumergidas en agua al encontrar un acuífero.

Es una práctica mantener el sondeo completamente lleno de agua para que la presión hidrostática impida la ^{suavida} entrada de arena por el interior de la tubería.

Si la capa de arena fina es de un espesor grande la presión lateral que ejerce sobre la tubería puede impedir el avance de ésta, obligando a sucesivas disminuciones de diámetro.

VI. - FAENAS DE PESCA

El mayor éxito que puede tener una faena de pesca es evitarla. "Es mejor evitar que curar". Todas las precauciones y previsiones que para esto se toman serán pocas; estado del cable, junta del bulón, uniones roncadas, etc., son puntos que se deben revisar cuidadosamente.

Hay que tener en cuenta que la pesca es una faena en la que se mezclan la habilidad y la casualidad. Por eso hay que usar, sobre todo, la cabeza y no impacientarse jamás.

Todas las faenas de pesca son inicialmente sencillas, pero cualquier error cometido puede hacerlas muy difíciles o imposibles. La posibilidad de complicaciones es tan grande, que es preferible no hacer nada antes que proceder en forma inadecuada.

Para poder pescar cualquier herramienta es necesario conocer sus dimensiones. Por eso es indispensable que el Capataz tenga siempre anotadas todas las dimensiones de todas las herramientas que esté usando (roscas, cuellos, cuadrados de llave, longitudes, peso etc.). También deberá saber exactamente la profundidad a que está perforando.

Además de las dimensiones, es muy conveniente saber la "postura" en que ha quedado la herramienta perdida dentro del sondeo (derecha, centrada, apoyada en la pared, metida en una cavidad, etc.). Este se consigue con el "bloque de impresión" (figura 33).

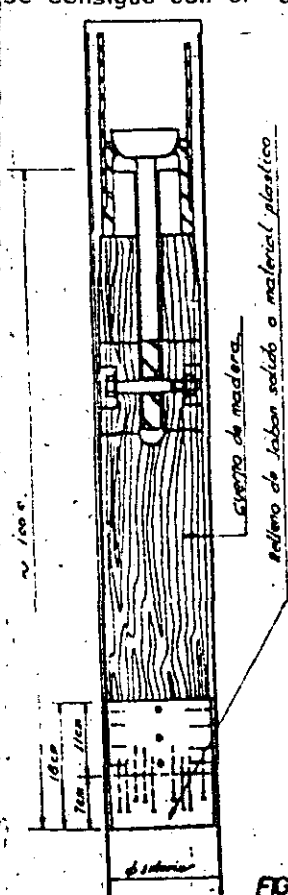


FIG. 33 -

La sarta de herramientas de pesca debe estar formada siempre (salvo circunstancias muy especiales) por las herramientas siguientes:

- Montera rígida.
- Barrón de pesca.
- Tijeras de pesca (golpe largo)
- Pescador.

Hay que colocar el barrón de pesca encima de las tijeras de pesca para disponer así de fuerza, cuando se golpee hacia arriba.

Al principio de la faena de pesca debe manejarse siempre la máquina con el golpe más corto que tenga. Después, si es conveniente, se utiliza un golpe más largo.

Todas las campanas de pesca que tengan cuñas se meterán, la primera vez, siempre sin las cuñas para comprobar que pueden llegar hasta el sitio de la pesca y que la herramienta entre ellas.

Aparte de las herramientas que se describen a continuación, puede ser necesario, en ocasiones, el uso de otras de "fabricación casera", con dispositivos que el ingenio del perforador encuentre adecuados en cada caso particular.

Bloque de impresión (figura 33). - Las

herramientas perdidas se pescan mucho más fácilmente si se conoce la posición exacta dentro del sondeo. La herramienta puede estar apoyada en la pared o metida en una cavidad, de modo que no pueda entrar en la campaña de pesca. También puede estar recubierta con desprendimientos. El cuello de la montera y las roscas de las herramientas pueden haber cambiado de forma a consecuencia de golpes recibidos antes de la faena de pesca o durante la misma. Todas estas condiciones se pueden determinar sacando un molde de la herramienta perdida con el bloque de impresión.

Para hacer el bloque de impresión se parte de un taco cilíndrico de madera de longitud aproximada de 1 metro y de diámetro 1 centímetro inferior al diámetro interior de la tubería. Si la tubería tiene abolladuras o no es perfectamente cilíndrica, conviene aumentar prudentemente este huelgo de 1 centímetro para evitar atranques. A un extremo del taco se le da forma cónica para igualar con el diámetro de la cuchara y además, se le hace una ranura para que entre la lengüeta de la válvula de dardo. Un taladro diametral coincidente con el taladro de la lengüeta sirve para pasar un tornillo que fija el taco a la cuchara.

El otro extremo del taco se rodea con una chapa fina de unos 20 centímetros de ancho y de longitud suficiente para que envuelva el taco por completo. Esta chapa se clava al taco de modo que sobresalga unos 10 centímetros de su extremo. En el interior de la cavidad se clavan, aproximadamente hasta la mitad, algunas puntas, que servirán para ayudar a mantener dentro de esta cavidad la sustancia plástica con que se ha de rellenar y que ha de servir para sacar la impresión o molde de la herramienta perdida. Esta sustancia plástica puede ser parafina, cera, jabón blanco o alguna otra de propiedades similares. En ocasiones, hasta se podrá usar barro de alfarero.

Para usar el bloque de impresión se baja primero la cuchara si el taco para determinar la profundidad, y se marca el cable exactamente. Se coloca el taco con su extremo inferior relleno de sustancia plástica y se baja hasta tomar contacto con la herramienta. La marca hecha en el cable servirá para saber cuándo ocurre esto. Claro que habrá que tener en cuenta ahora la longitud del taco. Conviene que la cuchara con el taco se asiente bien sobre la herramienta, pero sin presionar demasiado. Subir entonces la cuchara con cuidado y despacio, y retirar el bloque, en el que habrá quedado marcado el molde o impresión de la herramienta.

Montera rígida. - Para las faenas de pesca se usa la montera rígida en lugar de la giratoria, pues con la rígida no hay variación ninguna en la longitud del cable, como ocurre con la giratoria, a causa del juego del bulón. Caso necesario, se puede usar la montera giratoria introduciéndole un taco de madera que acufie el bulón. Un error de 2 ó 3 centímetros en la longitud del cable puede estropear una faena de pesca.

Barrón de pesca. - Es más corto y, por consiguiente, menos pesado que el barrón ordinario de perforar. Se usa inmediatamente debajo de la montera rígida y encima, por tanto de las tijeras de pesca.

Tijeras de pesca. - Su sitio en la sarta de herramientas de pesca es entre el barrón y el pescador. Así, todo el impulso del barrón hacia el transmite al pescador. Son análogas a las tijeras corrientes de perforar, pero su carrera es mucho más larga. El objeto de éste es que se pueda obtener golpeo hacia arriba sin que se golpee hacia abajo al mismo tiempo. Golpear en ambos sentidos es el medio más seguro para que se escape una herramienta que se tiene ya enganchada. Como algunas veces cuesta varios días conseguir el enganche, no será prudente arriesgarse a usar tijeras de carrera corta. Cuando hay que golpear hacia abajo es imposible hacerlo eficazmente con tijeras de carrera corta pues la caída del barrón es, como mucho, igual a la carrera de la tijera.

Golpeador (Fig. 34). - Se usa para soltar herramientas que se han acuñado en el sondeo. Esto suele ocurrir cuando se perfora sin tijeras. El golpeador se usa con el cable de cuchara y el cable de perforar sirve como guía. Se suelta la cuchara de su cable y se pone el golpeador. Se le quitan a éste los dos pasadores que lleva y se introduce el cable de perforar por la ranura, reponiendo entonces los pasadores. Para impedir que se enreden los cables de cuchareo y de perforar, se debe tensar este último antes de descender el golpeador. Para quitar las vueltas que pueda tener el cable de cuchareo, no conviene descender al golpeador de una vez, sino por ensayos sucesivos. Por ejemplo: la primera vez se descende hasta la cuarta parte de la profundidad, se saca hasta arriba y se vuelve a meter la mitad, luego hasta las tres cuartas partes y, por fin, hasta el final. En todos intentos hay que obrar despacio y con cuidado. Al llegar al final, es decir, a que el golpeador haga contacto con el cuello de la montera, se marca el cable de cuchara. Se mantiene la tensión del cable de perforar y se levanta el golpeador de 3 a 5 metros, dejándolo caer libremente. Generalmente, algunos golpes bastan, excepto cuando las herramientas están muy enterradas por desprendimientos.



FIG. 34.

Quando, a causa de desprendimientos, se quedan atrancadas las tijeras (sin juego), se pueden soltar por un procedimiento análogo, pero aplicando menos tensión al cable de perforar y dejando el freno del tambor de perforar apretado ligeramente. Al golpear así, descende el eslabón superior de la tijera hasta que ésta se cierra. Tensando el cable de perforar se abren otra vez las tijeras y repitiendo la operación de golpeo varias veces, se consigue, generalmente, dejar las tijeras libres y con éstas se puede sacar casi siempre la herramienta.

Hay que tener en cuenta que al golpear repetidas veces el cuello de la montera, ésta se puede remachar y dificultar posteriores faenas de pesca.

El golpeador puede servir también cuando no se dispone de cortacable y se quiere cortar el cable por la montera, en caso de que las herramientas hayan quedado atrancadas. Se hace descender como se ha indicado y una vez abajo se alaja el cable de perforar 0'50 metros aproximadamente. Se deja caer entonces el golpeador unas 10 ó 12 veces desde una altura de 3 metros, después se pone en marcha la máquina de modo que dé tirones repetidos del cable y éste, que ya esté machacado por el golpeador, terminará rompiendo.

Campana de fricción (Fig. 35).— Cuando se desatorasca o rompe la rosca de un trépano, lo primero que se usa para pescarlo, si se dispone de ello, es una campana de fricción. No se debe tratar de pescarlo a la primera vez, sino golpear un poco hacia abajo y después sacar la campana para ver las señales que el trépano deja en ella. Si se nota que el trépano ha entrado, entonces se baja otra vez y se golpea más fuerte para que agarre y sacar así el trépano. A causa de que el agarre es sólo por fricción, no resiste mucho golpeo hacia arriba.



FIG. 35.

Si las señales que quedan en la campana indican que el trépano no entra dentro de ella, sino que la golpea lateralmente, hay que dejar de usarla pues lo único que se conseguiría sería clavar más el trépano en la pared. Se debe usar entonces una espadilla para enderezar el trépano en el sondeo. El trabajo alternado de la espadilla y la campana de fricción consigue a menudo pescar el trépano.

Campana de combinación (Figura 36).— La campana de combinación se usa para pescar el cuello de una montera una vez que se ha cortado el cable. También se pescan con ella las roscas macho de las herramientas que se desroscan y quedan en el sondeo. Se puede usar además para pescar cualquier objeto cilíndrico, como barril de perforar o tubería, que quede en posición vertical en el pozo, siempre que su diámetro sea, por lo menos, 5 mm. menor que el interior de la campana. Cuando se pescan roscas, las uñas son cónicas, y para cuellos de montera y objetos cilíndricos se usan cuñas cilíndricas. En cada caso, es muy importante que las cuñas sean del tamaño a la pieza que se quiere pescar.

pre, usar las cuñas que correspondan al diámetro de la pieza que se quiera pescar.

En el cuerpo de la campana hay dos orificios por los que se puede meter un pasador que limita la entrada de la herramienta que se pesca dentro de la campana. Se impide así que la herramienta golpee el muelle o el tornillo que mantiene unidas las cuñas.

Espadilla (Fig. 38). - Es una herramienta eficaz para enderezar en el sondeo trépanos o herramientas que estén sobre la pared de modo que no pueden ser cogidas con una campana. Sirve también para desacuñar un trépano. La manera correcta de usar esta herramienta es bajarla hasta que esté al lado de la herramienta perdida y entonces golpear con la máquina simultáneamente arriba y abajo. Después de 20 ó 30 minutos de trabajo, se quita la espadilla y se hace un intento con la campana. Si este método no da resultado, hay que intentar colocar la espadilla encima de ella. Esto se puede conseguir con mucha paciencia. Entonces se desciende la espadilla toda la longitud entre la pared y la herramienta y se pone en marcha la máquina, golpeando arriba y abajo. Esto tiende a abrir un hueco entre la herramienta perdida y la pared del sondeo, y aumenta las posibilidades de coger la herramienta con la campana.

Para soltar una herramienta acuñada no es esencial que la espadilla gire en el sondeo. Se le debe dar forma en caliente con un macho al extremo de modo que sea más grueso que el cuerpo y templarlo. Así abrirá su propio camino.

Gancho centrador (Fig. 39). - Se usa para poner en pie herramientas que estén apoyadas en la pared y no se puedan enderezar con la espadilla. Muchos perforadores prefieren usar con esta herramienta la montera giratoria y buscar su posición. También se pueden manejar con tubería en vez de cable.

La mayoría de las veces se consigue éxito bajando el gancho hasta que está al lado de la herramienta y subiéndolo muy despacio hasta llegar a la parte superior de la herramienta perdida. Así se permite al gancho, se debe arrojar carbón vegetal

Es una de las herramientas de pesca más eficaces y una vez que se ha conseguido enganchar la herramienta perdida, es muy difícil romper el enganche. Por eso, no se debe usar sino cuando se sepa casi con certeza que las herramientas no están acuñadas de tal forma que sea imposible sacarlas.

Como siempre, se usan tijeras de pesca (recorrido largo) entre el barrón y la campana de combinación. Se emplea el golpe más corto de la máquina. Conviene desarmar la campana y hace un primer ensayo bajándola al sondeo sin las cuñas ni el cuello para ver si la herramientas que se quiere pescar entra en su interior. Para conocer esto es útil atravesar un palito en la boca de la campana de modo que quede bien encajado. Si la herramienta entra en la campana, el palito se romperá. Una vez que se tenga certeza de que la herramienta entre en la campana, se arma ésta.

Se desciende lentamente la campana hasta que se establezca contacto con la herramienta y entonces se dan unos cuantos golpes hacia abajo para hacer el enganche. Una vez hecho el enganche, si la herramienta no está acuñada, no hay más que sacarla. Si no sale, hay que golpear hacia arriba. Es conveniente golpear corto y rápido. La paciencia es el mejor ayudante. No se puede decir cuanto tiempo será necesario, pero pueden hacer falta varias horas. Si la herramienta no ha quedado libre después de varias horas, hay que dar un golpe más largo y fuerte, aunque esto puede hacer que se suelte la herramienta de la campana. Cuando ya es seguro que la herramienta no se puede sacar, hay que romper el enganche y sacar la herramienta de pesca. Esto se puede conseguir, aunque no es seguro, golpeando en los dos sentidos simultáneamente (para esto hay que poner en la maquina un golpe más largo que el recorrido de la tijera). Algunas veces se conseguirá soltar la herramienta en pocos minutos sin que sufra ella ni la campana, y otras veces pasarán varias horas antes que se suelte, con daño para la campana y la herramienta.

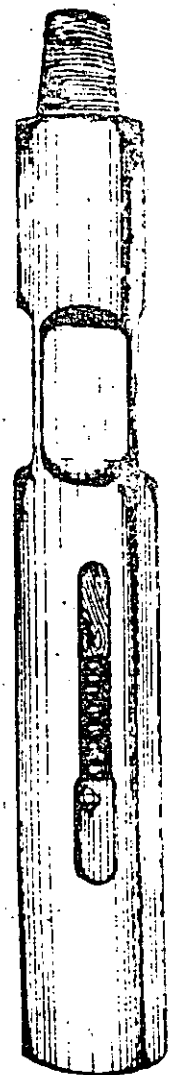
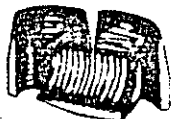


FIG. 36.-



Después de terminar con éxito una faena de pesca, se suelta la herramienta pescada de la campana desarmando ésta.

Campana del círculo completo (Fig. 37).- Se usa para pescar cuellos (de barrón, tijeras o trépanos) y objetos cilíndricos en posición vertical. Su uso es completamente análogo al de la campana de combinación y hay que tomar con ella las mismas precauciones. Es esencial, como siem-

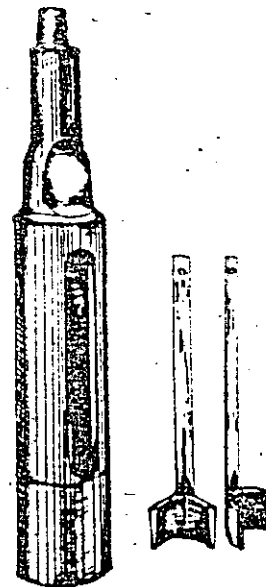


FIG. 37.-



FIG. 38.-

u otro material blando para que la herramienta no vuelva a tumbarse: Después se hace la pesca con la herramienta adecuada.

Arpón pesca-cable con pestillo (Fig. 40).- Se usa esta herramienta cuando se rompe el cable de perforar y quedan la herramienta dentro del sondeo, con un trozo de cable encima. También se usa si se rompe el cable de cuchara.

Se mide el cable desde el punto que corresponde al nivel del suelo hasta el extremo y, teniendo en cuenta la profundidad del sondeo y la longitud de la herramienta, se determina la cantidad de cable que queda en el interior.

En el caso de una cuchara que haya quedado con poco cable, puede ser pescada por el asa con el pestillo de la parte inferior de esta pescador.

Es importante que el pescador no descienda tanto que el extremo del cable roto quede por encima de él y pueda enredarse en las tijeras complicando la faena de pesca. Para evitar esto, conviene que el pescador lleve un disco de madera de diámetro aproximado al del sondeo.

Una vez enchanchadas las herramientas, si éstas están sueltas en el sondeo, conviene proceder prudentemente. Si levantan las herramientas 5 ó 6 metros y entonces se deja resbalar ligeramente el

freno del tambor de perforar. Si el cable no estaba bien enganchado, las herramientas caerán al fondo, pero será preferible esto a que caigan desde una altura superior.

Al salir el pescador del sondeo, hay que tener cuidado de que no se suelte el extremo del cable y por eso hay que parar y atar dicho extremo al pescador.

Si las herramientas están atascadas, habrá que ir sacando el cable a pequeños trozos.

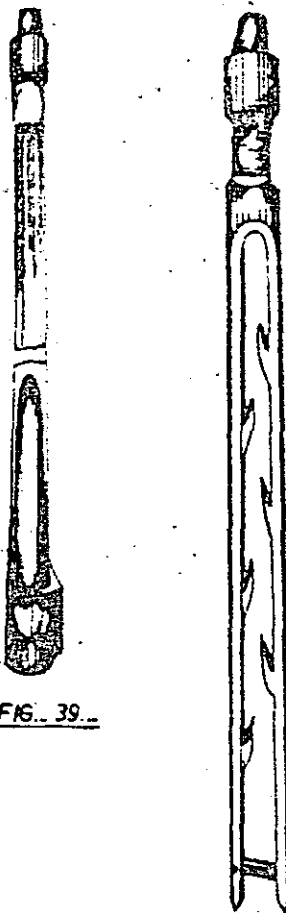


FIG. 39.

FIG. 40.



20

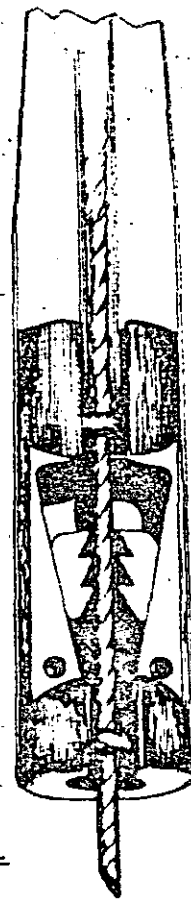


FIG. 41.



Corta-cable (Fig. 41).- Cuando las herramientas están tan atascadas en el sondeo que no se pueden soltar con el golpeador, hay que cortar el cable lo más cerca posible de la montera como operación previa a una faena de pesca.

El cortador de cable completo comprende: montera rígida, barrón tijera de golpe largo y cortador propiamente dicho, y se maneja con el cable de cuchara.

Se quitan del cortador la tapa, las cuchillas y los dos pasadores y se arma alrededor del cable, pero sin poner las cuchillas. Antes de intentar bajar el cortador hay que tensar el cable que se ha de cortar. Como regla, se puede decir que la tensión debe ser poco más de un centímetro por cada 100 metros de cable. Si el cable está muy tirante o muy flojo, se puede enredar con el cable de la cuchara.

Se hacen varios intentos de la misma forma que con el golpeador hasta que se consigue descender el cortador hasta la montera. Cuando se ha conseguido esto, se saca el cortador y se le colocan las cuchillas bien limpias y engrasadas y se baja de nuevo hasta la montera. La acción de corte se consigue golpeando hacia arriba con las tijeras.

Importante.- Una vez que se han colocado las cuchillas no se debe intentar tensar el cable más ni sacar el cortador hasta que éste ha llegado a tomar contacto con la montera; de otro modo, se se puede cortar el cable más arriba de lo conveniente y ser precisa una faena de pesca más complicada. Una vez cortado el cable de perforar, se puede sacar éste casi siempre antes de sacar el pescador, pero si los cables de perforar y cuchara se han enredado, hay que irlos sacando al mismo tiempo. Puede ser conveniente atravesar un palo en la boca del sondeo entre ambos cables para que los vaya separando a medida que salen.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

PERFORACION ROTARIA

EXPOSITOR: ING. ERNESTO REGUERA ROA

ABRIL, 1985

THE MODERN ROTARY DRILLING COMPLEX

ALL STUDENTS: Be sure to complete the unit pre-test before you begin your study.

THE MODERN ROTARY DRILLING COMPLEX PROGRAM OBJECTIVES

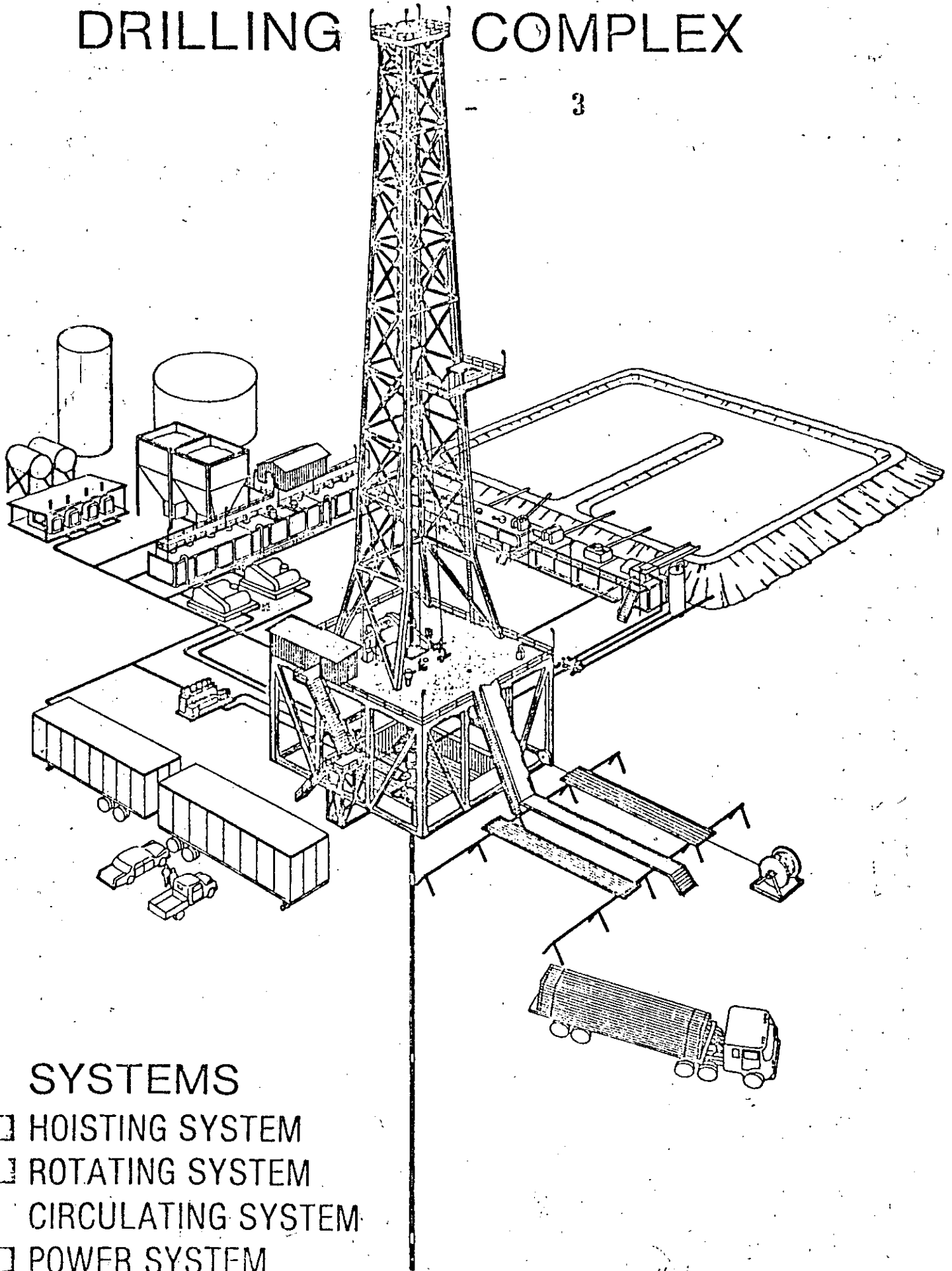
Upon completion of this section, you should be able to:

- Identify and describe each major component system within a modern rotary drilling complex; and
- Identify and describe the major subcomponents within each system.

ALL STUDENTS: When you are ready to begin your study, open this section.

THE MODERN ROTARY DRILLING COMPLEX

3



SYSTEMS

- HOISTING SYSTEM
- ROTATING SYSTEM
- CIRCULATING SYSTEM
- POWER SYSTEM
- BLOWOUT PREVENTION SYSTEM

AN INTRODUCTION

The modern rotary drilling complex is a highly sophisticated industrial facility that has one major function—to safely drill a subsurface hole, called a “well bore,” until it penetrates a potential petroleum-bearing formation, permitting any oil or gas to be recovered at the surface.

These drilling operations are achieved by experienced and skilled drilling crews using a modern rotary drilling complex. The complex is an assemblage of specialized equipment and tools that are organized into five interrelated and dependent component systems. The components are: 1) a hoisting system, 2) a rotating system, 3) a circulating system, 4) a power system, and 5) a blowout prevention (BOP) system.

This section (pages 1-16) will provide you with a review of Unit II — The Rig and Its Component Systems.

THE COMPONENT SYSTEMS

5

THE HOISTING SYSTEM

The hoisting system, as represented by the distinctive silhouette of a mast or derrick, is probably the most recognized component of a modern rotary drilling complex. Its primary function is to support the rotating system in "drilling a well" by providing the appropriate equipment and working areas needed for lifting, lowering and suspending the tremendous weights required by the rotating system during drilling operations.

THE ROTATING SYSTEM

The rotating system is the focal point of the entire modern rotary drilling complex. Its primary function is to actually drill the well bore, which is popularly called "making hole." The rotating system is directly or indirectly supported or aided in this operation by all other component systems.

THE CIRCULATING SYSTEM

The circulating system is another major component of a modern rotary drilling complex, providing vital support to the rotating system as a well is drilled. The system provides equipment, materials and working areas to prepare, maintain and revise the "lifblood" of modern rotary drilling operations—the drilling fluid (popularly called "mud"), which is used to clean and control the well bore during drilling operations.

THE POWER SYSTEM

The power system is the "nucleus" of a modern rotary drilling complex. Its prime movers, or large engines, generate the power required to operate almost all of the components in each system within the complex.

THE BLOWOUT PREVENTION SYSTEM

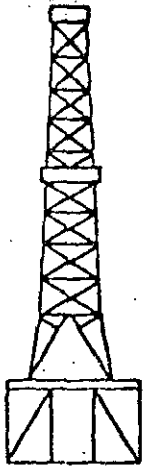
The blowout prevention (BOP) system is a primary "safety" system of a modern rotary drilling complex. Its primary function is to control a "kick," which can result in a drilling disaster that may occur if control over the drilled well bore is lost and subsurface formation fluid under high pressure erupts from the well (a "blowout").

To develop a better understanding of each of the important modern rotary drilling complex components, turn to the next two-page display.

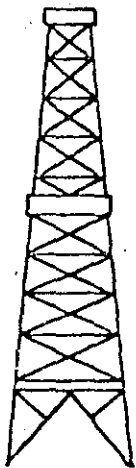
THE HOISTING SYSTEM

DRILLING TOWERS

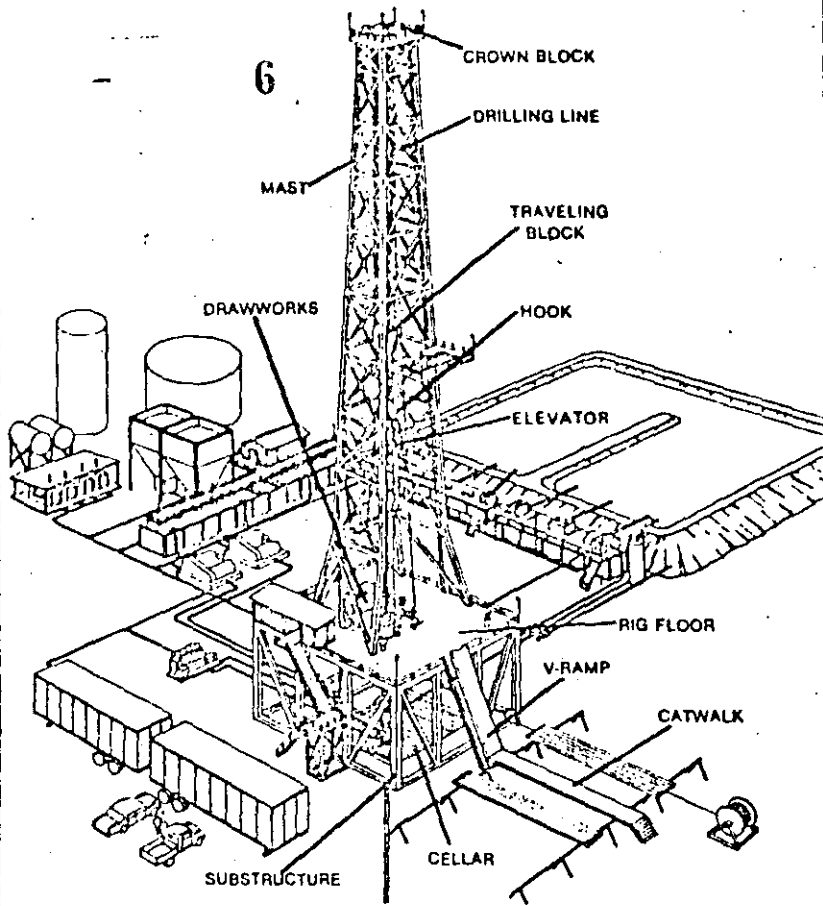
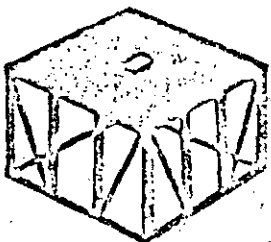
A MAST



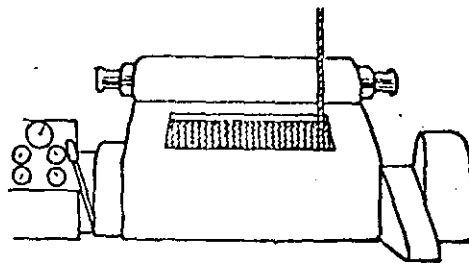
A DERRICK



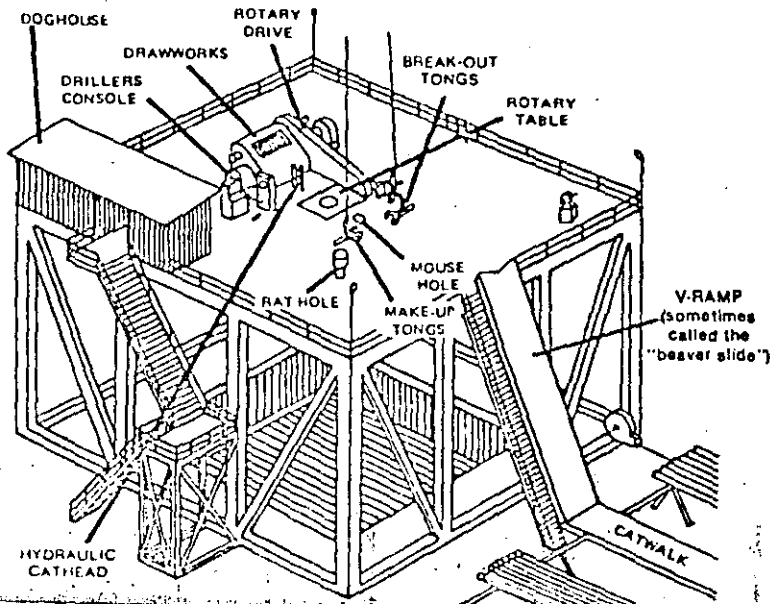
THE SUBSTRUCTURE



THE DRAWWORKS



THE RIG FLOOR



THE OVERHEAD TOOLS

CROWN BLOCK



TRAVELING BLOCK



LINKS



ELEVATOR

DRILLING LINE



7 THE HOISTING SYSTEM

The hoisting system is one of the most important components in a modern rotary drilling complex. Its primary function is to support the rotating system in "drilling the well" by providing the appropriate equipment and working areas needed for lifting, lowering and suspending the tremendous weights used in the rotating system as it drills the well bore. The hoisting system consists of two major sub-components: 1) the supporting structure (popularly called the "rig"), and 2) the hoisting equipment.

THE SUPPORTING STRUCTURE (RIG)

THE SUPPORTING STRUCTURE IS . . .

A steel framework assembled over the drilling site. The supporting structure includes the following:

- **DERRICK DRILLING TOWER** - OR - **MAST DRILLING TOWER** - A tower-like framework which is assembled piece-by-piece over the well site, above the substructure. This framework covers the entire rig floor and supports the assemblage of tools and equipment used in modern rotary drilling.
- **SUBSTRUCTURE** - A large steel framework which is constructed from prefabricated sections which are assembled on the ground and then raised to an upright position above the substructure. This framework covers part of the rig floor and supports the assemblage of tools and equipment used in modern rotary drilling.
- **RIG FLOOR** - A large steel framework assembled over the drilling site which provides work space for equipment and men on and below the rig floor.
- **RIG FLOOR** - The covering placed over the substructure framework which provides a working platform for most rotary drilling operations.

The supporting structure provides the appropriate working space required for using the specialized hoisting equipment.

THE HOISTING EQUIPMENT

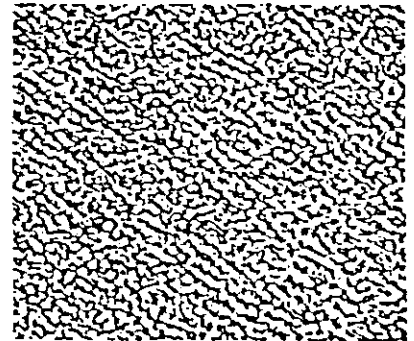
THE HOISTING EQUIPMENT IS . . .

The specialized equipment that lifts, lowers, and suspends the drill stem and bit in the well bore. The hoisting equipment includes:

- **DRAWWORKS** - A powerful hoisting assembly (specialized winch) located near the rotary table on the rig floor.
- **OVERHEAD TOOLS** - The "connecting links" within the hoisting system—they include:
 - CROWN BLOCK** - An assembly of sheaves located on a framework at the top of a mast or derrick.
 - TRAVELING BLOCK** - An arrangement of sheaves that is suspended below the crown block and above the rig floor.
 - HOOK** - A large hook-shaped device beneath the traveling block from which the swivel and drill stem are suspended during drilling operations.
 - ELEVATORS** - Extremely rugged, heavy-duty clamps attached to the traveling block or hook by means of elevator links. They are used to lower or raise drill stem sections in and out of the hole.
- **DRILLING LINE** - Heavy-duty steel wire rope that connects all components in the hoisting system.

SELF-CHECK COMPLETE THE FOLLOWING QUESTIONS:

1. The hoisting system supports the r_____ s_____ in drilling a well.
2. The two major sub-components of the hoisting system are the s_____ s_____ and the h_____ e_____.
3. The three major components of the supporting structure are the d_____, t_____, the s_____, and the r_____.
4. The major hoisting equipment components are the d_____, o_____, t_____ and the d_____ l_____.



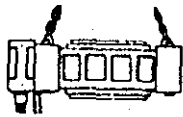
THE ROTATING SYSTEM

THE DRILL STEM

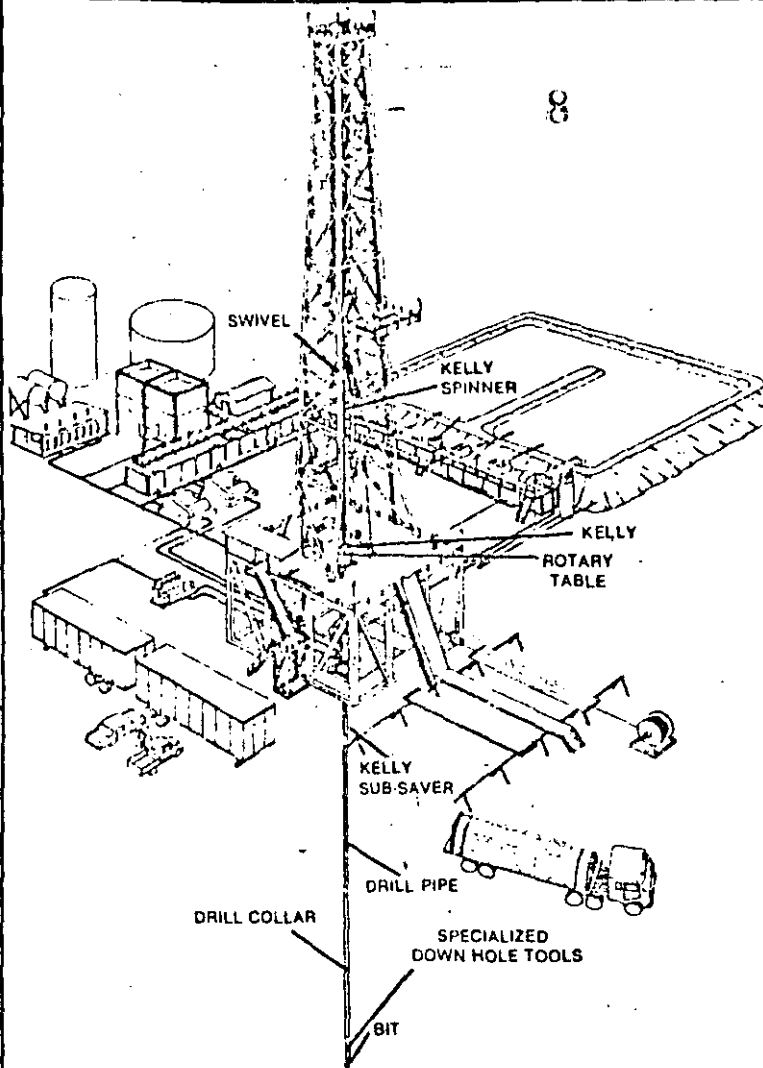
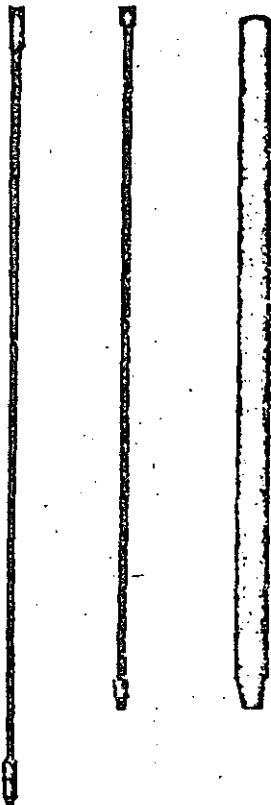
THE SWIVEL



KELLY SPINNER



THE DRILL DRILL KELLY PIPE COLLAR



THE ROTARY KELLY BUSHING



THE ROTARY SLIPS



THE MASTER BUSHING



DOWN HOLE TOOLS

SAVER SUB



STABILIZERS



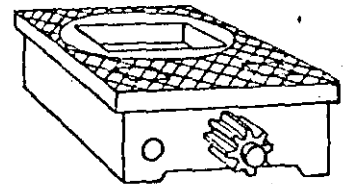
REAMERS



SHOCK ABSORBERS (SHOCK SUB)



THE ROTARY TABLE



BIT TYPES

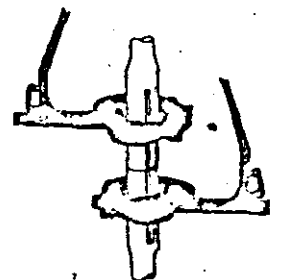
ROLLER-CONE OR ROCK BIT



DIAMOND BIT



ROTARY TONGS



THE ROTATING SYSTEM

The rotating system is another of the important components in a modern rotary drilling complex. Its primary function is to rotate the drill stem and bit, which actually drills the hole (well bore). The rotating system has three major sub-components: 1) the rotary, 2) the drill stem and 3) the bit.

9

THE ROTARY

The rotary is located in the rig floor beneath the crown and over the hole. Rotary operations require the use of the following: the rotary table, master bushing, kelly bushing, rotary slips, and make-up and break-out tongs.

- **ROTARY TABLE** - An extremely rugged and powerful rotating device containing a turntable assembly.
- **MASTER BUSHING** - A removable device that fits into the rotary table and is used with either the kelly bushing or the rotary slips.
- **KELLY BUSHING** - A device that is engaged in the master bushing and transmits torque to the kelly and drill stem during drilling operations.
- **ROTARY SLIPS** - A set of tapered steel gripping devices that are placed inside the master bushing around a section of the drill stem to suspend it in the well bore when adding or removing drill stem sections.
- **MAKE-UP & BREAK-OUT TONGS** - Large wrenches suspended above the rig floor that are used to "make-up" or "break-out" a joint of drill pipe, etc.

The rotary table, master bushing and kelly bushing are used together to rotate the drill stem.

The rotary table, master bushing and rotary slips are used to suspend the drill stem in the hole while adding and removing sections of drill pipe with the assistance of the make-up and break-out tongs.

THE DRILL STEM

The drill stem is suspended beneath the hook and traveling block. It extends through the rotary where it is suspended in the well bore. The drill stem hangs beneath the hook and traveling block by:

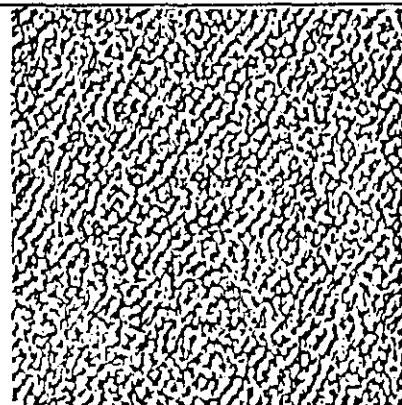
- **THE SWIVEL BAIL & SWIVEL** - A uniquely shaped tool which is located above the drill stem. It allows the drill stem to rotate.
- The drill stem includes:
- **THE KELLY** - A square or hexagon-shaped pipe suspended beneath the swivel bail and swivel that passes through the rotary and transmits torque from the rotary to the drill stem.
 - **THE KELLY SAVER SUB** - A short device connected to the bottom of the kelly to save wear and tear on the lower kelly connection threads.
 - **DRILL PIPE JOINTS** - Round, hollow steel tubes with tool joints attached, located in the upper and middle sections of the drill stem. They are used to lengthen the stem and act as a connecting link to the drill collars and bit.
 - **DRILL COLLARS** - Thick-walled, heavy steel tubes placed on the bottom of the drill stem to provide concentrated weight to the bit.
 - **SPECIALIZED DOWN-HOLE TOOLS** - Tools used in the lower 120 feet of the drill stem to influence the behavior of the bit.

THE BIT

The bit is the tool that actually cuts or bores the hole at the bottom of the well bore.

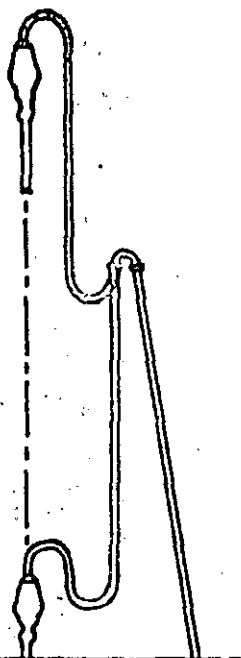
SELF-CHECK COMPLETE THE FOLLOWING QUESTIONS:

1. The rotating system actually d_____ the well.
2. The three major components of the rotating system are the r_____, the d_____ s_____ and the b_____.
3. The rotary consists of a number of important components including the r_____, t_____, m_____, b_____, k_____, b_____, and the r_____ s_____.
4. The drill stem includes the k_____, k_____ s_____, s_____, d_____, p_____, j_____, d_____, c_____, and s_____ d_____ -h_____.



3 THE CIRCULATING SYSTEM

ROTARY HOSE AND STAND PIPE



CONDITIONING EQUIPMENT

SHALE SHAKER



DEGASSER



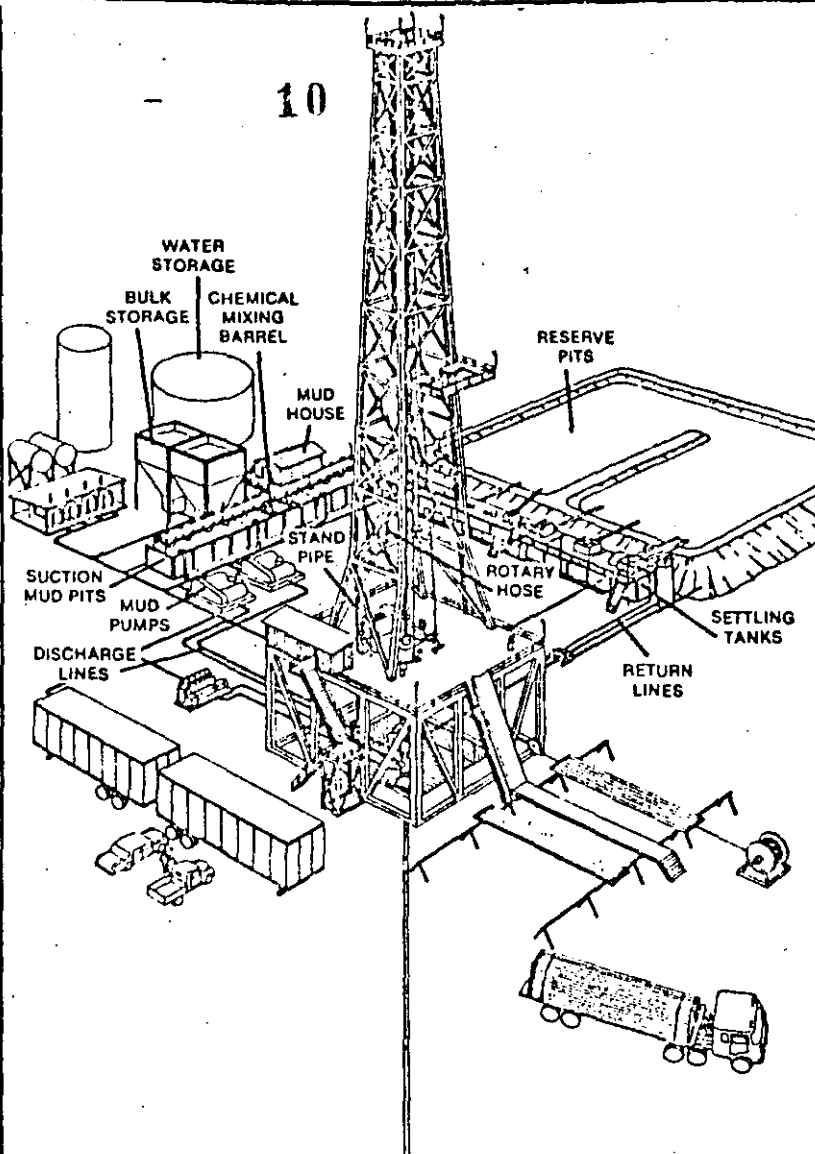
DESANDER



DESILTER

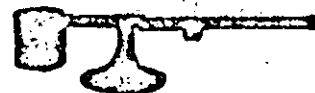


10

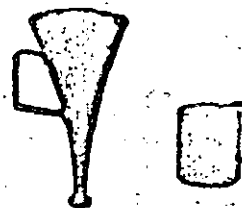


MUD TESTING

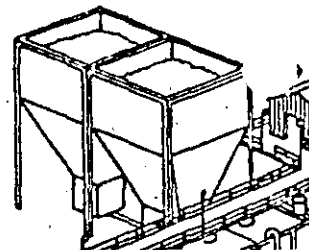
WEIGHT TEST



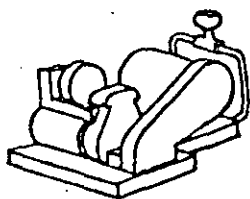
MARSH FUNNEL



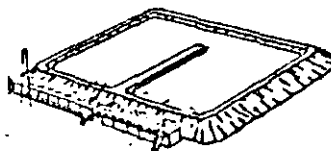
BULK STORAGE



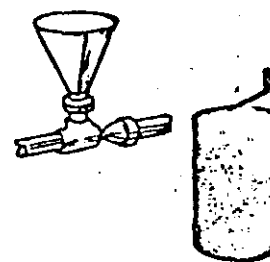
MUD PUMPS



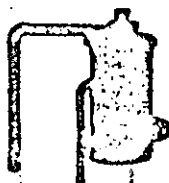
RESERVE PITS (Earthen)



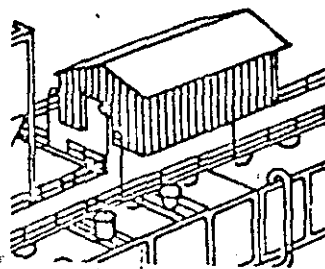
MIXING EQUIPMENT



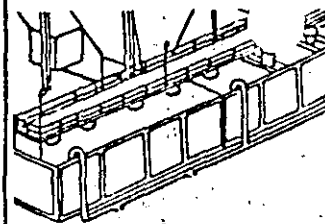
MUD-GAS SEPARATOR



THE MUD HOUSE



STEEL MUD PITS



THE CIRCULATING SYSTEM 11

The circulating system is another important component in a modern rotary drilling complex. Its primary function is to support the rotating system in "drilling the well" by providing the appropriate equipment, materials and work areas needed to prepare, maintain and revise the "blood" of rotary drilling operations — the drilling fluid. The drilling fluid is popularly called "mud." The circulating system consists of major sub-components: 1) the drilling fluid, 2) the preparation area, 3) the circulating equipment and 4) the conditioning area.

THE DRILLING FLUID

The drilling fluid is the special liquid that is circulated down into the drilled hole, assisting the bit in drilling the hole, and then helping control conditions within the well bore. There are three basic types of drilling fluid: 1) water-based, 2) oil-based, and 3) air or gas-based. The drilling fluid is tested continually. Two basic tests are: 1) the weight test which measures the density of the drilling fluid and 2) the marsh funnel test which measures the viscosity of the drilling fluid.

THE PREPARATION AREA

The preparation area is located at the start of the circulating system near the "mud pumps," where drilling fluid is initially prepared, maintained or altered, depending on well bore conditions. The area contains:

- MUD HOUSE - A storage shed for additives.
- STEEL MUD PITS - Steel containers that facilitate handling of drilling fluid at the surface.
- MIXING HOPPER - A device used to add additives to drilling fluid.
- CHEMICAL MIXING BARREL - A device used to add chemicals to drilling fluid.
- BULK MUD STORAGE BINS - Large bins used for storing additives used in large quantities.
- WATER TANK - A storage container for water used in the preparation area.
- RESERVE PIT - A large earthen pit used to hold wastes from the well bore and to store excess drilling fluid.

THE CIRCULATING EQUIPMENT

The circulating equipment is the specialized equipment that physically moves the drilling fluid from the preparation area in and out of the well bore, to the conditioning area, then returns it to the preparation area for recirculation. The equipment includes:

- DISCHARGE AND RETURN LINES - Connecting lines that transport drilling fluid to and from the well bore.
- STAND PIPE - A steel pipe clamped vertically to the derrick or mast, connecting the drilling fluid discharge lines to the rotary hose.
- ROTARY HOSE - A strong, flexible rubber hose that connects the stand pipe with the swivel.
- MUD PUMPS - Powerful pumps that physically move the drilling fluid during circulation.
- SPECIAL PUMPS AND AGITATORS - Devices used to mix or assist in mixing the drilling fluid.
- STEEL MUD PITS - Additional steel containers that facilitate the handling of drilling fluid.
- RESERVE PITS - Large earthen pits used to hold wastes from the well bore.

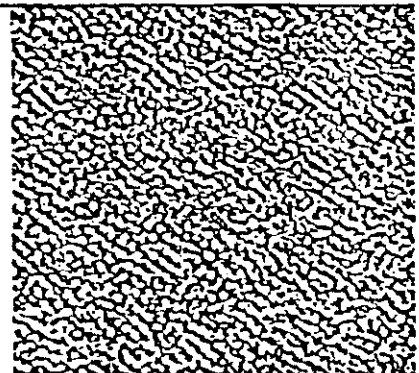
THE CONDITIONING AREA

The conditioning area is the area where drilling fluid is "cleaned-up" after it has been brought up out of the well bore. The area includes:

- SETTLING TANKS - Steel containers (mud pits) used to hold drilling fluid used during conditioning.
- MUD-GAS SEPARATOR - A device that removes larger quantities of entrained gases that have entered the drilling fluid.
- SHALE-SHAKER - A device that removes large formation cuttings from the drilling fluid.
- DEGASSER - A device that continuously removes entrained gases that have entered the drilling fluid.
- DESANDER - A device that removes granular particles from the drilling fluid.
- DESILTER - A device that removes the most minute formation particles from the drilling fluid.

SELF-CHECK COMPLETE THE FOLLOWING QUESTIONS:

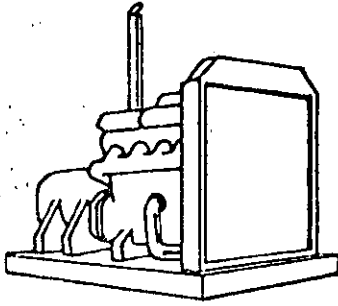
1. The circulating system supports the r_____ s_____
2. The four major components of the circulating system are the d_____, f_____, the p_____ a_____, the c_____, e_____ and the c_____ a_____
3. The conditioning area includes the s_____ t_____, the m____-g____ s_____, the s_____-s_____, the d_____, the d_____ and the d_____
4. Drilling fluid is popularly called "m_____"



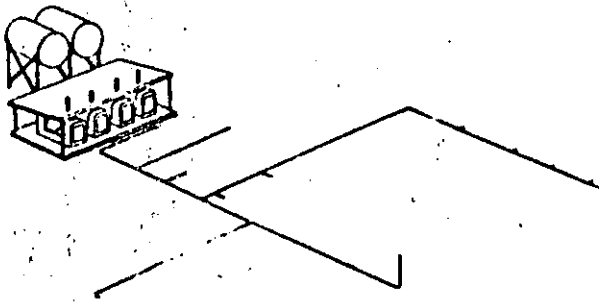
4

THE POWER SYSTEM

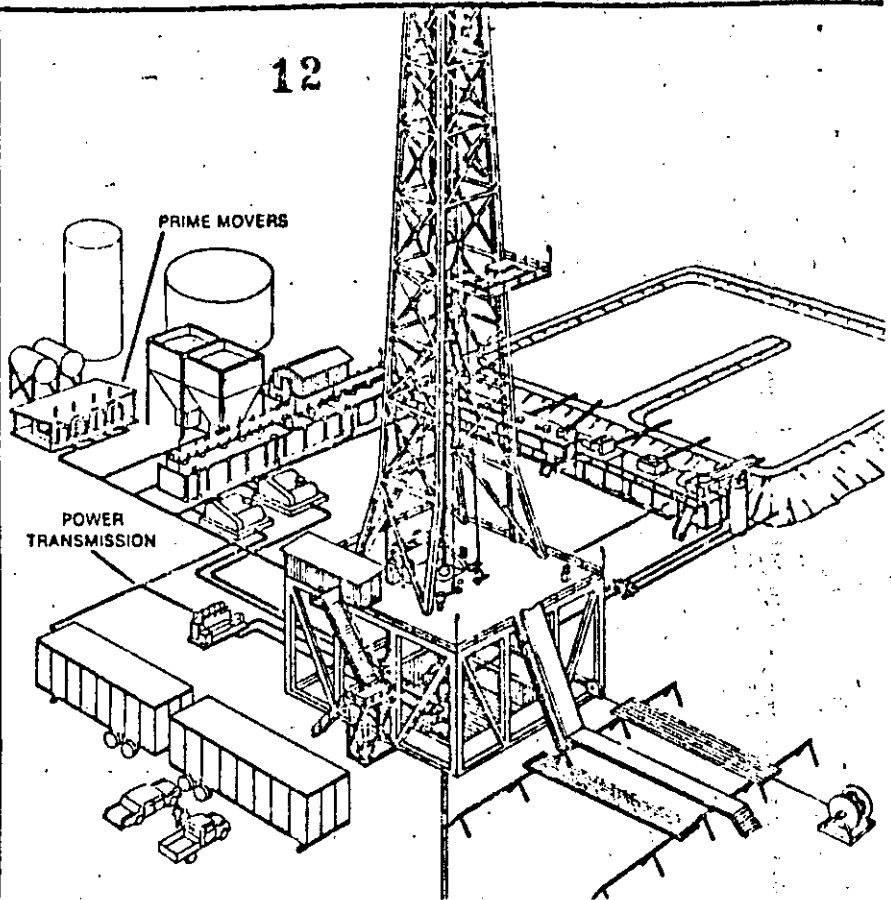
THE PRIME MOVER



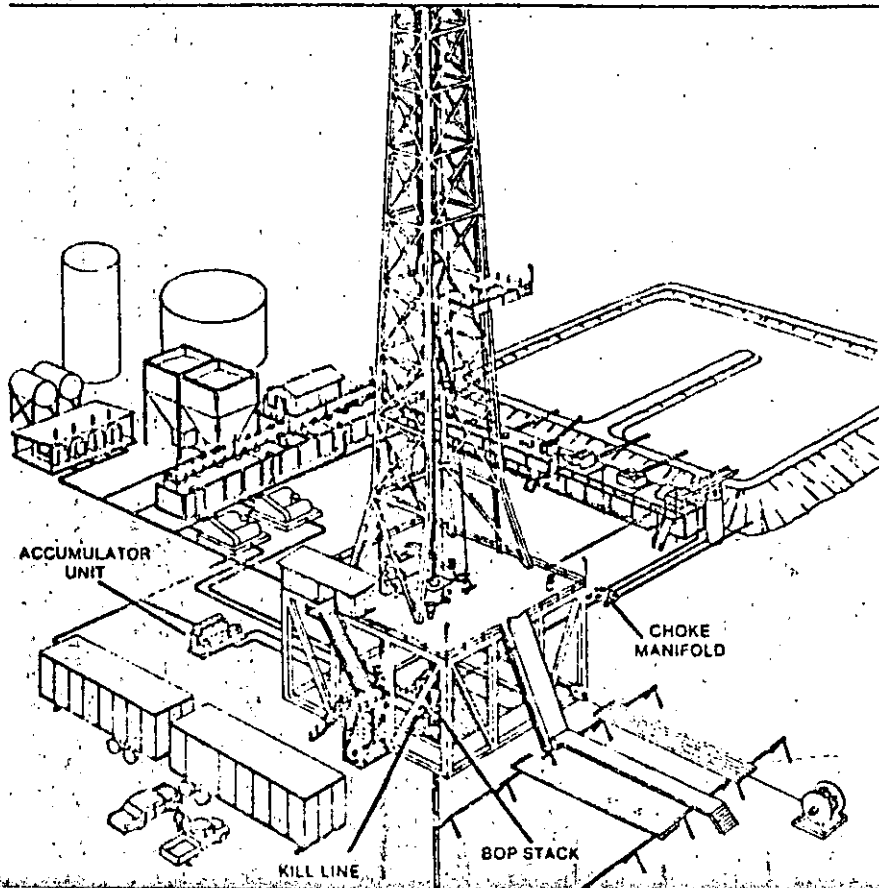
POWER TRANSMISSION



12



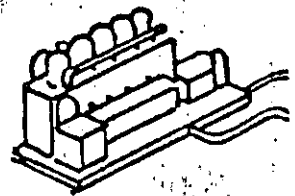
5 THE BLOWOUT PREVENTION SYSTEM



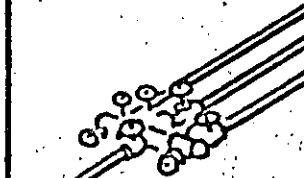
THE BOP STACK



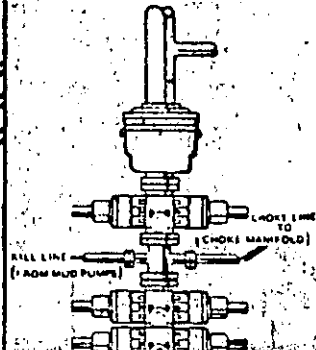
THE ACCUMULATOR UNIT



THE CHOKE MANIFOLD



THE KILL LINE



The power system is another major component in a modern rotary drilling complex. Its primary function is to support ALL of the other systems by providing a source for the energy requirements of modern rotary drilling operations. The power system consists of two major sub-components: 1) the primary power source (prime movers) and 2) the accompanying power transmission system.

THE PRIMARY POWER SOURCE

The primary power source for a rotary drilling complex is provided by the prime movers. Prime movers are large internal combustion engines that are arranged into a compound. The engines may be with or without generators. Rigs are classified as being either gas, diesel or diesel-electric.

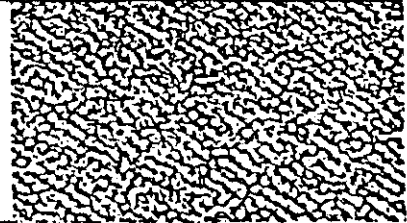
THE POWER TRANSMISSION SYSTEM

The power generated by the prime movers is distributed to the appropriate locations on a rig complex by mechanical or electrical means.

- MECHANICAL TRANSMISSION - Uses an elaborate gear and chain arrangement requiring careful alignment.
- ELECTRICAL TRANSMISSION - Uses a system of cables providing greater flexibility and efficiency.

SELF-CHECK COMPLETE THE FOLLOWING QUESTIONS:

1. The power system supports a _____ of the other component systems.
2. The two major sub-components of the power system are the p _____
p _____ s _____ and p _____ t _____ system.
3. Power is generated at the rig complex by large engines called
p _____ m _____
4. Power is distributed around a rig by one of two methods:
m _____ or e _____ transmission.



ADVANCED STUDY STUDENTS: Refer to the "Supplemental Self-Check" booklet.

THE BLOWOUT PREVENTION SYSTEM

The blowout prevention (BOP) system is the final major component in a modern rotary drilling complex. Its primary function is to control a "kick," which can result in a "blowout." The blowout prevention system consists of two major subcomponents: 1) the blowout preventor (BOP) stack and accumulator unit, and 2) the supporting units.

THE BOP STACK AND ACCUMULATOR UNIT

The blowout preventer (BOP) stack is an assembly of special pressure-sealing devices located at the casing (well) head directly under the rotary table. Its major function is to seal the well bore when a blowout is imminent. This is done with the assistance of the accumulator unit.

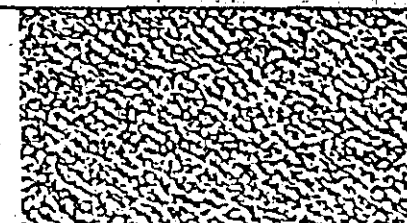
THE SUPPORTING CHOKES AND KILL SYSTEM

- CHOKES - An assembly of high pressure flanged pipe fittings and lateral outlets used to control and maintain back pressure during a severe "kick" and to disperse well bore fluids to the pit or the mud-gas separator until the "kick" is controlled.
- KILL LINE - A line attached to the blowout preventer (BOP) stack that permits heavy-duty drilling fluid to be pumped into the well bore in order to regain well bore balance (control) during a "kick."

NOTE: REGARDLESS OF THE TYPE OF BLOWOUT PREVENTION (BOP) SYSTEM ON A RIG, THE MAINTENANCE AND SUPERVISION OF THE SYSTEM IS EXTREMELY IMPORTANT. IN EFFECT, THE FINAL "SAFETY SYSTEM" IS THE RIG CREW, WHO MUST MONITOR AND OPERATE THE BOP SYSTEM WHEN A PROBLEM OCCURS.

SELF-CHECK COMPLETE THE FOLLOWING QUESTIONS:

1. The primary function of the blowout prevention system is to c _____
a "k _____"
2. The BOP system consists of two major sub-components: the B _____
s _____ and a _____ u _____ and the
s _____ u _____
3. The BOP supporting units are the c _____ m _____ and
the k _____ l _____



ADVANCED STUDY STUDENTS: Refer to the "Supplemental Self-Check" booklet.

REVIEW

14

THE MODERN ROTARY DRILLING COMPLEX

The major function of a modern rotary drilling complex is to drill a subsurface hole, called a "well bore," until it penetrates a petroleum-bearing formation. These drilling operations are achieved by experienced and skilled drilling crews using the complex's five interrelated and interdependent component systems described below:

THE HOISTING SYSTEM

- Supports the rotating system in drilling the well bore and is made up of two sub-components:
 - 1) a supporting structure
 - 2) the hoisting equipment

THE ROTATING SYSTEM

- Rotates the drill stem and makes the bit drill a subsurface hole, called a "well bore," and is made up of three sub-components:
 - 1) the rotary
 - 2) the drill stem
 - 3) the bit

THE CIRCULATING SYSTEM

- Supports the rotating system as it circulates the "lifeblood" of rotary drilling operations—the drilling fluid. The circulating system is made up of four major sub-components:
 - 1) the drilling fluid
 - 2) the preparation area
 - 3) the circulating equipment
 - 4) the conditioning area

THE POWER SYSTEM

- Generates and distributes the primary power required to operate almost all other component systems. It is made up of two major sub-components:
 - 1) the primary power source (prime movers)
 - 2) the power transmission system

THE BLOWOUT PREVENTION (BOP) SYSTEM

- Controls one of the major problems that may be encountered when drilling a well—a "kick," which can result in a blowout. It consists of two major sub-components:
 - 1) the blowout preventer (BOP) stack and accumulator unit
 - 2) the supporting choke and kill system

When you are ready to check your mastery of the information contained in this section, fold in page 3, cover this review page and complete the Information Mastery Self-Check on the next page.

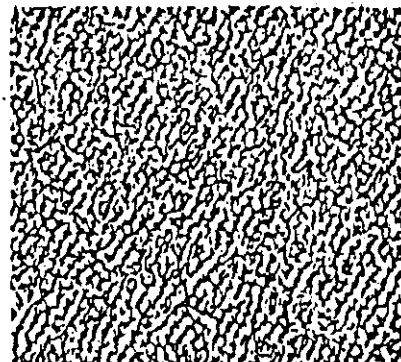
INFORMATION MASTERY SELF-CHECK

15

COMPLETE THE FOLLOWING SECTIONS AS DIRECTED:

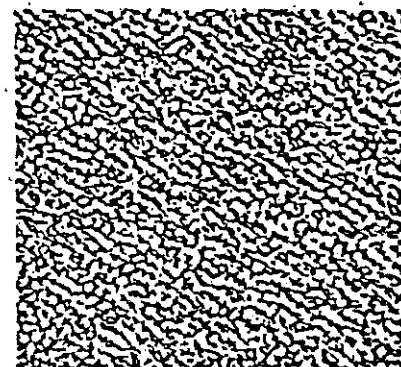
PART I Match the correct function in Column B by placing the letter in front of the system in Column A.

- | COLUMN A | | COLUMN B | |
|----------|---------------------------------|----------|--|
| ___ 1. | Hoisting System | A. | Supports rotating systems by moving drilling fluid. |
| ___ 2. | Rotating System | B. | Controls drilling problems. |
| ___ 3. | Circulating System | C. | Supports rotating system by lifting tremendous weights |
| ___ 4. | Power System | D. | Supports almost all component systems |
| ___ 5. | Blowout Prevention (BOP) System | E. | Actually drills the well |



PART II Classify each of the system components listed below by placing the letter of the system in Column B in front of the component in Column A. Column B letters may be used several times.

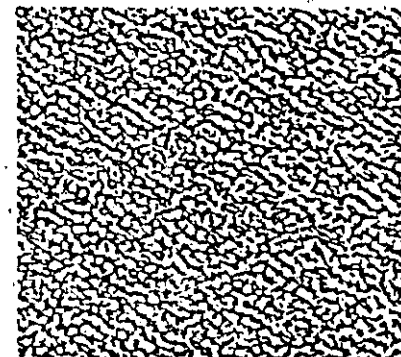
- | COLUMN A | | COLUMN B | |
|----------|---------------------------|----------|-------------------------------------|
| ___ 6. | The drilling fluid | A. | The Hoisting System |
| ___ 7. | Prime mover | B. | The Rotating System |
| ___ 8. | The preparation area | C. | The Circulating System |
| ___ 9. | Supporting structure | D. | The Power System |
| ___ 10. | The rotary | E. | The Blowout Prevention (BOP) System |
| ___ 11. | The drill stem | | |
| ___ 12. | BOP stack | | |
| ___ 13. | The conditioning area | | |
| ___ 14. | The bit | | |
| ___ 15. | Power transmission system | | |



PART III COMPLETE THE FOLLOWING STATEMENTS:

15. What is the major function of a modern rotary drilling complex? _____

16. A subsurface hole is also called a "w _____ b _____."
17. Primary power is provided by the p _____ m _____.
18. Describe the function of the BOP system. _____





**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

PERFORACION A ROTACION CON AIRE

ING. ANDRES BENTON CUELLAR

ABRIL, 1985

1

PERFORACION A ROTACION CON AIRE

El proceso constructivo que se utiliza es practicamente el mismo que el de los sistemas rotatorios de circulación directa y el único cambio que se tiene es la utilización del aire como fluido de perforación.

El procedimiento con aire contempla la utilización de una torre de perforación con su rotaria, la sarta completa, llaves, cuñas y collarines para su manejo y por supuesto la broca adecuada.

En lugar de utilizar una bomba para el manejo de los lodos, debemos — contar con compresor, mangueras con conexiones de alta presión y una — bomba de pistones que nos permita incluirle agua-espumante al aire — utilizado durante el proceso.

Método de Perforación.

La acción perforadora es debida a la rotación de una broca en el fondo del pozo, transmitida ésta por una sarta de perforación manejada desde la superficie por un kelly y una mesa rotaria o un cabezal de rotación todo sostenido a través de cables por los malacates o por sistemas de transmisión a base de cadenas o una combinación de ambos.

La broca al girar corta y desmenuza el material, conforme penetra en la formación, el fluido de perforación que se alimenta por el interior de la herramienta descarga a través de la broca golpeando el fondo del pozo limpiándolo de las partículas quebradas y ayudando en algunos casos a fracturar la roca, el fluido prosigue desplazándose hacia afuera por el espacio anular acarreado los cortes a la superficie y mientras la tubería y la broca prosiguen su movimiento hacia abajo profundizando el pozo, el fluido descarga en la superficie, donde se separan los cortes.

Las funciones del aire como fluido de perforación son las siguientes:

- 1.- Lubricación de las herramientas
- 2.- Enfriamiento de la broca
- 3.- Limpieza del fondo del pozo
- 4.- Extracción de los cortes del barreno

3

Se puede observar que con el uso del aire se dejan de efectuar funciones que se consideran esenciales en la utilización de lodos. Se pierden las características de prevención de derrumbes y control de presiones de fluidos existentes en la formación, por lo que es evidente que no debe utilizarse en formaciones sueltas o fácilmente deleznable que no presenten una compacidad suficiente, solo es posible hacerlo en formaciones compactas, lo anterior independientemente de su dureza.

La remoción de cortes de una determinada medida utilizando un fluido de poca densidad requiere de una velocidad de circulación hacia arriba superior a la que se necesitaría con cualquier fluido que presente una mayor densidad, éste es el caso del aire, el incremento en la velocidad de retorno es muy notable, el aire se desplaza a grandes velocidades y así podemos acarrear partículas de tamaño similar a las que se obtienen con lodo y en ocasiones hasta mayores, para lograrlo; las velocidades de retorno deberán variar entre dos y tres mil pies por minuto, aparece así una primera ventaja sobre otros métodos que es la de tener el corte en la superficie prácticamente en el momento de producirse.

La pérdida de la capacidad de soporte, nos obliga a una limpieza total del pozo antes de suspender la inyección del fluido, por lo que antes de cualquier paro se deberá circular hasta dejar de tener producción de corte en la superficie.

4

Por las velocidades tan altas que deben alcanzarse en el retorno, no es posible trabajar con este procedimiento en formaciones deleznable o fácilmente erosionables.

No contaremos con la capa de gel, que en el uso de lodos nos permite aislarnos de la formación atravesada, pero sin embargo el intercambio iónico por el uso de aire será prácticamente nulo, debido a la alta velocidad de circulación en el pozo.

En resumen, el aire como no proporciona la acción de soporte de las paredes puede ser utilizado únicamente en formaciones que se sostengan aún después de ser perforadas, no puede utilizarse en arenas, materiales de acarreo o sueltos, que no presenten determinada cementación.

Es muy importante hacer notar que es particularmente útil en lugares donde se tienen graves problemas de abastecimiento de agua o en formaciones que presentan pérdidas totales de circulación que obligan a un gasto excesivo de bentonita y agua, al tener la fuente del fluido de perforación en el sitio.

Presenta como una gran ventaja la de que; entre menos densidad y viscosidad presenta el fluido de perforación, se tiene una mayor velocidad de circulación mayor rapidez en la limpieza y por lo tanto un mayor rango de penetración de la formación, es decir, se perfora más rápidamente con aire que con

agua y mas rápidamente con agua que con lodo; por lo anterior siempre que sea posible y aún en lugares donde existan pequeñas pérdidas de circulación, este método puede ser usado con ventaja, por el gran incremento en la velocidad de extracción del corte.

A poca profundidad puede utilizarse aire únicamente como fluido de perforación (mas o menos a veinticinco metros) pero al profundizar o encontrar materiales fracturados, se tienen dificultades en el acarreo de los cortes a la superficie y para facilitar la extracción de los materiales, se adiciona una mezcla de agua-espumante con una bomba que lo haga a una mayor presión que el compresor utilizado, obteniéndose así una columna que aunque presenta un peso específico muy bajo tiene una gran capacidad de "soporte" de las partículas, por la tensión superficial de la película de las burbújas formadas por el espumante.

El fluido aire-agua-espumante es una mejor solución para la extracción del corte, la lubricación y el enfriamiento de las herramientas de perforación en pozos profundos, que la simple utilización de aire.

(Si O* pag 97, 98 y 99)

Perforación con Martillo Neumático (Sistema Down The Hole)

Antecedentes.

La perforadora de roca fue probablemente la primera herramienta neumática--

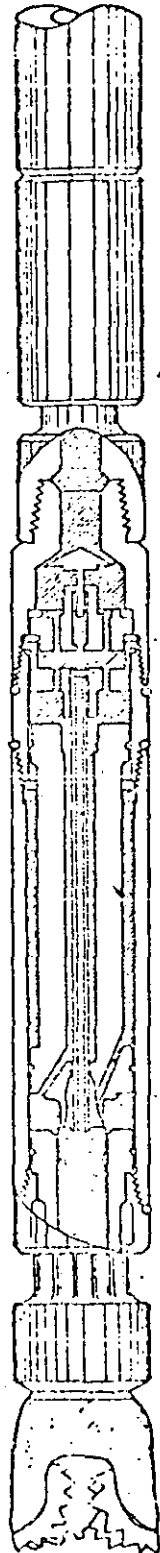
6

ca. Originalmente fue diseñada para ser operada por vapor de agua, pero su aplicación en el tuneleo y la minería bajo la superficie forzó al uso de aire comprimido y consecuentemente al desarrollo de compresores. En 1861 se usó por primera vez en Europa la perforadora neumática para el tunelco y en la construcción del primer túnel en los Estados Unidos en el año de 1866 se utilizaron perforadoras neumáticas. Desde entonces su uso ha hecho posible muchas cosas, industrias enteras dependen de la excavación de bancos de materiales rocosos o yacimientos mineralógicos, las vías ferreas, caminos y supercarreteras, han podido construirse con mayor facilidad, grandes presas y plantas hidroeléctricas, canales, tuneles, sistemas de abastecimiento y de drenaje y muchas otras obras, existen en la actualidad debido a las facilidades que ha otorgado el uso de esta herramienta tan importante.

La primera perforadora estaba conectada al final de un reciprocante que daba la acción pulsadora para quebrar la roca, y fue conocida como la perforadora de pistón. No fue perfeccionada sino hasta 1890, año en que se usó por primera vez la perforadora de percusión o martillo, en la actualidad los martillos están constituidos por un pistón colocado dentro de un cilindro que se mueve rápidamente hacia adelante y atrás, golpeando directamente en la tubería de perforación o en la broca, éste último método reproduce el diseño original y es el denominado "DOWN THE HOLE".

7

-67-



La perforación con esta herramienta es una variante de la perforación con aire pero presenta mayores ventajas, sobre todo en formaciones con tendencias a desviar la herramienta o de una dureza tan alta que prolongue demasiado los tiempos de penetración.

En la Fig. presentamos un corte de un tipo de martillo que puede manejar brocas tricónicas o de botón y existen en varias medidas desde 4 3/4" hasta 17 1/2" de diámetro, pudiendo perforar directamente en estos diámetros, sobre pedido ya se fabrican hasta de 30" como los usados en el caso particular del tendido del oleoducto en Akaska.

El Martillo Neumático " DOWN HOLE "

Este es el martillo mas eficiente de todos, y el pistón golpea directamente sobre la broca y practicamente la sigue dentro de la perforación.

La broca utilizada, generalmente es parte integral del martillo, pero sin embargo es posible la utilización de brocas tricónicas acopladas en lugar de las usuales de carburo de tungsteno.

El aire necesario es suministrado a través de la tubería de perforación y proporciona en este caso, la potencia y el fluido de limpieza del fondo del agujero para el acarreo y desalojo de las partículas cortadas hacia la super

9

ficie. En barrenaciones de bancos para voladura de rocas se puede utilizar aire seco y será necesario contar con colectores de polvo en la superficie con lo que se facilita el trabajo y se evita el deterioro del equipo de perforación, en el caso de perforaciones para exploración o construcción de pozos profundos, no es necesario utilizar el aditamento citado por ser obligado el uso de aire con agua-espumante.

La rotación necesaria para la operación, les es transmitida por la mesa rotaria o cabezal de rotación desde la superficie a través de la sarta de perforación.

Cuando se utiliza el martillo, se trabaja a bajas revoluciones de la rotaria (entre 10 y 20 RPM) y se debe transmitir a través de la herramienta un peso que va únicamente de 1,000 a 3,000 lbs., no debiendo aplicar una carga mayor porque se impide su golpeteo. Lo anterior es una gran ventaja cuando se atraviesan formaciones que pueden dar lugar a desviaciones, porque la mejor práctica para evitarlas es la de aplicar poco peso a través de la columna de perforación. Debido al uso de poca velocidad en la rotaria y la aplicación de poco peso, es muy pequeño el esfuerzo que se transmite al equipo, aún cuando se perforan materiales de alta dureza, lo que redundan en un menor deterioro de éste.

El método exige la utilización de aire a una presión de cuando menos 250--

lbs/pulg² y solo podrá utilizarse un compresor de 100 lbs/pulg², usando martillos que operen a baja presión y solo en aquellos casos en los que el pozo al perforarse no proporcione agua. Con un compresor de 100 lbs/pulg² solo podrá llegarse al nivel freático, en algunos casos de pozos para procesos constructivos se puede utilizar el martillo; con suministro de aire a baja presión.

De acuerdo al diámetro de perforación se utilizan volúmenes de aire entre 450 y 2100 FCM resultando la velocidad de penetración en relación directa al volumen de aire utilizado que en el caso de los martillos influye no solo en la velocidad de extracción de los cortes sino en el número de golpes que transmite a la formación.

Con una buena operación y supervisión de los trabajos de perforación, podemos considerar que la realizada con martillo neumático es la mas rápida, tratándose de formaciones compactas o duras, sin embargo obliga a la utilización de herramientas de alto valor y de maquinaria auxiliar como son los compresores y bombas de alta presión, así como al uso de espumantes adecuados, por lo que el método incrementa el rendimiento, pero también los costos de perforación en una forma notable, su mayor ventaja es por lo tanto la reducción del tiempo de construcción de un pozo y la posibilidad de construir lo lo mas vertical posible.

Durante la perforación con martillo pueden encontrarse estratificaciones de

11

materiales sueltos, zonas en las que deberá repasarse lo suficiente hasta que el material que esté fluyendo encuentre su ángulo de reposo y se contenga, también pueden encontrarse estratos de arcillas, en cuyo caso será necesario incrementar la rotación y aumentar la cantidad de espumante para mejorar la extracción del corte, en estos materiales es necesario que el perforista cuide, sobre todo el no encajarse por aplicación de peso excesivo, lo que provocaría que se embolc la broca y se suspenda la circulación del aire, o sea atrapado por la formación.

El efecto del volumen de aire utilizado.

En el caso de perforación directa con broca tricónica, entre mayor volumen de aire se utilice, se tendrá una mayor velocidad de retorno y de transporte de los sólidos y se mantendrá mas limpio el agujero, lo que nos permitirá un avance mayor por no tener que remoler los cortes, obteniendo además, un tamaño mayor de esquirla.

En el caso del martillo neumático a mayor volumen utilizado (con la presión adecuada para vencer la carga dentro del pozo) se tendrá un mayor número de golpes del martillo a la formación y consecuentemente una mayor velocidad de penetración. además de la que se produce por la buena limpieza del fondo y el arrastre de partículas mayores.

El martillo, es un motor reciprocante y tiene una cámara donde admite y ex--

pulsa el aire proporcionando la energía necesaria al pistón, entre mayor sea el volumen de la cámara, mayor será la potencia del golpe transmitido y mayor será el avance en materiales que necesiten de este impacto para hacerlo fallar, en el caso de perforación de materiales un poco mas suaves será conveniente utilizar el martillo con menor cámara de admisión porque dará un mayor número de golpes por minuto, aunque de menor impacto.

Es evidente que si utilizamos un compresor de determinado volumen para mover el martillo nos dará un número de golpes por minuto y si ponemos 2 compresores en paralelo, la velocidad de retorno se duplicará y así mismo para fines prácticos el número de golpes, así sucesivamente podrá ser incrementado en función del volumen de aire comprimido disponible. Lo ideal según gráficas americanas de perforación con aire es utilizar en un agujero de 12 1/4" de ϕ cuando menos 1900 PCM, para lograr el máximo rendimiento.

Deben considerarse esos datos solo como una guía de un trabajo ideal puesto que son datos de los realizados en las provincias petroleras norteamericanas y considerando condiciones de optimización, en la realidad, en la República Mexicana hemos perforado con volúmenes de aire menores a diámetros que no cabrían dentro de esas especificaciones.

13

Practicamente hemos perforado a diámetros de 12 1/4" y a 17 1/2" de diámetro con volúmenes entre 1500 CFM y 2100 CFM, con la correspondiente reducción en los rendimientos de perforación, comparados con las normas americanas.

En forma por demás eficiente se realizan perforaciones exploratorias de 6 1/2" de diámetro y tubería de 3 1/2" con 450 PCM, lo que nos da una velocidad de retorno de 2750 piés/min., aún la perforación de 8 5/8" de diámetro con tubería de 4 1/2" nos dá 2540 piés/min. con 750 PCM y al perforar en 12 1/4" de ϕ con tubería de 5 1/2" de ϕ y 1500 PCM tenemos velocidades de retorno de 2300 piés/min., el rendimiento óptimo en este último caso se obtendrá al utilizar 2100 PCM con una velocidad de retorno de 3200 piés/min.

Presiones Necesarias.

Cuando se perfora directamente con broca tricónica y aire se necesitará una presión suficiente para vencer la carga piezométrica en el acuífero por atravesar mas las pérdidas de carga en el sistema, lo que nos permite perforar en algunos casos con compresores de baja presión, con las limitaciones que esto nos produce, siempre es recomendable la utilización de compresores que nos den una presión adicional que nos permita resolver cualquier problema que se presente, que impida la circulación y pueda atrapar la herramienta.

Cuando se utiliza el martillo neumático deberá considerarse la presión de trabajo del mismo, adicional a la necesaria para circular el fluido en el sistema y a la carga producida por el agua que penetra al pozo.

En la práctica, las profundidades que se pueden alcanzar con la presión del aire disponible pueden verificarse fácilmente durante la perforación llevando una gráfica de presiones-profundidades con las lecturas en nuestros manómetros, por ejemplo; en el caso del uso del martillo, la presión inicial que nos marcará será la suma de las pérdidas de carga en el sistema, más la presión de operación del martillo, conforme vamos profundizando van aumentando las pérdidas de carga y la pendiente que se observa es la causada por las pérdidas por conducción, la pendiente proseguirá hasta donde se manifieste el nivel piezométrico, que podrá mostrarse con un incremento violento de la presión de trabajo en nuestros manómetros y en forma evidente en el volumen de agua que retorna del pozo, esto en el caso de acuíferos confinados, o podrá observarse únicamente un cambio de pendiente que corresponde a la carga adicional producida por el agua que penetra el acuífero y el incremento del volumen de agua que retorna del pozo, en el caso de acuíferos libres.

Manejando en esta gráfica las pendientes que vamos obteniendo se puede pronosticar la profundidad a la que se puede llegar con las presiones disponibles en el compresor, lo anterior será evidente al reducirse bruscamente la velocidad de penetración de la formación y que en ocasiones es confundido -

con problemas dentro del pozo.

Así podemos programar, hasta dónde llegaremos a perforar con el martillo, que generalmente alcanza las profundidades de diseño de las cámaras de bombeo.

Quando es necesario profundizar y no se cuenta con mayor presión, se deberá quitar el martillo y proseguir con broca tricónica y aire, puesto que dispondremos de la presión que se utilizaba para operar el martillo para proseguir el pozo, la nueva profundidad que podremos alcanzar es fácilmente programable, reduciendo en el último punto la presión utilizada por el martillo y llevando una paralela a nuestra última pendiente hasta llegar al límite de presión disponible, que corresponderá a la profundidad que puede programarse.

Quando disponemos de un "Booster" o multicompresor se integra al sistema y se podrán alcanzar mayores profundidades dependiendo de su capacidad.

Se puede observar la gran versatilidad que se obtiene con la combinación del sistema de perforación con martillo neumático y posteriormente con el uso de broca tricónica y aire. Con el martillo se logra perforar la parte correspondiente a la cámara de bombes con la mayor verticalidad posible en esa zona, el ritmo de perforación tratándose de una misma formación es práctica—

16

mente el mismo desde el inicio del pozo, a pesar de que no se puede aplicar el peso de lastrabarrenas, además se transmite el menor esfuerzo a la perforadora, logrando así que se tenga el menor deterioro posible del equipo. - Cuando ya no es posible utilizar el martillo ya se tiene la posibilidad de - - usar el peso de los lastrabarrenas para proseguir con buen ritmo de avance. Es necesario aclarar que aún utilizando martillos es indispensable el uso de lastrabarrenas, ya no para proporcionar peso sino para rigidizar la sarta e impedir la desviación de la perforación por la acción pendular al encontrar el martillo plano de contacto entre materiales duros y suaves.

Es recomendable diseñar el sistema compresor, perforadora, mangueras y conexiones con diámetros amplios y válvulas de seguridad adecuadas, así como con sus válvulas check horizontales para evitar contrapresiones que nos dañen el compresor. Se debe dar preferencia al uso de tubería de perforación de diámetro exterior grande (4 1/2", 5 1/2") y por lo mismo un diámetro interior grande que nos reduzca al mínimo las pérdidas de circulación. - Sobre el martillo deberá de colocarse (cuando no viene integrado al mismo) una válvula check que tiene la función primordial de evitar que se invierta - la circulación al interior de la tubería cuando se tenga un paro inesperado o cuando se hacen las conexiones, sin esta precaución se tapaná la broca y el martillo se calzará con partículas de corte, lo que provoca algunas veces - hasta el atrapamiento de la herramienta y en el mejor de los casos tendrá - uno que sacar toda la sarta para desarmar y limpiar el martillo con la pérdida de tiempo correspondiente.

Para la correcta operación es indispensable una limpieza absoluta en la tubería y conexiones, por lo que se deberá sopletear perfectamente cada tubo antes de su conexión a la sarta, así mismo se debe contar con el sistema de lubricación de aceite que alimente en forma continua sarta y martillo.

Brocas.

Existen brocas especialmente diseñadas para la perforación con aire y como en todos los casos cada fabricante tiene una diferente nomenclatura para sus tipos de barrenas para utilizarlas de acuerdo al tipo de material de que se trate, en el caso de los martillos de perforación generalmente son de insertos de carburo de tungsteno y construídas formando una sola pieza con el zanco, sobre el que golpea el pistón, pero también pueden ser utilizadas las brocas tricónicas conectadas a través de un zanco especial construído con ese objeto. Los fabricantes de brocas tricónicas no las garantizan en su uso para martillos por no estar construídas para este tipo de trabajo, pero pueden utilizarse adecuadamente teniendo la precaución de solicitar la broca para aire "air blast", en el caso de perforación de basaltos y otras rocas de muy alta dureza es conveniente una revisión periódica para poder detectar cualquier falla en los planos de contacto de los conos con toda oportunidad.

Espumantes.

El espumante (perfoam) es un detergente sintético que tiene propiedades de-

producción de alta espuma y que se obtiene neutralizando un ácido con un alcali dando una sal soluble con la propiedad de hacer mas espuma que el jabón. Además, se le adicionan fosfatos solubles que tienen la función de reducir la dureza de los iones de Ca. y Mg., formando un complejo soluble en agua, ablandándola, lo que permite que se haga mas espuma, además con estos fosfatos se logra mejorar las condiciones de tensión superficial de la espuma.

Vienen envasados en tambores y aislados con bolsas impermeables para evitar su contacto con la atmósfera, puesto que se producen hongos en la superficie que dan mal olor cuando han estado almacenados por un tiempo largo, es necesario agitar nuevamente la solución pues suelen precipitarse algunas de las sustancias en solución, y en esta forma se obtiene la recuperación total de sus funciones.

Para incluirlo en el aire comprimido se utilizan bombas pequeñas de pistones y de alta presión, la que deberá ser mayor que la del aire comprimido usado, la línea de presión debe contar con su válvula check para evitar algún daño por inversión de la presión y además integrarse con los tanques donde se prepara y se alimenta el espumante.

Hay una gran variación en los porcentajes de mezcla, se preparan entre el 2 y el 6% del volumen de agua y el consumo llega a estar entre 5 y 20 lts por metro perforado, dependiendo de la importancia de las pérdidas de circula-

ción y de la dificultad de perforación que presente la formación atravesada.

La mezcla agua-espumante varía de acuerdo a lo soluble de la formación atravesada y a los iones que contenga y en cada caso debe experimentarse en los primeros metros perforados hasta encontrar aquella que maneje los cortes del tamaño adecuado rápidamente.

En la práctica la cantidad adecuada de espumante que debe incluirse al aire es aquella que nos produce las menores pulsaciones en la circulación, cuando la producción de espumante y corte que se observa a la salida del pozo es continuada y sin variaciones notables, podemos considerar que se tiene balanceada la mezcla.

En resumen, podemos decir que la perforación con aire es un procedimiento que debemos de utilizar cada vez mas, sobre todo en zonas áridas o en zonas con problemas específicos de perforación y en donde la formación geológica lo permita y para poder realizar programas masivos de perforación en acuíferos en rocas duras o compactas en el menor plazo posible.

ING. ANDRES BENTON CUELLAR

PERFORACION A ROTACION CON AIRE

Ing. Andrés Bentón Cuellar

El proceso constructivo que se utiliza es prácticamente el mismo que el de los sistemas rotatorios de circulación directa y el único cambio que se tiene es la utilización del aire como fluido de perforación.

El procedimiento con aire contempla la utilización de una torre de perforación con su rotaria, la sarta completa, llaves, cañas y collarines para su manejo y por supuesto la broca adecuada.

En lugar de utilizar una bomba para el manejo de los lodas, debemos contar con compresor, mangueras con conexiones de alta presión y una bomba de pistones que nos permita incluirle agua-espumante al aire utilizado durante el proceso:

Método de Perforación.

La acción perforadora es debida a la rotación de una broca en el fondo del pozo, transmitida ésta por una sarta de perforación manejada desde la superficie por un kelly y una mesa rotaria o un cabezal de rotación todo sostenido a través de cables por los malacates o por sistemas de transmisión a base de cadenas o una combinación de ambos.

La broca al girar corta y desmenuza el material, conforme penetra en la formación, el fluido de perforación que se alimenta por el interior de la herramienta descarga a través de la broca golpeando el fondo del pozo limpiándolo de las partículas quebradas y ayudando en algunos casos a fracturar la roca, el fluido prosigue desplazándose hacia afuera por el espacio anular acarreado los cortes a la superficie y mientras la tubería y la broca prosiguen su movimiento hacia abajo profundizando el pozo, el fluido descarga en la superficie, donde se separan los cortes.

Las funciones del aire como fluido de perforación son las siguientes:

- 1.- Lubricación de las herramientas
- 2.- Enfriamiento de la broca
- 3.- Limpieza del fondo del pozo
- 4.- Extracción de los cortes del barreno

Se puede observar que con el uso del aire se dejan de efectuar funciones que se consideran esenciales en la utilización de lodos. Se pierden las características de prevención de derrumbes y control de presiones de fluidos existentes en la formación, por lo que es evidente que no debe utilizarse en formaciones sueltas o fácilmente desmenuzables que no presenten una compactación suficiente, solo es posible hacerlo en formaciones compactas, lo anterior independientemente de su dureza.

La remoción de cortes de una determinada medida utilizando un fluido de poca densidad requiere de una velocidad de circulación hacia arriba superior a la que se necesitaría con cualquier fluido que presente una mayor densidad, éste es el caso del aire, el incremento en la velocidad de retorno es muy notable, el aire se desplaza a grandes velocidades y así podemos acarrear partículas de tamaño similar a las que se obtienen con lodo y en ocasiones hasta mayores, para lograrlo; las velocidades de retorno deberán variar entre dos y tres mil pies por minuto, aparece así una primera ventaja sobre otros métodos que es la de tener el corte en la superficie prácticamente en el momento de producirse.

La pérdida de la capacidad de soporte, nos obliga a una limpieza total del pozo antes de suspender la inyección del fluido, por lo que antes de cualquier paro se deberá circular hasta dejar de tener producción de corte en la superficie.

Por las velocidades tan altas que deben alcanzarse en el retorno, no es posible trabajar con este procedimiento en formaciones deleznales o fácilmente erosionables.

No contaremos con la capa de gel, que en el uso de lodos nos permite aislarnos de la formación atravesada, pero sin embargo el intercambio iónico por el uso de aire será prácticamente nulo, debido a la alta velocidad de circulación en el pozo.

En resumen, el aire como no proporciona la acción de soporte de las paredes puede ser utilizado únicamente en formaciones que se sostengan aún después de ser perforadas, no puede utilizarse en arenas, materiales de acarreo o sueltos, que no presenten determinada cementación.

Es muy importante hacer notar que es particularmente útil en lugares donde se tienen graves problemas de abastecimiento de agua o en formaciones que presentan pérdidas totales de circulación que obligan a un gasto excesivo de bentonita y agua, al tener la fuente del fluido de perforación en el sitio.

Presenta como una gran ventaja la de que; entre menos densidad y viscosidad presenta el fluido de perforación, se tiene una mayor velocidad de circulación mayor rapidez en la limpieza y por lo tanto un mayor rango de penetración de la formación, es decir, se perfora más rápidamente con aire que con

agua y más rápidamente con agua que con lodo; por lo anterior siempre que sea posible y aún en lugares donde existan pequeñas pérdidas de circulación, este método puede ser usado con ventaja, por el gran incremento en la velocidad de extracción del corte.

A poca profundidad puede utilizarse aire únicamente como fluido de perforación (más o menos a veinticinco metros) pero al profundizar o encontrar materiales fracturados, se tienen dificultades en el acarreo de los cortes a la superficie y para facilitar la extracción de los materiales, se adiciona una mezcla de agua-espumante con una bomba que lo haga a una mayor presión que el compresor utilizado; obteniéndose así una columna que aunque presenta un peso específico muy bajo tiene una gran capacidad de "soporte" de las partículas, por la tensión superficial de la película de las burbujas formadas por el espumante.

El fluido aire-agua-espumante es una mejor solución para la extracción del corte, la lubricación y el enfriamiento de las herramientas de perforación en pozos profundos, que la simple utilización de aire.

B r o c a s.

Existen brocas especialmente diseñadas para la perforación con aire y como en todos los casos cada fabricante tiene una diferente nomenclatura para sus tipos de barrenas para utilizarlas de acuerdo al tipo de material de que se trate, en el caso de los martillos

ie perforación generalmente son de insertos de carburo de tungsteno y construídas formando una sola pieza con el zanco, sobre el -- que golpea el pistón, pero también pueden ser utilizadas las brocas tricónicas conectadas a través de un zanco especial construído con ese objeto. Los fabricantes de brocas tricónicas no las garan tizan en su uso para martillos por no estar construídas para este tipo de trabajo, pero pueden utilizarse adecuadamente teniendo la precaución de solicitar la broca para aire "air blast", en el caso de perforación de basaltos y otras rocas de muy alta dureza es con veniente una revisión periódica para poder detectar cualquier fa lla en los planos de contacto de los conos con toda oportunidad.

E s p u m a n t e s .

El espumante (perfoam) es un detergente sintético que tiene propie dades de producción de alta espuma y que se obtiene neutralizando un ácido con un alcali dando una sal soluble con la propiedad de hacer mas espuma que el jabón. Además, se le adicionan fosfatos solubles que tienen la función de reducir la dureza de los iones de Ca. y Mg., formando un complejo soluble en agua, ablandándola, lo que permite que se haga mas espuma, además con estos fosfatos se logra mejorar las condiciones de tensión superficial de la espuma.

Vienen envasados en tambores y aislados con bolsas impermeables pa ra evitar su contacto con la atmósfera, puesto que se producen hon

gos en la superficie que dan mal olor cuando han estado almacenados por un tiempo largo, es necesario agitar nuevamente la solución pues suelen precipitarse algunas de las substancias en solución, y en esta forma se obtiene la recuperación total de sus funciones.

Para incluirlo en el aire comprimido se utilizan bombas pequeñas de pistones y de alta presión, la que deberá ser mayor que la del aire comprimido usado, la línea de presión debe contar con su válvula check para evitar algún daño por inversión de la presión y además integrarse con los tanques donde se prepara y se alimenta el espumante.

Hay una gran variación en los porcentajes de mezcla, se preparan entre el 2 y el 6% del volumen de agua y el consumo llega a estar entre 5 y 20 lts por metro perforado, dependiendo de la importancia de las pérdidas de circulación y de la dificultad de perforación que presente la formación atravesada.

La mezcla agua-espumante varía de acuerdo a lo soluble de la formación atravesada y a los iones que contenga y en cada caso debe experimentarse en los primeros metros perforados hasta encontrar aquella que maneje los cortes del tamaño adecuado rápidamente.

En la práctica la cantidad adecuada de espumante que debe incluirse al aire es aquella que nos produce las menores pulsaciones en

la circulación, cuando la producción de espumante y corte que se observa a la salida del pozo es continuada y sin variaciones notables, podemos considerar que se tiene balanceada la mezcla.

En resumen, podemos decir que la perforación con aire es un procedimiento que debemos de utilizar cada vez mas, sobre todo en zonas áridas o en zonas con problemas específicos de perforación y en donde la formación geológica lo permita y para poder realizar programas masivos de perforación en acuíferos en rocas duras o compactas en el menor plazo posible.

Perforación con Martillo Neumático (Sistema Down The Hole)

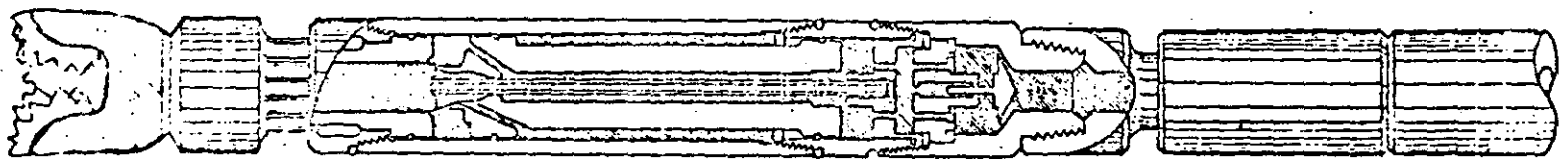
Antecedentes.

La perforadora de roca fue probablemente la primera herramienta neumática. Originalmente fue diseñada para ser operada por vapor de agua, pero su aplicación en el tuneleo y la minería bajo la superficie forzó al uso de aire comprimido y consecuentemente al desarrollo de compresores. En 1861 se uso por primera vez en Europa la perforadora neumática para el tuneleo y en la construcción del primer túnel en los Estados Unidos en el año de 1866 se utilizaron perforadoras neumáticas. Desde entonces su uso ha hecho posible muchas cosas, industrias enteras dependen de la excavación de bancos de materiales rocosos o yacimientos mineralógicos, las vías ferreas,

carreteras y supercarreteras, han podido construirse con mayor facilidad, grandes presas y plantas hidroeléctricas, canales, tuneles, sistemas de abastecimiento y de drenaje y muchas otras obras, existen en la actualidad debido a las facilidades que ha otorgado el uso de esta herramienta tan importante.

La primera perforadora estaba conectada al final de un reciprocante que daba la acción pulsadora para quebrar la roca, y fue conocida como la perforadora de pistón. No fue perfeccionada sino hasta 1890, año en que se uso por primera vez la perforadora de percusión o martillo, en la actualidad los martillos están constituidos por un pistón colocado dentro de un cilindro que se mueve rápidamente hacia adelante y atrás, golpeando directamente en la tubería de perforación o en la broca, éste último método reproduce el diseño original y es el denominado "DOWN THE HOLE".

29



La perforación con esta herramienta es una variante de la perforación con aire pero presenta mayores ventajas, sobre todo en formaciones con tendencias a desviar la herramienta o de una dureza tan alta que prolongue demasiado los tiempos de penetración.

En la Fig. presentamos un corte de un tipo de martillo que puede manejar brocas tricónicas o de botón y existen en varias medidas desde 4 3/4" hasta 17 1/2" de diámetro, pudiendo perforar directamente en estos diámetros, sobre pedido ya se fabrican hasta de 30" como los usados en el caso particular del tendido del oleoducto en Akaska.

El Martillo Neumático "DOWN HOLE"

Este es el martillo más eficiente de todos, y el pistón golpea directamente sobre la broca y prácticamente la sigue dentro de la perforación.

La broca utilizada, generalmente es parte integral del martillo, pero sin embargo es posible la utilización de brocas tricónicas acopladas en lugar de las usuales de carburo de tungsteno.

El aire necesario es suministrado a través de la tubería de perforación y proporciona en este caso, la potencia y el fluido de limpieza del fondo del agujero para el acarreo y desalojo de las partículas cortadas hacia la super-

ficie. En barrenaciones de bancos para voladura de rocas se puede utilizar aire seco y será necesario contar con colectores de polvo en la superficie - con lo que se facilita el trabajo y se evita el deterioro del equipo de perforación, en el caso de perforaciones para exploración o construcción de pozos profundos, no es necesario utilizar el aditamento citado por ser obligado el uso de aire con agua-espumante.

La rotación necesaria para la operación, les es transmitida por la mesa rotaria o cabezal de rotación desde la superficie a través de la sarta de perforación.

Cuando se utiliza el martillo, se trabaja a bajas revoluciones de la rotaria (entre 10 y 20 RPM) y se debe transmitir a través de la herramienta un peso que va únicamente de 1,000 a 3,000 lbs., no debiendo aplicar una carga mayor porque se impide su golpeteo. Lo anterior es una gran ventaja cuando se atraviesan formaciones que pueden dar lugar a desviaciones, porque la mejor práctica para evitarlas es la de aplicar poco peso a través de la columna de perforación. Debido al uso de poca velocidad en la rotaria y la aplicación de poco peso, es muy pequeño el esfuerzo que se transmite al equipo, aún cuando se perforen materiales de alta dureza, lo que repercute en un menor deterioro de éste.

El método exige la utilización de aire a una presión de cuando menos 250—

lbs/pulg² y solo podrá utilizarse un compresor de 100 lbs/pulg², usando --
martillos que operen a baja presión y solo en aquellos casos en los que el --
pozo al perforarse no proporcione agua. Con un compresor de 100 lbs/pulg² --
solo podrá llegarse al nivel freático, en algunos casos de pozos para proce--
sos constructivos se puede utilizar el martillo; con suministro de aire a baja
presión.

De acuerdo al diámetro de perforación se utilizan volúmenes de aire entre --
450 y 2100 FCM resultando la velocidad de penetración en relación directa al --
volumen de aire utilizado que en el caso de los martillos influye no solo en --
la velocidad de extracción de los cortes sino en el número de golpes que --
transmite a la formación.

Con una buena operación y supervisión de los trabajos de perforación, pode--
mos considerar que la realizada con martillo neumático es la mas rápida, --
tratándose de formaciones compactas o duras, sin embargo obliga a la utiliza--
ción de herramientas de alto valor y de maquinaria auxiliar como son los --
compresores y bombas de alta presión, así como al uso de espumantes adecuã--
dos, por lo que el método incrementa el rendimiento, pero también los cos--
tos de perforación en una forma notable, su mayor ventaja es por lo tanto la--
reducción del tiempo de construcción de un pozo y la posibilidad de construir
lo lo mas vertical posible.

Durante la perforación con martillo pueden encontrarse estratificaciones de --

materiales sueltos, zonas en las que deberá repasarse, lo suficiente hasta que el material que esté fluyendo encuentre su ángulo de reposo y se contenga, también pueden encontrarse estratos de arcillas, en cuyo caso será necesario incrementar la rotación y aumentar la cantidad de espumante para mejorar la extracción del corte, en estos materiales es necesario que el perforista cuide, sobre todo el no encajarse por aplicación de peso excesivo; lo que provocaría que se embole la broca y se suspenda la circulación del aire, o sea atrapado por la formación.

El efecto del volumen de aire utilizado.

En el caso de perforación directa con broca tricónica, entre mayor volumen de aire se utilice, se tendrá una mayor velocidad de retorno y de transporte de los sólidos y se mantendrá más limpio el agujero, lo que nos permitirá un avance mayor por no tener que remoler los cortes, obteniendo además, un tamaño mayor de esquirla.

En el caso del martillo neumático a mayor volumen utilizado (con la presión adecuada para vencer la carga dentro del pozo) se tendrá un mayor número de golpes del martillo a la formación y consecuentemente una mayor velocidad de penetración. además de la que se produce por la buena limpieza del fondo y el arrastre de partículas mayores.

El martillo, es un motor reciprocante y tiene una cámara donde admite y ex-

puisa el aire proporcionando la energía necesaria al pistón, entre mayor sea el volumen de la cámara, mayor será la potencia del golpe transmitido y mayor será el avance en materiales que necesiten de este impacto para hacerlo fallar; en el caso de perforación de materiales un poco más suaves será conveniente utilizar el martillo con menor cámara de admisión porque dará un mayor número de golpes por minuto, aunque de menor impacto.

Es evidente que si utilizamos un compresor de determinado volumen para mover el martillo nos dará un número de golpes por minuto y si ponemos 2 compresores en paralelo, la velocidad de retorno se duplicará y así mismo para fines prácticos el número de golpes, así sucesivamente podrá ser incrementado en función del volumen de aire comprimido disponible. Lo ideal según gráficas americanas de perforación con aire es utilizar en un agujero de 12 1/4" de ϕ cuando menos 1900 PCM, para lograr el máximo rendimiento.

Deben considerarse esos datos solo como una guía de un trabajo ideal puesto que son datos de los realizados en las provincias petroleras norteamericanas y considerando condiciones de optimización, en la realidad, en la República Mexicana hemos perforado con volúmenes de aire menores a diámetros que no cabrían dentro de esas especificaciones.

Practicamente hemos perforado a diámetros de 12 1/4" y a 17 1/2" de diámetro con volúmenes entre 1500 CFM y 2100 CFM, con la correspondiente reducción en los rendimientos de perforación, comparados con las normas americanas.

En forma por demás eficiente se realizan perforaciones exploratorias de 6 1/2" de diámetro y tubería de 3 1/2" con 450 PCM, lo que nos da una velocidad de retorno de 2750 piés/min., aún la perforación de 8 5/8" de diámetro con tubería de 4 1/2" nos dá 2540 piés/min. con 750 PCM y al perforar en 12 1/4" de ϕ con tubería de 5 1/2" de ϕ y 1500 PCM tenemos velocidades de retorno de 2300 piés/min., el rendimiento óptimo en este último caso se obtendrá al utilizar 2100 PCM con una velocidad de retorno de 3200 piés/min.

Presiones Necesarias.

Cuando se perfora directamente con broca tricónica y aire se necesitará una presión suficiente para vencer la carga piezométrica en el acuífero por atravesar mas las pérdidas de carga en el sistema, lo que nos permite perforar en algunos casos con compresores de baja presión, con las limitaciones que esto nos produce, siempre es recomendable la utilización de compresores que nos den una presión adicional que nos permita resolver cualquier problema que se presente, que impida la circulación y pueda atrapar la herramienta.

AIRE COMPRIMIDO

Definiciones:

Capacidad del Compresor.

Se refiere al flujo del aire o gas comprimido, entregado de acuerdo a las condiciones de temperatura, presión atmosférica y composición del aire a la entrada del compresor.

Desplazamiento del Compresor.

Es el volumen desplazado por unidad de tiempo y usualmente se expresa en pies cúbicos por minuto, por ejemplo: En un compresor recíprocante, es igual al área del pistón multiplicado por el desplazamiento del mismo y por el número de emboladas por minuto.

En el caso de multicompresores (booster) el dato que nos da el fabricante, corresponde al desplazamiento de los cilindros de baja presión únicamente, salvo una indicación contraria.

Compresión Adiabática.

Se considera compresión adiabática cuando no se agrega o se quita calor al gas durante el proceso de compresión. La ecuación característica que relaciona la presión y el volumen durante este proceso es:

$$PV^k = C$$

que es la relación entre el calor específico a una presión constante y el calor específico a un volumen constante.

COMPRESIÓN ISOTERMAL

Se realiza cuando la temperatura del gas permanece constante durante la compresión. Para los gases perfectos su producto presión por volumen permanece constante y su proceso es reversible.

Relación de Compresión

Es la relación entre la presión absoluta de descarga y la presión absoluta de entrada.

Eficiencia de Compresión

Es la relación entre los HPs teóricos y los HPs agregados al aire o al gas que entrega el compresor.

La potencia agregada es la potencia al freno menos las pérdidas de carga en el sistema.

Eficiencia Isotermal

Es la relación entre el trabajo teórico calculado bajo una base isotermal y el trabajo agregado al gas durante la compresión.

Eficiencia Mecánica

Es la relación entre los HPs agregados al aire o gas y la potencia al freno.

Eficiencia Volumétrica

Eficiencia volumétrica, es la relación entre la capacidad del compresor y el desplazamiento del compresor, este término no se aplica a los compresores centrífugos.

AIRE LIBRE

Se define como aire libre aquel que se encuentra a las condiciones atmosféricas en cualquier lugar, se refiere a desplazamiento o capacidad.

Potencia al Freno

Es la potencia que recibe el compresor a través de la flecha.

Potencia Teórica

Son los HPs requeridos para comprimir el aire o el gas entregado por el compresor sin cambios de temperatura del mismo, a través de los rangos de presión especificados.

Humedad relativa

La humedad específica es el peso del vapor de agua en una mezcla de aire vapor, por unidad de aire seco.

Presión absoluta

Es la presión total medida desde el cero absoluto, desde el vacío absoluto.

Es la suma de la presión barométrica y la presión medida.

PRESIÓN DE DESCARGA.

Es la presión absoluta total en la descarga del compresor, comúnmente se define como presión medida, pero a menos que se incluya la presión barométrica, no debe considerarse como "presión de descarga".

Gravedad Específica

Es la relación entre el peso específico del aire o gas y el peso del gas seco a la temperatura y presión ambiente.

Peso Específico

Peso específico de un gas es el peso del aire por unidad de volumen y a menos que se especifique, se refiere al peso por unidad de volumen en las condiciones de temperatura, presión y composición que prevalece a la succión en el compresor.

Aire Standar

ASME se define como tal aquel que se encuentra a 68°F, 14.70 y humedad relativa de 36% (Densidad 0.0750) pero en la industria la temperatura del aire Std es de 60°F

FACTORES QUE SE DEBEN TOMAR EN CUENTA PARA LA SELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA NEUMÁTICA

- 1.- **Peso de la Herramienta.** Una herramienta ligera es más fácilmente manejable.
- 2.- **Velocidad.** Entre mayor velocidad se imprima a la herramienta, más pronto se realiza el trabajo.
- 3.- **Potencia.** Con mayor potencia (cuando se necesita) se logra la estabilización de la velocidad a una carga determinada.
- 4.- **Medida.** Debe ser tal que pueda realizar el trabajo fácilmente.
- 5.- **Calidad.** Este es un factor muy importante a tomar en cuenta.
- 6.- **Uniformidad**
- 7.- **Mantenimiento. Costos**
- 8.- **Eficiencia Relativa.** La eficiencia de trabajo comparada con otros métodos para realizar el trabajo.

El escoger la herramienta adecuada hace posible a un operador realizar mejor su trabajo. El costo del uso de la herramienta misma más el costo del aire requerido es en ocasiones pequeño comparado con las consecuencias en el costo de una incorrecta selección del equipo.

Adecuada Presión de Aire.

La importancia de una adecuada selección de mangueras y el valor de una adecuada presión de aire es indiscutible, casi sin excepción las mayores pérdidas de carga en cualquier sistema neumático se encuentran en las mangueras y conexiones, desafortunadamente, no siempre se le da la atención adecuada a la selección de mangueras y se llegan a tener pérdidas de carga exageradas, produciendo un efecto negativo en la producción.

Las pérdidas mayores se encuentran en los sistemas que utilizan mangueras muy largas y/o muy pequeñas, así mismo el uso de cople, niples, reducciones y un diseño geométrico inadecuado, provocan reducciones importantes del aire entregado.

La altitud del sitio de operación afectará el volumen de aire libre requerido que depende no solo de la presión a la entrada de la herramienta sino de la presión atmosférica del lugar.

El factor para convertir su volumen de aire comprimido a un volumen de aire libre se obtiene al dividir la presión a la entrada (psiA) entre la presión atmosférica (psiA)

A continuación damos una tabla con los coeficientes para obtener el volumen de aire requerido por una herramienta, cuando conocemos el volumen de aire libre al nivel del mar que es un dato que nos en-

Coeficiente de Corrección por Altitud

Piés	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000
Metros	0	305	610	915	1220	1526	1831	2136
Coeficiente	1.0	1.02	1.05	1.08	1.11	1.14	1.18	1.22

Piés	8000	9000	10000	12500	15000
Metros	2441	2746	3050	3813	4577
Coeficiente	1.26	1.30	1.34	1.46	1.58

COMPRESORES

Propósitos de la Compresión.

La compresión de un gas tiene como objetivo entregar gas a una presión mayor que la existente originalmente.

La compresión tiene varios propósitos como son:

- 1.- Transmitir potencia
- 2.- Proveer aire para combustión
- 3.- Transportar y distribuir gas
- 4.- Circular gases durante proceso
- 5.- Para acelerar reacciones químicas, etc..

El más interesante en nuestro caso es el de transmitir potencia a través de un sistema de aire comprimido para mover herramientas neumáticas y de proveer la potencia necesaria que dará velocidad al fluido de perforación.

Métodos de Compresión.

Existen 4 métodos para comprimir un gas.

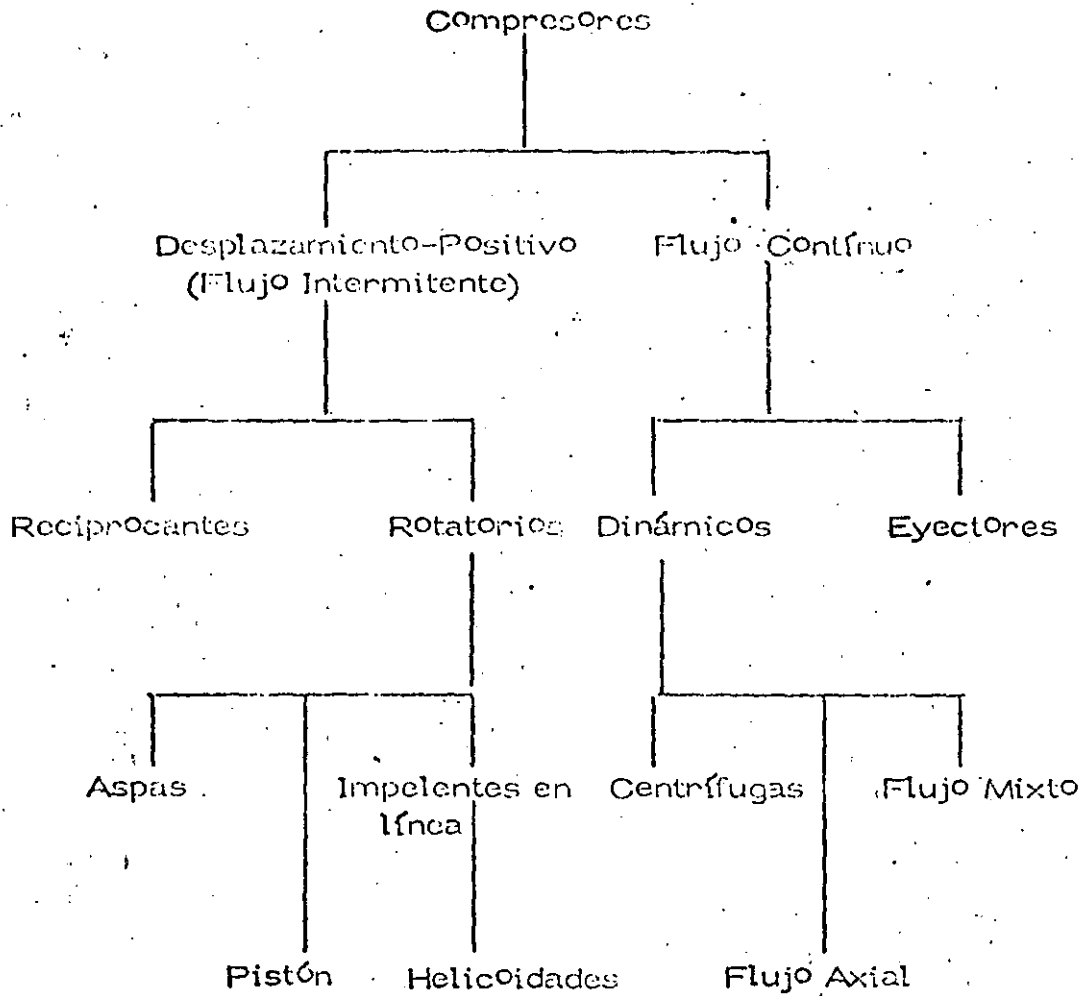
Dos del tipo intermitente y dos de flujo continuo.

Estos métodos son:

- 1.- Confinar cantidades consecutivas de gas en un depósito, reducir el volumen aumentando la presión y expulsando luego el gas comprimido.
- 2.- Confinar cantidades consecutivas de gas en un determinado depósito, transportarlo sin cambio de volumen a la descarga y comprimir el gas al retornar desde el sistema de descarga y expulsar entonces el gas comprimido fuera del depósito.
- 3.- Comprimir el gas por la acción mecánica producida por la rotación a altas velocidades de impelentes o rotores de paletas que imparten velocidad y presión al gas que está circulando, la velocidad es posteriormente convertida en presión en los difusores fijos o paletas según el caso.
- 4.- Forzar la mezcla del gas al pasar por una espina de alta velocidad sobre el mismo o diferente tipo de gas (vapor de agua) y convertir la alta velocidad de la mezcla en presión en un difusor.

Los compresores que usan los métodos 1 y 2 son del tipo intermitente y son conocidos como compresores de desplazamiento positivo, los que utilizan el tercer método son conocidos como dinámicos y los que utilizan el cuarto método son conocidos como eyectores y normalmente operan con vacío en la succión.

TIPOS DE COMPRESORES.



Compresores de Desplazamiento Positivo. Son aquellas unidades que confinan volúmenes sucesivos de gas en un depósito y lo elevan a una mayor presión.

- 1) Compresores Recíprocantes. - El elemento de desplazamiento y compresión es un pistón que tiene un movimiento recíprocante dentro de una camisa.

2) Rotatorios. - En este caso la compresión y desplazamiento es producido por la acción positiva de elementos a rotación.

2a) De Aspas. - En los que aspas radiales se desplazan en un rotor excéntrico montado en un cuerpo cilíndrico. El gas atrapado entre las aspas al rotor, es comprimido y desplazado.

2b) De Pistón. - Aquí se utiliza un líquido como el pistón para comprimir y desplazar el gas manejado.

3b) Impelentes en línea. Dos impelentes de forma tabular confinan gas y lo acarrearán desde la entrada hasta la descarga. No hay compresión interna.

4b) Helicoidales. - Dos rotores interconstruidos cada uno con forma helicoidal comprimen y desplazan el gas.

Compresores Dinámicos. Son máquinas rotatorias de flujo continuo en el que la rápida rotación de los elementos acelera el gas, convirtiendo la carga de velocidad en presión, parte en los elementos de rotación y parte en los difusores estacionarios o paletas.

a) Centrífugas. - La aceleración del gas es provocada por uno o más elementos rotatorios usualmente curvados en los extremos.

a) El flujo principal es radial.

b) Axiales.- En este caso la aceleración es obtenida por la acción de rotores de aspas (paletas) redondeadas en los extremos, el flujo principal es axial.

e) De tipo mixto. Los impelentes tiene una forma combinada de - ambos tipos axial y centrífugo.

Eyectores.- Son artefactos que mezclan el gas al paso en una cámara de alta velocidad, convirtiendo posteriormente la velocidad de la mezcla en presión en un difusor.

sultado que no pueda utilizarse este procedimiento a mucha profundidad.

Cuando ya no se puede perforar por las cargas que se tienen que vencer, se recurre a la inyección de aire para formar una columna de baja densidad en el interior del varillaje de perforación, la que tenderá a equilibrarse con el nivel existente en el pozo, por lo que se eleva hasta alcanzar el cabezal de la tubería de perforación pudiendo ya descargar iniciándose así nuevamente la circulación y perforación. La velocidad de retorno en este caso es mayor por la mayor baja densidad de la columna que incluye el aire, la profundidad que se puede alcanzar dependerá de la sumergencia que se tenga y llegará un momento en que la presión de aire no podrá vencer la carga producida por la columna, por lo que siempre estaremos limitados a este equilibrio.

Con el uso de compresores de alta presión actualmente es posible alcanzar profundidades bajo el nivel estático que variaron entre 50 y 125 mts. bajo éste, dependiendo también de la productividad del acuífero atravesado.

Para incluir el aire en la tubería de perforación se utilizan dos tubos exteriores con sus empaques y conexiones integradas a los tubos de perforación o doble tubería concéntrica que nos permite incluir aire a través del anillo que se forma y retorna por el interior de la tubería de perforación.

Actualmente se han desarrollado dos sistemas del tipo anterior llamados Duo-Tube y Con-Core que presentan la ventaja de poder añadir pero que nos permite perforar rapidamente las formaciones duras.

Este prodecimiento es muy efectivo particularmente en zonas donde el abatimiento de agua es problematico y además se presenten grandes pérdidas de circulación en la formación

PERFORACION A ROTACION INVERSA

Los principios en que se basa este método son los mismos que -- los del método directo y los propios de los fluidos que se utilizan para la perforación en general.

Con este procedimiento podemos utilizar como fluido; agua, lodo o una combinación de estos con aire, conforme sea necesario de acuerdo a la formación que se vaya a perforar, y nos lo permita el método usado, utilizando generalmente el agua como fluido de perforación.

El método como su nombre lo indica, consiste en una inversión del sistema de flujo y tendremos así que el fluido, es alimentado directamente de las fosas al pozo, entre las paredes de la formación y la tubería, y el retorno se hace a través del interior de la tubería para lo cual se utiliza una bomba de vacío.

Los principales componentes en este sistema son los siguientes:

Bomba.- Se emplea una bomba centrífuga de un solo paso que -- ofrece grandes espacios al paso del fluido y a los cortes de perforación, en ocasiones hasta de 12.70 cm. (5") de diámetro aparentemente. Es usual una bomba de 15.24 cm. (6") de aspiración por 15.24 cm. (6") de descarga con capacidad de bombeo de 65 l.p.s.

Para iniciar la circulación del fluido, el equipo de perforación cuenta con una bomba reciprocante de vacío de pistones conectada a un tanque, a su vez conectado a la tubería de succión de la bomba centrífuga.

Con esta bomba centrífuga, es posible perforar hasta un máximo de 120 m. Puede también optarse por una bomba centrífuga de 20.32 cm. (8"). Figuras Nos. 4 y 5

Tubería de perforación.- Los tubos de perforación que se utilizan son de 15.24 cm. (6") a 20.32 cm. (8") de diámetro nominal, siendo las mas usuales de 15.24 cm. (6").

El límite de aspiración de la bomba, hace que los tubos hayan sido diseñados de 3.05 m. (10') de longitud y su acoplamiento se hace a base de bridas atornilladas. Figura No. 4

Cabeza giratoria (swivel) y flecha de la sarta de perforación (kelly). Con el propósito de no tener que usar una manguera de gran diámetro que vaya siguiendo el movimiento de ascenso y descenso de la cabeza giratoria, se diseñó un swivel fijo con un tubo lavador muy largo, donde se telescopea el "Kelly" para hacer las conexiones de los tubos de perforación. Figura No. 4.

Con el sistema se tiene la gran ventaja de que el área de retorno es bastante pequeña comparada con la perforación, por lo que

la velocidad de retorno es mayor y consecuentemente el acarreo de los cortes y la limpieza mejor y mas rápida.

Este procedimiento permite trabajar con la mayor eficiencia en cuanto a la hidráulica en el retorno y nos permitirá acarrear partículas mucho mayores de cortes y practicamente el tamaño de gravas o cortes acarreados estará limitado por el diámetro interior de la tubería y por los ángulos que obligadamente damos en la parte correspondiente al swivel.

Otra característica adecuada es que se disminuye la erosión de las paredes y el arrastre de partículas del pozo y que además, el aumento del área por caídos y derrumbes no disminuirá nuestra velocidad de retorno, por lo que se seguirán acarreando -- los cortes con la misma eficiencia, además de que se cuenta -- con la ventaja de poder usar lodos de baja densidad, teniendo así muy limpias las paredes del pozo.

Con el fin de dar estabilidad a las paredes del agujero y prevenir socavaciones, debe mantenerse el pozo siempre lleno, durante todo el tiempo que dure la perforación, con el propósito de sostener la mayor presión hidrostática sobre las paredes -- del pozo. La inercia que desarrolla la columna hidrostática -- al descender, ayuda también a mantener estables las paredes -- del pozo. Figuras Nos. 4, 6 y 7.

La erosión que por el fondo de la barrena causa el sistema de circulación directa a lo largo de la perforación de pozo, en el sistema de circulación inversa, prácticamente no existe, y la erosión de las paredes no constituye un problema, ya que la velocidad del fluido en el espacio anular, es baja.

Como consecuencia de la forma de estabilización de las paredes del pozo con el sistema de circulación inversa, el suministro de agua al pozo cobra especial importancia, por lo que es necesario poder contar con un gran volumen de agua desde que se inicia la perforación. Se recomienda que las fosas de lodos puedan almacenar un mínimo de tres veces el volumen de agua que cubique el pozo que se va a perforar, repartido en la fosa de sedimentación y la fosa de abastecimiento. Figuras No. 2 y 3.

En cualquier caso, se pierde cierta cantidad de agua en las formaciones permeables al estarlas perforando; algunas partículas finas que se encuentran en suspensión en el fluido, se infiltran a través de las paredes del pozo, cerrando parcialmente los poros y por tanto reduciendo la pérdida de agua. Sin embargo, cuando se están perforando formaciones arenosas o con grava, se necesita disponer de una cierta cantidad de agua considerable en todo momento.

Dependiendo de la permeabilidad de las formaciones que se pene

tren, se requerirá agregar agua en cantidades que pueden variar entre 1.0 y 30 l.p.s.

La pérdida de agua puede ser reducida utilizando lodos bentoníticos como fluidos de perforación, debiendo tener todas las precauciones para mantenerlo en buenas condiciones de viscosidad de tal forma que aisle la formación sin penetrar mucho a la formación.

La perforación de gravas gruesas y secas es la que presenta mayores problemas y en el caso de boleos grandes, este procedimiento que teóricamente sería el ideal, pierde sus ventajas al no poder avanzar rápidamente por la falta de peso en la herramienta.

Es conveniente recalcar, que una pérdida súbita de fluido que provoque que el nivel de agua descienda bruscamente, puede ocasionar socavaciones en el pozo y en el peor de los casos el atrapamiento de la herramienta.

Al inicio de la perforación, es necesario colocar un conductor de 2 a 4 m. de profundidad, para evitar la erosión de la boca del pozo y pérdidas innecesarias de agua. Sin embargo, no es necesario casi en ningún caso colocar un contrademe formal cementado.

Como en este procedimiento es posible perforar directamente, las barrenas que se emplean, son de gran diámetro y cuentan con una entrada por el fondo con un diámetro similar a los tubos de perforación y las brocas pueden ser del tipo "Cola de Pescado" o "Drag", con dientes intercambiables de carburo tungsteno, aunque también pueden usarse barrenas construídas a base de cortadores o rolles, cuidando que cubran toda el área de corte de la barrena y que reduzcan lo menos posible el espacio anular por donde circula el fluido. Figuras No. 5, 4 y 6, el uso de un tipo de broca o del otro dependerá prácticamente de la dureza del material atravesado.

La velocidad de rotación disponible en la mesa rotaria es de 10 a 40 rpm, la que utilizaremos en función de la formación que se esté perforando.

Gracias a la gran velocidad a que circula el fluido por dentro de la tubería de perforación, los cortes son arrastrados hacia la superficie inmediatamente que son removidos por la barrena, evitándose el tener que remoler el material cortado; lo cual permite muy buenos avances de perforación. Velocidades de penetración de 50 cm./min. son frecuentemente observados y promedios de rendimiento de 10 m./h. son comunes a la terminación de la perforación, esto claro está en materiales arenosos prácticamente sueltos, no consolidados y delgados.

Debido a que todo el material, producto de la perforación, es desalojado por el interior de los tubos, cuando se presentan boleos mayores de 13.0 cm., se acumulan en el fondo del agujero hasta que no es posible seguir perforando, en este caso, se recomienda sacar la sarta y sacar los boleos con un cucharón - tipo almeja operado con la línea de maniobras.

Por las características citadas anteriormente, este procedimiento es muy adecuado para atravesar aluviones o materiales totalmente sueltos y la única desventaja es la de que como se perfora directamente a diámetros grandes, el torque que se genera es alto, lo que obliga a velocidades bajas de rotación y además como no es posible agregar peso desde un principio, su operación es lenta en los inicios, hasta que se cuenta con el peso suficiente para atravesar la formación, esto sobre todo cuando se tienen materiales gruesos superficiales.

Este procedimiento lo podremos utilizar convenientemente en perforaciones de diámetro grande en las que, al utilizar el método de circulación directa, tendremos velocidades de retorno muy pequeñas e insuficientes para elevar los cortes hasta sacarlos a la superficie.

También es posible en este caso, como ya se dijo anteriormente, utilizar agua o lodos de baja densidad y viscosidad, puesto que la capacidad de arrastre ya no estará en función de éstas

características, sino del área de retorno del interior de la tubería.

La tubería de perforación es de mayor diámetro que la normalmente utilizada en la directa, de tal forma que a la vez que su pequeña área permita una velocidad de retorno grande, sea lo suficientemente amplia para permitir el paso de gravas y hasta boleos grandes, en caso de no ser así, podría ser bloqueada la circulación.

La circulación inversa en su forma mas simple, contempla el uso de una bomba centrífuga conectada a la descarga proveniente del "swivel" de tal manera que se establece el sistema de circulación en función de la succión que pueda realizar la bomba, la alimentación se establece desde las fosas en forma automática al descender el nivel en el pozo.

Lo anterior presenta el inconveniente de que estará limitado a la capacidad de succión de la bomba centrífuga (entre 6 y 7 metros) y otro inconveniente es el fuerte desgaste que se tiene en los elementos impulsores de la bomba, además es necesario utilizar una bomba de cebado cada vez que se suspende la circulación.

Una modificación que mejora el sistema anterior es la de utilizar una bomba para crear un vacío a través de un eyector, colo-

cado en la tubería de descarga, este procedimiento tiene ventajas sobre el anterior procedimiento, primero porque se evita el desgaste de la bomba y en segundo lugar porque se logra un mayor vacío, lo que permite el trabajo con mayor diferencia de niveles.

Debido a la limitación de succión de los métodos anteriores se desarrolló un sistema de inclusión de aire comprimido en el retorno, de tal manera que la columna, en el interior de la tubería, es una mezcla de aire, lodos y corte, con una densidad mucho menor que la del fluido con que se alimenta el pozo, en esta forma se provoca un efecto de sifón, tendiente a equilibrar la columna de lodo existente en el anillo y la columna con aire en el interior de la tubería, iniciándose y manteniéndose así la circulación y extracción de cortes.

Entre mayor sea la diferencia de densidades, mayor será la capacidad de elevación y la velocidad de circulación, estando en función directa del volumen inyectado, aunque limitado por la mezcla que se logre, cuando no se cuenta con suficiente carga, puede no provocarse la acción de sifoneo, recirculando únicamente aire, en estos casos es recomendable incluir la menor cantidad de aire que nos permita el acarreo de lodo hasta la superficie, lo que resultará en una disminución de la velocidad de extracción de cortes y en consecuencia de velocidad de penetración, pero será posible trabajar mientras se tiene suficiente

carga.

En forma contraria cuando el pozo recibe o aporta grandes cantidades de agua, mantendra una carga hidrostática importante sobre el fondo del pozo, misma que deberá ser vencida con la presión del aire inyectado.

El uso de compresores de baja presión (hasta de 100 lbs/pulg²) nos permite vencer cargas totales hasta de 70 mts. incluyendo las pérdidas de carga en el sistema, lo que para fines prácticos nos lleva a unos 50 mts. de profundidad bajo el nivel del agua.

Para proseguir a mayor profundidad lo mas práctico es el uso de los compresores de alta presión, existentes en el mercado que dan entre 250 y 300 lbs/pulg², que permitirán vencer mayores cargas, conforme a su capacidad.

Otra solución para establecer la acción de sifoneo, es mantener la inclusión de aire hasta aquella profundidad en la que aún es posible establecer el sifoneo, pero ésto nos lleva a varias maniobras en cada cambio que incrementa grandemente los tiempos perdidos.

Para incluir el aire en la tubería de perforación se utilizan dos tubos exteriores con sus empaques y conexiones integradas a

los tubos de perforación o doble tubería concéntrica que nos -- permite incluir aire a través del anillo que se forma y retorna por el interior de la tubería de perforación, los tubos en el -- primer caso son acoplados con bridas atornillables y generalmente se utilizan tubos entre 6" u 8" de diámetro, estas conexiones son lentas.

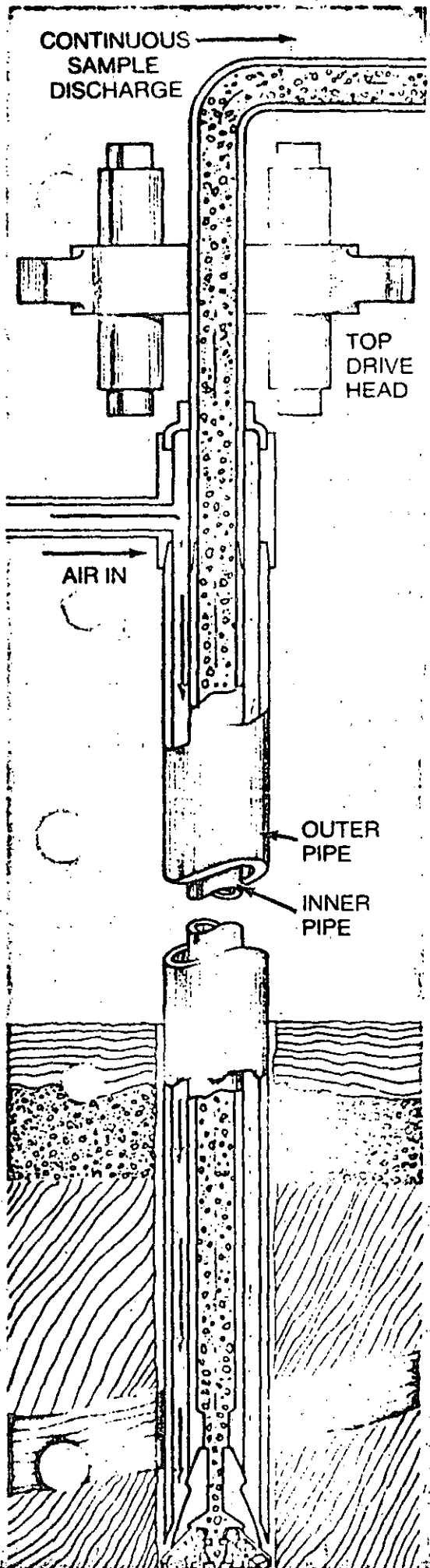
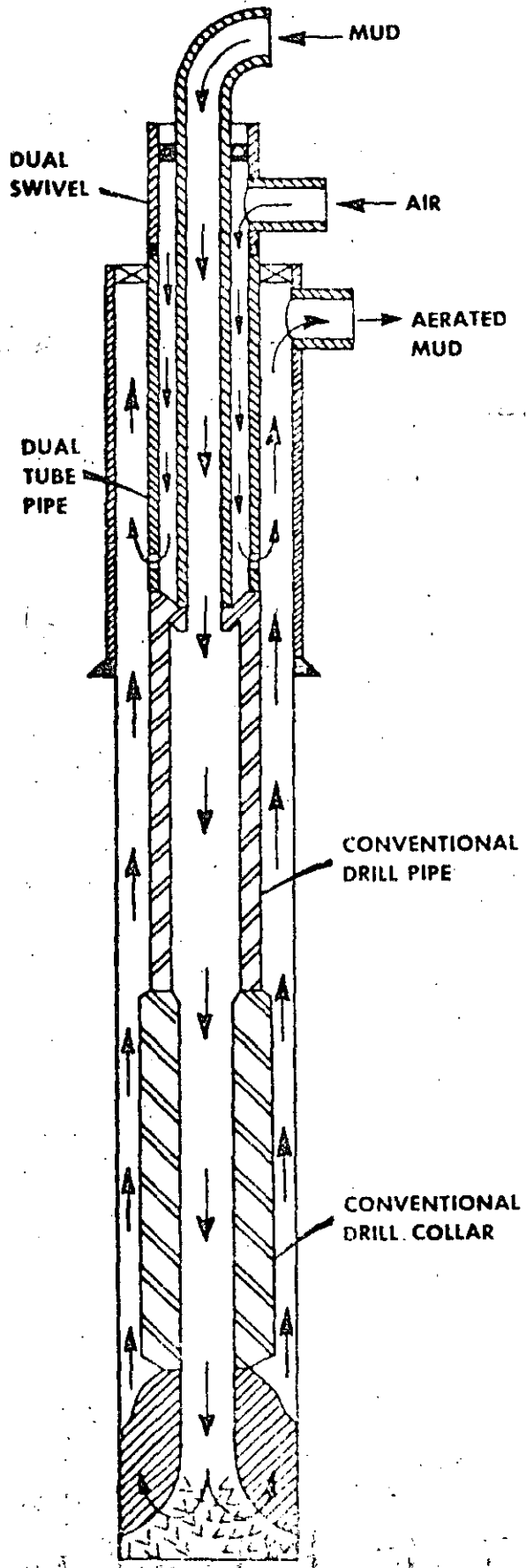
Actualmente se han desarrollado dos sistemas con tubos concéntricos llamados Duo-Tube y Con-Core que presentan la ventaja de poder añadir tubos con conexiones del tipo usual y empaques adecuados que son unidos y desconectados rápidamente, lo que nos -- permite una mayor eficiencia en los tiempos de conexión.

El sistema Duo-Tube permite el acoplamiento de lastrabarrenas, -- con lo que es posible acelerar los tiempos de perforación donde los materiales son mas grandes y duros, asimilándose este procedimiento en estos casos, al utilizado durante la perforación directa, de hacer un agujero exploratorio que sirve de guía y posteriormente su ampliación.

Este último método no ha sido muy usado y aún presenta dificultades con los sistemas de empaque entre los tubos, lo que no ha permitido su uso a gran escala.

Como conclusión de todo lo anterior podemos hacer notar que és te procedimiento es muy efectivo, particularmente en zonas donde

de el abatimiento de aguas es problemático y además se presentan grandes pérdidas de circulación en la formación y ésta es de materiales gravo-arenosos y no consolidados.



VENTAJAS DEL SISTEMA DE CIRCULACION INVERSA

- 1.- CONSTITUYE UN MÉTODO RÁPIDO Y ECONÓMICA DE CONSTRUCCIÓN DE POZOS DE AGUA EN MATERIALES ALUVIALES.
- 2.- EL FLUÍDO DE PERFORACIÓN ES AGUA CLARA, SIN EL USO DE BENTONITAS Y OTROS ADITIVOS.
- 3.- SE OBTIENE UNA ALTA EFICIENCIA EN EL APROVECHAMIENTO -- DEL ACUÍFERO, AL REDUCIRSE SU CONTAMINACIÓN Y AL PODER-- LIMPIARLO Y DESARROLLARLO EFICIENTEMENTE CON EL MISMO -- EQUIPO.
- 4.- LA COLOCACIÓN DE FILTROS DE GRAVA GRANDES Y BIEN DISEÑA DOS PERMITE PREVENIR ARRASTRE DE MATERIALES FINOS DE LA FORMACIÓN, ALARGANDO LA VIDA DEL POZO, REDUCIENDO SU -- MANTENIMIENTO Y ALARGANDO LA VIDA DEL EQUIPO DE BOMBEO.

DESVENTAJAS DEL SISTEMA DE CIRCULACION INVERSA

- 1.- ESTA LIMITADO A ACUÍFEROS DE MATERIALES SUAVES NO CONSOLIDADOS (ALUVIONES)
- 2.- REQUIERE DE UN SUMINISTRO DE AGUA EN GRANDES VOLÚMENES.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

PRUEBAS DE BOMBEO

ING. ANDRES BENTON CUELLAR

ABRIL, 1985

PRUEBAS DE BOMBEO

GENERALIDADES

ES EL PROCEDIMIENTO MAS IMPORTANTE DE QUE SE DISPONE PARA EL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE POZOS, PREDICCIÓN DE CAUDALES, DESCENSOS FUTUROS, Y LA OBTENCIÓN DE VALORES REPRESENTATIVOS DE LAS CARACTERÍSTICAS Y LOS PARÁMETROS DE LOS ACUÍFEROS, QUE NO TENGAN SÓLO VALIDEZ PUNTUAL Y QUE ADEMÁS NO SEAN EL PRODUCTO DE ENSAYOS DE LABORATORIO O DE SONDEOS DE DUDOSA VALIDEZ.

LA PRUEBA SE REALIZA EN CONDICIONES CONTROLADAS QUE NOS PERMITAN DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS DEL ACUÍFERO Y DEL POZO DE BOMBEO. LAS REALIZADAS A CAUDAL CONSTANTE HASTA LOGRAR EL RÉGIMEN PERMANENTE SON MAS FACILES DE INTERPRETAR YA QUE NO INFLUYE EL O LOS COEFICIENTES DE ALMACENAMIENTO, PERO PRECISAN DE VARIOS PUNTOS DE OBSERVACIÓN, Y ES MAS CONVENIENTE SI CONTAMOS CON SUS COTAS.

LAS PRUEBAS DE BOMBEO SON AQUELLAS EN LAS QUE SE OBSERVAN LOS DESCENSOS PRODUCIDOS EN POZOS CERCANOS O EN PIEZÓMETROS PRÓXIMOS (ADEMÁS DEL POZO MISMO).

LA MEDICIÓN DE LOS NIVELES DEL AGUA DESPUÉS DEL CESÉ DEL BOMBEO EN EL PROPIO POZO Y EN LOS PIEZÓMETROS O POZOS DE

OBSERVACIÓN, SE LLAMA ENSAYO DE RECUPERACIÓN.

LOS ENSAYOS A CAUDAL CONSTANTE CON MEDIDA E INTERPRETACIÓN DEL RÉGIMEN VARIABLE PUEDEN SER MAS BREVES, NO NECESITAN DE MUCHOS PUNTOS DE OBSERVACIÓN Y PERMITEN DETERMINAR EL COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO.

A F O R O S

EL AFORO, NOS PERMITE HALLAR EL CAUDAL DE EXPLOTACIÓN DE UN POZO, DE SU REALIZACIÓN PUEDEN OBTENERSE LOS SIGUIENTES DATOS:

- A) GASTO ACONSEJABLE DE APROVECHAMIENTO DEL ACUÍFERO
- B) CURVA CARACTERÍSTICA DEL POZO
- C) UN PRIMER VALOR DE LA EFICIENCIA DEL POZO
- D) UNA ESTIMACIÓN DE LA TRANSMISIVIDAD DEL ACUÍFERO EN EL SÍTIO DEL POZO.
- E) DATOS PRELIMINARES SOBRE EL ACUÍFERO, BARRERAS, DRENAJE DIFERIDO, SEMICONFINAMIENTO, ETC.
- F) A VECES SE PUEDE LLEGAR A UNA ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO DEL ACUÍFERO, SI A LOS DESCENSOS OBSERVADOS SE LES RESTA LAS PÉRDIDAS EN EL POZO OBTENIDAS DE LA CURVA CARACTERÍSTICA.

PRUEBAS DE BOMBEO

CON LA PRUEBA DE BOMBEO PODEMOS OBTENER LOS SIGUIENTES DATOS:

- A) TRANSMISIVIDAD DEL ACUÍFERO
- B) COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO DEL ACUÍFERO
- C) CARACTERÍSTICAS PROPIAS DEL ACUÍFERO O EN RELACIÓN CON SU CONTORNO, SEMICONFINAMIENTO, RECARGA, DRENAJE DIFERIDO.
- D) PRESENCIA Y SITUACIÓN DE LÍMITES COMO, BARRERAS, FALLAS, LINEAS DE RECARGA, ETC.
- E) DATOS PARA EXTRAPOLAR RAZONABLEMENTE LOS DESCENSOS DEL POZO SOMETIDO A UNA LARGA EXPLOTACIÓN.
- F) EFICIENCIA REAL DEL POZO, CURVA CARACTERÍSTICA DEL POZO.

SI ADEMÁS CONTAMOS CON LA INFORMACIÓN DE LOS DISTINTOS ESTRATOS GEOLÓGICOS Y MATERIALES QUE FORMAN EL SISTEMA ACUÍFERO Y LOS PIEZÓMETROS SE INSTALAN CORRECTAMENTE (A DISTANCIAS Y PROFUNDIDADES ADECUADAS), PODEMOS LLEGAR A OBTENER:

- A) GRADO DE ANISOTROPÍA EN LOS PLANOS HORIZONTAL Y VERTICAL.
- B) COEFICIENTE DE GOTEO, RESISTENCIA HIDRÁULICA DE LOS ACUITARDOS Y COEFICIENTE DE DRENAJE DIFERIDO.

D) COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO DE LOS ACUITARDOS.

SITIO DE LA PRUEBA DE BOMBEO

SE DEBEN HACER LAS SIGUIENTES CONSIDERACIONES PARA SELECCIONAR EL LUGAR MÁS ADECUADO PARA EL ENSAYO DE BOMBEO, DENTRO DEL ACUÍFERO QUE ESTÉ SOMETIDO A ESTUDIO.

ES CONVENIENTE LO SIGUIENTE:

1. QUE EN ESE LUGAR EL ACUÍFERO SEA LO MÁS HOMOGÉNEO POSIBLE.
2. QUE EL ACUÍFERO ESTÉ MAS DEFINIDO EN SUS CARACTERÍSTICAS TALES COMO; CAUTIVO DE ESPESOR CONSTANTE, LIBRE, DE BASE HORIZONTAL, SEMICONFINADO DE ESPESOR CONSTANTE; HORIZONTAL CON UN ACUITARDO SUPERIOR BIEN DEFINIDO, ETC.
3. QUE NO EXISTAN BARRERAS PRÓXIMAS O QUE POR LO MENOS ESTÉN BIÉN DEFINIDAS, QUE NO SE ESPEREN CAMBIOS LATERALES DE PERMEABILIDAD Y/O ESPESOR (DE CONSIDERACIÓN)
4. QUE PRACTICAMENTE NO EXISTA FLUJO NATURAL O QUE SEA PEQUEÑO CON RESPECTO AL QUE SE CAUSARÁ CON EL BOMBEO.
5. QUE NO EXISTAN BOMBEO PRÓXIMOS U OTRAS ACTIVIDADES QUE PRODUZCAN CAMBIOS GRANDES EN EL NIVEL DE AGUA.
6. QUE SE CONOZCA BIÉN LA FORMACIÓN GEOLÓGICA DEL SITIO.
7. SI EL ACUÍFERO ES LIBRE QUE EL NIVEL FREÁTICO SEA LO SUFICIENTEMENTE PROFUNDO COMO PARA NO TENER QUE HACER CONSIDERACIONES POR EFECTOS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN NI RECARGA POR LLUVIAS O RIEGOS.

8. QUE EL AGUA BOMBEADA NO VUELVA AL ACUÍFERO

DESDE EL PUNTO DE VISTA ECONÓMICO ES ADECUADO LO SIGUIENTE:

1. QUE YA EXISTA UN POZO CON LAS CONDICIONES Y EN EL LUGAR DESEADO.
2. QUE DE SER POSIBLE EXISTAN POZOS O PIEZÓMETROS QUE PODAMOS UTILIZAR COMO DE OBSERVACIÓN Y QUE NO SEAN BOMBeadOS.
3. QUE NO HAYA QUE PAGAR AFECTACIONES POR LA REALIZACIÓN DE LA PRUEBA, DEBERÁ ESCOGERSE UN SÍTIO PÚBLICO.
4. QUE EXISTA LA MAYOR INFORMACIÓN GEOLÓGICA, HIDROLÓGICA Y GEOFÍSICA POSIBLE.
5. QUE EL DRENAJE DEL AGUA BOMBEADA NO CAUSE PROBLEMAS A TERCEROS.

DESDE EL PUNTO DE VISTA DE OPERACIÓN.

- A) QUE EXISTAN FACILIDADES DE ACCESO E INSTALACIÓN DE LA PRUEBA Y DEL DRENAJE.
- B) QUE SEA FÁCIL EFECTUAR LAS MEDICIONES
- C) QUE LOS DESPLAZAMIENTOS ENTRE PUNTOS SEAN FÁCILES Y RÁPIDOS.
- D) QUE EXISTA ENERGÍA ELÉCTRICA DISPONIBLE.

HAY QUE DISPONER DE UN CROQUIS DEL POZO CON SU LOCALIZACIÓN.

CORTES GEOLÓGICOS, CONSTRUCCIÓN DEL POZO, SONDEOS, PIEZÓMETROS, RÍOS, NORIAS, CANALES, LAGUNAS Y BARRANCOS CERCANOS, VÍAS DE COMUNICACIÓN Y DE ENERGÍA LOCALIZADOS ASÍ COMO EDIFICACIONES, OBSTÁCULOS Y FACILIDADES.

PIEZOMETROS

EN UN ACUÍFERO, LAS OSCILACIONES PIEZOMÉTRICAS PUEDEN PRESENTAR VARIACIONES DE IMPORTANCIA, QUE GENERALMENTE SON ESTACIONALES O POR INFLUENCIA DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO ESTABLECIDOS Y DE LA RECARGA POR LLUVIA, O POR EFECTO DE MAREAS.

SIEMPRE SERÁ CONVENIENTE CONTAR CON LA MAYOR INFORMACIÓN A LO LARGO DEL TIEMPO SOBRE LOS NIVELES Y VARIACIONES PIEZOMÉTRICAS DE LOS PUNTOS QUE SE UTILIZARÁN EN LA PRUEBA LO QUE PERMITIRÁ CONOCER, CUANDO, ES MAS ADECUADA SU REALIZACIÓN.

CONOCIENDO EN FORMA GENERAL LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS BAJO EL NIVEL PIEZOMÉTRICO, SE PUEDE EMPEZAR A PREVEER EL TIPO DE ACUÍFERO QUE PROBABLEMENTE EXISTA. EN EL CASO DE TENER RÍOS CERCANOS, CORRELACIONANDO LOS NIVELES CON LOS DE LAS CORRIENTES SUPERFICIALES, ES POSIBLE CONOCER SI ÉSTAS ESTÁN CONECTADAS Y RECARGAN AL ACUÍFERO EN FORMA DIRECTA.

EN GENERAL LOS PIEZÓMETROS SON "LA VENTANA AL ACUÍFERO", ES EL ACCESO QUE SE TIENE DESDE SUPERFICIE Y HACEN POSIBLE CONOCER LOS CAMBIOS QUE MANIFIESTAN LOS ACUÍFEROS AL ESTABLE-

-CERSE VARIACIONES, YA SEA EN FORMA NATURAL O POR LA ACCIÓN DEL HOMBRE, MEDIANTE EL BOMBEO.

LA COLOCACIÓN MAS ADECUADA CUANDO SE PUEDE CONTAR CON VARIOS PIEZÓMETROS ES EN CRUZ Y DE 2 A 4 POR LÍNEA, SI HAY FLUJO, DEBEN COLOCARLOS PARALELOS Y PERPENDICUALRES A ÉSTE, ES CONVENIENTE CUANDO MENOS CONTAR CON UNO CERCANO AL POZO Y DEBEN PREVEERSE LOS DESCENSOS QUE SE VAN A TENER APROXIMADAMENTE Y TRATAR DE QUE LAS DISTANCIAS QUEDEN REPARTIDAS DE TAL FORMA QUE SEA PRÁCTICA SU LOCALIZACIÓN EN LA ESCALA LOGARÍTMICA.

ES UNA BUENA PRÁCTICA COLOCARLOS EN DISTANCIAS QUE CREZCAN EN FORMA EXPONENCIAL A PARTIR DE 2.

SE DEBE ESTIMAR EL RADIO DE INFLUENCIA MÁXIMO DE BOMBEO, TOMANDO EN CUENTA EL TIPO DE ACUÍFERO QUE SE ENCONTRARÍA.

SE UTILIZA LA SIGUIENTE FÓRMULA:

$$R = 1.5 \frac{T t}{S}$$

T Y S DEBEN ESTIMARSE A PARTIR DE DATOS PREVIOS O CON LOS DATOS OBTENIDOS DE UN BOMBEO DE CORTA DURACIÓN.

PARA FINES DE CORRECCIÓN DE DATOS DE DESCENSO ES ADECUADO OBSERVAR LOS NIVELES EN UN PUNTO ALEJADO Y FUERA DE LA ZONA

DE INFLUENCIA, GENERALMENTE A UNA DISTANCIA IGUAL A DOS VECES R.

EN ACUÍFEROS LIBRES EL VALOR DE R ES REDUCIDO (200 MTS) COMO MÁXIMO, POR LO QUE LOS PIEZÓMETROS DEBEN DE QUEDAR CERCA (ENTRE 3 Y 6 MTS), DEBIÉNDOSE CORRER EL PELIGRO DE ESTAR INFLUENCIADOS POR PROBLEMAS PRODUCIDOS POR POZOS INCOMPLETOS.

EN ACUÍFEROS CAUTIVOS SE PUEDEN TOMAR DATOS EN PUNTOS AJENOS DEL POZO SIEMPRE Y CUANDO EL DESCENSO SEA NOTABLE Y NO SEA INTERFERIDO POR OTRO BOMBEO.

REALIZACION DE PRUEBAS DE BOMBEO

DEBERÁN TOMARSE VARIAS LECTURAS DEL NIVEL ESTÁTICO A LAPROS DETERMINADOS, CON TODA ANTICIPACIÓN A LA PRUEBA, CON EL FÍN DE CONOCER LAS VARIACIONES QUE ESTÁ SUFRIENDO POR INFLUENCIA REGIONAL (OTROS BOMBEO), CUANDO ÉSTO NO ES POSIBLE HACERLO CON SUFICIENTE ANTICIPACIÓN, SE DEBERÁ TOMAR EL NIVEL ESTÁTICO, VERIFICÁNDOLO CON LA MAYOR PRECISIÓN, UNA VEZ HECHO LO ANTERIOR SE PROCEDE A ELEGIR LAS RPM DE OPERACIÓN INICIAL EN EL MOTOR, SIEMPRE Y CUANDO NO SE TRATE DE UNO ELÉCTRICO, EN CUYO CASO NO ESTAMOS EN POSIBILIDAD DE HACER CAMBIOS EN LAS RPM, COSA NORMAL CUANDO SE TRATA DE EFECTUAR LA PRUEBA UTILIZANDO UN SISTEMA YA INSTALADO.

DEBEREMOS VERIFICAR QUE NUESTRA SONDA PENETRE EN EL POZO HASTA EL NIVEL ESTÁTICO Y BAJA LIBREMENTE MÁS ALLÁ DE SU POSICIÓN, CON EL FIN DE NO TENER CONTRATIEMPOS DURANTE LA REALIZACIÓN DE LA PRUEBA.

EN EL CASO DE CONTAR CON UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA, PODREMOS REALIZAR LA PRUEBA ESCALONADA EFECTUANDO LOS CAMBIOS NECESARIOS EN LAS RPM DEL MOTOR, TENIENDO LA PRECAUCIÓN DE EFECTUAR ESTOS CAMBIOS RAPIDAMENTE Y ESTABILIZAR LAS REVOLUCIONES EN FORMA INMEDIATA, DE TAL FORMA QUE TENGAMOS LAS MENORES VARIACIONES EN LA OBTENCIÓN DE CADA UNO DE LOS GASTOS, DURANTE CADA CAMBIO PROYECTADO.

CUANDO LA OPERACIÓN ES EN BASE A UN MOTOR ELÉCTRICO, LO MÁS CONVENIENTE ES REALIZAR LA PRUEBA CON EL GASTO QUE ENTREGA LA BOMBA, PERO SI SE DESEA HACER UNA PRUEBA ESCALONADA, ES POSIBLE HACERLO, SI SE CUENTA CON UNA VÁLVULA A LA SALIDA QUE NOS PERMITA REGULAR EL GASTO ENTREGADO POR LA BOMBA, EN CUYO CASO SE DEBERÁN HACER ESTOS CAMBIOS ABRIENDO O CERRANDO LA VÁLVULA.

DEBEREMOS CONTAR CON UN PROCEDIMIENTO DE AFORO QUE PUEDA -- ADAPTARSE A LAS ESPECIALES SITUACIONES QUE ENCUENTRA UNO GENERALMENTE EN EL CAMPO Y QUE PERMITA OBTENER EL GASTO CON UNA PRECISIÓN ADECUADA.

EN EL CASO PARTICULAR DE POZOS EN EL CAMPO, QUE NO ESTÉN CONECTADOS A SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN A PRESIÓN, LO MÁS CONVENIENTE ES UTILIZAR EL SISTEMA DE ESCUADRA O EL DEL ORIFICIO CALIBRADO CON LECTURA PIEZOMÉTRICA QUE NOS DÁ UNA PRECISIÓN BASTANTE RAZONABLE, PARA GASTOS PEQUEÑOS SE PUEDE UTILIZAR UN VERTEDOR DE TIPO TRIANGULAR O UTILIZAR UN RECIPIENTE O DEPÓSITO CUYO VOLÚMEN SEA FACILMENTE OBTENIBLE, MIDIENDO -- LAS VARIACIONES EN SU TIRANTE EN FUNCIÓN DEL TIEMPO, MEDIDO CON UN CRONÓMETRO.

EN ALGUNOS CASOS SE PODRÁN UTILIZAR MEDIDORES ESPECIALES - TIPO VENTURI O MEDIDORES PARA SER INSTALADOS EN TUBERÍA O - DE CUALQUIER TIPO DISPONIBLE Y QUE TENGA UNA BUENA PRECISIÓN.

○
ES INDISPENSABLE EL CONOCIMIENTO DEL CAUDAL BOMBEADO Y EL - QUE ÉSTE SE MANTENGA CONSTANTE DURANTE LA PRUEBA Y DE TANTA IMPORTANCIA COMO PUEDA SER LA PRECISIÓN EN LA TOMA DE LECTURAS DURANTE EL DESCENSO PROVOCADO POR EL BOMBEO, POR LO QUE DEBE DARSELE LA MAYOR IMPORTANCIA A LO ANTERIOR.

UNA VEZ INICIADO EL BOMBEO DEBERÁ VERTERSE EL AGUA EN TAL - FORMA QUE NO VUELVA AL ACUÍFERO, SOBRE TODO CUANDO SE TRATA DE ACUÍFEROS LIBRES Y POCO PROFUNDOS Y SE OBSERVA UNA GRAN PERMEABILIDAD EN LA SUPERFICIE, POR LO QUE EN GENERAL DEBERÁ CONDUCIRSE EL AGUA HASTA UNA DISTANCIA QUE SEA MAYOR QUE EL RADIO DE INFLUENCIA (GENERALMENTE MÁS ALLÁ DE 100 MTS.)

Y DE SER POSIBLE EN EL SENTIDO DEL FLUJO SUBTERRÁNEO Y LEJOS DE LOS PUNTOS DE OBSERVACIÓN, A TRAVÉS DE CANALES, ARROYOS, BARRANCOS O TUBERÍAS. HAY QUE CUIDAR SOBRE TODO QUE EL AGUA NO RETORNE A TRAVÉS DE LAS PAREDES DEL POZO AL ACUÍFERO.

MEDICION DE LOS NIVELES

SE MEDIRÁN LOS NIVELES CON LA DEBIDA ANTICIPACIÓN A LA PRUEBA DE REFERENCIA, CON SONDAS ELÉCTRICAS, VERIFICANDO EN CADA CASO SU CORRECTO FUNCIONAMIENTO.

LAS LECTURAS DEBERÁN HACERSE CUIDADOSAMENTE, PROCURANDO QUE LA LECTURA TENGA LA PRECISIÓN DE UN CENTÍMETRO (O MENOS) Y CUIDANDO DE ANOTAR EL TIEMPO PRECISO DE LA LECTURA.

CUANDO EN UN MOMENTO NO HAYA PODIDO REALIZARSE LA MEDIDA EN EL TIEMPO PREVIAMENTE ESTABLECIDO, POR ALGÚN CONTRATIEMPO - DURANTE LA MEDICIÓN, SE PROCEDERÁ A REALIZARLA DE INMEDIATO A LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA Y A ANOTAR EL CAMBIO DE TIEMPO - DE REALIZACIÓN, PONIENDO LA HORA EN QUE PRECISAMENTE SE REALIZÓ LA MEDICIÓN DEL NIVEL, ÉSTO ES MUY IMPORTANTE DE QUE SE ANOTE PORQUE EL PONER LOS ABATIMIENTOS OBSERVADOS EN TIEMPOS QUE NO LES CORRESPONDEN, NOS LLEVAN AL DESPLAZAMIENTO DE LA CURVA Y A UNA INTERPRETACIÓN ERRÓNEA, LO CUAL SE SUBSANA FÁCILMENTE DURANTE LA PRUEBA, REALIZANDO UNA MEDICIÓN ADICIONAL Y PONIENDO EL TIEMPO REAL, EN ESTA NUEVA MEDICIÓN ES MUY

IMPORTANTE DARLE LA ATENCIÓN DEBIDA A LO ANTERIOR.

LAS MEDICIONES QUE SE TOMAN DEBEN REALIZARSE EN TIEMPOS QUE QUEDEN REGULARMENTE DISTRIBUIDOS EN UNA ESCALA LOGARÍTMICA; LO ANTERIOR ES PORQUE SU INTERPRETACIÓN SE REALIZA AUXILIANDONOS EN EL VACIADO DE LOS DATOS A UNA ESCALA DE ESTE TIPO, POR LO QUE EN EL CASO DE UN BOMBEO DE POCAS HORAS Y HASTA 72 HORAS PUEDE ADAPTARSE LA SIGUIENTE PERIODICIDAD EN LAS MEDIDAS.

- 1° ANTES DE INICIAR EL BOMBEO
- 2° MARCAR EL TIEMPO EXACTO DEL INICIO DEL BOMBEO COMO TIEMPO CERO Y POSTERIORMENTE TOMAR LECTURAS QUE COINCIDAN CON LOS SIGUIENTES TIEMPOS:

LA PRIMERA HORA (MIN.) 0, 0.5', 1', 1.5', 2', 3', 5', 7', 10', 15', 20', 25', 30', 40', 50', 60', LUEGO EN HORAS (HR) 1, 1.5, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 24, LUEGO EN DÍAS (DÍAS) 1, 1.5, 2, 3.

COMO HICIMOS NOTAR ESTOS TIEMPOS PUEDEN SER MODIFICADOS UN POCO, TOMANDO NOTA DE LOS TIEMPOS REALES DE MEDICIÓN Y DE ACUERDO A LA DURACIÓN DEL BOMBEO, SE DISEÑARÁ LA PRUEBA ADAPTANDOLA A LO ANTERIOR.

EL NÚMERO DE PERSONAS QUE SE UTILICEN DEPENDERÁ DE LOS PUNTOS DE OBSERVACIÓN, TOMANDO EN CUENTA QUE UNA GENTE DEBERÁ

ENCARGARSE DE LA OBSERVACIÓN Y DEL MANTENIMIENTO DE LOS CAUDALES EN UN RANGO QUE SEA CONSIDERADO RAZONABLEMENTE CONSTANTE.

DEBERÁ CONTARSE CON EL PERSONAL NECESARIO DE ACUERDO AL NÚMERO DE PUNTOS DE MEDICIÓN QUE PUEDAN UTILIZARSE PARA SU OBSERVACIÓN Y A SU LEJANÍA AL PUNTO DE BOMBEO, DEBIDO A QUE SI SE ENCUENTRAN CERCA, SERÁN AFECTADOS RÁPIDAMENTE Y EL RITMO DE LECTURA SE ACERCARÁ AL DE LA TOMA DE LECTURAS EN EL POZO Y LOS PUNTOS ALEJADOS PODRÁN MEDIRSE A INTERVALOS MAYORES PORQUE SU VARIACIÓN DE DESCENSOS TIEMPO SERÁ MENOR Y PROBABLEMENTE UNA SOLA PERSONA PUEDA REALIZAR MEDICIONES EN VARIOS PUNTOS EN UNA FORMA EFICIENTE.

ES ADECUADO LA TOMA DE LECTURAS DE CONDUCTIVIDAD Y TEMPERATURA AL INICIO DE LA PRUEBA Y A LO LARGO DE LA MISMA CON EL OBJETO DE DETECTAR ALGUNA COSA ANOMALA O ALGÚN CAMBIO DURANTE EL BOMBEO ASÍ COMO TOMAR LAS MUESTRAS DE AGUA CORRESPONDIENTES A LOS TIEMPOS EN QUE SE OBSERVEN VARIACIONES QUE SE CONSIDEREN DE INTERÉS.

COMO PUEDE VERSE, ES MUY IMPORTANTE HACERLE VER AL PERSONAL QUE REALIZA LA PRUEBA, LA NECESIDAD DE TOMAR LAS MEDIDAS CON TODA PRECISIÓN Y CUIDADO Y TENER LA SERIEDAD DE ANOTAR CUALQUIER CAMBIO QUE EXISTA CON RESPECTO AL PLAN INICIAL DE TOMA DE DATOS, SIENDO ÉSTO PARTE ESCENCIAL DE SU COMPORTA-

-MIENTO DURANTE LA PRUEBA.

ES NECESARIO HACER UN CROQUIS ANOTANDO LOS DATOS DE CADA PUNTO Y SU ELEVACIÓN SOBRE EL TERRENO NATURAL, ES MUY ADECUADO PARA LA INTERPRETACIÓN HIDROLÓGICA CUANDO ES POSIBLE, CONOCER LA COTA DEL BROCAL, PUESTO QUE NOS PERMITIRÁ CONOCER LA COTA DEL NIVEL PIEZOMÉTRICO.

LAS ANOTACIONES DURANTE LA PRUEBA SE HARÁN EN LA FORMA ANEXA PARA TAL FÍN.

CUANDO SE TRATA DE UN ENSAYO ESCALONADO ASCENDENTE O DESCENDENTE DEBERÁ TENERSE LA PRECAUCIÓN DE PROGRAMAR LA TOMA DE LECTURAS A PARTIR DE CADA CAMBIO CON EL MISMO PROCEDIMIENTO DADO PARA LA TOMA DESDE LA INICIACIÓN DE LA PRUEBA, PUESTO QUE LOS DATOS OBTENIDOS AL INICIO DE CADA CAMBIO Y DURANTE LOS PRIMEROS MINUTOS, SON DE GRAN IMPORTANCIA PARA LA INTERPRETACIÓN QUE SE HACE DEL COMPORTAMIENTO DEL NIVEL PIEZOMÉTRICO.

AL TÉRMINO DE CUALQUIER PRUEBA Y EL PARO DE LA BOMBA LO CONSIDERAREMOS COMO LA INICIACIÓN DE UNA PRUEBA DE RECUPERACIÓN (ASCENSO) QUE NOS PERMITE VERIFICAR Y OBTENER DATOS MÁS CERCANOS A LA REALIDAD, POR LO QUE DEBERÁ PROCEDERSE A LA TOMA DE LECTURAS CONFORME A LOS TIEMPOS MARCADOS PARA LAS DE INICIO DE CUALQUIER PRUEBA DE BOMBEO O AFORO Y CON LA SECUEN--

-CIA YA RECOMENDADA ANTERIORMENTE. SE DEBERÁN OBSERVAR LAS LECTURAS, QUE SERÁN TOMADAS HASTA CUANDO SE LOGRE LA COMPLETA RECUPERACIÓN O ESTABILIZACIÓN DEL NIVEL PIEZOMÉTRICO.

HIDRAULICA DE CAPTACIONES

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

SE DESCRIBEN A CONTINUACIÓN ALGUNOS DE LOS CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LA HIDRÁULICA DE CAPTACIONES.

ACUÍFERO LIBRE - ES DENOMINADO ASÍ CUANDO SU NIVEL DE SATURACIÓN ESTÁ SOMETIDO A LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA (NIVEL FREÁTICO).

ACUÍFERO CAUTIVO - ES AQUEL EN EL QUE EL AGUA ESTÁ SOMETIDA A UNA PRESIÓN MAYOR QUE LA ATMOSFÉRICA, AL PERFORAR ESTE TIPO DE ACUÍFEROS, MANIFIESTAN LA PRESIÓN DE CONFINAMIENTO, EQUILIBRANDOSE DENTRO DEL POZO EN UN PUNTO QUE QUEDARÁ SOBRE EL TECHO DE CONFINAMIENTO O QUE PODRÁ LLEGAR A UN NIVEL SUPERIOR AL BROCAL, EN ÉSTE ÚLTIMO CASO SE LE DENOMINA "POZO ARTESIANO".

ACUÍFERO SEMICONFINADO - PRESENTA LAS MISMAS CONDICIONES DE CONFINAMIENTO YA DESCRITAS, PERO ADEMÁS RECIBE Y O TRANSMITE AGUA A TRAVÉS DE SUS NIVELES DE CONFINAMIENTO.

UN ACUÍFERO CONFINADO SOMETIDO A EXTRACCIÓN PUEDE PASAR A "LIBRE" AL BAJAR SU NIVEL PIEZOMÉTRICO MÁS ALLÁ DEL TECHO DE CONFINAMIENTO.

TRANSMISIVIDAD (T) - ES LA CAPACIDAD DE UN MEDIO PARA TRANSMITIR AGUA Y ES EL PRODUCTO DE LA PERMEABILIDAD (k) POR EL ESPESOR DEL ACUÍFERO (b).

$$T = kb$$

POROSIDAD EFICAZ (m_e) - ES EL VOLÚMEN DE AGUA OBTENIDA POR GRAVEDAD, DESPUÉS DE SATURAR UN MATERIAL GRANULAR.

COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO (S) - ES EL VOLÚMEN DE AGUA LIBERADO POR UNA COLUMNA DE ACUÍFERO, DE ALTURA IGUAL AL ESPESOR (b) Y DE SECCIÓN UNITARIA, AL DISMINUIR LA PRESIÓN EN UNA UNIDAD, EN ACUÍFEROS LIBRES, COINCIDE CON LA POROSIDAD EFICAZ.

FACTOR DE GOTEO (b) ES UTILIZADO EN EL CASO DE LOS ACUÍFEROS SEMICONFINADOS Y SE EXPRESA CON LA SIGUIENTE ECUACIÓN.

$$B = \frac{k \cdot b}{k' / b'} = \frac{T}{k' / b'} = \frac{T}{C}$$

EN GENERAL SE EXPRESA EN METROS O EN CENTÍMETROS Y HABRÁ QUE ADECUAR ÉSTO A LAS UNIDADES USADAS.

COEFICIENTE DE GOTEO (c)

$$c = k'/b'$$

SIRVE PARA VALORIZAR LA RECARGA DEL ACUITARDO SEMICONFINANTE Y LA RECARGA ES PROPORCIONAL AL COEFICIENTE DE GOTEO Y A LA DIFERENCIA DE NIVELES PIEZOMÉTRICOS DE LOS DOS ACUÍFEROS.

FUNCIONAMIENTO DE LOS ACUÍFEROS

AL INICIAR EL BOMBEO DE UNA CAPTACIÓN, DE INMEDIATO SE ESTABLECE UN CONO DE ABATIMIENTO DE PRESIONES, CUYO RADIO DE INFLUENCIA SE VA EXTENDIENDO CON EL TIEMPO, MIENTRAS ÉSTO SUCEDE, SE ESTÁ EN UN RÉGIMEN NO PERMANENTE.

EN UN ACUÍFERO QUE NO RECIBE AGUA DIRECTAMENTE Y QUE SÓLO RECIBE LA QUE LE ES TRANSMITIDA, EL AGUA PROCEDERÁ DEL ALMACENAMIENTO Y POR LO TANTO EL RÉGIMEN SERÁ NO PERMANENTE Y TENDRÁ AL VACIADO, PERO DEBIDO A QUE EL RADIO DE INFLUENCIA TIENDE AL INFINITO, CRECE TAN LENTAMENTE QUE PARA FINES PRÁCTICOS SE ESTABILIZA.

ASÍ MISMO CUANDO EL ACUÍFERO RECIBE RECARGA DIRECTA POR LLUVIA Y LLEGA A EQUILIBRARSE CON EL VOLÚMEN DE EXTRACCIÓN SE ESTABLECE EL RÉGIMEN PERMANENTE.

CUANDO EL CONO DE ABATIMIENTO ALCANZA UN RÍO O FUENTE DE RE-
CARGA SUPERFICIAL PUEDE ESTABLECERSE EL RADIO DE INFLUENCIA.

EN EL CASO DE SEMICONFINAMIENTO, AL CRECER EL RADIO DE IN-
FLUENCIA PUEDE LLEGAR UN MOMENTO EN QUE EL AREA DEL CONO --
SEA TAN IMPORTANTE, QUE UNA APORTACIÓN A TRAVÉS DEL ESTRATO
SEMICONFINANTE AUNQUE SEA MUY PEQUEÑA, LLEGA A ESTABLECER --
UN VERDADERO RÉGIMEN PERMANENTE.

EL RADIO DE INFLUENCIA QUE SE ESTABLECE, ESTÁ EN FUNCIÓN DE
LA TRANSMISIVIDAD Y DEL COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO, (QUE
SON PARAMETROS Y CARACTERÍSTICAS DEL ACUÍFERO), ADEMÁS; DEL
TIEMPO DE BOMBEO TRANSCURRIDO.

EN UN ACUÍFERO LIBRE CUYO COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO ES
MUCHO MAYOR QUE EL DE UN ACUÍFERO CONFINADO, EL RADIO DE IN-
FLUENCIA SERÁ MUCHO MENOR QUE EN EL CONFINADO POR EJEMPLO:

SUPONGAMOS UN ACUÍFERO LIBRE CON UN VALOR $S = 0.2$ Y UN -
ACUÍFERO CONFINADO CON $S = 2 \times 10^{-4}$

$$R = 1.5 \frac{T t}{S}$$

CON UNA $T = 1000 \text{ M}^2/\text{DIA}$

A UN DIA SE TENDRÁ

$$R = 1.5 \frac{1.000 \times 1}{0.2} = 1.06 \text{ M}$$

$$R = 1.5 \frac{1.000 \times 1}{2 \times 10^{-4}} = 3,354 \text{ M}$$

DEBIDO A LO ANTERIOR LAS CURVAS DE ABATIMIENTO QUE SE ESTABLECEN EN UN CASO Ó EN EL OTRO SON MUY DIFERENTES, LO PRIMERO QUE HAY QUE DEFINIR ES EL FUNCIONAMIENTO DEL ACUÍFERO EN ESTUDIO.

ACUIFERO LIBRE
 CONFINADO
 SEMICONFINADO
 DE LIBRE A CONFINADO

DEBE DEFINIRSE EL RÉGIMEN EN QUE SE ENCUENTRA.

REGIMEN PERMANENTE
 NO PERMANENTE

EN EL RÉGIMEN NO PERMANENTE EL DESCENSO DE NIVELES PROSEGUIRÁ CON EL TIEMPO Y FACILITARÁ EL ABATIMIENTO.

SE DEBEN ESTABLECER:

LIMITES DEL ACUIFERO

B A S E

ESTRATOS ACUIFEROS
ESPESORES
CAPAS CONFINANTES

CUANDO ES EVIDENTE LA EXISTENCIA DE BARRERAS, IMPERMEABLES O DE RECARGA, COMO PUEDE SER UN RÍO PERMANENTE, SE DEBEN HACER LAS CONSIDERACIONES NECESARIAS, YA QUE ESTABLECE LAS CURVAS DE ABATIMIENTO EN UN PUNTO FIJO CUANDO SE TRATA DE UNA RECARGA O DUPLICA LOS ABATIMIENTOS EN EL CASO DE SER BARRERA IMPERMEABLE, EN AMBOS CASOS ES NECESARIO APLICAR FORMULACIONES DIFERENTES Y QUE CORRESPONDEN A LA TEORÍA DE LAS IMÁGENES.

MOVIMIENTO DEL AGUA SUBTERRANEA

GENERALIDADES

EL AGUA EN SU ESTADO NATURAL ESTÁ INVARIABLEMENTE EN MOVIMIENTO; EL CUAL ESTÁ GOBERNADO POR PRINCIPIOS HIDRÁULICOS ESTABLECIDOS. EL FLUJO A TRAVÉS DE ACUÍFEROS CON UNA POROSIDAD NATURAL PROMEDIO, PUEDE SER ESTIMADO UTILIZANDO LA LEY DE DARCY.

LA PERMEABILIDAD QUE ES UNA MEDIDA DE LA FACILIDAD DEL FLUJO A TRAVÉS DE LA FORMACIÓN Y ES UNA CONSTANTE MUY IMPORTANTE EN LA ECUACIÓN DEL FLUJO. LA PERMEABILIDAD PUEDE SER DETERMINADA EN EL LABORATORIO O EN PRUEBAS DE CAMPO. SE PUEDE OBTENER INFORMACIÓN ADICIONAL AL MOVIMIENTO DEL AGUA AGREGANDO SUBTANCIAS QUE TRACEN EL MOVIMIENTO. DE LA LEY DE DARCY Y LAS ECUACIONES DE CONTINUIDAD PUEDEN DETERMINARSE LAS ECUACIONES DE FLUJO SUBTERRÁNEO.

LEY DE DARCY

EN EL AÑO DE 1856 REPORTÓ LOS RESULTADOS DE SUS TRABAJOS REALIZADOS SOBRE EL FLUJO DE AGUA A TRAVÉS DE CAPAS HORIZONTALES DE ARENAS QUE TENÍAN COMO FINALIDAD EL FILTRAR AGUA, CONCLUYENDO QUE LOS EXPERIMENTOS LLEVADOS A CABO DEMOSTRABAN POSITIVAMENTE QUE EL GASTO DE AGUA QUE PASA A TRAVÉS DE UNA CAPA DE ARENA DE UNA NATURALEZA DETERMINADA, ERA DIRECTAMENTE PROPORCIONAL AL ÁREA A DE LA SUPERFICIE NORMAL AL ESCURRIMIENTO Y A LA DIFEREN

-CIA $H_0 - H$ ENTRE CARGAS DE FLUÍDO EN LAS CARAS DE ENTRADA

LO QUE EXPRESADO EN TÉRMINOS GENERALES QUEDA:

$$Q = KA \frac{h}{s}$$

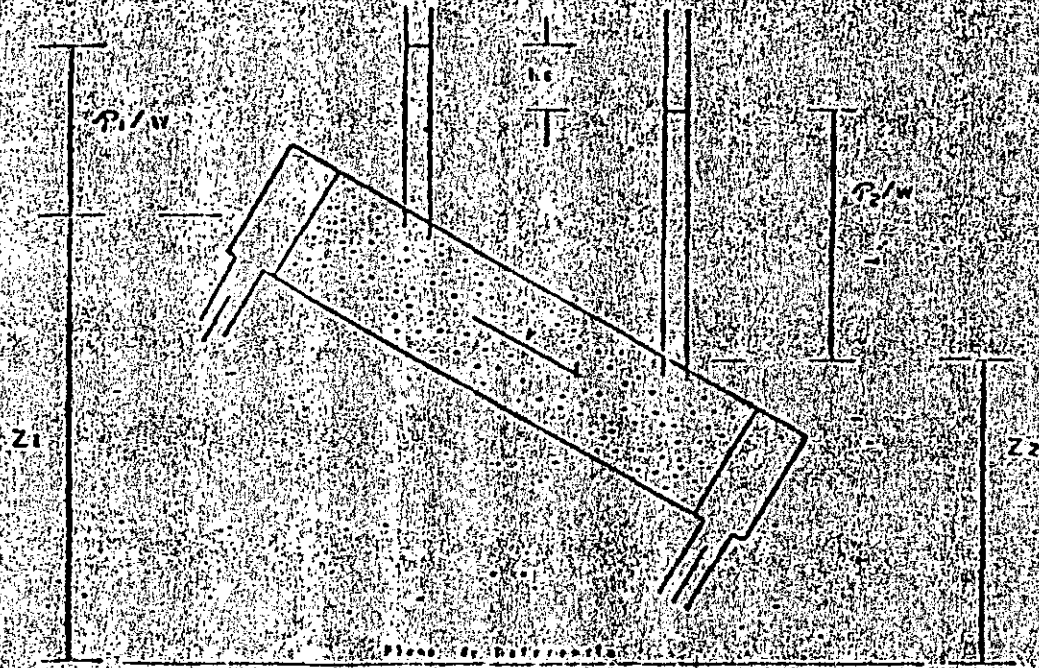
Y EN TÉRMINOS GENERALES:

$$Q = KA \frac{dh}{ds} \quad (\text{LEY DE DARCY})$$

$$Y \quad V = K \frac{dh}{ds} = Ki$$

DÓNDE $\frac{dh}{ds}$ ES EL GRADIENTE HIDRÁULICO (i), ÉSTA ÚLTIMA ECUACIÓN ES LA FORMA MÁS SIMPLE DE LA LEY DE DARCY, LA QUE POR SER DECRECIENTE ALGUNOS AUTORES LA PRESENTAN ANTECEDIENDOLA DEL SIG NO MENOS.

LA VERIFICACIÓN EXPERIMENTAL DE LA LEY DE DARCY PUEDE SER REALIZADA CON UN GASTO QUE A TRAVÉS DE UN CILINDRO U OTRA SECCIÓN TRANSVERSAL EMPACADA CON ARENA Y CON PIEZÓMETROS A UNA DISTANCIA S COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA.



LA ECUACIÓN DE EQUILIBRIO EN LOS PUNTOS DE LECTURA PIEZOMÉTRICA SERÁN SEGÚN LA ECUACIÓN DE BERNOULLI:

$$\frac{P_1}{\omega} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\omega} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 + h_s$$

DONDE P ES LA PRESIÓN EN LOS PUNTOS, ω ES EL PESO ESPECÍFICO DEL AGUA, $\frac{v^2}{2g}$ LA CARGA DE VELOCIDAD, Z LA CARGA DE POSICIÓN Y LA h_s LA SUMA DE PÉRDIDAS DE CARGA EN EL RECORRIDO ENTRE LOS PUNTOS 1 Y 2. EN VISTA DE QUE EN MATERIALES DE POROSIDAD MEDIA LA VELOCIDAD ES BAJA, LAS CARGAS DE VELOCIDAD PUEDEN DESPRECIARSE SIN INCURRIR EN UN ERROR APRECIABLE QUEDANDO COMO SIGUE:

$$h_s = \left(\frac{P_1}{\omega} + Z_1 \right) - \left(\frac{P_2}{\omega} + Z_2 \right)$$

POR LO QUE LA PÉRDIDA DE CARGA ES LA PÉRDIDA DE POTENCIAL DENTRO DEL CILINDRO DE ARENA DEBIDA A PÉRDIDAS DE FRICCIÓN, ENERGÍA QUE SE DISIPA EN FORMA DE CALOR SIENDO ÉSTO INDEPENDIENTE DE LA PENDIENTE QUE SE TENGA EN EL CILINDRO. LAS EXPERIENCIAS DE DARCY MUESTRAN QUE EL Q ES DIRECTAMENTE PROPORCIONAL A LA hs O INVERSAMENTE PROPORCIONAL A LA DISTANCIA RECORRIDA S.

INTRODUCIENDO UNA CONSTANTE DE PROPORCIONALIDAD K TENEMOS:

$$Q = KA \frac{hs}{S}$$

QUE EXPRESADA EN TÉRMINOS GENERALES NOS DA: $Q = KA \frac{dh}{ds}$

O EN FORMA MÁS SIMPLE: $K \frac{dh}{ds}$

DONDE $\frac{dh}{ds}$ ES IGUAL AL GRADIENTE HIDRÁULICO

POR LO QUE: $v = ki$

LA VELOCIDAD DE FLUJO ES IGUAL AL PRODUCTO DE LA CONSTANTE K, CONOCIDA COMO EL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD, POR EL GRADIENTE HIDRÁULICO, LA VELOCIDAD ES DEFINIDA POR EL COCIENTE OBTENIDO AL DIVIDIR EL Q DE DESCARGA ENTRE LA SECCIÓN TRANSVERSAL -- DEL ÁREA QUE ESTÁ DRENANDO, ÉSTAS LECTURAS PUEDEN TENER VARIACIONES ALREDEDOR DE UNA MEDIA. DEBE HACERSE NOTAR QUE EL FLUJO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS SE VERIFICA DE ACUERDO AL GRADIENTE HIDRÁULICO.

ES COMÚN QUE SE MALINTERPRETE LA LEY DE DARCY Y SE CONSIDERE -- QUE PUEDE APLICARSE TANTO A FLUJO SUJETO A BAJA COMO A ALTA --

PRESIÓN, PARA FLUJO HORIZONTAL CUANDO $Z_1 = Z_2$ PUEDE SER APLICADO, PERO EN UN FLUJO INCLINADO DONDE EL FLUJO SE ESTABLECE HACIA LOS PUNTOS DE MAYOR PRESIÓN EXISTEN VARIACIONES.

RANGO DE VALIDEZ DE LA LEY DE DARCY. - EN UNA ROCA DE INTERSTICIOS PEQUEÑOS, LAS FISURAS PUEDEN SER COMPARADAS A TUBOS CAPILARES IRREGULARES SINUOSOS, DE GRAN LONGITUD Y LA VELOCIDAD DE FILTRACIÓN DEPENDE DE LA PÉRDIDA DE CARGA PROVOCADA POR LA CAPILARIDAD Y LA NATURALEZA MÁS O MENOS RUGOSA DE LOS POROS.

CON LA APLICACIÓN DE LA LEY DE FILTRACIÓN DE POISEVILLE (FRANCIA) PARA LAS ARENAS, SE TIENE:

$$v = \frac{KH}{L} = ki$$

EN DONDE

V = VELOCIDAD DE FILTRACIÓN

H = PÉRDIDA DE CARGA ENTRE LAS DOS EXTREMIDADES DE FILTRO.

L = LONGITUD O ESPESOR DE LA MUESTRA

i = PÉRDIDA DE CARGA POR UNIDAD DE LONGITUD DEL FILTRO, O SEA EL GRADIENTE HIDRÁULICO.

K = COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD QUE DEPENDE DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO: LA VELOCIDAD DE FILTRACIÓN PARA UN GRADIENTE IGUAL A LA UNIDAD (CM/SEG. EN LABORATORIO Y M./SEG. SOBRE EL TERRENO).

PARA UN ESCURRIMIENTO LAMINAR EN UNA FORMACIÓN CON POROSIDAD MEDIASE PUEDE DECIR QUE LA LEY DE DARCY PUEDE APLICARSE DE MA-

-NERA EFECTIVA. EN EL CASO CONTRARIO DE GRANDES FISURAS EXISTE UN ESCURRIMIENTO TURBULENTO Y LA LEY DE DARCY NO ES APLICABLE.

EN EL CAMPO, LOS VALORES DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD SON SUMAMENTE ALTOS; DE 10^{-1} CM/SEG. PARA LAS ARENAS GRUESAS, HASTA 10^{-10} CM/SEG. EN LOS LIMOS ARCILLOSOS, POR ESTO SE DEBE TENER EN CUENTA EL ORDEN DE MAGNITUD DE ESTE COEFICIENTE MÁS -- QUE SU VALOR REAL. POR EJEMPLO: 30 A 50% DE VARIACIONES EN UNA MEDIDA NO AFECTA EL ORDEN DE MAGNITUD DE PERMEABILIDAD DE UNA ROCA, UNA VARIACIÓN ARRIBA DEL 200% YA ES NOTABLE.

MEDICION DE LA PERMEABILIDAD

EL COEFICIENTE K DEPENDE DE VARIOS FACTORES:

- A) DE LA FORMA DEL MATERIAL
- B) DEL TAMAÑO DE LOS ELEMENTOS DEL SUELO Y SU GRANULOMETRÍA.
- C) DE LA CONSTITUCIÓN PETROGRÁFICA
- D) DE LA ESTRUCTURA O ACOMODO
- E) DE LA TEMPERATURA

LOS MÉTODOS DE MEDICIÓN QUE SE CONOCEN, SON DE DOS CLASES:

- A) EN EL LABORATORIO, CON FORMULAS RELACIONADAS CON LA GRANULOMETRÍA O DIRECTAMENTE CON LOS PERMEÁMETROS, (DERIVADOS DEL APARATO DE DARCY) DE CARGA CONSTANTE O VARIABLE.
- B) EN EL CAMPO CON PROCEDIMIENTOS DE INYECCIÓN DE AGUA CON CARGAS CONSTANTES O VARIABLES Y CON PRUEBAS DE BOMBEO, UTILIZANDO LOS PROCEDIMIENTOS LUGEON Y LEFRANC.

EL MÉTODO LUGEON SE UTILIZA EN ROCAS APLICANDO PRESIONES VARIABLES ASCENDENTES Y DESCENDENTES Y MIDiendo LOS VOLÚMENES QUE TOMA LA FORMACIÓN EN LAPROS DETERMINADOS DE TIEMPO, EN UNIDADES LUGEON.

EL MÉTODO LEFRANC SE UTILIZA PARA ENSAYOS INSITU DE ROCAS GRANULARES O ALTERADAS Y MATERIALES POCO O NO CONSOLIDADOS, CON CARGA VARIABLE, MIDiendo EL ABATIMIENTO EN INTERVALOS DE TIEMPO CONSTANTE Y CON CARGA CONSTANTE MIDiendo EL GASTO TOMADO EN LAPROS DE TIEMPO CONSTANTE.

EL MÉTODO MÁS CONFIABLE PARA ESTIMAR LA PERMEABILIDAD DE UN ACUÍFERO ES EL DE PRUEBAS DE BOMBEO QUE ESTÁ BASADO EN LOS ABATIMIENTOS OBSERVADOS DURANTE EL BOMBEO Y LA RECUPERACIÓN DE LOS NIVELES UNA VEZ SUSPENDIDO ÉSTE, CON LOS DATOS QUE SE TOMAN SE PUEDE OBTENER LA PERMEABILIDAD REPRESENTATIVA DEL ACUÍFERO ATRAVEZADO.

DEBIDO A QUE LA FORMACIÓN NO ES ALTERADA O NO REPRESENTATIVA -
COMO SUELE SUCEDER EN EL CASO DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO, -
POR LO TANTO, LA DETERMINACIÓN DE ÉSTA FORMA ES MAS PRECISA, -
AUNQUE LA DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD A TRAVÉS DE LOS --
OTROS MÉTODOS DE CAMPO O LABORATORIO ES MÁS ECONÓMICA.

CAPTACIONES DE AGUA SUBTERRANEA

DESCRIPCION

LAS OBRAS QUE SE REALIZAN PARA CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS
NOS PERMITEN EXTRAER EL AGUA CONTENIDA EN UN ACUÍFERO, YA SEA
POR GRAVEDAD, BOMBEO O POR CUALQUIER OTRO MEDIO DE ELEVACIÓN,
EN EL CASO DE POZOS DE RECARGA O DE ABSORCIÓN PODEMOS CONSIDERAR
QUE REALIZAN LA FUNCIÓN OPUESTA.

TIPOS DE CAPTACIONES SUBTERRANEAS

CAPTACIONES NATURALES. EN ESTE TIPO TENEMOS LOS MANANTIALES,
LOS RÍOS CUANDO ACTUAN COMO DESCARGA DE ACUÍFEROS O COMO CANALES
DE RECARGA, LAGOS O LAGUNAS CONECTADAS DIRECTAMENTE AL ACUÍFERO.

CAPTACIONES ARTIFICIALES. LA MÁS COMÚN DE ESTE TIPO ES LA VER
TICAL A TRAVÉS DE UN POZO, AUNQUE TAMBIÉN EXISTEN OTRAS DE INTERÉS
COMO GALERÍAS FILTRANTES Y DRENES.

HIDRAULICA DE LAS CAPTACIONES

PARÁMETROS DE LOS ACUÍFEROS. PERMEABILIDAD (K) SE DEFINE COMO LA MEDIDA DE LA FACILIDAD DEL FLUJO A TRAVÉS DE LA FORMACIÓN.

CUANDO SE HABLA DE PERMEABILIDAD SE ENTIENDE QUE NOS REFERIMOS A AQUELLA QUE QUEDA DENTRO DEL RANGO DE VALIDEZ DE LA LEY DE Darcy (RÉGIMEN LAMINAR).

LA PERMEABILIDAD PUEDE SER HORIZONTAL k_h Y VERTICAL k_v Y SE EXPRESA EN M/DÍA, CM/SEG.

TRANSMISIVIDAD O TRANSMISIBILIDAD (T). ES LA CAPACIDAD DE UN MEDIO, EN ESTE CASO LA FORMACIÓN GEOLÓGICA DE QUE SE TRATE, PARA TRANSMITIR AGUA. ES EL PRODUCTO DE LA PERMEABILIDAD POR EL ESPESOR DEL ACUÍFERO $T = k \cdot b$, SI LA PERMEABILIDAD VARÍA T SERÁ LA INTEGRAL DE k/d_b DE 0 A b , SE EXPRESA EN M²/DÍA Ó CM²/SEG.

POROSIDAD EFICAZ (m_e). ES EL VOLÚMEN DE AGUA QUE SE OBTIENE POR DRENAJE GRAVITACIONAL DE UN MATERIAL PREVIAMENTE SATURADO, EN RELACIÓN CON EL VOLÚMEN DE LA MUESTRÁ, ES ADIMENSIONAL Y NO DEBE CONFUNDIRSE CON LA POROSIDAD TOTAL.

COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO (S). ES EL VOLÚMEN DE AGUA LIBERADO POR UNA COLUMNA DE ACUÍFERO DE ALTURA IGUAL AL ESPESOR DEL MISMO Y DE SECCIÓN UNITARIA AL DISMINUIR LA PRESIÓN EN UNA

UNIDAD, EN ACUÍFEROS LIBRES COINCIDE CON LA POROSIDAD EFICAZ Y SU VALOR PUEDE OSCILAR ENTRE 0.01 A 0.4. EN ACUÍFEROS CAUTIVOS EL VALOR TIENE MENORES ÓRDENES DE MAGNITUD Y SE ENCUENTRA GENERALMENTE ENTRE 10^{-3} Y 10^{-5} , ES ADIMENSIONAL.

FACTOR DE GOTEO (B). ES UTILIZADO EN EL CASO DE LOS ACUÍFEROS SEMICONFINADOS Y SE EXPRESA CON LA SIGUIENTE ECUACIÓN.

$$B = \frac{k - b}{k'/b'} = \frac{T}{k'/b'} = \frac{T}{c}$$

EN GENERAL SE EXPRESA EN METROS O EN CENTÍMETROS Y HABRÁ QUE ADECUAR ÉSTO A LAS UNIDADES USADAS.

COEFICIENTE DE GOTEO (C)

$$C = k' / b'$$

SIRVE PARA VALORIZAR LA RECARGA DEL ACUITARDO SEMICONFINANTE Y LA RECARGA ES PROPORCIONAL AL COEFICIENTE DE GOTEO Y A LA DIFERENCIA DE NIVELES PIEZOMÉTRICOS DE LOS DOS ACUÍFEROS.

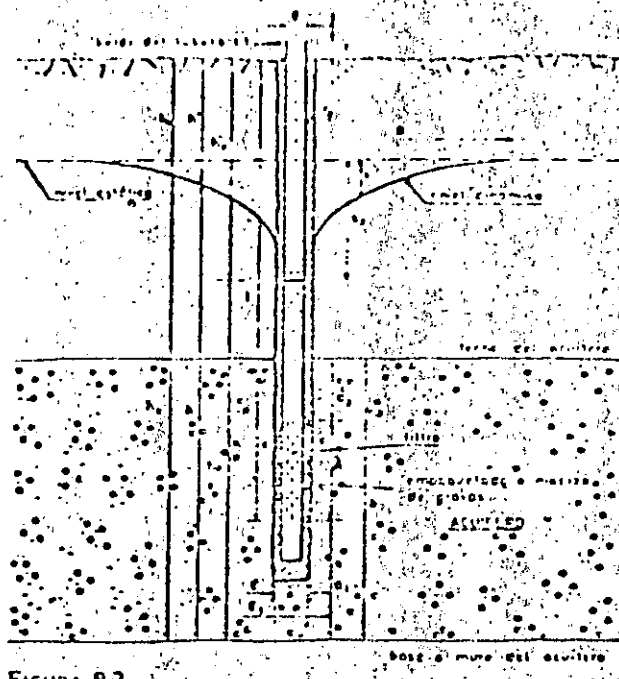


FIGURA 92
Magnitudes características de un pozo y de un bombeo de un pozo.

- r_p = RADIO DEL POZO
- R = RADIO DE INFLUENCIA
- H = ALTURA DEL AGUA SOBRE LA BASE DEL ACUÍFERO
- H_0 = ALTURA DEL AGUA ANTES DEL BOMBEO
- p = $H_0 - H$ = DESCENSO (ASCENSO EN CASO DE RECARGA)
- p = DESCENSO EN EL POZO
- h_0 = NIVEL PIEZOMÉTRICO INICIAL
- h = NIVEL PIEZOMÉTRICO EN UN PUNTO
- ϕ = DIÁMETRO DEL ADEME
- ϕ_p = DIÁMETRO DEL POZO
- h_0 = ALTURA DEL TERRENO NATURAL SOBRE EL NIVEL PIEZOMÉTRICO INICIAL.
- h = ALTURA DEL T.N. SOBRE EL NIVEL PIEZOMÉTRICO EN UN PUNTO
- h_p = ALTURA DEL T.N. SOBRE EL NIVEL PIEZOMÉTRICO EN EL POZO

λ = LONGITUD FILTRANTE

a_1 = DISTANCIA DE LA PARTE INFERIOR DE LA PARTE FILTRANTE A LA BASE DEL ACUÍFERO.

a_2 = DISTANCIA DE LA PARTE SUPERIOR DE LA PARTE FILTRANTE AL TECHO DEL ACUÍFERO Ó A LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA.

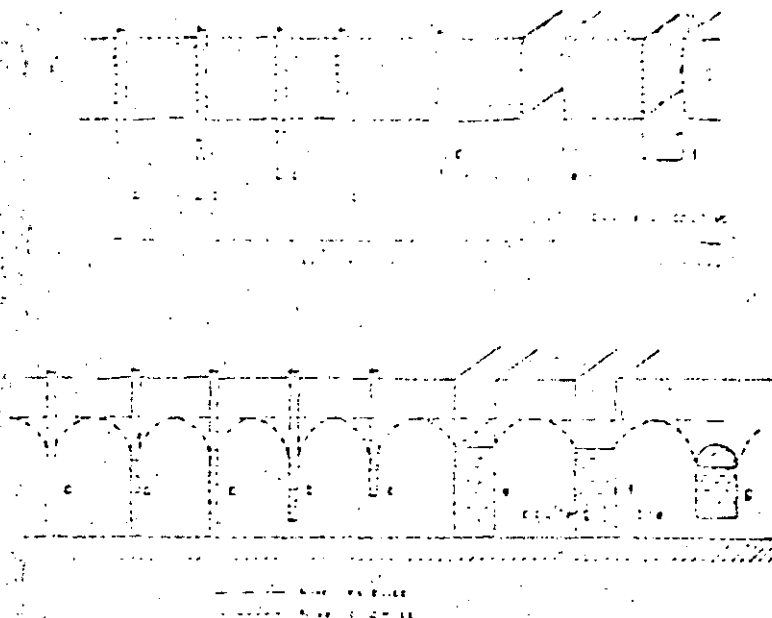


FIGURA 9.3
 Clasificación de los pozos de acuerdo a su penetración: a) Pozo totalmente penetrante; b) Pozo parcialmente penetrante; c) Pozo no totalmente penetrante; d) Pozo cónico en el fondo; e) Pozo totalmente penetrante; f) Pozo parcialmente penetrante; g) Galería o dren; h) Pozo no totalmente penetrante.

- l = Profundidad útil del pozo. Distancia desde la superficie del terreno hasta la parte más baja de la zona filtrante o hasta por donde penetra el agua.
- H, h = Nivel de agua en el pozo en funcionamiento. Distancia desde la base del acuífero hasta el nivel del agua. El nivel antes del bombeo se representa por H_0, h_0 y el nivel en el pozo durante el bombeo por H_p, h_p .

En ocasiones es conveniente referir los niveles del agua a la superficie del terreno. En este caso se empleará la misma simbología añadiendo previamente dicho cambio de referencia.

* Los valores en mayúsculas se refieren para el acuífero libre y a profundidades también expresadas en metros. Los valores en minúsculas se refieren para acuíferos artesianos y se refieren desde la base de los mismos. Los valores en mayúsculas y minúsculas se refieren a los niveles de agua en el pozo en funcionamiento.

* Si se toma como punto de referencia el fondo del pozo (l) u otro punto cualquiera e interior del pozo, el nivel del agua en el pozo durante el bombeo será el mismo (H).

- s = Descenso del nivel del agua: $s = h_0 - h_p$ o $H_0 - H_p$.
- s₁ = Descenso del agua en el pozo: $s_1 = h_0 - h_p$ o $H_0 - H_p$.
- λ = Longitud de la zona filtrante. Longitud de la zona útil de penetración del agua en la explotación. La magnitud λ se refiere a la distancia de la parte inferior de la zona filtrante útil a la base del acuífero y la magnitud λ_1 a la distancia de la parte superior de la zona filtrante útil al techo del acuífero o al nivel freático del agua en los acuíferos libres.
- b = Espesor del acuífero. En el caso de acuífero libre, se considera igual al espesor saturado y por lo tanto $b = H$.
- r y r_e = Diámetro del pozo y radio del pozo. Se entiende generalmente por radio el que corresponden a la empuñadura y en su defecto los de perforación. En ocasiones también se entenderá por r, lo que se definirá más adelante como radio efectivo del pozo (capítulos 9.2 y 9.3).
- R = Radio de influencia del pozo. Distancia a partir de la cual se consideran nulos los descensos producidos por el bombeo en el pozo. En general es un concepto matemático que se especificará en los capítulos 9.2 y 9.3.
- δ = Longitud relativa de la zona filtrante. Es el cociente entre su longitud y el espesor del acuífero $\delta = \lambda/b$.
- c = Excentricidad relativa de la zona filtrante. Expresa la posición de la zona filtrante en el acuífero:
$$c = \frac{a_1 - a_2}{2b}$$
- 2r_p = Esbeltez de la zona filtrante. Expresa la relación entre la longitud de la zona filtrante y su diámetro.

Se dice que un pozo es totalmente penetrante o completo (fig. 9.3 a) cuando su zona filtrante cubra la totalidad del espesor del acuífero. Si sólo alcanza una parte del acuífero el pozo se llamará incompleto (figura 9.3 b y c). Si el pozo es incompleto pero su zona filtrante se inicia en el techo o en la base del mismo el pozo se llama por razones obvias parcialmente penetrante.

* El radio de influencia matemático a veces puede ser mayor que el real y este último depende de la permeabilidad del terreno y de las condiciones de flujo de agua.

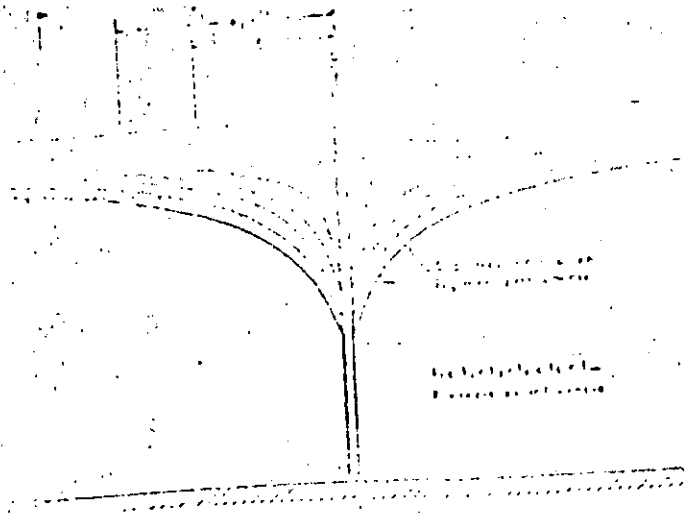
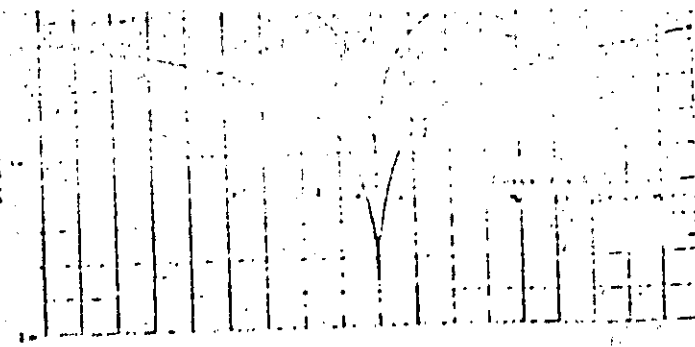


FIGURA 9.5
Formación del cono de descenso.



Caso	Coeficiente de almacenamiento	Coeficiente de transmisibilidad	Profundidad del cono de descenso	Extensión del cono de descenso
A	1	0.5	5.1	35
	2	0.5	1.23	35
B	1	0.5	8.1	35
	2	0.52	2.1	35

FIGURA 9.6
Efecto de la variación de las características del acuífero en la profundidad y extensión del embudo de descenso. Con el mismo tiempo de bombeo al disminuir el coeficiente de almacenamiento el cono se hace más profundo y mucho más extenso. Al aumentar la transmisibilidad el cono de descenso es mucho menos profundo, pero más extenso.

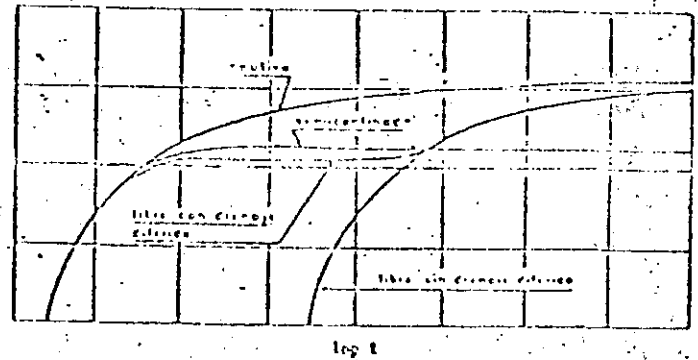


FIGURA 9.7
Gráfico de descensos (s) en función del tiempo (t) en diferentes tipos de acuífero, observados en un piezómetro a distancia fija de un pozo de iguales características y con la misma transmisibilidad T.

Las denominaciones permanente, estacionario y estable se tomarán como equivalentes, así como también los de variable, no estacionario y no permanente. Un acuífero en explotación está en régimen dinámico. El cono puede ser permanente o no permanente de acuerdo a la recarga igual o no al acuífero explotado.

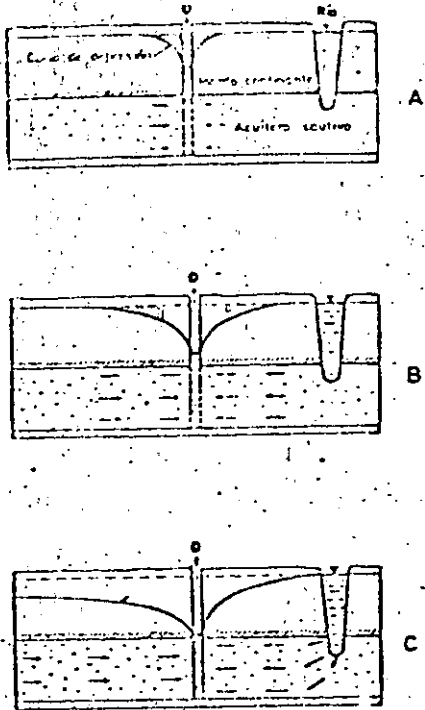


FIGURA 9.8

Evolución de los niveles piezométricos en un pozo próximo a un río.

- A) Cono de depresión al poco tiempo de iniciarse el bombeo. El régimen es no permanente.
- B) Cono de depresión en el momento de alcanzar al río e iniciarse la recarga inducida. El régimen es aún no permanente.
- C) Cono de depresión estabilizado. Régimen permanente. Todo el caudal del pozo es suministrado por el río (recarga inducida).

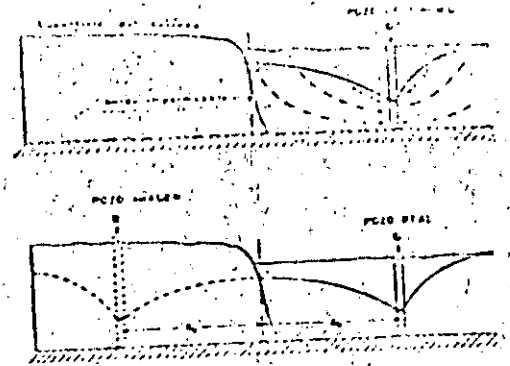
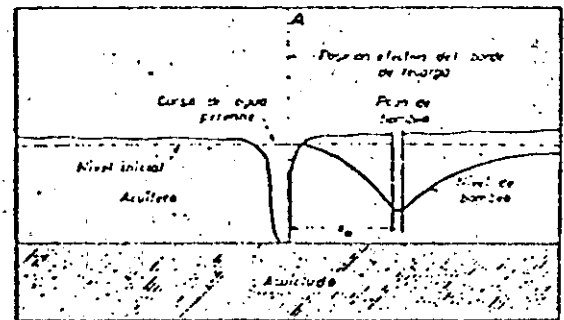


FIGURA 9.61

Efecto de un borde impermeable. Pozo imagen.



Esquema real

Esquema ideal

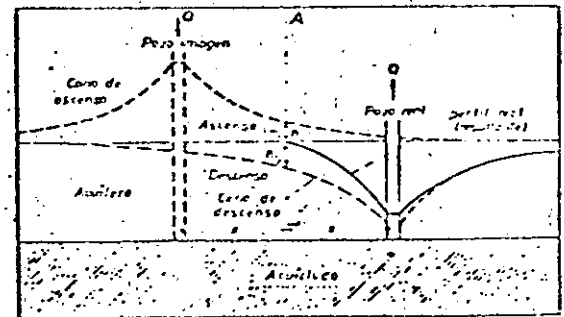


FIGURA 9.56

Efecto de un borde de recarga sobre un pozo de bombeo. Aparición del pozo imagen.

FORMULAS ELEMENTALES DE POZOS COMPLETOS A CAUDAL CONSTANTE

CONCEPTOS BÁSICOS

SE TRATA DE FORMULAS QUE SUPONEN LA EXISTENCIA DE LAS SIGUIENTES CONDICIONES.

SE TRATA DE UN ACUÍFERO INFINITO Y DE UN POZO EN EL CENTRO DE UNA ISLA CIRCULAR.

SE SUPONE EL CUMPLIMIENTO DE LAS SIGUIENTES CONDICIONES:

- 1) EL ACUÍFERO ES HOMOGÉNEO E ISOTROPO, EL AGUA ES DE DENSIDAD CONSTANTE
- 2) EL ESPESOR DEL ACUÍFERO ES CONSTANTE Y SU BASE ES HORIZONTAL.
- 3) NO EXISTE FLUJO NATURAL
- 4) QUE EL FLUJO ES RADIAL Y HORIZONTAL
- 5) QUE SE CUMPLEN EN TODO EL TIEMPO LAS CONDICIONES DE VALIDEZ DE LA LEY DE DARCY.
- 6) EL COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO ES CONSTANTE EN EL ESPACIO Y EN EL TIEMPO Y QUE EN EL CASO DE ACUÍFEROS CAUTIVOS Y SEMICONFINADOS NUNCA PASARÁN A FUNCIONAR COMO LIBRES.
- 7) QUE EL AGUA LIBERADA DEL ALMACENAMIENTO APARECE SIMULTÁNEAMENTE Y PROPORCIONAL A LA DISMINUCIÓN DEL NIVEL PIEZOMÉTRICO.

- 8) QUE EL ACUÍFERO ES DE EXTENSIÓN INFINITA Y QUE EN EL MISMO NO EXISTEN OTRAS CAPTACIONES DE AGUA SUBTERRÁNEA Y QUE EL DESCENSO EN EL INFINITO ES CERO.
- 9) QUE EL POZO ES COMPLETO
- 10) EL RÉGIMEN VARIABLE SE ADMITE QUE EL RADIO DEL POZO ES SUFICIENTEMENTE PEQUEÑO Y ADEMÁS QUE LA VARIACIÓN DEL VOLUMEN ALMACENADO EN EL MISMO NO INFLUYE EN EL CAUDAL DE BOMBEO.
- 11) QUE NO EXISTE PÉRDIDA DE CARGA DE PENETRACIÓN DEL AGUA EN EL POZO.
- 12) QUE EL CAUDAL DE BOMBEO ES CONSTANTE.

TODOS LOS SUPUESTOS ANTERIORES EN LA PRÁCTICA SON ADMISIBLES CUANDO EXISTEN DESVIACIONES PEQUEÑAS.

EL ORIGEN DEL TIEMPO ES EL MOMENTO DE INICIO DEL BOMBEO Y EL ORIGEN DE DISTANCIAS HORIZONTALES ES EL EJE DEL POZO, LA BASE DEL ACUÍFERO ES EL NIVEL CERO DE NIVELES PIEZOMÉTRICOS.

POZO EN UN ACUÍFERO CAUTIVO Y RÉGIMEN PERMANENTE

SE SUPONE QUE NO SE RECIBE NINGUNA APORTACIÓN A LA RECARGA A TRAVÉS DE LOS NIVELES CONFINANTES.

SE CONSIDERA QUE SE CUMPLEN TODAS LAS HIPÓTESIS YA SEÑALADAS.

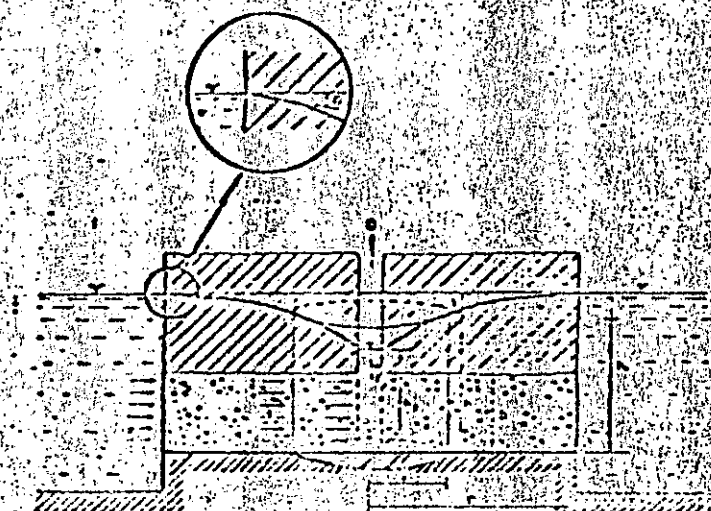


FIGURA 9.10

Pozo en acuífero cautivo en el centro de una isla circular.

$$\begin{aligned} \text{FLUJO} &= \text{PERÍMETRO} \cdot \text{TRANSMISIVIDAD} \cdot \text{GRADIENTE} \\ &= \text{CAUDAL DEL POZO} \end{aligned}$$

$$\text{FLUJO} = 2\pi r \cdot T \cdot \frac{dh}{dr} = Q$$

SIENDO

r = RADIO DEL CILINDRO CONSIDERADO = DISTANCIA RADIAL AL EJE DEL POZO

h = NIVEL PIEZOMÉTRICO CORRESPONDIENTE AL CILINDRO CONSIDERADO.

T = TRANSMISIVIDAD

Q = CAUDAL EXTRAIDO

RESOLVIENDO LA ECUACIÓN SE TIENE

$$dh = \frac{Q}{2\pi T} \frac{dr}{r}$$

$$h = \frac{Q}{2\pi T} \ln r + A \quad A = \text{Constante}$$

RESOLVIENDO LA ECUACIÓN PARA h_1 Y r_1 Y RESTANDO LAS ECUACIONES SE ELIMINA LA CONSTANTE A Y SE TIENE QUE:

$$h_1 - h = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{r_1}{r} \quad \text{FORMULA DE THIEM (1906)}$$

LA CAUDAL PERMITE DETERMINAR LA FORMA DE LA SUPERFICIE PIEZOMETRICA CONOCIDA SU POSICIÓN EN UN PUNTO A UN CAUDAL DETERMINADO

SI COLOCAMOS EL POZO EN EL CENTRO DE LA ISLA Y SUBSTITUIMOS EL PUNTO 1 POR LAS CONDICIONES DE CONTORNO TENEMOS QUE:

h_0 ES EL NIVEL CONSTANTE DEL AGUA LIBRE EN EL EXTREMO DE LA ISLA Y QUE:

R = ES EL RADIO DE LA ISLA.

LLEGAMOS A:

$$h_0 - h = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{R}{r} \quad (1)$$

SIENDO s EL DESCENSO YA QUE h_0 ES EL NIVEL PIEZOMÉTRICO INICIAL.

R ES EL RADIO DE INFLUENCIA

EN EL CASO DE LA ISLA EXISTE FLUJO EN EL BORDE, EN UN ACUÍFERO CAUTIVO.

$$h_1 - h = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{r_1}{r} \quad (\text{FORMULA DE THIEM 1906})$$

LA CUAL PERMITE DETERMINAR LA FORMA DE LA SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA CONOCIDA SU POSICIÓN EN UN PUNTO A UN CAUDAL DETERMINADO.

SI COLOCAMOS EL POZO EN EL CENTRO DE LA ISLA Y SUBSTITUIMOS EL PUNTO 1 POR LAS CONDICIONES DE CONTORNO TENEMOS QUE:

h_0 ES EL NIVEL CONSTANTE DEL AGUA LIBRE EN EL ESTREMO DE LA ISLA Y QUE:

R ES EL RADIO DE LA ISLA

LLEGAMOS A

$$h_0 - h = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{R}{r} \quad (1)$$

SIENDO s EL DESCENSO YA QUE NO ES EL NIVEL PIEZOMÉTRICO INICIAL.

R ES EL RADIO DE INFLUENCIA

EN EL CASO DE LA ISLA EXISTE FLUJO EN EL BORDE, EN UN ACUÍFERO CAUTIVO INFINITO AL NO EXISTIR RECARGA NO PUEDE ESTABLECERSE TEÓRICAMENTE EL RÉGIMEN PERMANENTE, PERO PARA FINES PRÁCTICOS CUANDO EL RADIO DE INFLUENCIA SE EXTIENDE LO SUFICIENTE SE ALCANZA UN RÉGIMEN CASI ESTACIONARIO.

$$h_0 - h_p = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{R}{r_p}$$

POZO EN UN ACUÍFERO CAUTIVO Y RÉGIMEN NO PERMANENTE. CONSIDERANDO QUE EN EL INFINITO DEL ACUÍFERO NO SE PRODUCE DESCENSO ALGUNO, TENEMOS QUE $h = h_0$ PARA $r = \infty$ SIENDO h_0 EL NIVEL PIEZOMÉTRICO INICIAL.

TENEMOS ENTONCES QUE

$$\lim_{r \rightarrow \infty} 2\pi r T \frac{\partial h}{\partial r} = Q$$

SE SUPONE QUE EL ALMACENAMIENTO EN EL POZO ES DESPRECIABLE ASÍ COMO EL DESCENSO GENERADO EN SU NIVEL INTERIOR A CONSECUENCIA DEL DESCENSO REGIONAL DE NIVEL Y QUE $h = h_0$ PARA CUALQUIER TIEMPO ANTERIOR AL INICIO DEL BOMBEO, LA RESOLUCIÓN DE LA ECUACIÓN DIFERENCIAL CONDUCE A

$$h_0 - h = s = \frac{Q}{4\pi T} w(u) \quad \text{FORMULA DE THEIS (1935)}$$

SIENDO:

$$W(u) = \int_0^{\infty} \frac{e^{-x}}{x} dx \quad \text{con } u = \frac{r^2 S}{4 T t}$$

FUNCIÓN TABULADA Y GRAFICADA QUE PRESENTAMOS A CONTINUACIÓN:

Y QUE PUEDE SER UTILIZADA PARA ENCONTRAR SU VALOR POR EL MÉTODO DE COINCIDENCIA.

u	$W(u)$	u	$W(u)$
10^{-11}	34	10^{-2}	15
10^{-10}	31,6	10^{-1}	13
10^{-9}	29,3	10^{-2}	10
10^{-8}	27,0	10^{-1}	8
10^{-7}	24,7	10^{-2}	6
10^{-6}	22,4	10^{-1}	4
10^{-5}	20,1	10^{-1}	1
10^{-4}	17,8	1	0



FIGURA 5.12
Función de pozo en acuífero, $W(u)$, cautivo, en función de u . Curva tipo de Theis.

Cuando el valor de u es < 0.03 puede utilizarse la aproximación de Jacob

$$s = \frac{Q}{2.11 T} \ln \frac{2.2 T \cdot t}{b \cdot r}$$

que es idéntica a la fórmula de Thiem si se escribe

$$R = \frac{2.25 T \cdot t}{S}$$

$$R = 1.5 \frac{T \cdot t}{S}$$

donde se observa la variación del radio de influencia con el tiempo

Graficando tiempos contra abatimientos tendremos la siguiente gráfica:

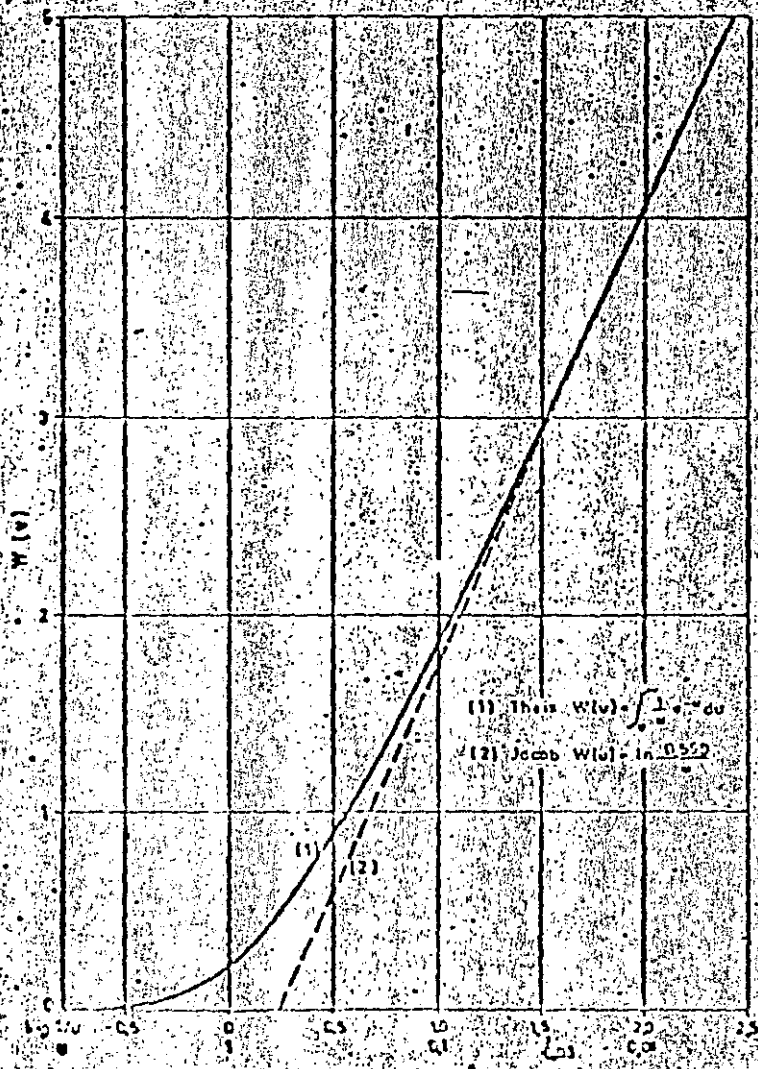


FIGURA 9.13
 Comparación de la fórmula de Thiem y de la aproximación de Jacob

GRÁFICA QUE NOS PERMITE CALCULAR LOS PARÁMETROS DEL ACUÍFERO A PARTIR DE LA PENDIENTE DE LA RECTA OBTENIDA DESPUÉS DE LA CURVA DE LA ZONA DE NO VALIDEZ DE LA APROXIMACIÓN DE JACOB.

EN ACUÍFEROS DE RÉGIMEN PERMANENTE.

TOMANDO EL VALOR DEL ABATIMIENTO EN UNA DÉCADA DE TIEMPOS.

(Δs)₁₀, SU VALOR NOS DARÁ

$$(\Delta s)_{10} = 0.366 \frac{Q}{T}$$

Y POR LO TANTO

$$T = 0.366 \frac{Q}{(\Delta s)_{10}}$$

LA APROXIMACIÓN DE JACOB ES VÁLIDA PARA OBSERVACIONES EN EL POZO O CERCA DEL POZO MISMO Y PARA TIEMPOS CORTOS.

POZOS EN ACUÍFEROS SEMICONFINADOS

FÓRMULA DE DE GLEE (JACOB-HANTUSH)

$$\Delta s = \frac{Q}{2\pi T} K_0(r/B)$$

SIENDO

$$B = \sqrt{\frac{T}{K' / b'}}$$

B = COEFICIENTE DE GOTEO

K' = PERMEABILIDAD DEL ACUÍTARDO

b' = ESPESOR DEL ACUÍTARDO

EN LAS PROXIMIDADES DEL POZO PUEDE ADMITIRSE QUE

$$s = \frac{I}{2 \pi T} \ln \frac{1,123 B}{r}$$

QUE ES VÁLIDA PARA $r/B < 0.1$ Y A EFECTOS PRÁCTICOS CON UN ERROR DEL 1% PARA $r/B < 0.33$

EN ESTA FÓRMULA VEMOS QUE CUANDO $R = 1,123 B$

ES IDÉNTICA A LA FÓRMULA DE THIEM SIENDO R INDEPENDIENTE -- DEL TIEMPO, HABIÉNDOSE POR LO TANTO, ESTABLECIDO UN RÉGIMEN -- ESTACIONARIO AUNQUE EN REALIDAD ÉSTO NO ES ESTRICAMENTE CIER TO, AUNQUE PARA FINES PRÁCTICOS PUEDE ADMITIRSE, DEBIDO A QUE $s = 0$ SÓLO CUANDO $r = R$, POR LAS CONDICIONES DE CONTORNO ESTABLECIDAS EN LA RESOLUCIÓN DE LA ECUACIÓN.

POZOS EN ACUÍFEROS LIBRES

FÓRMULA DE DUPUIT:

$$H_1^2 - H^2 = \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{r_1}{r}$$

SI h_1 ES IGUAL AL ESPESOR INICIAL H_0 , $r_1 = R$ Y TENEMOS QUÉ:

$$H_0^2 - H^2 = \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{R}{r}$$

$$R = 1.5 \sqrt{\frac{T t}{m}}$$

m = POROSIDAD EFICAZ

SI LOS DESCENSOS PROVOCADOS DURANTE EL BOMBEO DEL POZO SON PEQUEÑOS RESPECTO AL ESPESOR SATURADO O SEA SI $H_0 - H \ll H_0$ SE TENDRÁ QUE $H_0^2 - H^2 = (H_0 + H)(H_0 - H) = 2 H_0 \cdot \Delta$

LUEGO

$$\Delta = \frac{Q}{2\pi K \cdot H_0} \ln \frac{R}{r} = \frac{Q}{2\pi T_0} \ln \frac{R}{r}$$

EN LA FÓRMULA DE DUPUIT PARA

$H = H_p$ Y $r = r_p$ TENEMOS:

$$H_0^2 - H_p^2 = \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{R}{r_p}$$

FORMA QUE NOS DÁ LA SUPERFICIE TEÓRICA DENTRO DEL POZO AUNQUE NO LA SUPERFICIE REAL LIBRE DEL AGUA, LA QUE TENDRÁ DESVIACIONES GRANDES CERCA DEL POZO AUMENTADAS POR LA APARICIÓN DE LA SUPERFICIE DE GOTEÓ, HAY QUE HACER NOTAR QUE CON DESCENSOS PEQUEÑOS COMO SE INDICA EN LA APROXIMACIÓN LA CURVA PIEZOMÉTRICA COINCIDE CON LA SUPERFICIE TEÓRICA NO ASÍ CUANDO EL DESCENSO ES IMPORTANTE CON RESPECTO AL ESPESOR DEL ACUÍFERO.

JACOB EFECTUÓ LA SIGUIENTE CORRECCIÓN

CORRECCIÓN DE JACOB (1969)

QUE PERMITE TRATAR UN ACUÍFERO LIBRE COMO UN ACUÍFERO CAUTIVO
CON SÓLO CORREGIR LOS DESCENSOS LLEGANDO A

$$\frac{H_0^2 - H^2}{2 H_0} = \frac{\Delta^2}{2 H_0} = \Delta_c$$

SIENDO Δ_c EL DESCENSO CORREGIDO

CON LO QUE LA FÓRMULA DE DUPUIT SE TRANSFORMA A:

$$\Delta_c = \frac{Q}{2\pi K H_0} \ln \frac{R}{r} = \frac{Q}{2\pi T_0} \ln \frac{R}{r}$$

POZOS EN ACUÍFEROS CAUTIVOS EN RÉGIMEN NO PERMANENTE.

Fórmula de Theis

$$h_0 - h = s = \frac{Q}{4 \pi T} W(u)$$

$$W(u) = \int_u^\infty \frac{e^{-x}}{x} dx \quad \text{con} \quad u = \frac{r^2 S}{4 T t}$$

Aproximación de Jacob

para valores de u , pequeños ($u < 0.03$)

aunque basta con que $u < 0.1$

$$s = \frac{Q}{4 \pi T} \ln \frac{2.25 T t}{r^2 S}$$

esta aproximación puede asimilarse a

$$s = \frac{Q}{2 \pi T} \ln \sqrt{\frac{2.25 T t}{S r}}$$

Acuífero cautivo en
régimen no perma-
nente.

que comparada con la forma:

$$s = \frac{Q}{2 \pi T} \ln \frac{R}{r}$$

Acuífero cautivo en
régimen permanen-
te.

de donde vemos que, en el régimen no permanente, el valor de R es el siguiente:

$$R = \sqrt{\frac{2.25 T t}{S}}$$

$$R = \sqrt{\frac{T t}{S}}$$

Fórmula en la que se observa la variación del valor del radio de influencia — —
con respecto al tiempo y no solo de acuerdo a los valores de los parámetros — —
del acuífero, para fines prácticos, llega un momento en que su variación es — —
tan pequeña con respecto al tiempo, que podemos considerar que su valor coin — —
cide con el observado.

Pozos en acuíferos semiconfinados en régimen no permanente.

Fórmula de Hantush

$$s = \frac{Q}{4 \pi T} W \left(u, \frac{r}{B} \right)$$

$$W \left(u, \frac{r}{B} \right) = \int_u^{\infty} \frac{1}{y} \exp \left(-y - \frac{r^2}{4B^2y} \right) dy$$

$$u = \frac{r^2 S}{4 T t}$$

que es válida cuando

$$\frac{r_p}{B} < 0.1$$

y

$$t > 30 \frac{r_p^2 S}{T} \left[1 - \left(\frac{10 r_p}{B} \right)^2 \right]$$

Para bombeos cortos y en las proximidades del pozo bombeado, no es sensible el efecto del semiconfinamiento, por lo que puede usarse la fórmula de Theis - para el caso de acuíferos que reciben algo de recarga en puntos de observación no muy lejanos del pozo.

$$W(u, r/B) \approx W(u) \quad \text{si es} \quad u > \frac{wr}{B}$$

con $r/B < 0.1$

También para tiempos largos y en las proximidades del pozo (u pequeño)

$$W(u, r/B) \approx 2 K_0(r/B)$$

$$u < 0.03 \quad \text{y} \quad (r/B)^2 > 2u$$

Se convierte en la fórmula de De Glee para pozos en acuíferos semiconfinados en régimen permanente.

Pozos en acuíferos libres sin recarga en régimen no permanente.

La transmisividad varía en el espacio y en el tiempo, en principio pueden aplicarse las fórmulas de Theis y Jacob con el valor de $T = k \cdot H_0$ y el de S igual a la porosidad eficaz efectuando la corrección de Jacob que será aceptable — hasta para los valores de $A/H_0 < 0.25$ o algo superiores.

Cuando $A/H_0 < 0.02$ no es necesario hacer correcciones

La reducción del espesor saturado nos hace tomar como coeficiente de almacenamiento

$$S^* = \frac{H_0}{H_0 - A} \times S$$

siendo S la porosidad eficaz corregida y A el descenso medio en el lugar considerado.

El error que se comete al no hacer esta consideración es en general pequeño.

La mayoría de las fórmulas para acuíferos cautivos y semiconfinados pueden — ser utilizados adecuadamente en los acuíferos libres si los descensos son pequeños corrigiendo los descensos.

$$A = \frac{H_0^2 - H^2}{2 H_0}$$

$$y \quad T = K H_0$$

y obteniendo el valor de la porosidad eficaz corregida

$$S^* = \frac{H_0}{H_0 - A} S$$

Pozos en acuíferos libres con recarga uniforme, régimen estacionario

$$A = \frac{Q}{2 \pi T_0} \ln \frac{R}{r} - \frac{W}{4 T_0} (R^2 - r^2)$$

siendo $T_0 = K.H_0$

y W la recarga ($M^3/M^2/año = M/año$)

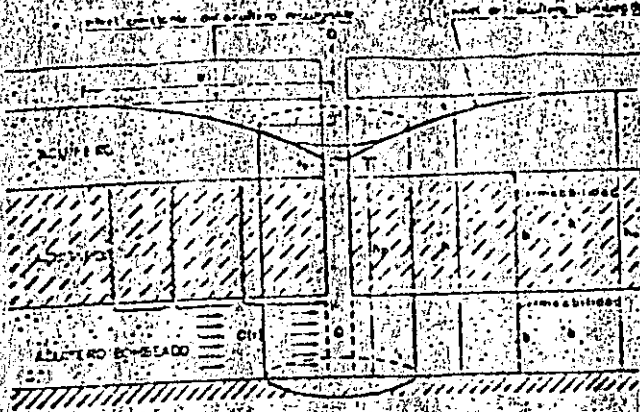


FIGURA 9.14
Pozo bombeado en un acuífero semiconfinado.

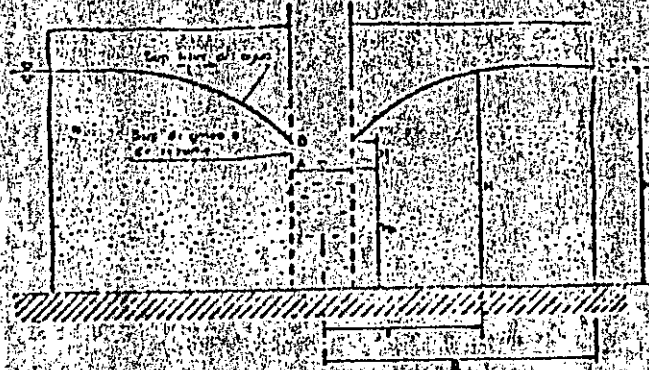


FIGURA 9.18
Pozo de un acuífero libre en el centro de una isla circular.



FIGURA 9.15
Función de pozo en acuífero semiconfinado en régimen permanente; $K(r/B)$ en función de r/B .

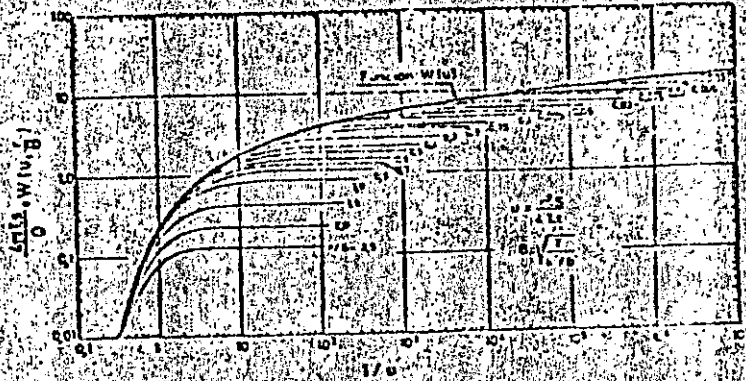


FIGURA 9.16
Función de pozo en acuífero semiconfinado sin almacenamiento en el acuífero. $W(u, r/B)$ en función de u . Curva tipo de Hantush.

Fórmulas utilizadas en pozos para la estimación práctica de los parámetros de los acuíferos.

Primero se hará una primera estimación aproximada con el caudal específico obtenido durante el bombeo con la siguiente fórmula (Galofré, 1966).

$$T \text{ (m}^2\text{/día)} \approx 100 \frac{Q \text{ (l/seg)}}{\Delta p \text{ (m)}}$$

T = Transmisividad

Q = Caudal (l/seg)

Δp = Descenso en el pozo (m)

y en pozos de pequeño diámetro

$$T = 1.4 q$$

q = Caudal específico (M³/día/m)

en acuíferos libres conviene utilizar descensos corregidos según la corrección de Jacob.

$$\Delta c = \Delta - \frac{\Delta^2}{2 H_0}$$

Siendo Δc = descenso corregido

Δ = descenso observado

H_0 = espesor inicial del acuífero

Como vemos, para hacer esta aplicación es necesario conocer la posición de la base del acuífero para establecer el espesor del mismo, porque el hacerlo en forma estimativa nos conduce a errores no aceptables.

Interpretación práctica en pozos completos con régimen estacionario a caudal constante.

Método de Jacob.

Cuando contamos con dos o mas puntos de observación aparte del pozo.

- a) Si se presenta en papel semilogarítmico, el descenso (s) en función de ($s - \log r$) los puntos resultantes se alinean según una recta cuya pendiente m en valor absoluto es

$$m = \frac{2.3 Q}{2 \pi T} = \frac{Q}{T}$$

una forma de facilitar el cálculo con esta formula es la de seleccionar dos puntos de la recta separados por una década logarítmica con lo que tendremos pendiente:

$$m = \frac{s_1 - s_2}{\log t_2 - \log t_1} = s_1 - s_2$$

y entonces $(\Delta s)_{10} = 0.366 \frac{Q}{T}$

de donde podemos calcular T

$$T = \frac{0.366 Q}{(\Delta s)_{10}} \quad T \text{ (M}^2/\text{Día), } Q \text{ (M}^3/\text{día)}$$

- b) Prolongando la recta obtenida hasta cortar el eje de las abscisas

(descenso igual a cero) obtenemos el valor de R y en el de las ordenadas en un valor de n igual al n_p nos dá el descenso teórico en el pozo que difiere del observado.

c) Cuando se realiza una prueba de bombeo escalonada y contamos con dos o mas puntos de observación, al graficar los descensos obtenidos con cada uno de los gastos, todos ellos cruzarán el eje de las abscisas concurriendo en el valor de R

Donde R es igual al Radio de Influencia Teórico

$R =$ Radio de Influencia Teórico.

Ejemplo de una gráfica $s - \log t$ para obtener valores de T y S

Observaciones en un punto a 30 m. de distancia

$$Q = 1000 \text{ m}^3/\text{día}$$

t (min)	s (m)
0.5	0.01
5.0	0.19
10.0	0.24
15.0	0.27
30.0	0.32
50.0	0.36
80.0	0.39
100.0	0.41
300.0	0.46
600.0	0.55
1000.0	0.58

De la gráfica $s - \log t$

se observa

$$(s)_{10} = 0.17 \text{ m.}$$

$$T_0 = 0.4 \text{ min.}$$

de donde aplicando Jacob (Reg no permanente)

$$T = \frac{0.183 Q}{(s)_{10}}$$

$$T = \frac{0.183 \times 1000 \text{ m}^3/\text{día}}{0.17 \text{ m.}}$$

$$T = 1075 \text{ m}^3/\text{día}$$

con $t_0 = 0.4 \text{ min.}$

$$S = \frac{2.25 T t_0}{r^2}$$

$$S = \frac{2.25 \times 1076 \times 0.4'}{30 \times 1440' / \text{Día}} \quad \frac{2.25 \times 1076 \text{ M}^2 / \text{Día} \times 0.4'}{30 \text{ m} \times 30 \text{ m} \times 1440' / \text{Día}}$$

$$S = 0.75 \times 10^{-3}$$

y

$$S = \frac{4 T (t)}{r^2 (1/u)}$$

para $1/u = 1.0$; $u = 1.0$ y $t = 1.2 \text{ min}$

$$(r/B) = 0.2$$

substituyendo tenemos

$$S = \frac{4 \times 1910 \text{ m}^2 / \text{Día} \times 1.2 \text{ min.}}{60 \text{ m} \times 60 \text{ m} \times 1 \times 1440 \text{ min} / \text{Día}}$$

$$S = 1.78 \times 10^{-3}$$

si $r = 60$ y $(r/b) = 0.2$

$$B = \frac{60}{0.2}$$

$$B = 300$$

para la curva a 20 metros

tenemos que los puntos de ajuste con las curvas son:

$$W(u, r/B) = 1 \quad \text{y} \quad \lambda = 0.13 \text{ m}$$

$$(1/u) = 10 \quad \text{y} \quad t = 1.0 \text{ min.}$$

$$(r/B) = 0.03$$

Substituyendo en las mismas fórmulas tendremos

$$T = \frac{50 \text{ lts/seg} \times 66.4}{4 \pi \times 0.18 \text{ m}}$$

$$T = 1910 \text{ M}^2/\text{Día}$$

$$S = \frac{4 \times 1910 \text{ M}^2/\text{Día} \times 1.6 \text{ min}}{20 \text{ m} \times 20 \text{ m} \times 10.0 \times 1440 \text{ min}/\text{Día}}$$

$$S = 2.12 \times 10^{-3}$$

$$\text{y} \quad B = \frac{20}{0.05} = 333$$

Ejemplo de gráficas $\log h - \log t$ para obtener valores de T y S

Observaciones de los descensos obtenidos en el pozo y dos puntos de control a 60 y 20 m., con un bombeo de 50 lts/seg. en un pozo con $r = 0.20$

t	descenso en m		
	r = 0.2 m	r = 60 m	r = 20 m
1	2.80	0.04	0.26
3	3.00	0.12	0.43
5	3.09	0.19	0.51
10	3.11	0.29	0.62
15	3.24	0.34	0.69
20	3.25	0.40	0.72
25	3.26	0.43	0.76
30	3.28	0.45	0.78
40	3.30	0.47	0.83
50	3.32	0.48	0.85
60	3.35	0.51	0.88
80	3.36	0.54	0.90
100	3.36	0.55	0.92
120	3.37	0.57	0.94
140	3.39	0.58	0.95
160	3.40	0.59	0.95
180	3.40	0.59	0.96
200	3.40	0.60	0.96
250	3.39	0.60	0.97
300	3.40	0.60	0.97
350	3.41	0.60	0.98
400	3.41	0.60	0.98
450	3.40	0.60	0.98
500	3.41	0.60	0.98

Grificando $\log h - \log t$ para las observaciones a 60 y 20 mts. tenemos que haciendo los ajustes con las curvas de Hantush se tienen los puntos de ajuste y el valor de r/B .

$$W(u, r/B) = 1 \quad y \quad \lambda = 0.18 \text{ m.}$$

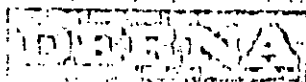
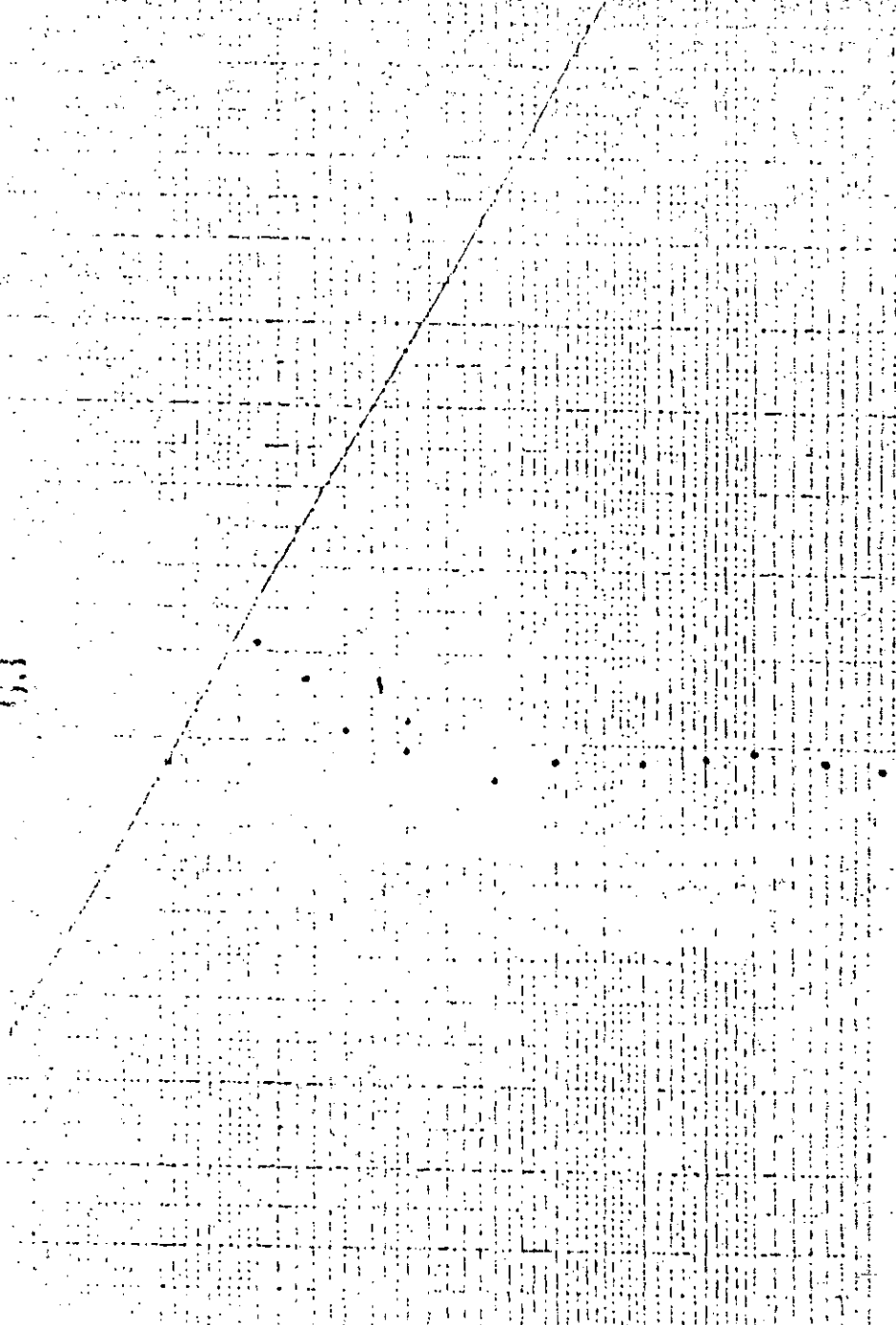
$$\lambda = \frac{Q}{4 \pi T} W(u, r/B) \quad y \quad \text{si } W(u, r/B) = 1$$

$$= \frac{Q}{4 \pi T} \quad y \quad T = \frac{Q}{4 \pi \times \lambda}$$

$$T = \frac{4320 \text{ M3/Dfa}}{4 \times 3.1416 \times 0.18 \text{ m}}$$

$$T = 1910 \text{ M2/Dfa}$$

63



PRUEBA DE BOMBEO No. 63

Ciudad 171-LAZARO CARDENAS, MICH. Fecha 11 DE AGOSTO 1981

Pozo Bombeado No. 1 SILOS Lugar LAZARO CARDENAS, MICH.

Tipo de prueba ABATIMIENTO

Hora inicial 12:30 Final 13:30 duración 1.00 HRS.

Caudal Q 80.59 lts/seg. 6,959.5 m³/día.

Punto (s) de observación POZO

Dist: r(m) al pozo 0.20 Gráfica No.

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10' 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10' 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10'

DEL 25-10-80 ABANDONADO
 (Q) 80.00 LTSY SEGR. 16.982 PIA 100% GOSTO 14.30
 DEL 25-10-80

TIEMPO	T (MIN)	ESTADISTICO (M)	INDICADO (M)	ABANDONADO (M)
00	00	1.06	1.06	0.00
	05		1.15	0.09
	10		1.20	0.14
	20		1.20	0.14
	50		1.32	0.26
	80		1.42	0.36
	200		1.42	0.36
	600		1.43	0.39
	1800		1.43	0.39
	2500		1.44	0.38
	3000		1.45	0.39
	3500		1.45	0.39
	4000		1.45	0.39
	4500		1.45	0.39
	5000		1.45	0.39
	5500		1.45	0.39
	6000		1.45	0.39
	HR 2000		1.46	0.40
	3000		1.46	0.40
	4000		1.45	0.39
	5000		1.46	0.40
	6000		1.46	0.40

RESERVACIONES:

LOCALIDAD: LAZARO CAJENES, MICH. ALTURA DE REFERENCIA: 0.70 m.
 TIPO DE ENSAYO: ASISTIMIENTO DISTANCIA: 36.0 m.
 CANTIDAD: (0) 80.00 LTS/SEG CATEGORIA: 7 DIA FECHA: 13-AGOSTO-1981
 TIPO DE PUNTO: DEL CARREO HORA DE INICIACION: 11:00

TIEMPO (HR)	HORA	T (MIN)	N. ESTADISTICO (M)	N. DINAMICO (M)	ASISTIMIENTO S (M)
0	11:00	7.0	1.03	1.46	0.40
		8.0		1.46	0.40
		9.0		1.46	0.40
		10.0		1.46	0.40
		11.0		1.47	0.41
		12.0		1.49	0.43
		13.0		1.50	0.44
		14.0		1.50	0.44
		15.0		1.50	0.44
		16.0		1.52	0.46
		17.0		1.53	0.47
		18.0		1.55	0.49
		19.0		1.55	0.49
		20.0		1.55	0.49
		21.0		1.57	0.51
		22.0		1.57	0.51
		23.0		1.57	0.51
		24.0		1.56	0.50
		25.0		1.56	0.50
		26.0		1.57	0.51

RESERVACIONES:



PRUEBA DE PUNEO-NO. 5

Obra 171- SILOS Fecha 12-AGOSTO DE 1951

Pozo Bombeado No. 1 SILOS "Lugar" LAZARO CARDENAS

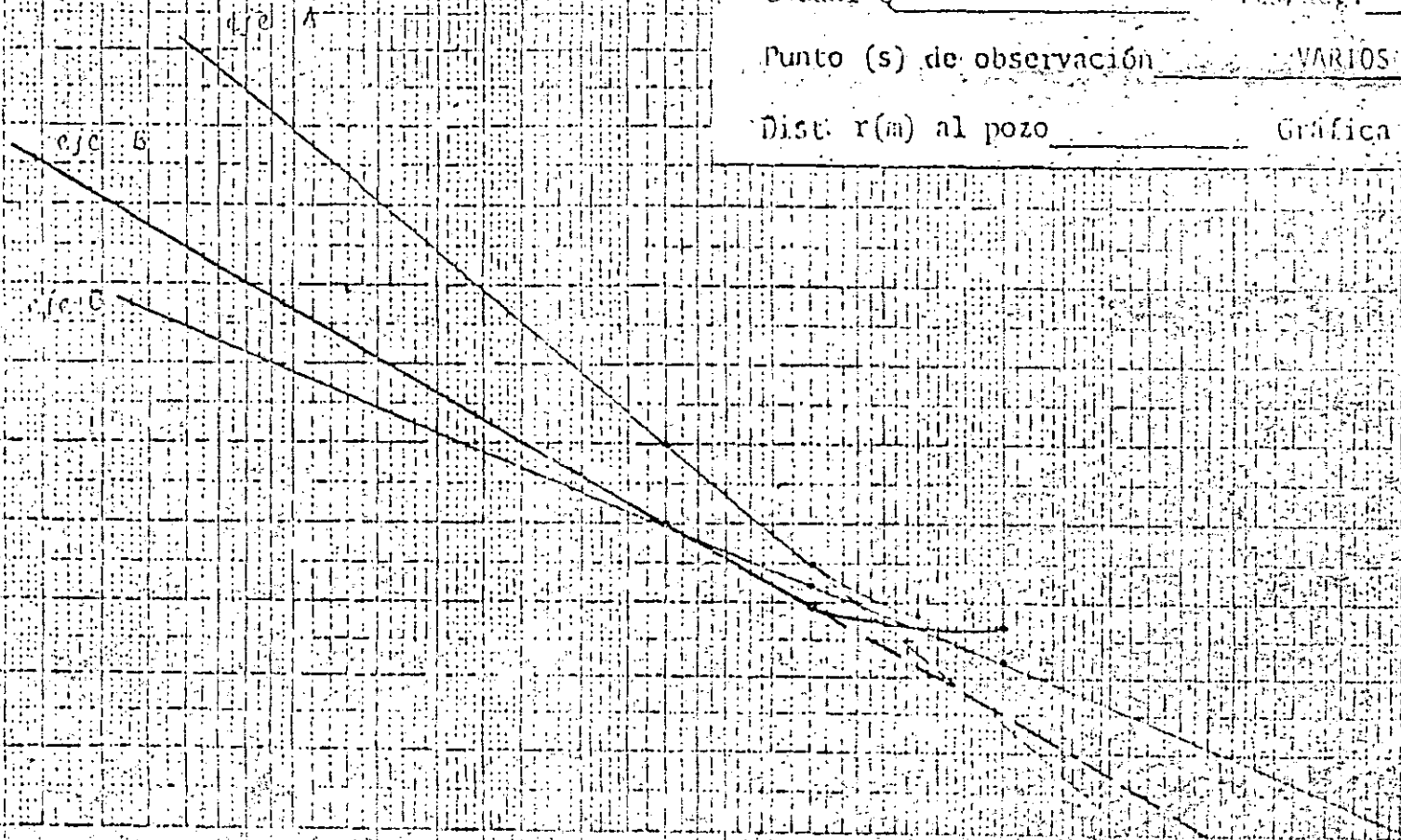
Tipo de prueba ABATIMIENTO

Hora inicial 11:00 HRS. Final 11:00 duración

Caudal Q 80.5 lts/seg. 6.955 m³/min

Punto (s) de observación VARIOS

Dist. r(m) al pozo Gráfica No.



ACUÍFERO CONFINADO EN RÉGIMEN NO PERMANENTE

TRANSMISIVIDAD = 342 M²/Día

COEFICIENTE DE ALMACÉN = 1 x 10⁻⁴

EL ACUÍFERO INFERIOR ESTÁ CONTENIDO EN LA ZONA QUE VA DEL SONDEO E-3 HACIA EL RÍO, DE ACUERDO CON LOS SONDEOS DE SUELOS, NO TIENE CONTINUIDAD HACIA EL NORTE.

Para confirmar lo adecuado de éstos datos los aplicamos a dos puntos:

$$r = 39 \text{ M. y } r = 10 \text{ M.}$$

$$Q = 1685 \text{ M}^3/\text{Día}$$

$$t = 1230 \text{ MIN.}$$

$$s_{39} = \frac{1685}{47432} \ln \frac{2.25 \times 342 \times 1230}{1 \times 10^{-4} \times 39^2 \times 1440} = 3.28 \text{ M.}$$

$$s_{10} = \frac{1685}{47432} \ln \frac{2.25 \times 342 \times 1230}{1 \times 10^{-4} \times 10^2 \times 1440} = 4.41 \text{ M.}$$

Los valores obtenidos para la prueba No. 3 en el Poro 3

para $Q = 100 \text{ m}^3/\text{d}$ y $h = 1230 \text{ mm}$ se obtiene:

$$K = 3.0 \text{ m/d} ; \quad K_1 = 3.40 \text{ m/d} ; \quad K_2 = 3.28 \text{ m/d}$$

$$K = 10 \text{ m/d} ; \quad K_1 = 4.48 \text{ m/d} ; \quad K_2 = 4.41 \text{ m/d}$$

Se obtienen valores que satisfactoriamente reproducen el comportamiento observado, con lo que se confirma que los valores son adecuados para el diseño, que en este caso consistirá en la revisión del sistema proyectado.

EFECTOS AL INTERPRETAR LAS PRUEBAS DE BOMBEO EN EL POZO 3C.

TIPO DE PRUEBA	GRAFICA.	M ² /DIA	S	Q (LPS/SEG)	CM ³ /DIA.	s (m) •	s/Q (10 ⁻³ dca/ m ² /d)	q = 0	
								M ² /DIA.	CM ³ /DIA.
EN EL POZO 3 - C.									
Abatimiento.	logs - log t	266.7	0.18	77.45	6692	10.76	1.61	6.22	7.99
Recuperación.	logs - log t	100	0.62						
Recuperación.	s - log $\frac{t}{t'}$	119	-						
Abatimiento.	logs - log t	-	-	100.24	8660	17.69	2.04	390	
Abatimiento.	log s - log t	93	1.57	114.88	9926	23.19	2.33	428	
Abatimiento.	s - log t	136	1.19						
Abatimiento.	s - log t	106	1.48						
Recuperación.	logs - log t	55	0.15						
Recuperación.	s - log $\frac{t}{t'}$	94	-						
Abatimiento.	logs - log t	53	0.73	133.08	11498	30.35	2.63	379	4.34
Abatimiento.	s - log t	89	0.57						
Abatimiento.	s - log t	52	0.71						
Abatimiento.	logs - log t	79	5.76	114.88	9926	23.29	2.34	426	4.93
Abatimiento.	s - log t	77	0.53						
Abatimiento.	s - log t	76	1.5						
Abatimiento.				77.45	6710	11.32	1.60	593	6.84
Abatimiento.				57.27	4904	6.56	1.33	747	8.65
EN EL POZO 2 - C.									
Abatimiento.				67.02	5790	9.84	1.52	655	

CORRECCION POR APERTURA DEL ACUIFERO SUPERIOR

Q = 100 lts/seg - 518.4 m³/dia

T	Q ₁	Q ₂	Q ₃	T _c	s (m)	s ₀ (10 ⁻³ dia)	Q ₁ (m ³ /dia)	Q ₂ (m ³ /dia)	Q ₃ (lts/seg/m)
100	6692	518	6174	92	10.76	1.74	573	6.64	
119	6692	518	6174	110	10.76				
	8660	518	8142		17.69	2.17	460	5.32	
93	9926	518	9408	88	23.19	2.46	406	4.70	
136	9926	518	9408	129					
106	9926	518	9408	100					
55	9926	518	9408	52					
94	9926	518	9408	89					
53	11498	518	10980	51	30.35	2.76	362	4.19	
89	11498	518	10980	85					
52	11498	518	10980	50					
79	9926	518	9408	75	23.29	2.48	404	4.67	
11	9926	518	9408	73					
76	9926	518	9408	72					
	6718	518	6200		11.32	1.82	548	6.31	
	4948	518	4430		6.62	1.49	669	7.74	
	5790	518	5272		8.84	1.67	596	6.90	

70

7.5 CURVAS CARACTERÍSTICAS

De las curvas del Pozo 5C tenemos que para abatir a 40.00 mts en el pozo tendremos que abatir 55 mts.

$$d = \frac{Q}{\Delta P} \text{ (M}^3\text{/día)} = 538 \text{ M}^3\text{/Día}$$

$$Q = 538 \text{ M}^3\text{/Día} \times 55 \text{ mts.}$$

$$Q = 11830 \text{ M}^3\text{/Día} = 157.00 \text{ lts/seg.}$$

De la gráfica se obtiene el mismo valor $11,800 \text{ M}^3\text{/Día} = 157.00 \text{ lts/seg.}$

De la gráfica $\Delta/Q - Q$ se obtiene $B=0.48$ y $C=2.08/10^{-7}$, tenemos que la fórmula de descenso en el pozo es:

$$\Delta = B \cdot Q + C \cdot Q^2$$

$$\Delta = 0.48 \times 10^{-3} \cdot Q + 2.08 \times 10^{-7} \cdot Q^2 \text{ (Curva característica del pozo)}$$

Verificando con $11,800.00 \text{ M}^3\text{/Día} = Q_{\text{max}}$

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{max}} &= 0.5 \times 10^{-3} \times 11,800 + 2.08 \times 10^{-7} \times 11,800^2 \\ &= 0.5 \times 10^{-3} \times 11.8 \times 10^3 + 2.08 \times 10^{-7} \times 1.18^2 \times 10^8 \\ &= 0.5 \times 11.8 + 2.08 \times 1.18^2 \times 10 \\ &= 5.9 + 2.89 \times 10 \end{aligned}$$

$$\Delta_{\text{max}} = 5.9 + 28.9 = \underline{34.86}$$

Lo es prácticamente el teórico que tratamos de obtener, lo en-

Acuífero corregido, se tiene

Acuífero inferior (corregido disminuyendo la aportación del acuífero superior)

De la gráfica $Q = s/Q$ obtenemos

$$B_1 = 0.48 \times 10^{-3} \text{ días/m}$$

$$C_1 = 2.08 \times 10^{-7} \text{ días}^2/\text{m}^2$$

Verificación con

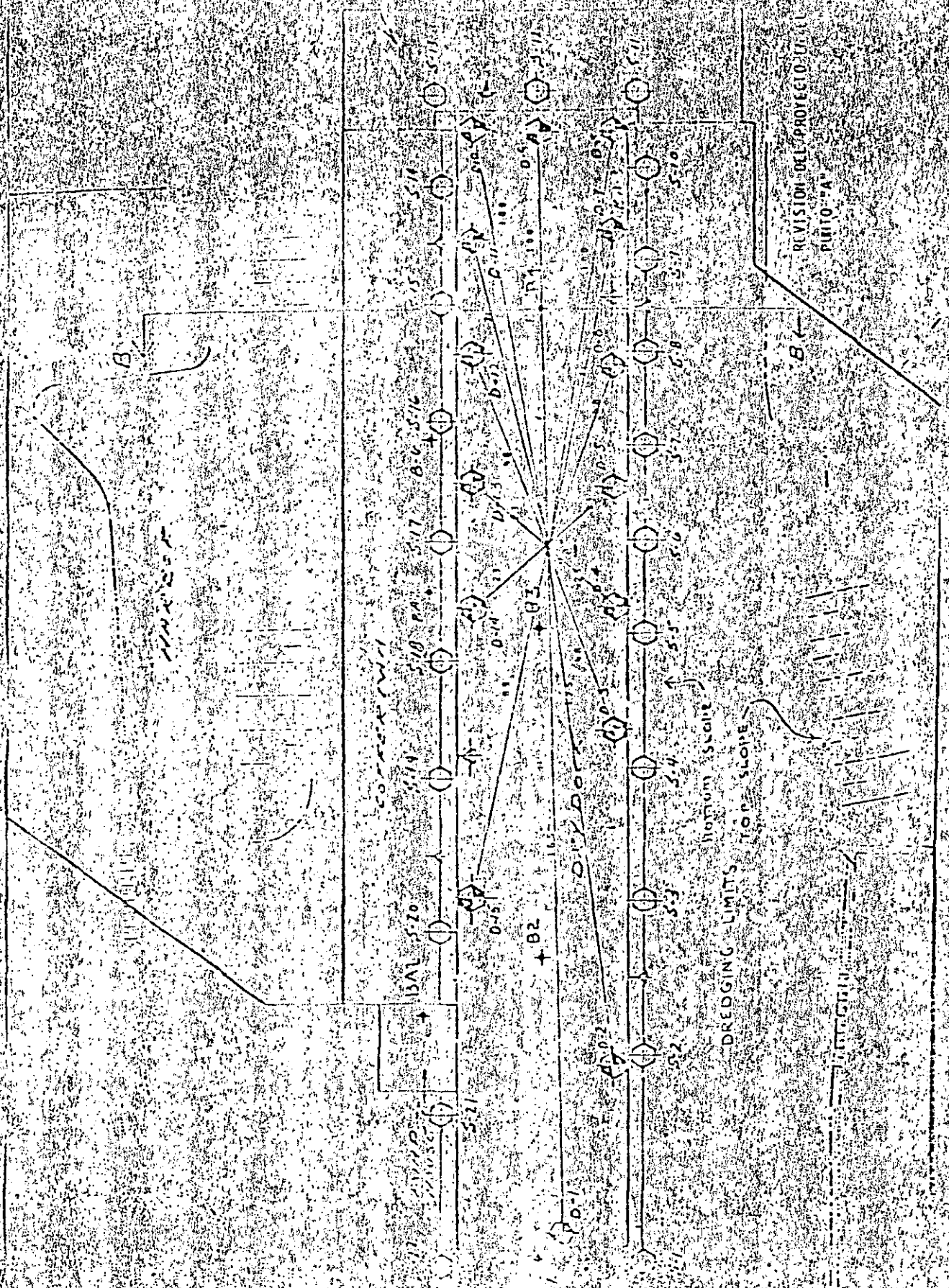
$$Q_1 = 10980 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$s_p = 0.48 \times 10^{-3} \times 10980 + 2.08 \times 10^{-7} \times 10980^2$$

$$s_p = 50.55 \text{ mts}$$

Estamiento observado $s_p = 50.55 \text{ mts}$

Igual al teórico



REVISION DEL PROYECTO
PIRTO "A"

DREDGING LIMITS
BOTTOM ESCAPE
TOP SLOPE

REVISION DEL PROYECTO PARA AL ABATIMIENTO DE
PRESIONES EXISTENTES EN EL ACUIFERO INFERIOR

Se revisará el abatimiento teórico en el punto "a" (intermedio entre los pozos D7, 8, 9, 10 y 11)

En la revisión se incluyen todos los pozos interiores que interceptan el acuífero inferior y se hará para un caudal de:

$$Q = 6.3 \text{ lts./seg.} = 545 \text{ M}^3/\text{Día}$$

$$s_a = \frac{545}{4 \pi 342} \left(4 \ln \frac{2.25 \times 342}{0.0001 \times 23^2} + 3 \ln \frac{2.25 \times 342}{0.0001 \times 48^2} + 2 \ln \frac{2.25 \times 342}{0.0001 \times 76^2} \right. \\ \left. + 3 \ln \frac{2.25 \times 342}{0.0001 \times 100^2} + \ln \frac{2.25 \times 342}{0.0001 \times 85^2} + \ln \frac{2.25 \times 342}{0.0001 \times 125^2} + \ln \frac{2.25 \times 342}{0.0001 \times 165^2} \right)$$

$$s_a = 14.68 \text{ M}$$

EL ABATIMIENTO TEORICO EN "a", DE 14.68 M ES MAYOR QUE EL NECESARIO DE 12.50 M.

FUNCION W(u) DE POZO EN ACUIFERO CONFINADO (Curva de Theis) - Valores tomados de Benitez (1963)

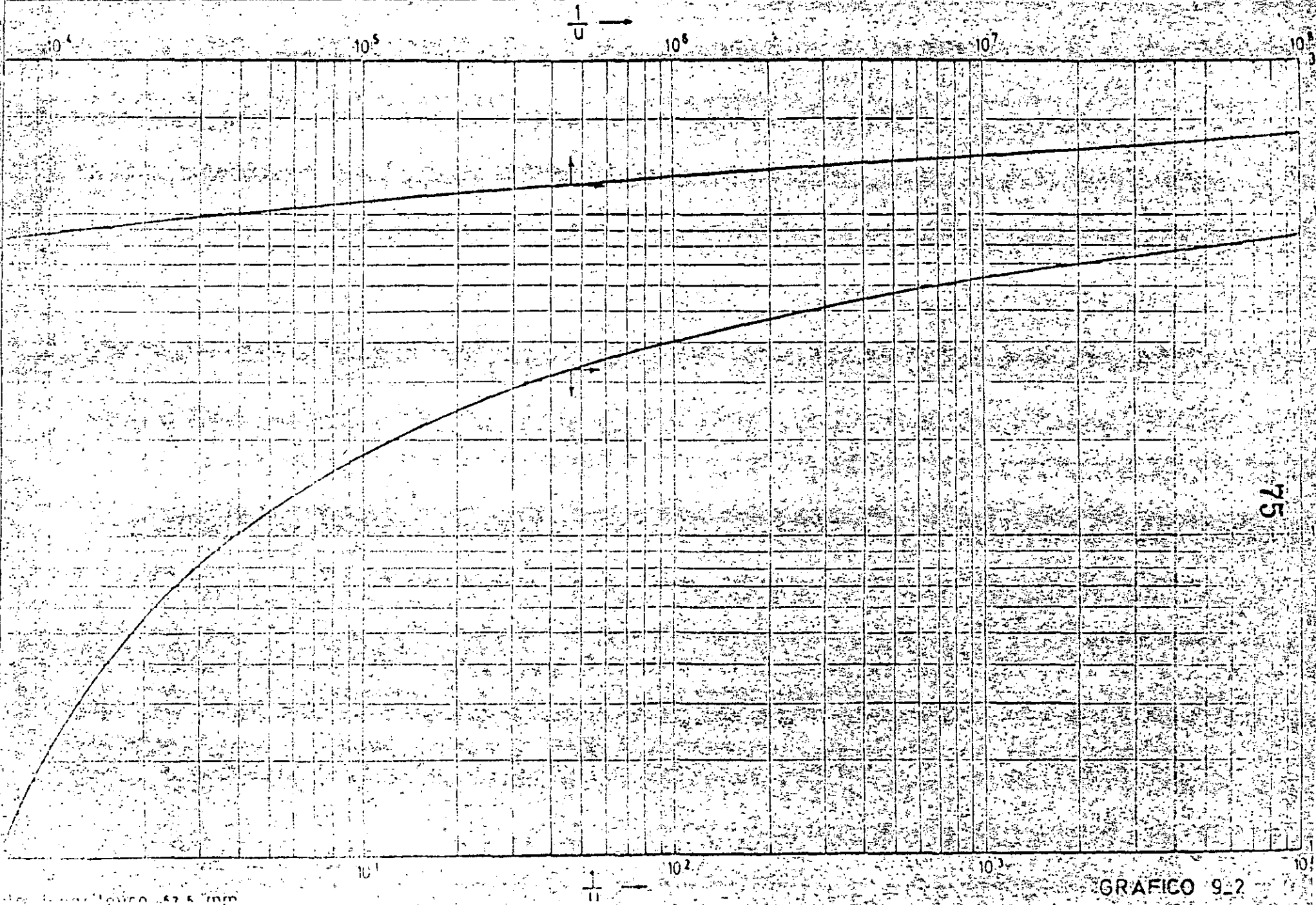


GRAFICO 9-2

FUNCION W(u, r/B) DE POZO EN ACUIFERO SEMICONFINADO

Curvas tomadas de Neuman (1954)

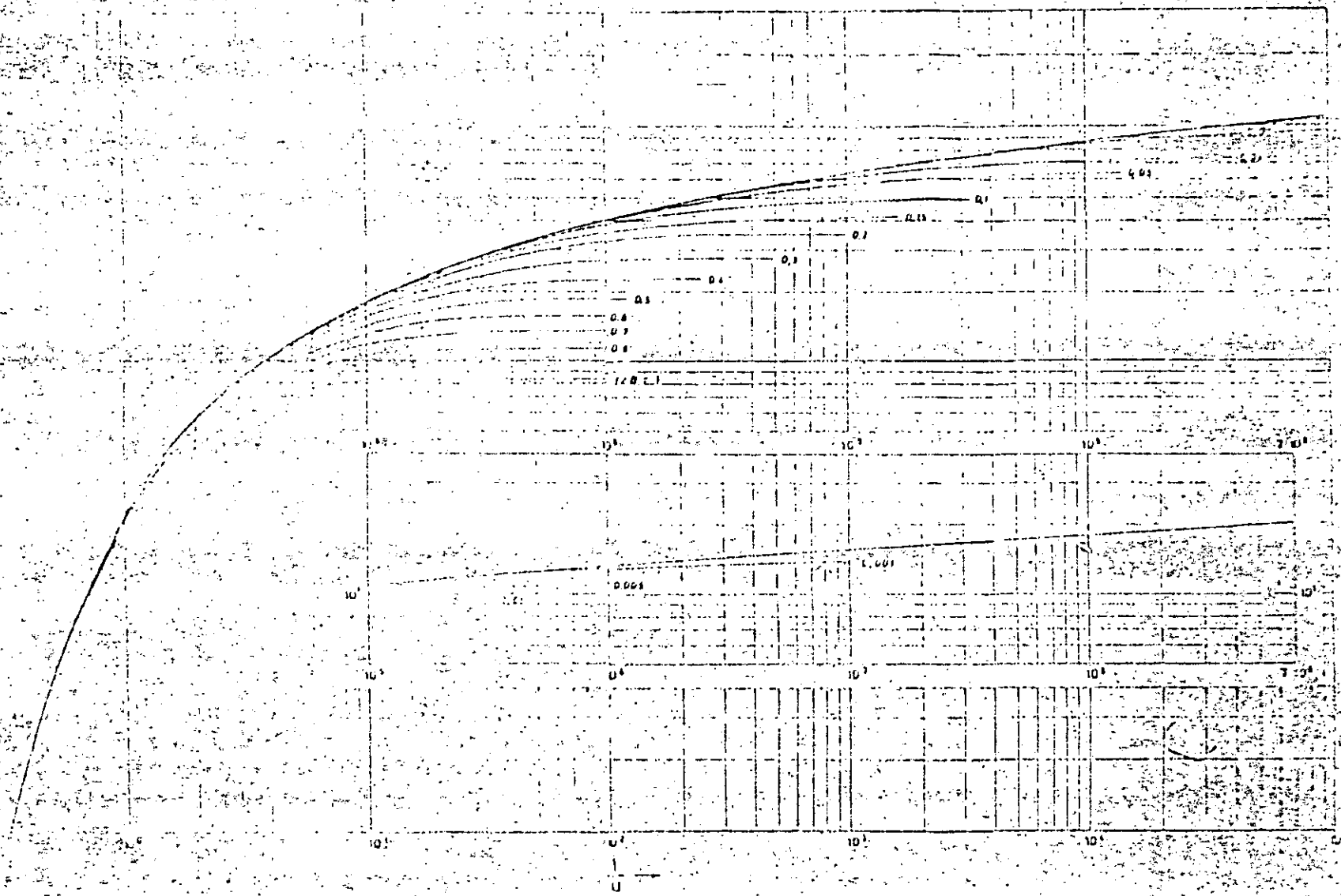
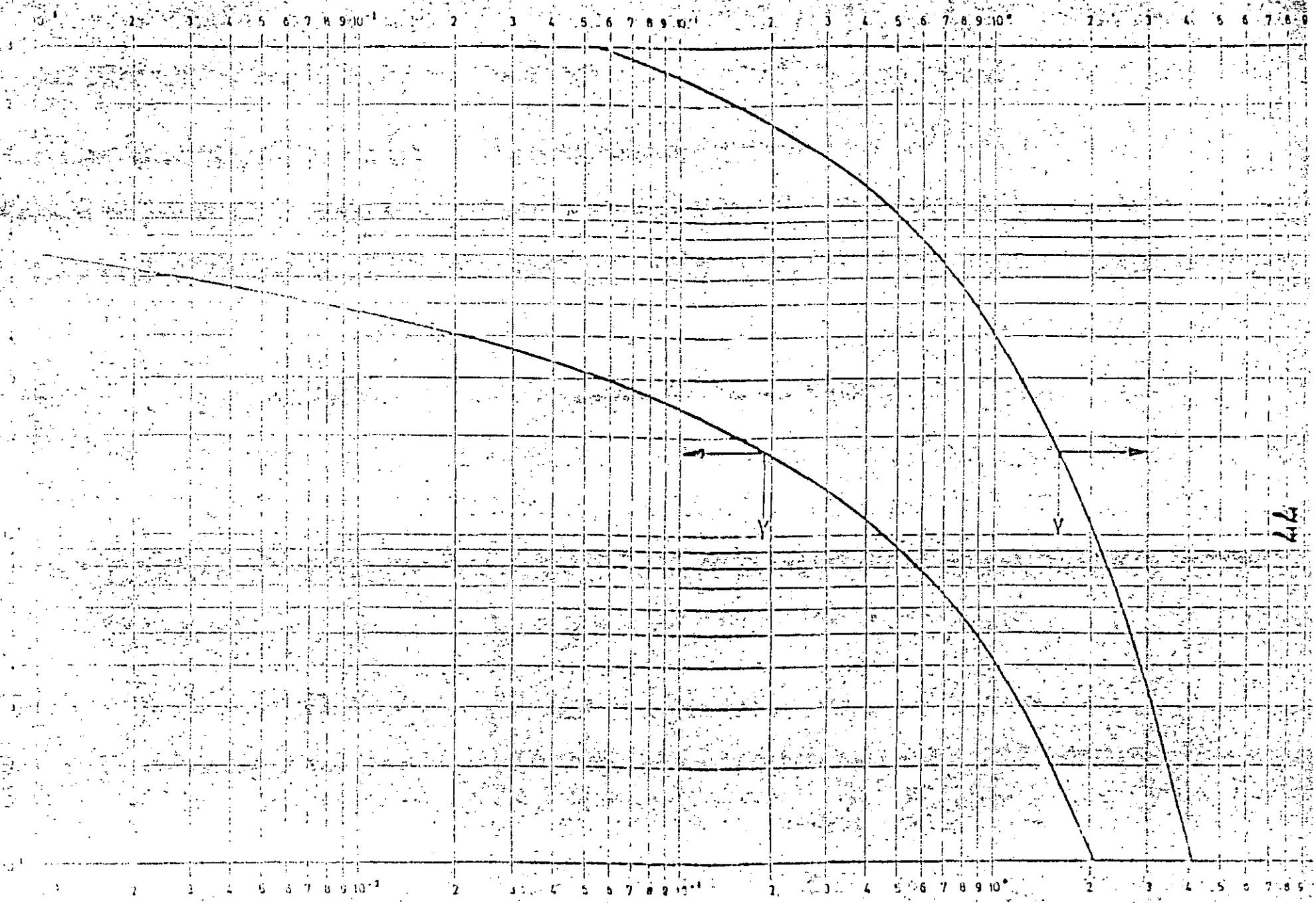


GRÁFICO 9-3



44

h (m) 0.25 m

r/B

Acuifero semiconfinado en régimen estacionario

GRAFICO 9.1

9.26 Hidráulica de acuíferos de agua subterránea

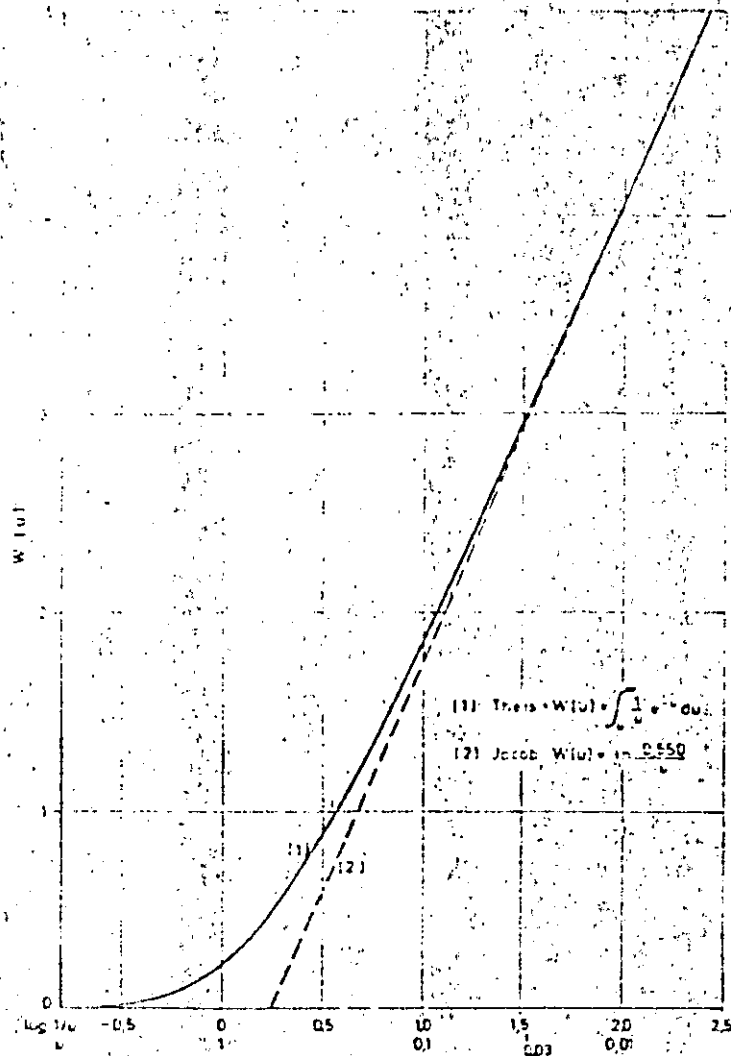


FIGURA 9.13

Comparación de la fórmula de Theis y de la aproximación de Jacob.

cometido en la simplificación puede apreciarse en la figura 9.13. En ciertas aplicaciones, puede admitirse que la aproximación de Jacob es válida para valores de u de hasta 0.1, aunque normalmente se toma $u < 0.05$.

La aproximación de Jacob puede escribirse:

$$s = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{\sqrt{2.25 \cdot T \cdot t}}{r} \frac{S}{r}$$

Fig. 9.12. Clasificación de pozos según el tipo de acuífero.

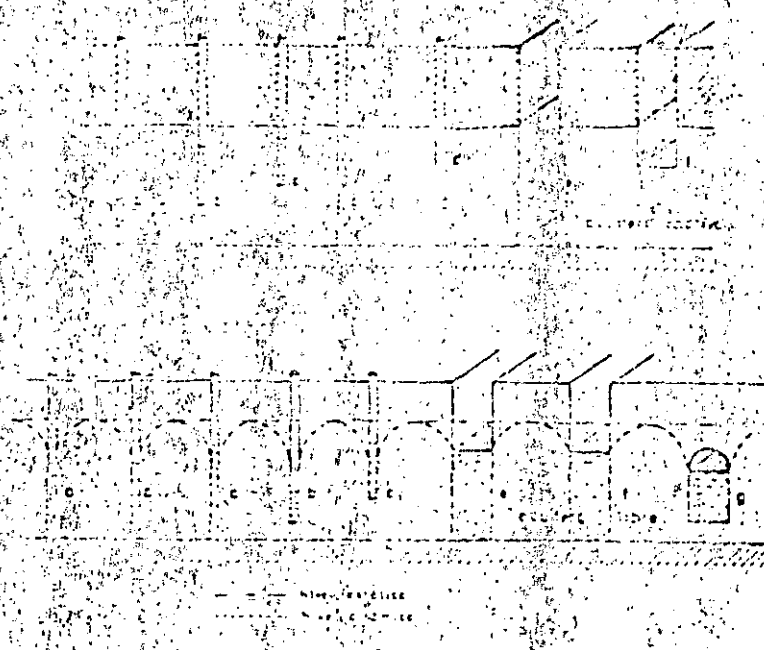


Fig. 9.3. Clasificación de las captaciones al Pozo totalmente penetrante, b) Pozo parcialmente penetrante, c) Pozo totalmente penetrante, d) Pozo ubicado en el fondo, e) Zona totalmente penetrante, f) Zona parcialmente penetrante, g) Galería o dren (captación incompleta).

l = Profundidad útil del pozo. Distancia desde la superficie del terreno hasta la parte más baja de la zona filtrante o zona por donde penetra el agua.

H, h = Nivel de agua con el pozo en funcionamiento. Distancia desde la base del acuífero hasta el nivel del agua. El nivel antes del bombeo se representa por H_0, h_0 y el nivel en el pozo durante el bombeo por H_p, h_p (1).

En ocasiones es conveniente referir los niveles del agua a la superficie del terreno. En este caso se empleará la misma simbología añadiendo previamente dicho cambio de referencia.

(1) Los valores en metros cúbicos se derivarán para los acuíferos libres y significan también espesor de agua. Los valores en milímetros se refieren a los acuíferos confinados y no es preciso fijar la base de los niveles sino referirlos a que en general se trata de diferencias de nivel, o sea con signos opuestos.

(2) Si se toma como punto de referencia el eje del tubo ($h=0$) u otro punto cualquiera diferente del nivel del agua es convenientemente conocer su altura sobre el mismo (1).

H_0, h_0 = Nivel de agua antes del bombeo.

H_p, h_p = Nivel de agua en el pozo durante el bombeo.

λ = Longitud de la zona filtrante. Distancia desde la zona útil de penetración del agua en la captación hasta la zona de no penetración de la misma. En el caso de galerías y drenajes se considera el radio del tubo o del conducto y en el caso de pozos se considera la parte superior de la zona filtrante útil del pozo.

b = Espesor del acuífero. En el caso de acuífero libre se considera igual al espesor total del acuífero y para el caso $b = H$.

r, r_e = Diámetro del pozo y radio del pozo. Se entiende por radio el promedio de los diámetros de perforación y en el caso de pozos de perforación. En ocasiones también se entenderá por r_e lo que se define más adelante como radio efectivo del pozo (capítulos 9.2 y 9.3).

R = Radio de influencia del pozo. Distancia a partir de la cual se consideran nulos los descensos producidos por el bombeo en el pozo. En general es un concepto matemático que se especificará en los capítulos 9.2 y 9.3.

δ = Longitud relativa de la zona filtrante. Es el cociente entre su longitud y el espesor del acuífero $\delta = \lambda/b$.

e = Excentricidad relativa de la zona filtrante. Expresa la posición de la zona filtrante en el acuífero.

$$e = \frac{d - a}{2b}$$

$\lambda / 2r_p$ = Esbeltez de la zona filtrante. Expresa la relación entre la longitud de la zona filtrante y su diámetro.

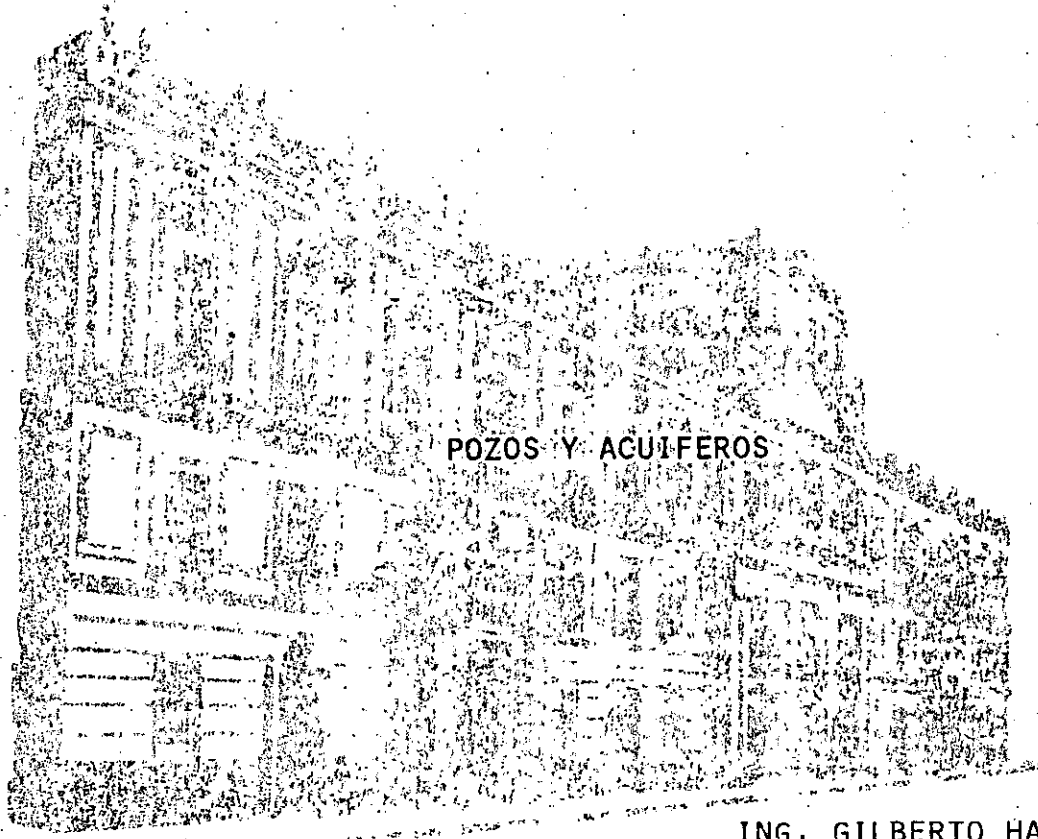
Se dice que un pozo es totalmente penetrante o completo (fig. 9.3 a) cuando su zona filtrante abarca la totalidad del espesor del acuífero. Si sólo abarca una parte del acuífero el pozo se llamará incompleto (figura 9.3 b y c). Si el pozo es incompleto pero su zona filtrante se inicia en el techo o en la base del mismo el pozo se llama por razones obvias *parcialmente penetrante*.

El radio de influencia matemático teórico puede determinarse mediante un cálculo y este último depende de la configuración del sistema de canales de canales.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA



POZOS Y ACUIFEROS

ING. GILBERTO HARO OSIO

ABRIL, 1985

I N D I C E

	PAGINAS
1.- LEY DE DARCY	1
2.- RED DE FLUJO	2
3.- HIDRAULICA DE LOS POZOS	
3.1.- Acuífero abierto	3
3.1.1 Curva de abatimiento	
3.1.2 Curva de producción del pozo	5
3.1.3 Productividad del pozo	8
3.2.- Acuífero confinado	10
3.2.1. Curva de abatimiento	
3.2.2 Curva de producción del pozo, para Z ho H	12
3.2.3 Productividad del pozo	14
3.2.4. Variación de la curva de producción de un acuífero confinado cuando varia el espesor productivo.	14
3.2.5 Curva de producción del pozo para O ho Z	16
3.3.- Curvas de producción y diagramas de capacidades específicas de - acuíferos intercalados.	20
3.4.- Modificación de la curva de producción por pérdidas de fricción en la vecindad del pozo.	20
3.5.- Curvas de producción y diagramas de capacidades específicas de - acuíferos reales.	24

1. LEY DE DARCY

Henry Darcy en 1856 encontró los fundamentos que rigen el movimiento del agua en formaciones porosas. Estableció que la cantidad de flujo que pasa a través de un medio permeable es directamente proporcional al área recta del medio y a la diferencia de cargas existente entre la cara de entrada y de salida e inversamente proporcional al medio.

Lo anterior queda expresado matemáticamente como sigue:

$$Q = KA \frac{dh}{ds} \quad (1)$$

$$Q = Av \quad (2)$$

$$v = k \frac{dh}{ds} \quad (3)$$

$$i = \frac{dh}{ds} \quad (4)$$

Donde :

Q= gasto

v= velocidad

k= coeficiente de permeabilidad

A= área recta

i= gradiente hidráulico

Estos fundamentos son conocidos como la Ley de Darcy

2. RED DE FLUJO

La Ley de Darcy permitió llegar al conocimiento de que el agua fluye a través de un medio permeable, con un movimiento ordenado, que cada partícula de agua se mueve siguiendo una línea curva suave, conocida como línea de flujo y que las líneas adyacentes son sensiblemente paralelas. Por esto se dice que el flujo es laminar.

El desplazamiento de una partícula de agua a lo largo de su línea de flujo se debe a la diferencia de cargas que existe a lo largo de esta línea. Cuando las cargas en diferentes puntos alcanzan un mismo nivel, se dice que estos puntos se encuentran en una línea equipotencial. Al conjunto de líneas de flujo y equipotenciales se le llama red de flujo.

Los problemas relacionados con la red de flujo presentan dificultades para ser abordados con ecuaciones matemáticas, no obstante esto, el caso de los pozos pueden abordarse matemáticamente haciendo simples consideraciones, pero sin perder el sentido físico del problema.

3. HIDRAULICA DE LOS POZOS

3.1 Acuifero Abierto

3.1.1 Ecuación del Comportamiento del Pozo

Julius Dupuit en 1863 con base en la Ley de Darcy desarrollo unas fórmulas que son el primer paso para conocer el comportamiento de los pozos.

La Lamina 3.1.1 representa un acuifero abierto en explotación, en donde originalmente el nivel del agua se encontraba en un plano horizontal que pasaba por el punto M, después con la explotación del pozo a gasto constante Q, el plano horizontal se deformó, produciéndose un cono de abatimiento muy pronunciado en la vecindad del pozo, pero a medida que se aleja de este la deformación se suaviza y llega a confundirse con el nivel de alimentación del acuifero a una distancia considerable del pozo. El cono lo representa la curva NPM.

El gasto Q que se está extrayendo, también esta pasando por la superficie cilíndrica, concentrica al pozo, de raio r y altura h, y que corta el cono de abatimiento en el punto P. Se tiene entonces :

$$Q = Av \quad (2)$$

$$v = k \frac{dh}{dr} \quad (5)$$

$$A = 2\pi rh \quad (6)$$

Sustituyendo (5) y (6) en (2), se tiene :

$$Q = 2\pi krh \frac{dh}{dr} \quad (7)$$

La ecuación (7) es la ecuación diferencial de la curva de abatimiento NPM y las coordenadas del punto P son las únicas variables.

Separando variables y aplicando el signo de integración definida, entre los límites P_1 y P_2 , se tiene:

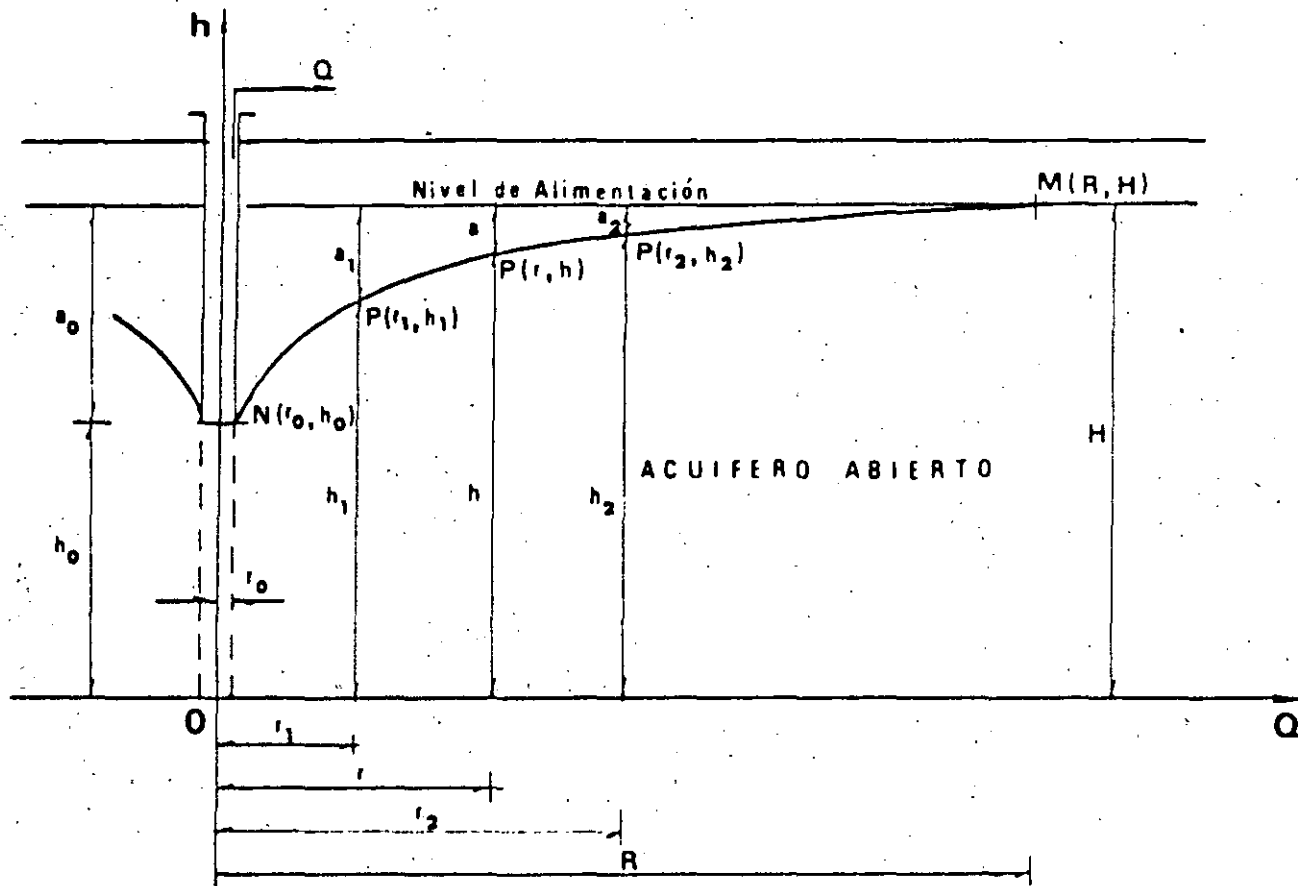


Lámina 3.1.1

$$Q \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = 2 \pi k \int_{h_1}^{h_2} h dh \quad (8)$$

Efectuando la integración y aplicando límites, se tiene:

$$Q = \frac{2 \pi k}{LR/r_1} (h_2^2 - h_1^2) \quad (9)$$

La ecuación (9) representa la curva de abatimiento del acuífero abierto, ó curva de comportamiento del pozo, es una curva logarítmica y solo tiene sentido físico dentro de los límites reales, que son los puntos N y M.

Con esta ecuación se puede llegar a conocer, la curva de abatimiento del pozo el coeficiente de permeabilidad y el radio de influencia del pozo

3.1.2 Curva de Producción del Pozo

Para llegar al conocimiento de la curva de producción del pozo, es decir, para encontrar la relación que existe entre el gasto Q y el abatimiento dentro del pozo, conviene expresar la ecuación (9) en términos que nos acerquen a la solución del problema. Fijemos como límites de la ecuación los límites físicos del pozo por un lado y por el otro los límites del acuífero en producción. Apliquemos en la ecuación (9) las coordenadas de los puntos .

N (r_0, h_0) y M (R,H), por lo que se tiene:

$$Q = \frac{2 \pi k}{LR/r_0} (H^2 - h_0^2) \quad (10)$$

Donde:

R= radio de influencia

r_0 = radio del pozo

H= carga de alimentación

h_0 = carga dentro del pozo

La ecuación (10) casi resuelve el problema, pues quedan como variables para un pozo dado Q , h_0 y R , en donde R viene a complicar la situación, por lo que se hará necesario analizar R .

Se sabe por investigaciones realizadas que R es varios cientos de veces mayor que r_0 , pero su intervención no es directa, sino que esta afectada por el inverso del logaritmo natural, es decir, por la expresión p , como sigue:

$$p = \frac{1}{LR/r_0} \quad (11)$$

La Lamina 3.1.2, muestra la variación gráfica de p en función de R , para diferentes radios de pozo. Y se observa que es muy ligera y que prácticamente es constante.

Otras investigaciones demuestran que para tiempos cortos donde el manto acuífero no se agoto el valor de R , permanece constante. De manera que si la expresión p la consideramos constante, resulta que toda la expresión K , que en seguida se indica también es constante para un pozo dado.

$$K = \frac{\pi k}{LR/r_0} \quad (12)$$

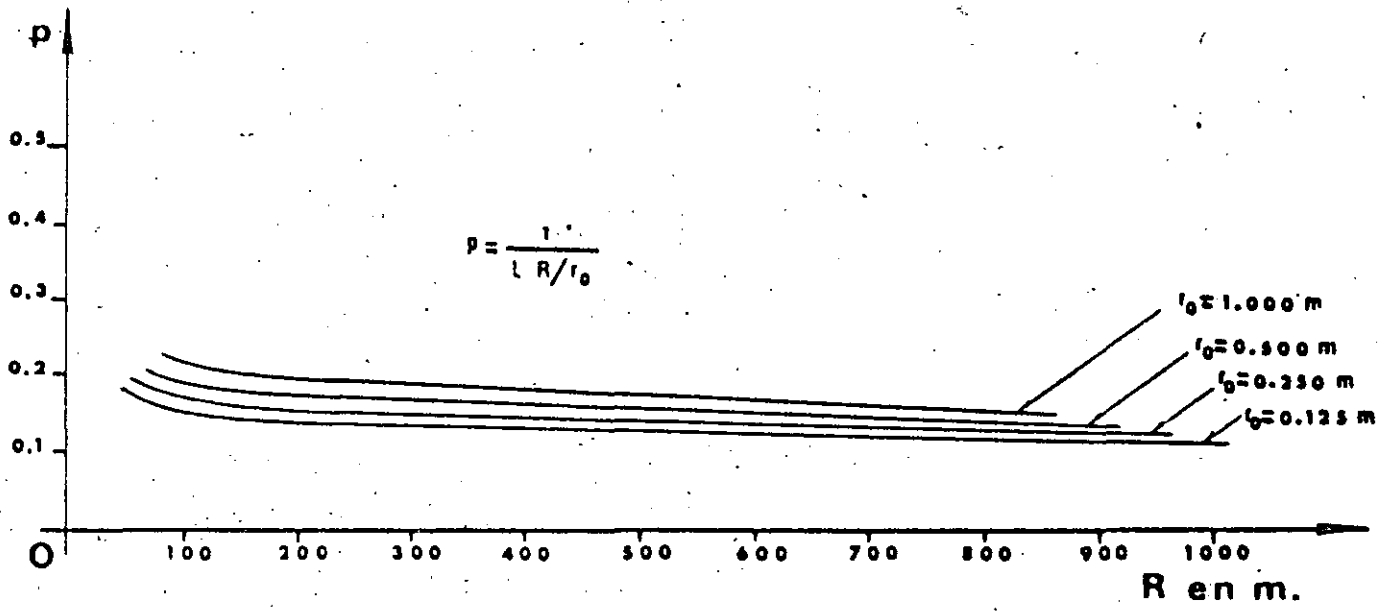
Por lo que la ecuación (10) se transforma en una ecuación sencilla que relaciona Q y h_0 unicamente y que viene a representar a la curva de producción del pozo y es la ecuación (13).

$$Q = K (h^2 - h_0^2) \quad (13)$$

La ecuación (13) es la ecuación de una parábola de la forma:

$$x = C_1 - cy^2 \quad (14)$$

$$Q = Kh^2 + Kh_0^2 \quad (15)$$



Lamina 3.1.2

La representación gráfica de la ecuación (15) se muestra en La Lámina - -

3.1.3 (a)

Las principales características de esta parábola son :

- 1.- El eje de la parábola coincide con el eje de las abscisas.
- 2.- El vertice de la parábola se localiza en el eje de las abscisas y sus coordenadas son $V(KH^2, 0)$.
- 3.- Las ramas de la parábola, se dirigen en sentido contrario al del eje de las abscisas.
- 4.- La rama de la parábola que representa a la curva de producción del pozo corta al eje de las ordenadas en el punto $N(0, H)$, que corresponde al punto de alimentación del acuífero.

3.1.3 Productividad del Pozo

La productividad del pozo podemos medirla con la capacidad específica, que por definición es la relación del incremento del gasto entre el incremento del abatimiento, es decir :

$$C = \frac{dQ}{da_0} \quad (16)$$

Para encontrar el valor de C, sustituimos en la ecuación (15) el valor de h_0 que es:

$$h_0 = H - a_0 \quad (17)$$

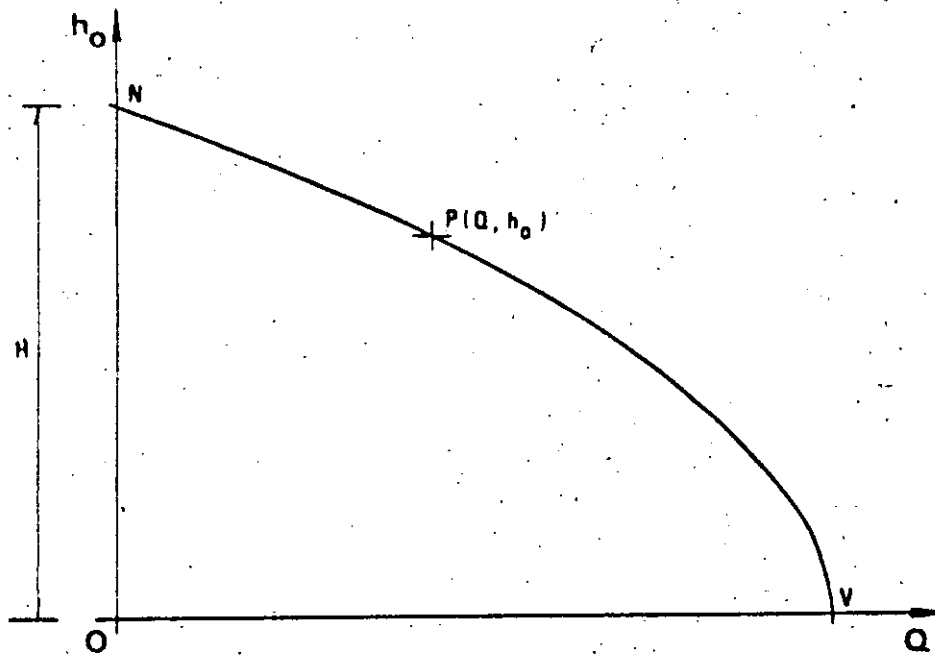
$$Q = KH^2 - K(H - a_0)^2 \quad (18)$$

Efectuando la derivación, se tiene:

$$\frac{dQ}{da_0} = 2K(H - a_0) \quad 2Kh_0 \quad (19)$$

De donde :

$$C = 2Kh_0 \quad (20)$$



CURVA DE PRODUCCION - ACUIFERO ABIERTO
[a]

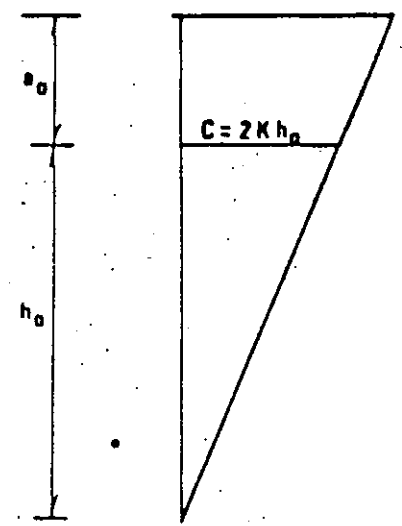


DIAGRAMA DE CAPACIDADES ESPECIFICAS
[b]

Lamina 3.1.3

La capacidad específica varía linealmente con la carga dentro del pozo. Gráficamente queda representada por la Lamina 3.1.3 (b)

3.2 Acuífero Confinado

3.2.1 Ecuación del Comportamiento del Pozo

La Lamina 3.2.1 representa un acuífero confinado en explotación, en donde originalmente el nivel de presiones era un plano horizontal que pasaba por el punto M, posteriormente al ser explotado el pozo con un gasto Q, el plano se deformó, produciéndose un cono de abatimiento de presiones como lo muestra la curva NPM.

El gasto Q que se está extrayendo del pozo, también está pasando por la superficie cilíndrica concéntrica al pozo, de radio r y altura Z, se tiene:

$$Q = Av \quad (2)$$

$$v = k \frac{dh}{dr} \quad (5)$$

$$A = 2\pi rZ \quad (21)$$

Sustituyendo (5) y (21) en (2), se tiene:

$$Q = 2\pi kZr \frac{dh}{dr} \quad (22)$$

La ecuación (22) es la ecuación diferencial de la curva de abatimiento de presiones NPM y las coordenadas del punto P son las variables.

Separando variables en la ecuación (22) y aplicando el signo de integración definida, entre los límites P_1 y P_2 se tiene:

$$Q \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = 2\pi kZ \int_{h_1}^{h_2} dh \quad (23)$$

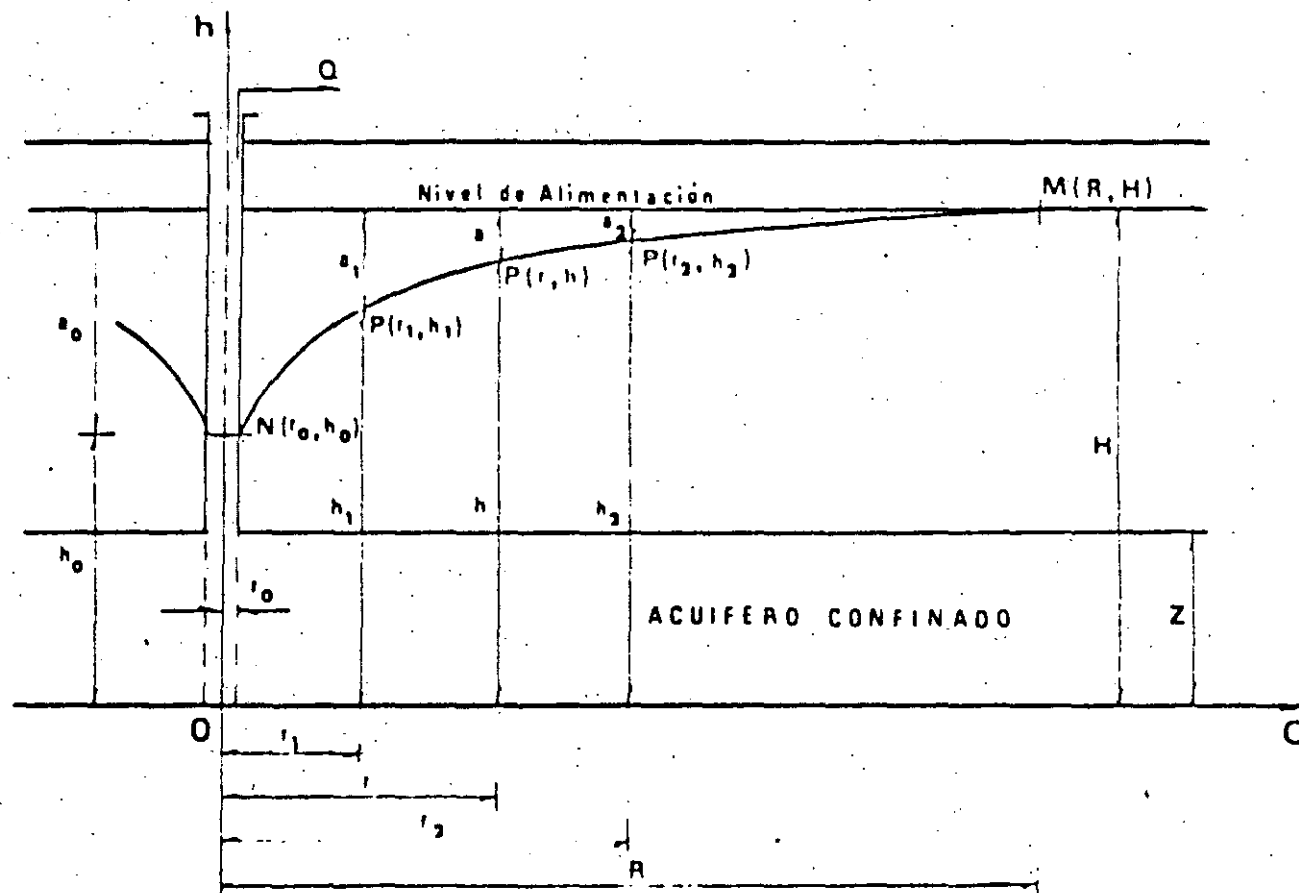


Lámina 3.2.1

Efectuando la integración y aplicando límites, se tiene:

$$Q = \frac{2\pi kZ}{Lr_2/r_1} (h_2 - h_1) \quad (24)$$

La ecuación (24) representa la curva de abatimiento de presiones o curva de abatimiento del pozo, en una curva logarítmica que solo tiene sentido físico dentro de los límites reales, que son los puntos N y M.

3.2.2 Curva de Producción del Pozo

Para encontrar la relación de Q y h_0 o curva de producción del pozo, fijemos los límites de la ecuación con los físicos del pozo al igual que se procedió en el caso del acuífero abierto. Apliquemos en la ecuación (24) las coordenadas de los puntos N (r_0, h_0) y M (R, H), por lo que se tiene:

$$Q = \frac{2\pi kZ}{LR/r_0} (H - h_0) \quad (25)$$

Donde:

Z = espesor del acuífero

R = radio de influencia

r_0 = radio del pozo

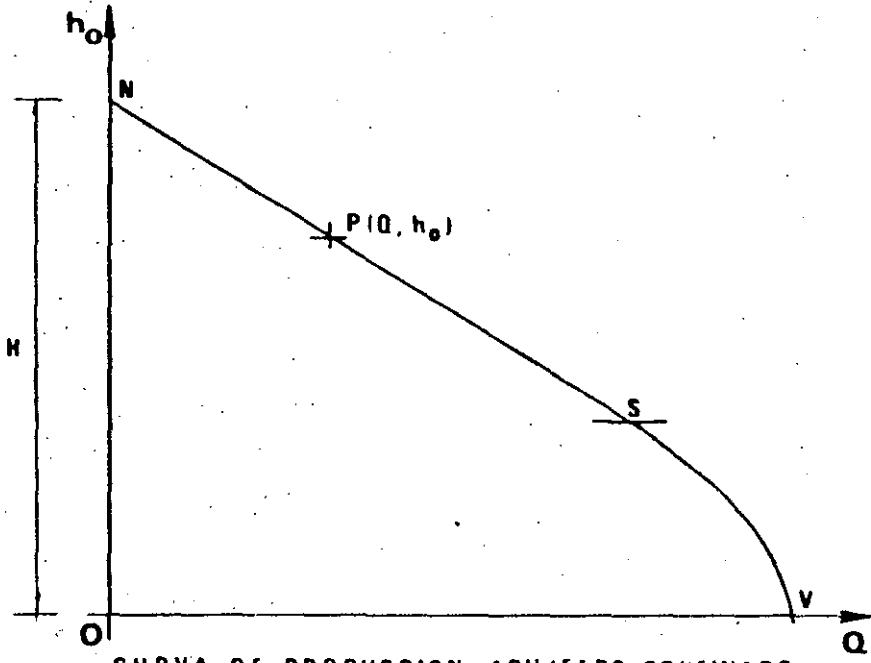
H = carga de alimentación del acuífero

h_0 = carga dentro del pozo en explotación

Aplicando el mismo criterio que en el caso del acuífero abierto, sustituyendo el valor de K de la ecuación (12) en (25), se tiene:

$$Q = 2KZ (H - h_0) \quad (26)$$

La ecuación (26) tiene como variables a Q y h_0 y es la ecuación de una recta, su representación gráfica se muestra en la Lámina 3.2.2 (a) y solo es válida dentro de los límites $Z < h_0 < H$, a partir del punto S es una parábola con vértice en V, lo cual será demostrado más adelante.



CURVA DE PRODUCCION. ACUIFERO CONFINADO

(a)

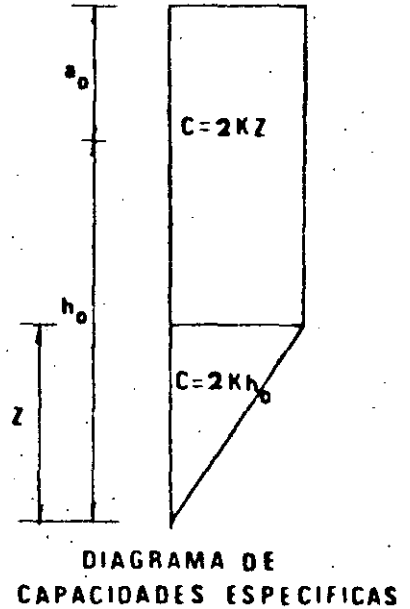


DIAGRAMA DE CAPACIDADES ESPECIFICAS

(b)

Lámina 3.2.2

3.2.3 Productividad del Pozo

La productividad del pozo la medimos con la capacidad especifica, como en el caso del acuífero abierto, con la ecuación (16).

Sustituimos la ecuación (17) en la (26) y se tiene:

$$Q = 2KZa_0 \quad (27)$$

Efectuando la derivación, se tiene:

$$\frac{dQ}{da_0} = 2KZ \quad (28)$$

$$C = 2KZ \quad (29)$$

La capacidad especifica es constante dentro de los límites Z h_0 H . y dentro del acuífero va disminuyendo linealmente hasta llegar a cero, en la forma que lo muestra el diagrama de capacidades especificas de la Lamina 3.2.2 (b). Esto último se verá mas adelante.

3.2.4 Variación de la Curva de Producción de un Acuífero Confinado con Relación al Espesor Productivo.

La ecuación (26) nos permite analizar como varia la curva de producción de un acuífero confinado en función del espesor Z .

$$Q = 2KZ (H - h_0) \quad (26)$$

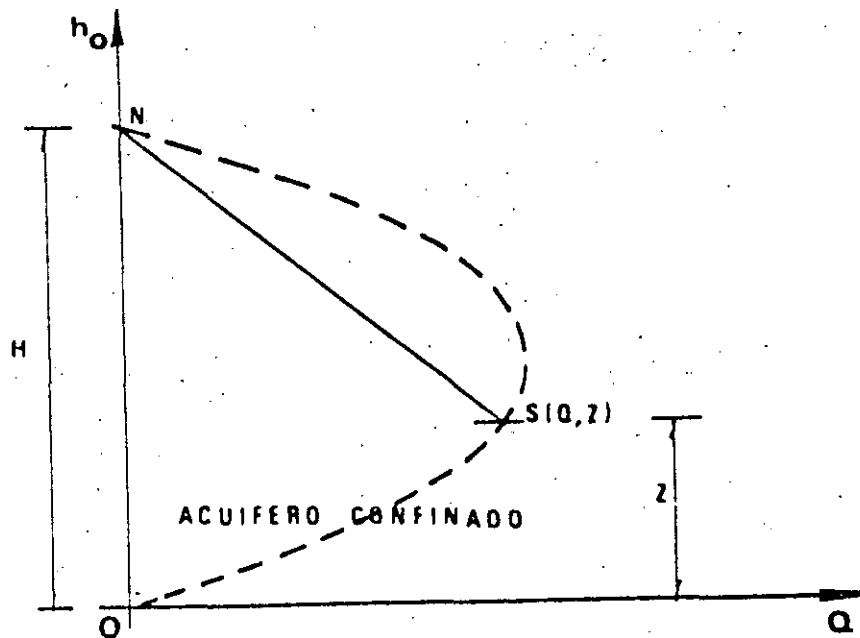
En esta ecuación son constantes K y H y quedan como variables Q , Z y h_0 . Como la curva de producción es una recta, analicemos el tramo de la recta del punto N al punto S donde se hace contacto con el techo del acuífero, ver Lamina 3.2.4.

En estas condiciones:

$$h_0 = Z \quad (27)$$

Sustituyendo (27) en (26) se tiene:

$$Q = 2K(HZ - Z^2) \quad (28)$$



VARIACION DE LA CURVA DE PRODUCCION
EN FUNCION DEL ESPESOR "z"

Lámina 3.2.4

o tambien :

$$Q = 2K(Hh_0 - h_0^2) \quad (29)$$

La ecuación (29) es la ecuación de una parabola, en donde alcanza su valor máximo Q , de acuerdo a :

$$\frac{dQ}{dh_0} = 2K(H - 2h_0) \quad (30)$$

Cuando la ecuación (30) alcanza el valor cero. Q es máximo, por tanto:

$$2K(H - 2h_0) = 0 \quad (31)$$

$$h_0 = \frac{H}{2} \quad (32)$$

$$Q_{\max} = \frac{KH^2}{2} \quad (33)$$

Y el valor de Q es cero para

$$h_0 = 0 \quad (34)$$

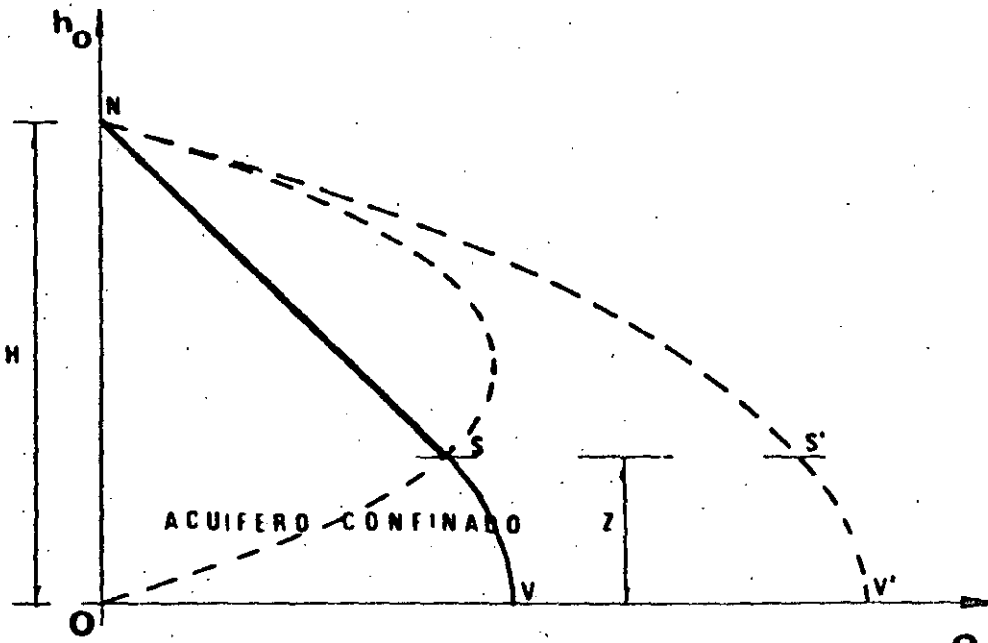
$$h_0 = H \quad (35)$$

Entonces la parábola representada por la ecuación (29) pasa por los puntos N, S y O. y el gasto máximo se alcanza cuando el espesor del acuífero es igual a la mitad de la carga total de alimentación.

3.2.5 La Curva de Producción del Pozo en la Parte Correspondiente al Propio Acuífero.

Hasta aquí se ha visto el comportamiento de la curva de producción en la parte correspondiente al tramo recto, es decir, desde el nivel de alimentación y el techo del acuífero. Falta encontrar el comportamiento de la curva de producción dentro del acuífero.

Es de suponer que la curva de producción a partir del punto S de la Lamina 3.2.5 (a) deje de ser una recta y que su comportamiento sea parecido al de la curva de producción de acuífero abierto. Es decir cuando la carga h_0 este entre los límites Z h_0 0, la curva de producción debe abandonar la recta NS y seguir una curva como SV.



CURVA DE PRODUCCION PARA $0 < h_0 < z$

a

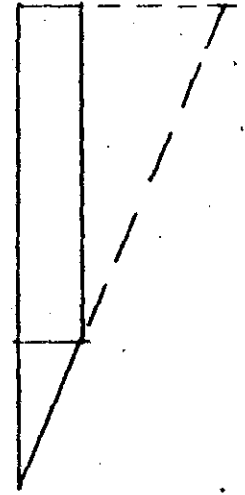


DIAGRAMA DE CAPACIDADES ESPECIFICAS

b

Lámina 3.2.5

Ademas, sabemos que cuando no hay confinamiento es decir, cuando el espesor del acuífero confinado sea igual a la carga total, la curva de producción debe ser la de un acuífero abierto y su comportamiento lo muestra la curva parabólica $NS'V'$.

Analicemos la variación de la capacidad especifica, a partir de la parte recta de la curva de producción, es decir a partir de la ecuación (28).

Por definición capacidad especifica es:

$$C = \frac{2KZ(H-Z)}{H-Z} \quad (36)$$

$$C = 2KZ \quad (37)$$

Pero $Z=h_0$, por lo que la ecuación (37) es igual a la (20)

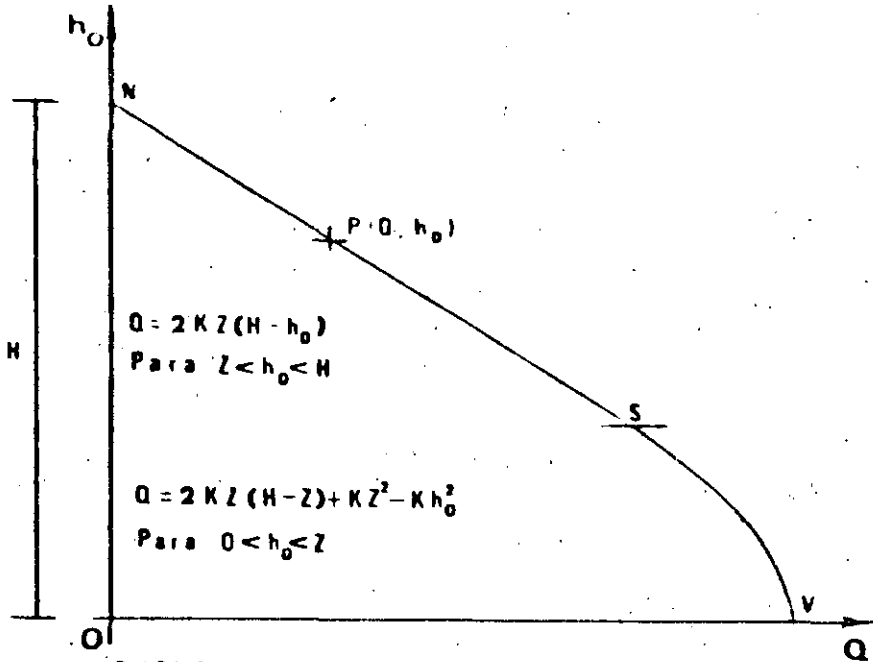
$$C = 2Kh_0 \quad (20)$$

Se tiene entonces, que la capacidad especifica de la recta en el punto S' de la Lamina 3.2.5 (a) es igual al de parabola en el punto S' . Y cuando el espesor del acuífero confinado llega a valer H la curva de producción es una parábola. Podemos afirmar que la curva de producción del pozo abajo del techo del acuífero confinado, se comporta como una parábola.

Utilizando las propiedades de la parábola se llega facilmente a la obtención de la curva de producción de un acuífero confinado valida para $0 < h_0 < Z$, Ver la Lamina 3.2.6 (a)

$$Q = 2KZ(H-Z) + KZ^2 - kh_0^2 \quad (38)$$

La Lamina 3.2.6 (b) muestra el diagrama de capacidades especificas de un acuífero confinado.



CURVA DE PRODUCCION. ACUIFERO CONFINADO

(a)

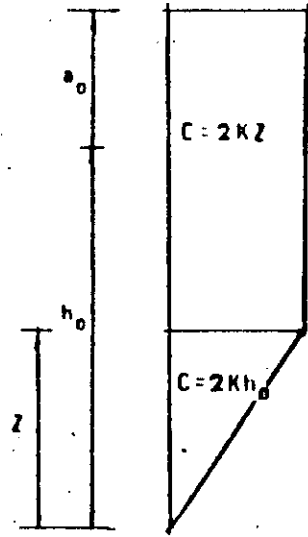


DIAGRAMA DE CAPACIDADES ESPECIFICAS

(b)

Lámina 3.2.6

3.3 Curvas de Producción y Diagramas de Capacidades Especificas de Acuíferos Intercalados.

Para poder conocer la curva de producción de los pozos con acuíferos intercalados, observese la Lámina 3.3.1 que muestra en primer y segundo lugar los casos típicos de acuíferos abierto y confinado respectivamente y al final el caso de dos acuíferos confinados a diferentes profundidades. Para facilitar la comprensión de lo que ocurre en este caso, se han hecho las siguientes consideraciones en los tres casos se trata de pozos con iguales características geométricas, tales como ; diámetro ; profundidades etc. etc.

Y además todos los acuíferos tienen la misma permeabilidad.

Como puede observarse en la figura (c) de la Lámina 3.3.1 la curva de producción resultante de los acuíferos intercalados conserva semejanza con la de los casos típicos conocidos. Esto viene a demostrar que aún en los casos en que se trata de varios acuíferos localizados a diferentes profundidades, la curva de producción resultante conserva su tendencia de ser una parábola.

3.4 Modificación de la Curva de Producción por Pérdida de Fricción .

Las curvas de producción hasta aquí obtenidas tienen su apoyo fundamental en -- la Ley de Darcy, es decir se han obtenido bajo la suposición de que el régimen del flujo establecido a lo largo de todo el acuífero que afecta al pozo es laminar. Pero en la realidad no es así pues el régimen del flujo en la vecindad del pozo no respeta esta ley y se transforma en turbulento ; lo que origina que las pérdidas hidráulicas sean mayores que las que se tienen cuando el régimen es laminar. Además existen otro tipo de pérdidas hidráulicas en la vecindad del pozo, cuando el agua del acuífero atraviesa el cedazo del pozo y puede haber -- otras pérdidas más por las fallas que se tienen a consecuencia de la construcción del pozo como pueden ser la invasión de los lodos en el acuífero y cambios en la estructura de las formaciones atravesadas que pueden afectar negativamente la permeabilidad de los acuíferos.

Lo anterior obliga a que las curvas de producción obtenidas a partir de la teoría sean modificadas como se muestra en la Lámina 3.4.1 . En donde la curva de producción NV se ve modificada por la curva NV' .

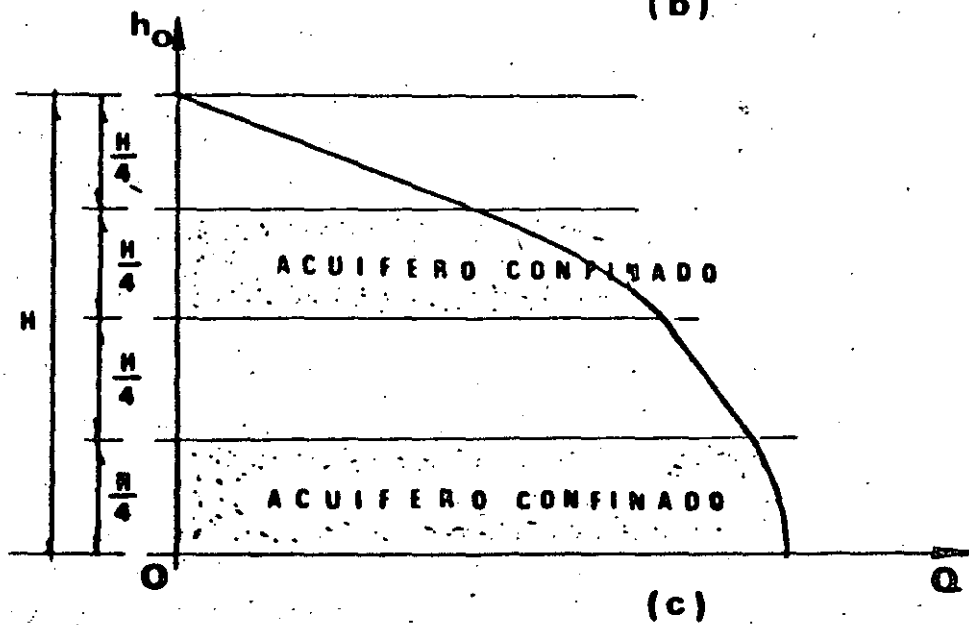
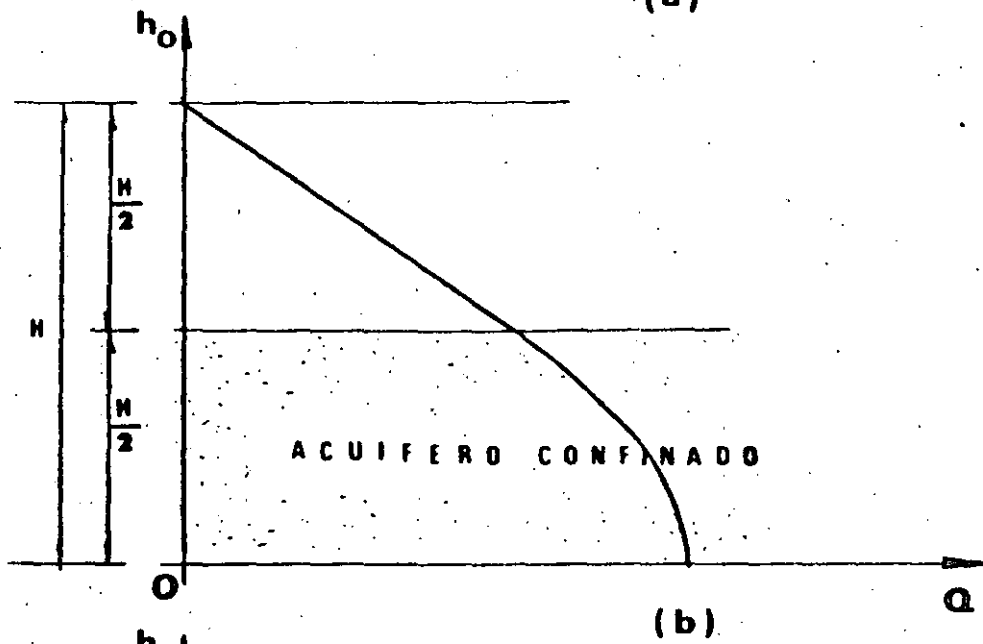
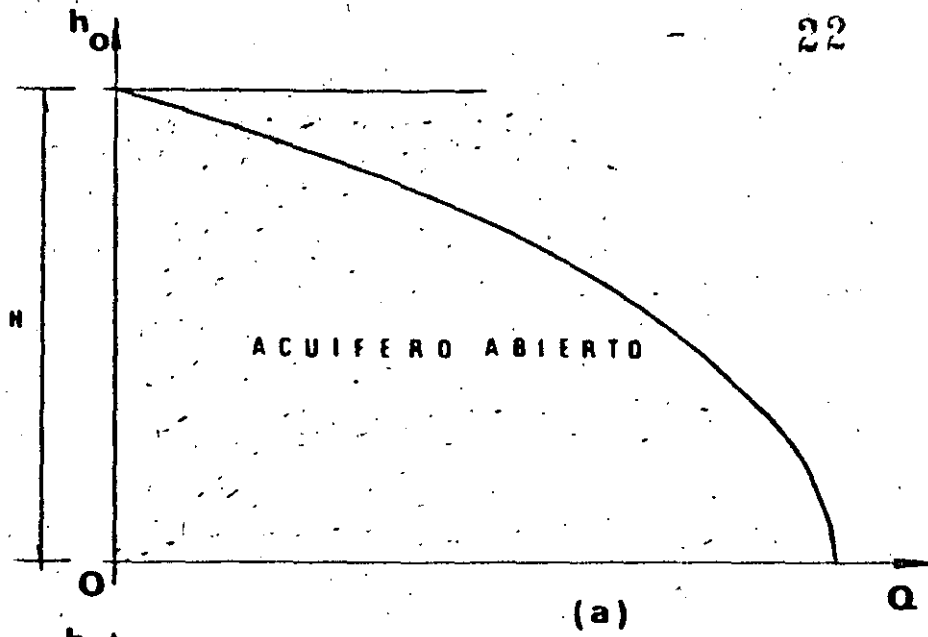
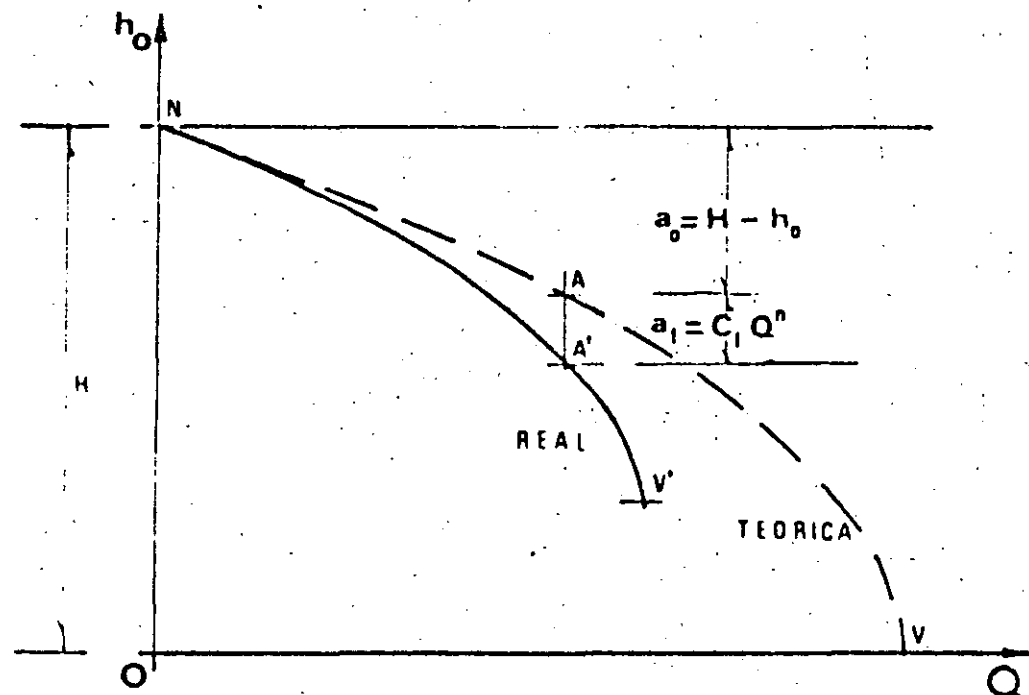
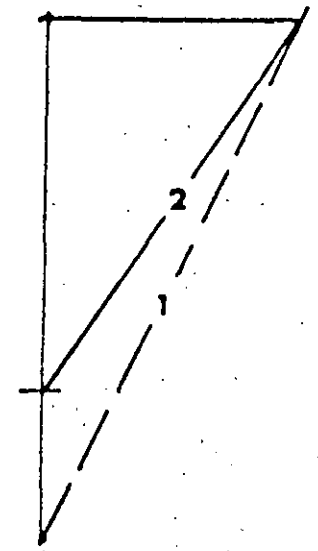


Lámina 3.3.1



(a)



(b)

Lámina 3.4.1

Para facilitar la comprensión de las curvas de producción obtenidas a partir de la teoría pura, no habíamos considerado el hecho importante de que físicamente la cantidad de agua que entra al pozo cuando este se encuentra a máxima producción físicamente necesita una longitud de cedazo que permita el paso del caudal máximo. Esta longitud de la zona de producción es considerable. Es decir, el gasto máximo que se puede obtener del acuífero no es cuando el nivel de explotación alcanza el piso del mismo o el fondo del pozo, sino mucho antes.

En teoría el gasto máximo, se obtiene cuando el nivel de explotación alcanza el vértice de la parábola, pero en la realidad el gasto máximo se obtiene mucho antes.

3.5 CURVAS DE PRODUCCION Y DIAGRAMAS DE CAPACIDADES ESPECIFICAS DE ACUIFEROS-REALES.

Cuando al explotar un pozo es posible agotarlo o cuando menos puede mostrar - sintomas de agotamiento, se observa con claridad que la curva de producción -- tiende a ser una parábola. Esto ocurre con los pozos en general, no solo en - los de acuífero abierto sino en los de acuífero confinado; inclusive en los ca - sos de acuíferos combinados e intercalados.

Como dato curioso, ocurre lo mismo en los pozos petroleros donde se observa es - ta tendencia, con la variante de que la curva de producción se basa en cargas - de presión y no en cargas hidráulicas.

Claro está que en la realidad las curvas de producción no son parábolas perfec - tas, pero su tendencia es la de ser curvas paraboloides . Lo cual se observa - en la Lámina 3.4. 1 .

Esta circunstancia es interesante, por que el comportamiento de las capacida - des específicas tiende al valor nulo y su variación no se aleja mucho de una - recta, lo cual permite conocer el comportamiento del pozo a partir de esta va - riación.



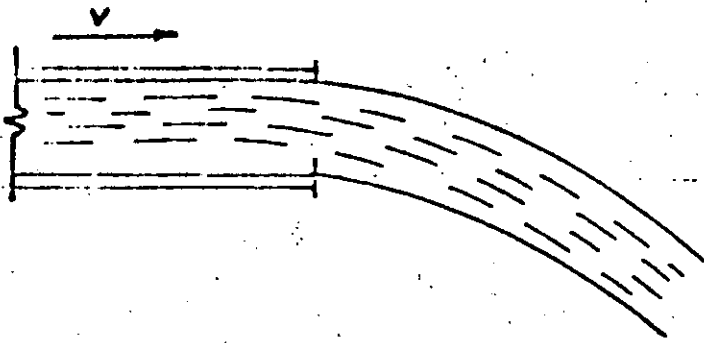
**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

EJERCICIOS SOBRE EL TEMA: POZOS Y AGUIFEROS

ABRIL, 1985

MEDICION DEL GASTO
METODO DE LA ESCUADRA



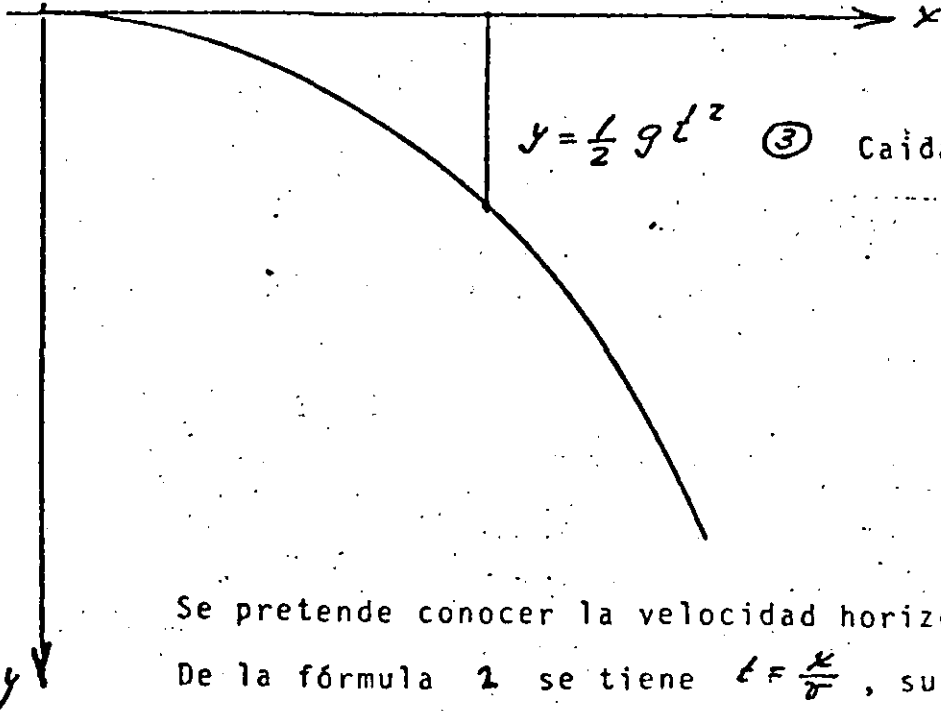
$$A_+$$

$$Q = Av \quad (1)$$

La curva que describe el chorro es una parábola.

Movimiento de una partícula disparada horizontalmente

$$v = \frac{x}{t} \quad (2) \text{ Fórmula elemental de la velocidad}$$



$$y = \frac{1}{2} g t^2 \quad (3) \text{ Caída libre de un cuerpo}$$

Se pretende conocer la velocidad horizontal (v)

De la fórmula 2 se tiene $t = \frac{x}{v}$, sustituyendo este valor en la fórmula 3, se tiene:

$$y = \frac{1}{2} g \left(\frac{x}{v} \right)^2 \quad (4)$$

Despejando v , se tiene

$$v = \sqrt{\frac{1}{2} g \frac{1}{y}} x \quad (5)$$

Haciendo constante la variable y , se simplifica la fórmula de la velocidad en

$$v = K_1 x \quad (6)$$

Sustituyendo en 1, se tiene

$Q = K_1 A x$ como A para un caso dado es constante

$$Q = K_2 x \quad (7)$$

CONCLUSIONES DEL METODO DE LA ESCUADRA

- 1.- Existen dos casos, tubo lleno y tubo vacio.
- 2.- Basta medir la distancia horizontal donde el chorro se abate 0.305 m. (12").
- 3.- Caso particular cuando se empieza a llenar y esto ocurre para una distancia horizontal de 50 cm.
- 4.- Se observa una curiosa relación entre gastos y diámetros.

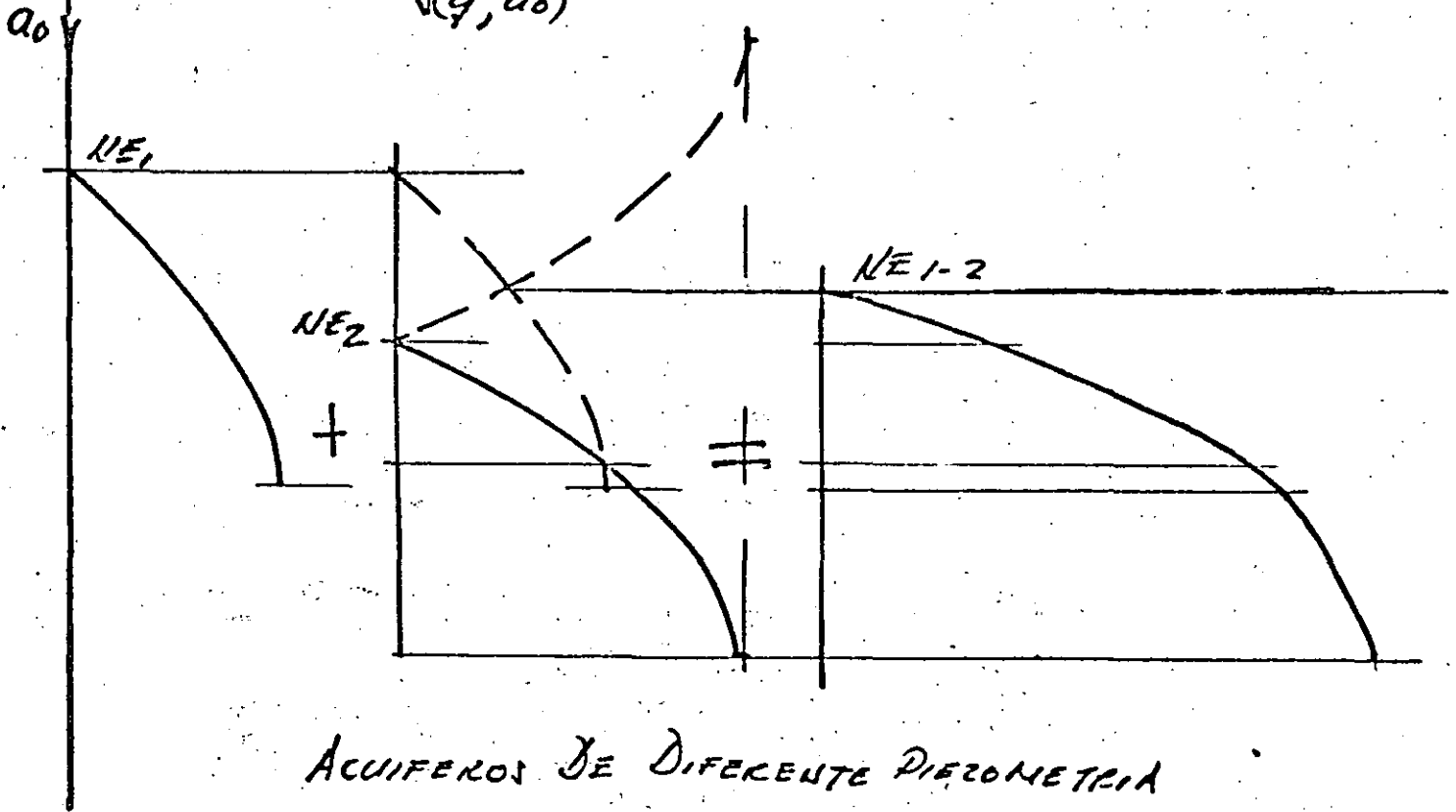
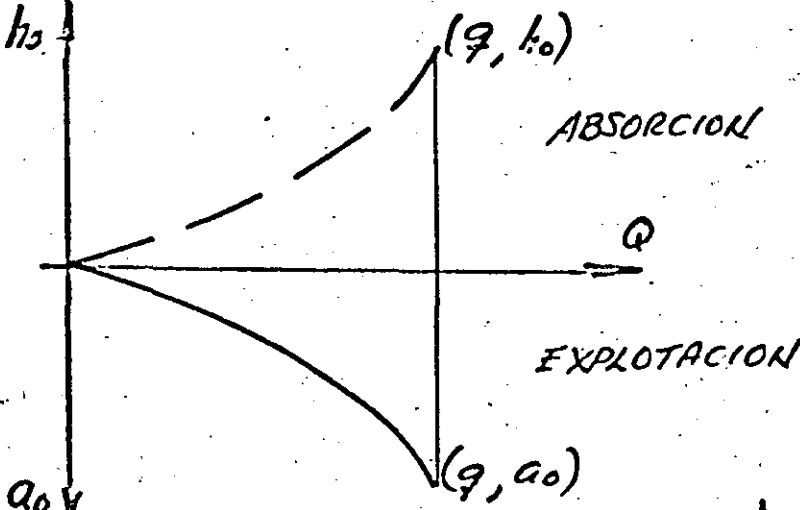
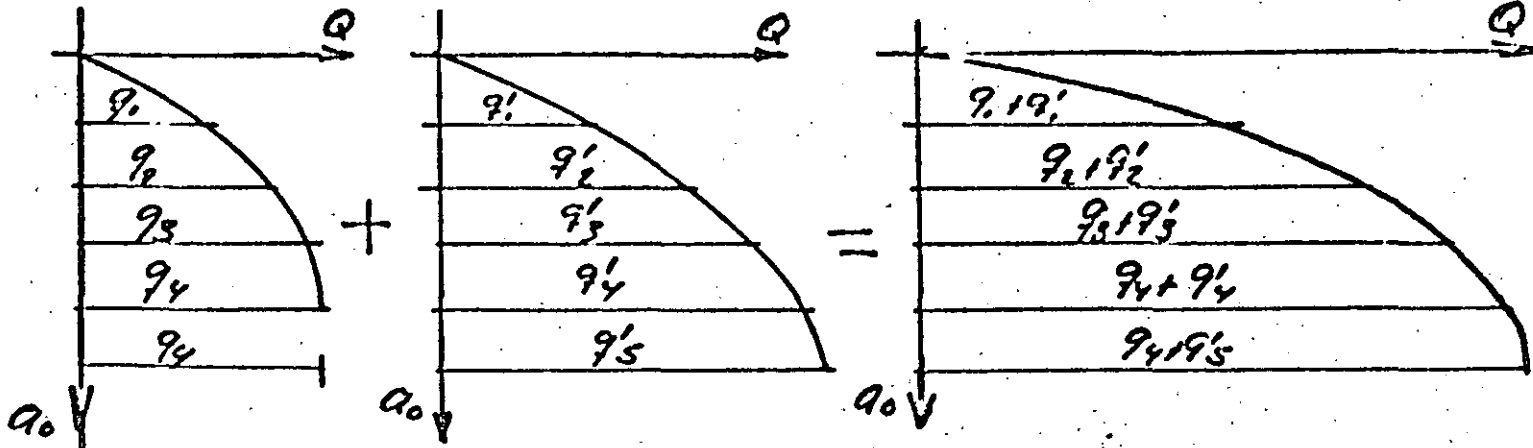
$$Q = (d")^2 \text{ L.p.s.}$$

- 5.- La aplicación de esta curiosa regla es muy variada, por que permite de manera práctica, simple y efectiva llegar a conclusiones rápidas, tales como :
 - a) Afirmar que si, un tubo esta lleno, que el gasto (l.p.s.) es cuando menos el equivalente el cuadrado del diámetro en pulgadas.
 - b) Con estas condiciones se establece un régimen dentro del tubo, que se acerca a las convenientes perdidas de fricción, permite diseñar en forma preliminar diámetros de tuberías para este y otros casos.
 - c) Es la base para el diseño de bombas y pozos.

Q	COLUMNA	TAZONES	ADEME	PERFORACION
16 l/s	4"	6"	8"	De 14" - 16 "
36 l/s	6"	8"	10"	De 16" - 18 "
64 l/s	8"	10"	12"	De 18" - 20 "
100 l/s	10"	12"	14"	De 20" - 22 "

ACUIFEROS DE IGUAL PIEZOMETRIA

③



ACUIFEROS DE DIFERENTE PIEZOMETRIA

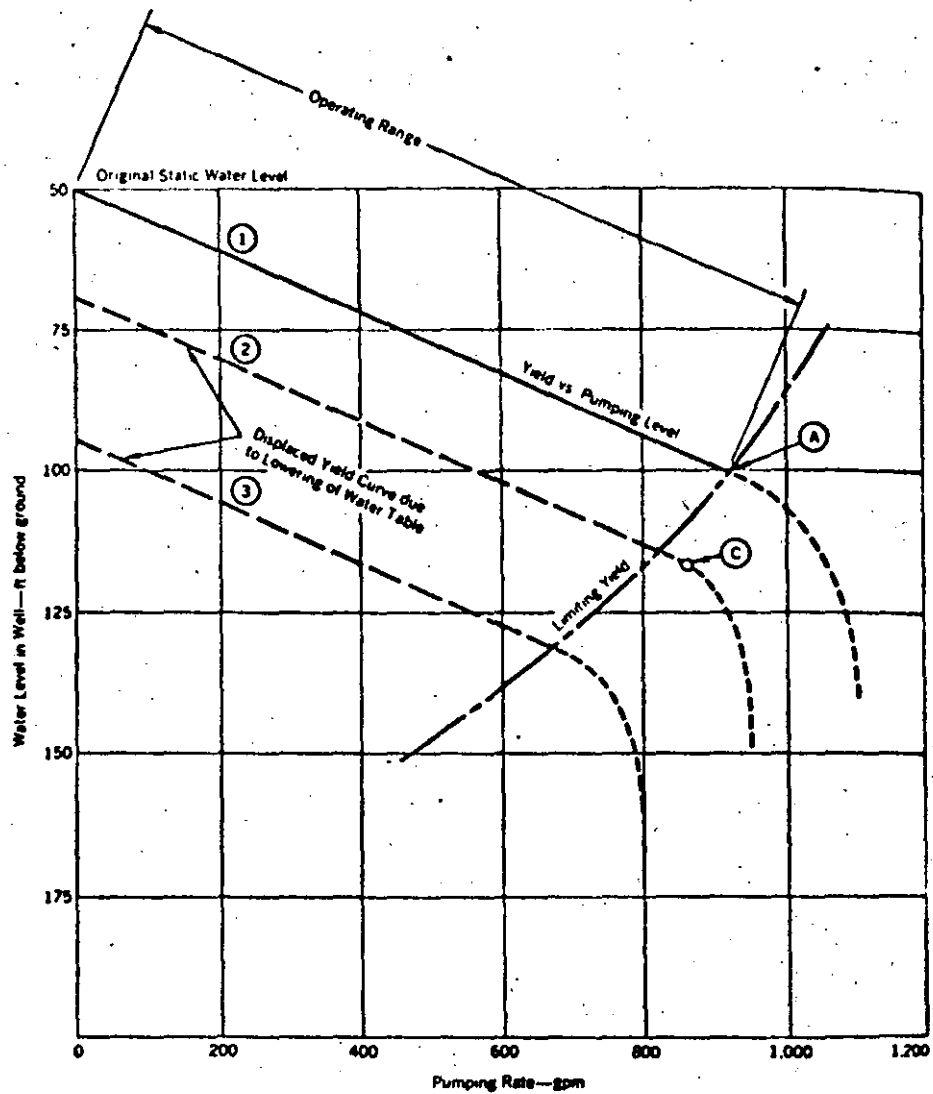


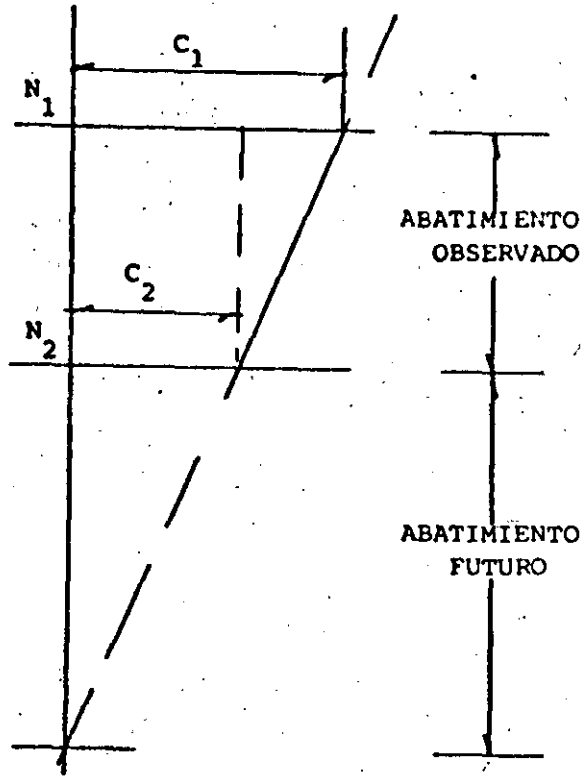
Fig. 49. Operating Problems Resulting From a Drop in the Water Table

trained air bubbles, may cause disturbance in the distribution system. This action can dislodge corrosion products or other incrustants from the inside of pipes. Complaints about dirty water follow immediately.

Water levels in each well should be measured and recorded routinely according to a program that fits the operation. A continuing record of both nonpumping and pumping levels should be maintained. If the pumping level recedes, the cause should be determined. Timely adjustment of the pumping equipment should be made if danger of breaking suction becomes apparent.

VI.-DETERMINACION DEL TIEMPO PROBABLE DE AGOTAMIENTO DE UN POZO.

Resulta muy sencillo saber cuando un pozo se va a agotar, pues como se ha visto la variación de la capacidad especifica es lineal o casi lineal y su tendencia es a cero. Unicamente se tiene que observar la variación de C y seguir su evolución. Para conocer el tiempo probable de agotamiento bastara extrapolar la curva con los datos observados hasta que alcance C el valor de cero.

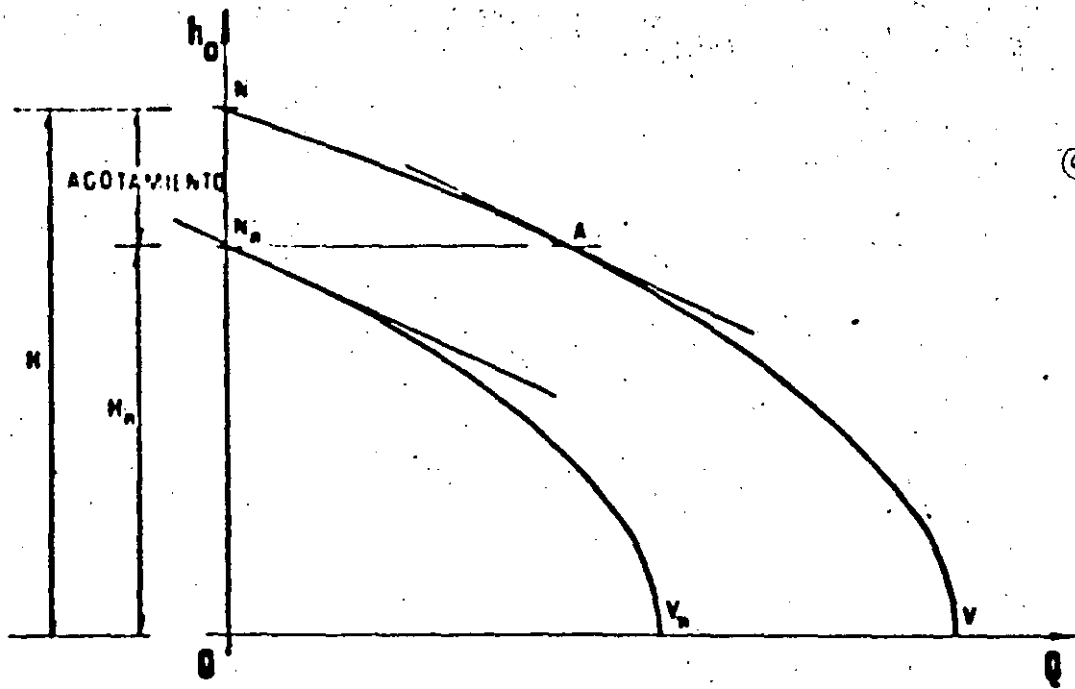


$$\text{VELOCIDAD DE AGOTAMIENTO} = \frac{\text{ABATIMIENTO OBSERVADO}}{\text{TIEMPO OBSERVADO}}$$

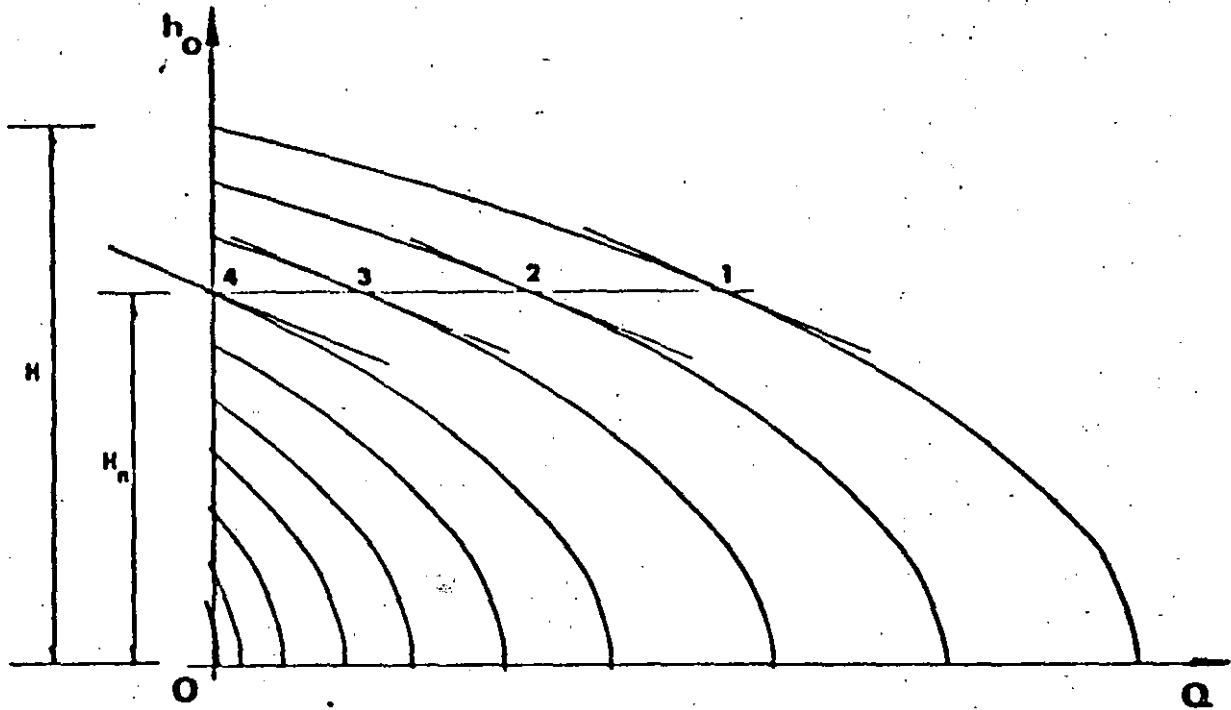
$$\frac{\text{ABATIMIENTO FUTURO}}{C_2} = \frac{\text{ABATIMIENTO OBSERVADO}}{C_1 - C_2}$$

$$\text{ABATIMIENTO FUTURO} = \frac{C_2}{C_1 - C_2} \text{ ABATIMIENTO OBSERVADO}$$

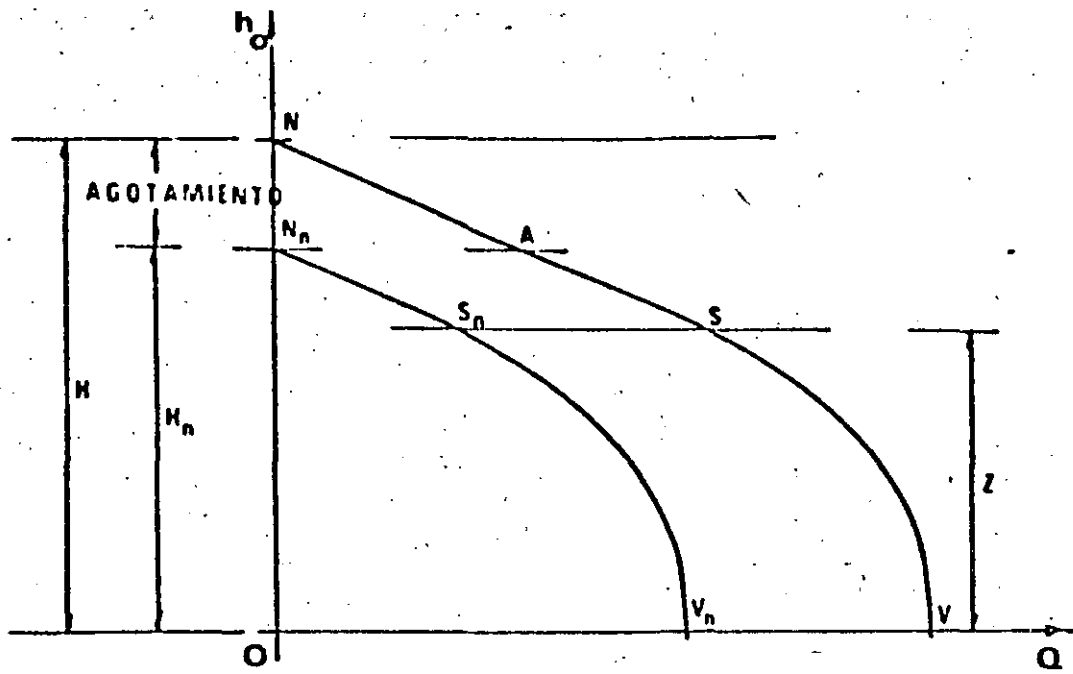
$$\text{TIEMPO PROBABLE DE VIDA} = \frac{\text{ABATIMIENTO FUTURO}}{\text{VELOCIDAD AGOTAMIENTO}}$$



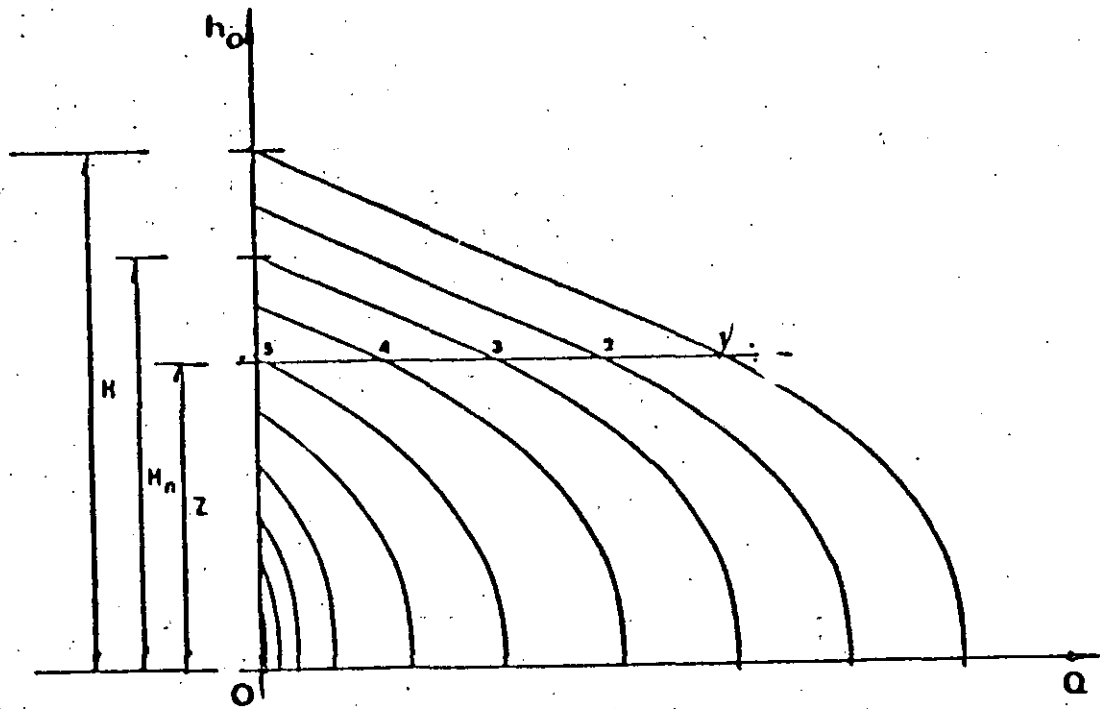
Lamina 4.1.1



Lamina 4.1.2

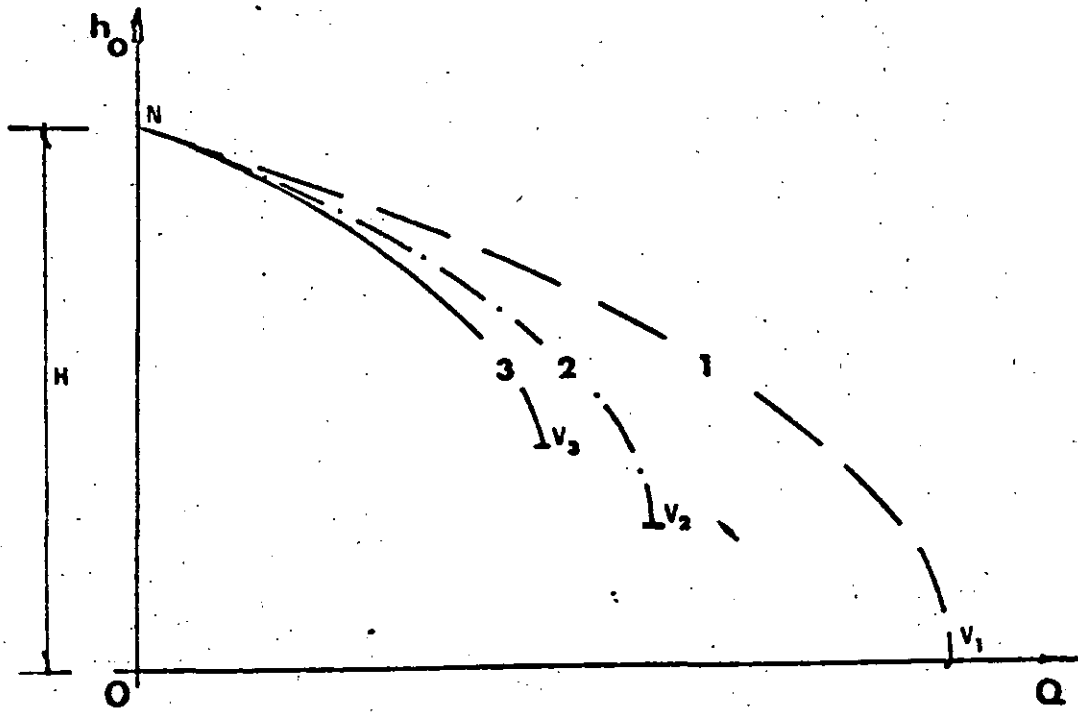


Lamina 4.4.1

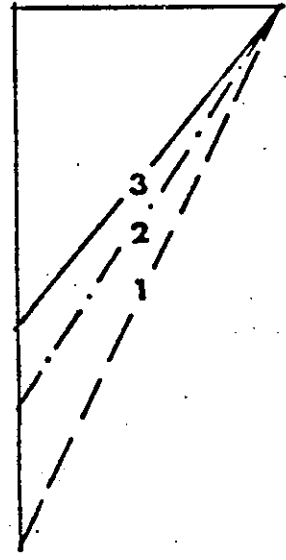


Lamina 4.4.2

2



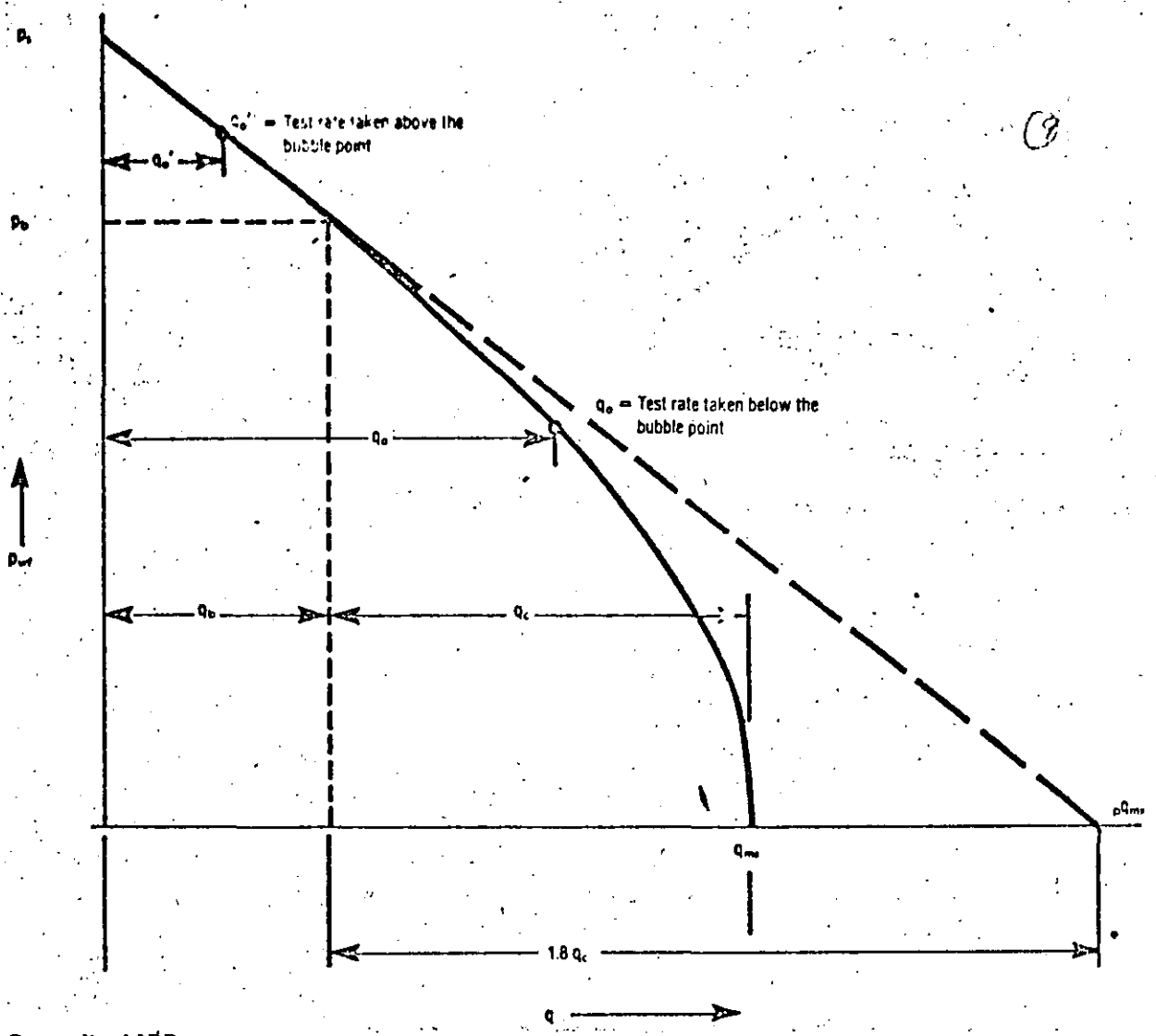
(a)



(b)

3

Lámina 3.5.1



PEI

Fig. 1. Generalized IPR curve, $p_s > p_b$.

Defining the rate drawdown to the bubble point as

$$q_b = J_o (\bar{p} - p_b) \quad (6)$$

when

$$p_{wf} = p_b$$

and substituting Eq. 6 into Eq. 5 yields

$$\frac{q_o - q_b}{q_c} = 1 - 0.2 (p_{wf}/p_b) - 0.8 (p_{wf}/p_b)^2 \quad (7)$$

If the two functions of Eqs. 2 and 7 are continuous at p_b , the derivative of each at $p_{wf} = p_b$ equals

$$\left. \frac{dq_o}{dp_{wf}} \right|_{p_{wf} = p_b} = -J_o \quad (8)$$

or

$$-0.2 q_c/p_b - (1.6 q_c/p_b^2) p_b = -J_o = q_b/(\bar{p} - p_b) \quad (9)$$

Solving Eq. 9 for q_b

when $\bar{p} > p_b$

$$q_b = 1.8 (\bar{p}/p_b - 1) q_c \quad (10)$$

$$q_c = q_b/[1.8 (\bar{p}/p_b - 1)] \quad (10a)$$

A useful term to refer to is ${}_{\rho}q_{mx}$ (pseudo- q_{mx}), the pseudoabsolute open flow obtained by extending the straight line PI below the bubble point to $p_{wf} = 0$.

From similar triangle relations (Fig. 1), we can write

$${}_{\rho}q_{mx} - q_{mx} = J_o \bar{p} - q_b - q_c \quad (11)$$

$$= q_b (\bar{p}/(\bar{p} - p_b) - 1) - q_c - q_b \quad (11a)$$

$${}_{\rho}q_{mx} = q_b [\bar{p}/(\bar{p} - p_b) - 1] - q_c \quad (11a)$$

Substituting Eq. 10 into Eq. 11 yields

$$q_{mx} = {}_{\rho}q_{mx} - 0.8 q_c \quad (12)$$

Solving Eq. 7 for q_c with respect to q_o and q_b we obtain

$$q_c = q_o/[1.8 (\bar{p}/p_b) - 0.8 - 0.2 (p_{wf}/p_b) - 0.8 (p_{wf}/p_b)^2] \quad (13)$$

If we set $\bar{p} = p_b$, Eq. 13 becomes Eq. 1, the Vogel equation, and $q_c = q_{mx}$.

Recall that

$$q_{mx} = q_b + q_c \quad (14)$$

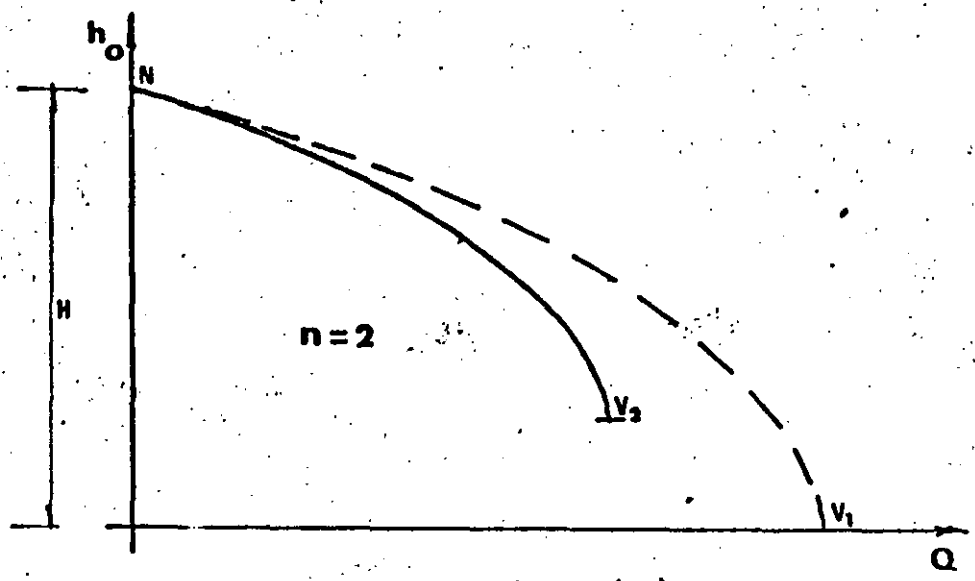
and substituting q_c from Eq. 13 to Eq. 14 results in

$$q_{mx} = q_b + ({}_{\rho}q_{mx} - q_b)/1.8 \quad (15)$$

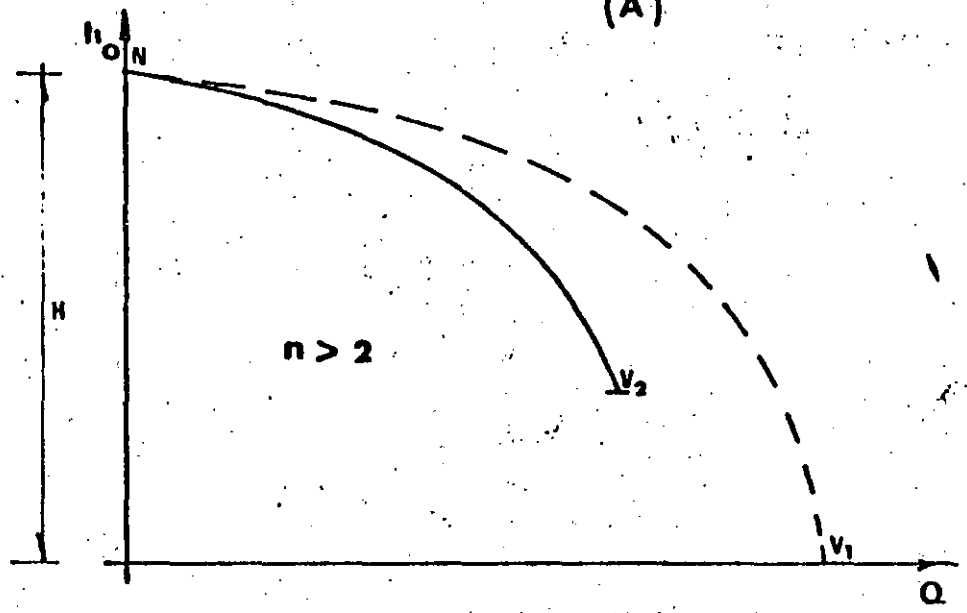
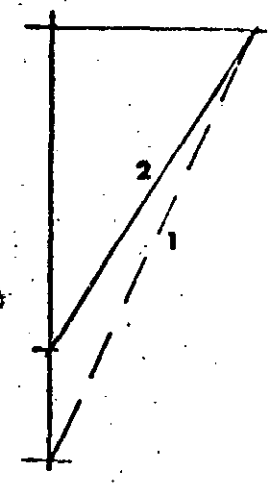
From Eqs. 10, 12, and 15, two other important relationships are derived:

$$q_{mx}/q_b = \frac{1.8 (\bar{p}/p_b) - 0.8}{1.8 (\bar{p}/p_b) - 1.8} \quad (16)$$

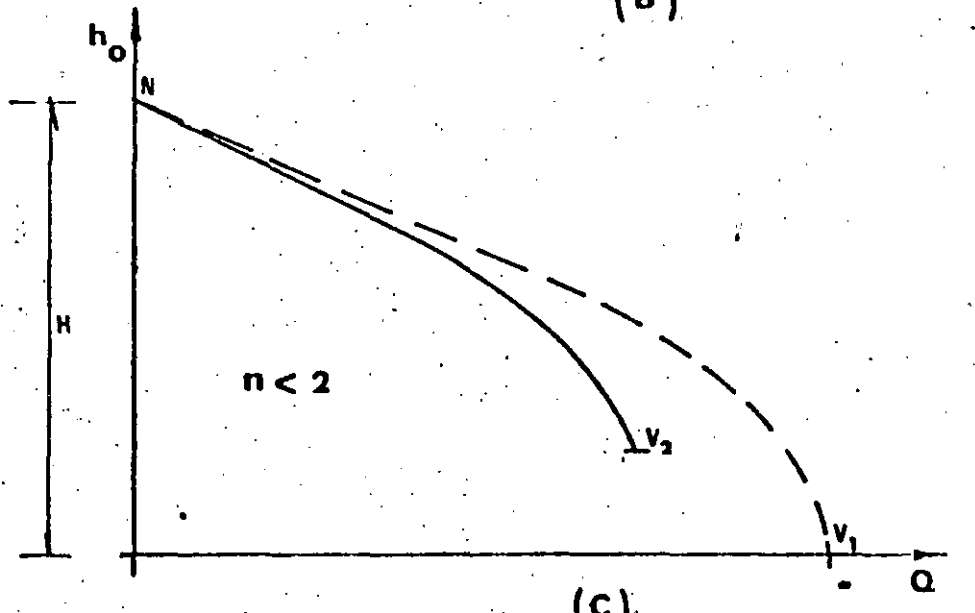
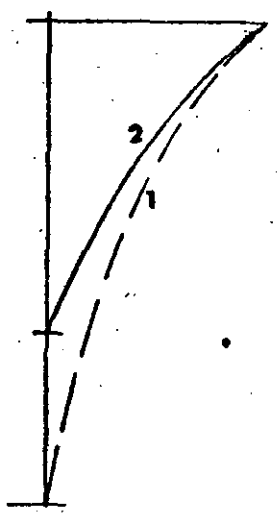
$$q_{mx}/{}_{\rho}q_{mx} = \frac{1.8 (\bar{p}/p_b) - 0.8}{1.8 (\bar{p}/p_b)} \quad (17)$$



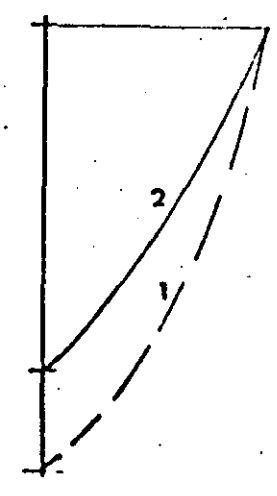
(A)



(B)



(C)



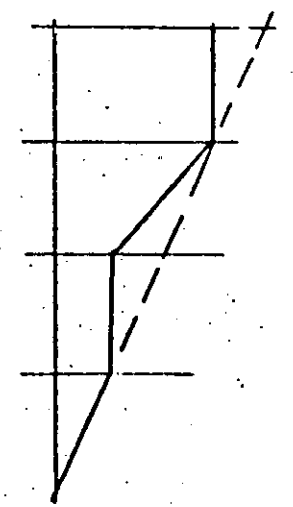
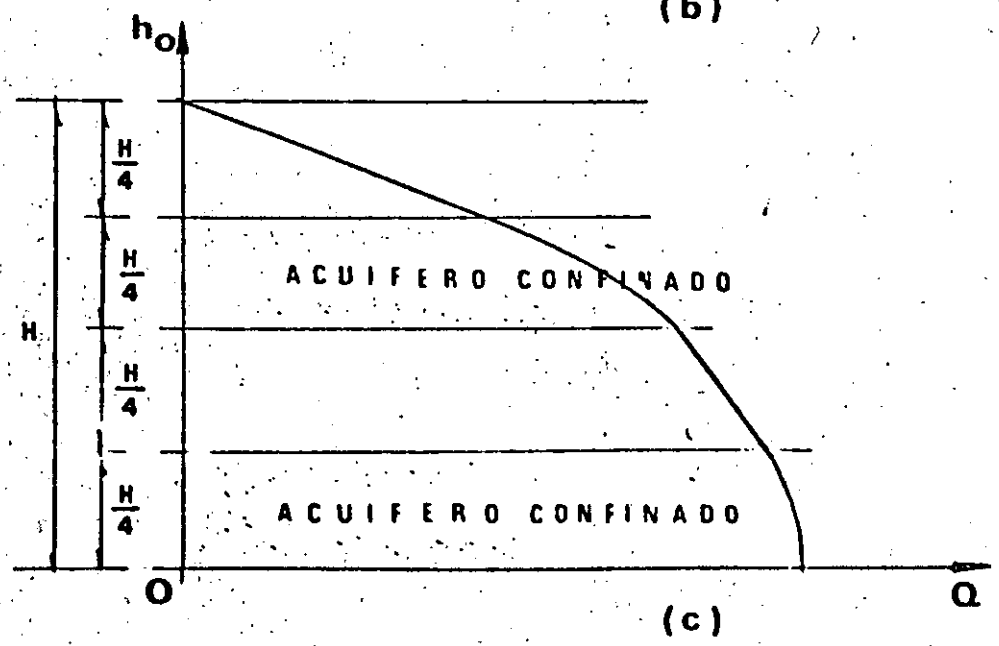
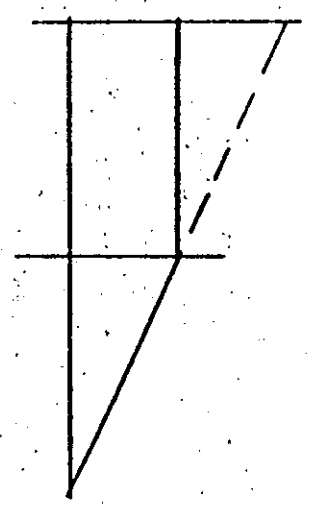
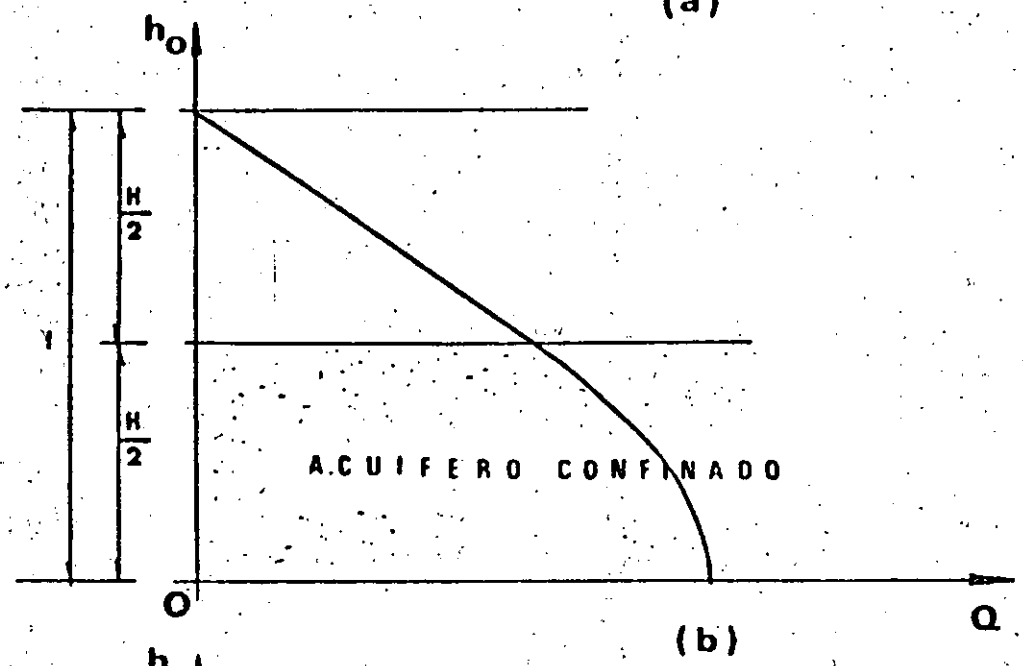
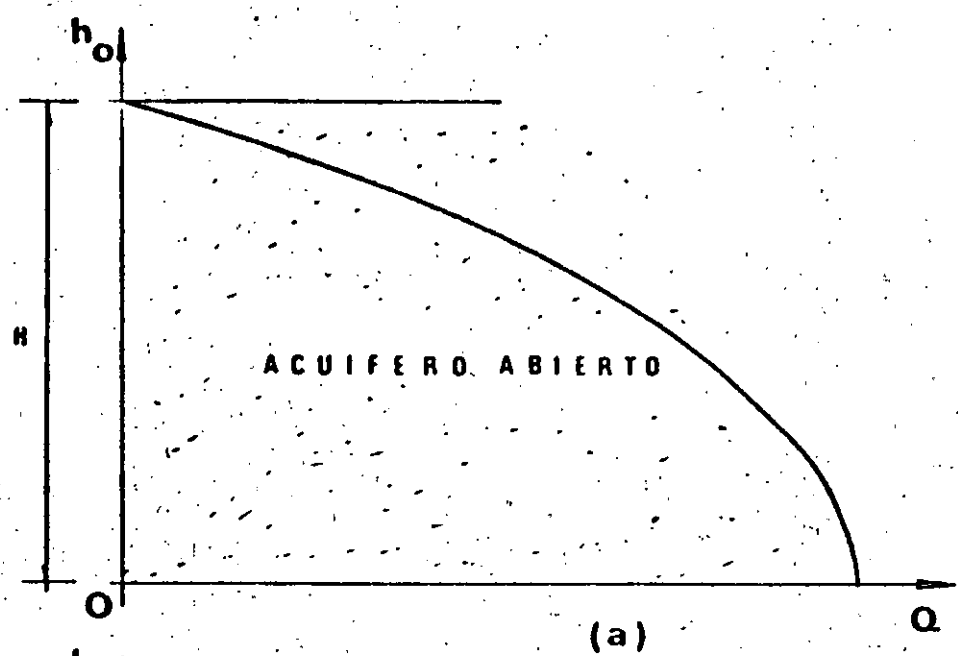


Lámina 3.3.1

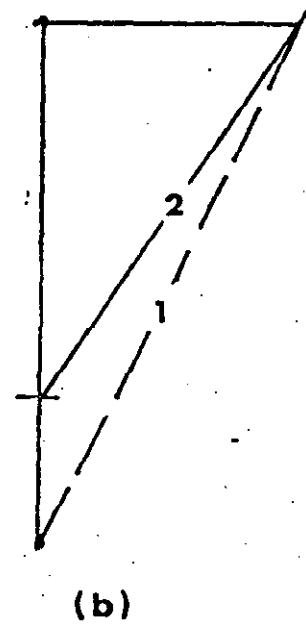
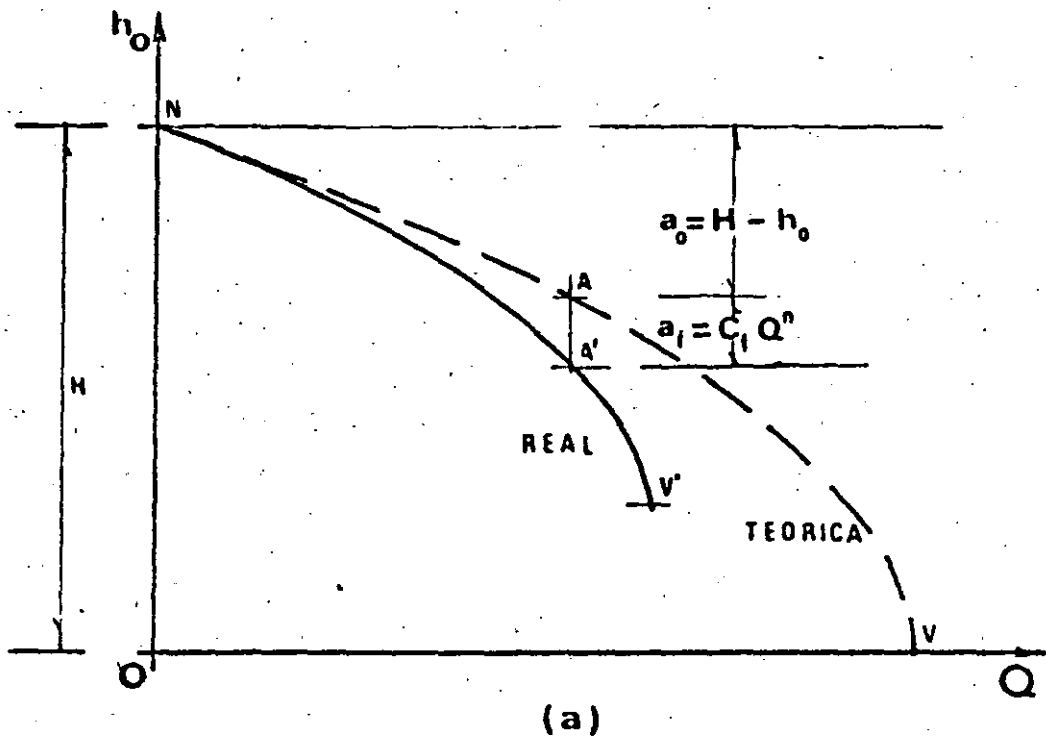
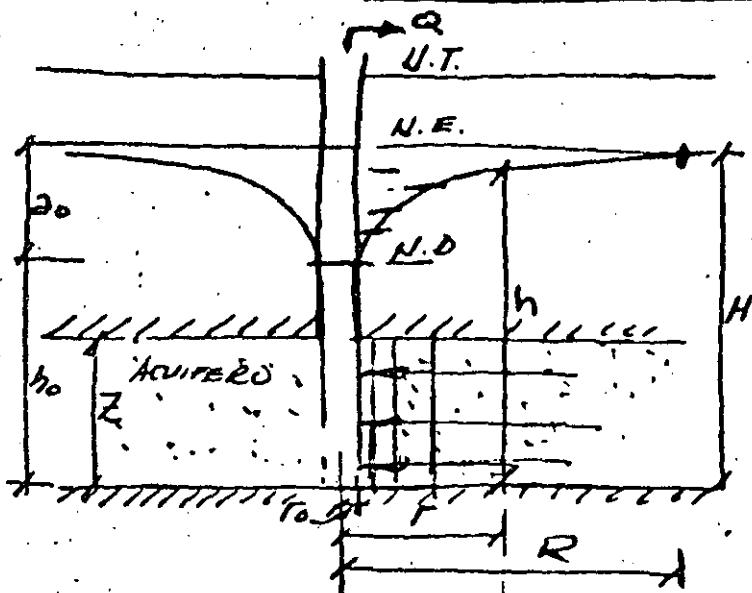


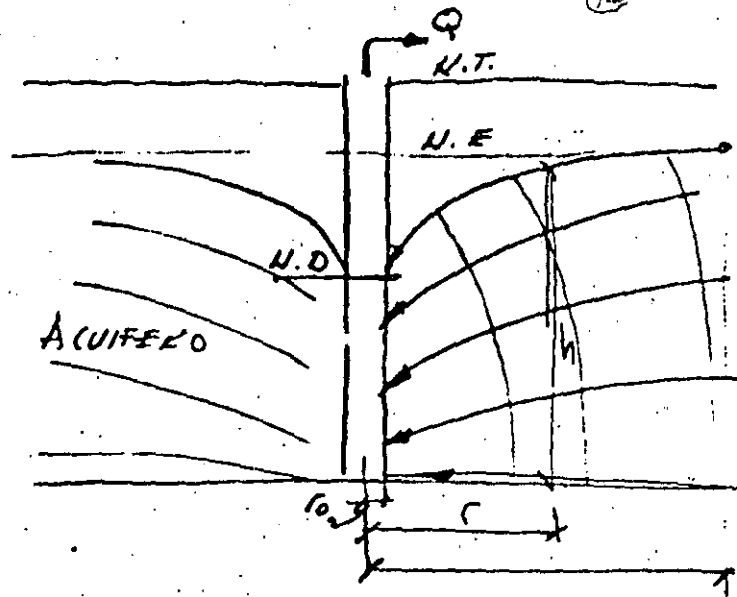
Lámina 3.4.1

HIDRAULICA DE LOS POZOS

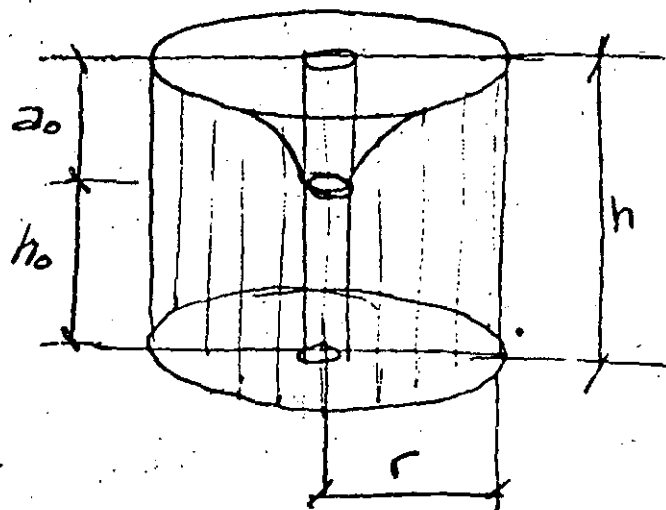
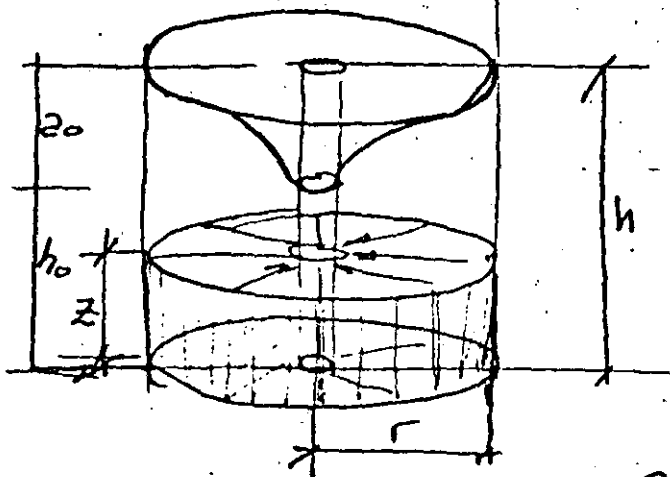
(13)



ACUIFERO CONFINADO



ACUIFERO LIBRE



$$Q = A v$$

$$v = k \frac{dh}{dr}$$

$$k = \text{Coef. Perm.}$$

$$A = 2\pi r z$$

$$Q = 2\pi r z k \frac{dh}{dr}$$

$$Q \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = 2\pi k z \int_{h_1}^{h_2} dh$$

$$Q L \ln \frac{r_2}{r_1} = 2\pi k z (h_2 - h_1)$$

Tomando limites

$$r_1 = r_0 \quad h_1 = h_0$$

$$r_2 = R \quad h_2 = H$$

y sustituyendo

$$H - h_0 = a_0$$

$$Q = \frac{2\pi k z a_0}{L R / r_0}$$

$$A = 2\pi r h$$

$$Q = 2\pi r h k \frac{dh}{dr}$$

$$Q \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = 2\pi k \int_{h_1}^{h_2} h dh$$

$$Q L \ln \frac{r_2}{r_1} = 2\pi k \frac{(h_2^2 - h_1^2)}{2}$$

Tomando limites.

$$r_1 = r_0 \quad \text{y} \quad h_1 = h_0$$

$$r_2 = R \quad \text{y} \quad h_2 = H$$

$$Q = \frac{\pi k (H^2 - h_0^2)}{L R / r_0}$$

$$Q = \frac{\pi k (H + h_0) a_0}{L R / r_0}$$



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

AFORO DE POZOS PROFUNDOS

ING. GILBERTO LEON MARTINEZ

ABRIL, 1985

CABEZAL DE ENGRANES

INDICE

I.-	ELEMENTOS DE TRANSMISION	
	CABEZAL DE ENGRANES	1
	FLECHA DE TRANSMISION	5
II.-	MOTORES DE COMBUSTION INTERNA	
	MOTORES DIESEL	9
III.-	CALCULO Y SELECCION DE UN EQUIPO DE AFORO	17
IV.-	METODO DE ORIFICIO CALIBRADO	23
V.-	AFORO	37
VI.-	METODOS DE AFORO	41
	1.- METODO DE CUCHAREO	42
	2.- METODO DE CUBICACION	44
	SIFONEO CON AIRE	46
	3.- METODO DE ESCUADRA	56
	4.- MEDIDOR DE FLUJO	67
	5.- MEDICION EN CANAL	67
	6.- MEDICION EN POZOS BROTANTES	77

Tiene como función transmitir la potencia de la flecha motriz a la flecha de la bomba se compone principalmente de un cuerpo que aloja en su interior dos flechas una horizontal y una vertical con un engrane cada una, que pueden ser iguales ó diferentes en su diámetro exterior y tienen como función cambiar el sentido de la transmisión de horizontal del motor a vertical en la bomba y variar en su caso la velocidad de la bomba.

Se selecciona de acuerdo a la potencia efectiva de la bomba y sus dimensiones físicas dependerán de esta potencia.

Relación de Engranés. - El emplear diferentes diámetros en los engranes de un cabezal, permite variar la velocidad de la bomba, incrementando ó disminuyendo la velocidad de la misma con relación a la del motor.

Cuando se emplean engranes iguales la velocidad del motor será igual a la de la bomba.

La relación de engranes permite medir las variaciones de velocidad en función de los engranes utilizados, así por ejemplo tenemos:

Relación 1 : 1	1 vuelta de la flecha del motor por 1 vuelta de la flecha de la bomba
2 : 3	2 vueltas de la flecha del motor por 3 vueltas de la flecha de la bomba.

Si se desea calcular la velocidad del motor, empleando diferentes relaciones y manteniendo la velocidad de la bomba a 1 760 rpm., se tiene:

$$\text{Relación } 2 : 3 \quad \text{Vel. motor} = \frac{2}{3} \times 1\,760 = 1\,173 \text{ rpm}$$

$$\text{Relación } 3 : 4 \quad \text{Vel. Motor} = \frac{3}{4} \times 1\,760 = 1\,320 \text{ rpm}$$

$$\text{Relación } 10 : 11 \quad \text{Vel. motor} = \frac{10}{11} \times 1\,760 = 1\,600 \text{ rpm}$$

Si tenemos que la velocidad de la bomba es de 1 760 rpm y la velocidad del motor es de 1 410 rpm para la potencia requerida, nuestra relación de engranes sería:

$$\frac{1\,410}{1\,760} = 0.80$$

Para determinar a que relación de engranes corresponde 0.80, se entra a la siguiente tabla, en la que encuentran tabuladas las relaciones más usuales:

2 : 3	=	0.66
3 : 4	=	0.75
4 : 5	=	0.80
5 : 6	=	0.83
10 : 11	=	0.90

La relación adecuada será entonces 4 : 5.

MULTIPLICACION DE VELOCIDAD

MODELO	R.P.M. BOMBA	HP	REVOLUCIONES POR MINUTO DEL MOTOR										CAPACIDAD DE CARGA KGS.		
			1:1	3:4	2:3	1:2	1:3	10:11	5:6	4:5	5:8	4:7	NORMAL	ESPECIAL	
20-A	1160	15	1160	870	773	580	387							1070	1670
	1460	17	1460	1095	973	730	487							986	1539
	1760	20	1760	1320	1173	880	587							930	1452
	3460	32	3460	2595	2307	1730	1153							744	1162
30-A	1160	22	1160	870	773	580			967			667	1617	2504	
	1460	25	1460	1095	973	730			1217			840	1490	2308	
	1760	30	1760	1320	1173	880			1467			1012	1406	2177	
	3460	45	3460	2595	2307	1730			2883			1990	1157	1769	
50-A	960	32	960	720	640	480	320	864	800	768	597	548	2269	3320	
	1160	37	1160	870	773	580	387	1044	967	928	721	667	2139	3130	
	1460	44	1460	1095	973	730	487	1314	1217	1168	908	840	1971	2885	
	1760	50	1760	1320	1173	880	587	1584	1467	1408	1094	1012	1860	2722	
70-A	960	45	960	720	640	480	320	864	800	768	597	548	3154	5091	
	1160	51	1160	870	773	580	387	1044	967	928	721	667	2973	4799	
	1460	62	1460	1095	973	730	487	1314	1217	1168	908	840	2741	4424	
	1760	70	1760	1320	1173	880	587	1584	1467	1408	1094	1012	2586	4173	
90-A	960	60	960	720	640	480		864	800	768	597	548	3265	5091	
	1160	70	1160	870	773	580		1044	967	928	721	667	3078	4799	
	1460	80	1460	1095	973	730		1314	1217	1168	908	840	2837	4424	
	1760	90	1760	1320	1173	880		1584	1467	1408	1094	1012	2676	4173	
110-A	720	60	720	540	480	360	240	654	600	576		412	4082	6350	
	960	70	960	720	640	480	320	864	800	768		548	3697	5763	
	1160	81	1160	870	773	580	387	1044	967	928		667	3493	5443	
	1460	98	1460	1095	973	730	487	1314	1217	1168		840	3243	5080	
150-A	720	81	720	540	480	360	240	654	600	576		412	4128	6418	
	960	97	960	720	640	480	320	864	800	768		548	3765	5851	
	1160	110	1160	870	773	580	387	1044	967	928		667	3538	5489	
	1460	133	1460	1095	973	730	487	1314	1217	1168		840	3289	5126	
200-A	720	110	720	540	480	360	240	654	600	576		412	4128	6418	
	960	123	960	720	640	480	320	864	800	768		548	3765	5851	
	1160	149	1160	870	773	580	387	1044	967	928		667	3538	5489	
	1460	180	1460	1095	973	730	487	1314	1217	1168		840	3289	5126	
250-A	720	140	720	540	480	360	240	654	600	576	450	412		7756	
	960	175	960	720	640	480	320	864	800	768	600	548		7053	
	1160	200	1160	870	773	580	387	1044	967	928	725	667		6645	
	1460	230	1460	1095	973	730	487	1314	1217	1168	913	840		6132	
350-A	720	250	720	540	480	360	240	654	600	576	1408	1100	1012	5763	
	960	285	960	720	640	480	320	864	800	768	1100	1012			
	1160	337	1160	870	773	580	387	1044	967	928	1100	1012			
	1460	395	1460	1095	973	730	487	1314	1217	1168	1100	1012			
450-A	580	160	580	435	387	290		527	484	464	363	332	12497		
	720	190	720	540	480	360		654	600	576	450	412	11635		
	960	225	960	720	640	480		864	800	768	600	548	10514		
	1160	260	1160	870	773	580		1044	967	928	725	667	9911		
450-A	580	207	580	435	387	290		527	484		363	332	12497		
	720	241	720	540	480	360		654	600		450	412	11635		
	960	295	960	720	640	480		864	800		600	548	10514		
	1160	337	1160	870	773	580		1044	967		725	667	9911		
450-A	1460	395	1460	1095	973	730		1314	1217		913	840	9135		
	1760	450	1760	1320	1173	880		1584	1467		1100	1012	8618		

REDUCCION DE VELOCIDAD

MODELO	R.P.M. BOMBA	M.P.	REVOLUCIONES POR MINUTO DEL MOTOR										CAPACIDAD DE CARGA KGS.		
			11:10	8:5	5:4	4:3	3:2	2:5	1:4	2:1	3:1	NORMAL	ESPECIAL		
20-A	1160	15				1847	1740							860	1452
	1460	17				1947	2190							803	1361
	1760	20				2347	2640							748	1270
30-A	1160	22		1392		1547	1740			2017	2320	3480		1361	2268
	1460	25		1752		1947	2190			2539	2920	4380		1281	2087
	1760	30		2112		2347	2640			3061	3520			1180	1860
50-A	960	32	1056	1152	1200	1280	1440	1544	1690	1920	2880			1862	2917
	1160	37	1276	1392	1450	1547	1740	1866	2042	2320	3480			1769	2749
	1460	44	1606	1752	1825	1947	2190	2348	2570	2920				2359	3924
70-A	960	45	1056	1152	1200	1280	1440	1544	1690	1920	2880			2676	4491
	1160	51	1276	1392	1450	1547	1740	1866	2042	2320	3480			2540	4218
	1460	62	1606	1752	1825	1947	2190	2348	2570	2920				2359	3924
90-A	960	50	1056	1152	1200	1280	1440		1690	1920	2880			2676	4491
	1160	70	1276	1392	1450	1547	1740		2042					2540	4218
	1460	80	1606	1752	1825	1947	2190		2570					2359	3924
110-A	720	60	792	864	900	960	1080		1267	1440	2160			3266	5379
	960	70	1056	1152	1200	1280	1440		1690	1920	2880			2994	5080
	1160	81	1276	1392	1450	1547	1740		2042	2320	3480			2812	4608
150-A	720	81	792	864	900	960	1080		1267	1440	2160			3266	5379
	960	97	1056	1152	1200	1280	1440		1690	1920	2880			2994	5080
	1160	110	1276	1392	1450	1547	1740		2042	2320	3480			2812	4608
200-A	720	108	792	864	900	960	1080		1267	1440	2160			3266	5379
	960	130	1056	1152	1200	1280	1440		1690	1920	2880			2994	5080
	1160	150	1276	1392	1450	1547	1740		2042	2320	3480			2812	4608
250-A	720	140	792	833	900	960	1080	1152	1267	1440	2160			3266	5379
	960	175	960	1110	1200	1280	1440	1536	1690	1920	2880			3004	6182
	1160	200	1276	1341	1450	1547	1740	1856	2042	2320	3480			2891	5891
350-A	720	260	1606	1688	1825	1947	2190	2336	2570	2920				5443	8080
	960	310	1936	2035	2200	2347	2640	2816	3098	3520				5004	7484
	1160	350	2336	2435	2600	2747	3040	3216	3500					4608	6880
450-A	580	207	638	671	725	766	870	928	1020	1183	1769			10778	16025
	720	241	792	833	900	958	1080	1152	1266	1467	2196			9131	13618
	960	295	960	1110	1200	1269	1440	1536	1688	1958	2928			8006	11884
550-A	580	241	792	833	900	958	1080	1152	1266	1467	2196			10778	16025
	720	295	960	1110	1200	1269	1440	1536	1688	1958	2928			9131	13618
	960	337	1276	1341	1450	1533	1740	1856	2040	2366	3538			8006	11884
650-A	580	335	1606	1688	1825	1947	2190	2336	2568	2978				5006	7484
	720	400	2035	2134	2300	2447	2740	2916	3198	3620				4608	6880
	960	450	2435	2534	2700	2847	3140	3316	3598					4212	6280

FLECHA DE TRANSMISION

Para transmitir la potencia y la velocidad del motor al cabezal de engranes, normalmente se emplea una flecha flexible marca Watson Spicer, la cual tiene en sus extremos dos uniones del tipo universal, las cuales invariablemente deben ser instaladas en un plano horizontal ó sea que las flechas del cabezal de engranes y del motor no presenten ningún ángulo de inclinación.

La flecha a través de las uniones universales pueden permitir ciertos asentamientos de las flechas del cabezal y del motor dentro de un plano vertical, y operar inclinadas, pero siempre deberán sus uniones estar perfectamente horizontales.

Para la selección de la flecha de transmisión, se considera la velocidad máxima a la que va a operar el motor y la potencia que demande la bomba más las pérdidas por transmisión.

Existen básicamente dos tipos de flecha, cortas y largas, las primeras se les conoce con las siglas WS (Watson Short) y las segundas WL (Watson Large).

Como en el caso de los motores, las flechas podrán trabajar a velocidad continua ó intermitente, para el caso de bombeo de riego siempre se seleccionará la velocidad continua.

Se anexa a continuación una tabla para la selección de flecha en la cual se han tabulado los diferentes modelos de flecha y velocidades de operación, así como la potencia máxima que soportan para estas condiciones.

TABLA PARA SELECCION DE FLECHA CARDAN
RANGOS DE POTENCIA MAXIMA A TRABAJO CONTINUO
VELOCIDAD (R. P. M.)

MODELO FLECHA.	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300
W L - 27	18	20	21	22	24	25	27	28	29	30	32	33	34	35	36	37
W L - 31	24	26	27	29	31	33	35	38	40	42	44	45	46	48	50	52
W L - 37	38	42	45	48	52	55	59	62	65	67	70	72	75	78	80	83
W L - 41	48	53	57	61	65	70	73	77	80	83	87	90	93	97	100	103
W L - 48	61	66	71	76	81	86	90	95	100	105	109	113	117	120	123	127
W L - 55	75	82	87	94	100	106	112	117	122	128	134	139	144	149	154	159
W L - 61	100	109	118	126	134	142	150	157	164	171	178	185	192	199	206	213
W L - 65	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	229	238	246	255	263
W L - 71	166	182	198	212	226	240	254	266	278	290	302	314	326	336	346	356
W L - 8	226	246	266	286	306	326	346	364	382	400	418	436	450	465	480	495
W L - 85	316	346	376	403	430	455	480	505	525	545	565	585	605	625	645	665

**FLECHA CARDAN
COLOCACION CORRECTA**

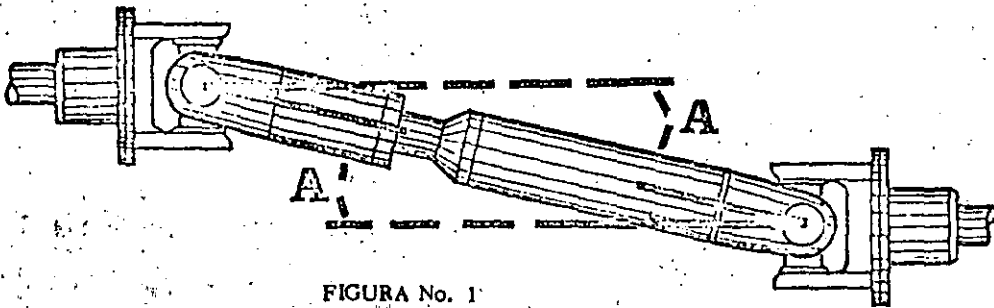
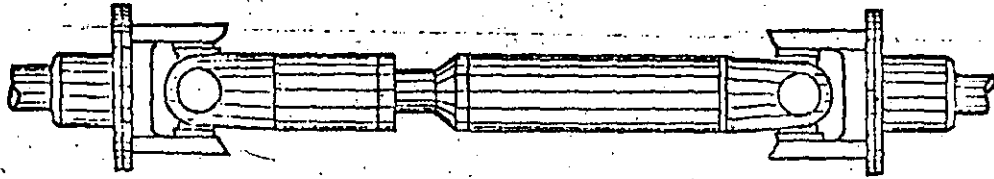


FIGURA No. 1

**FLECHA CARDAN
COLOCACION INCORRECTA**

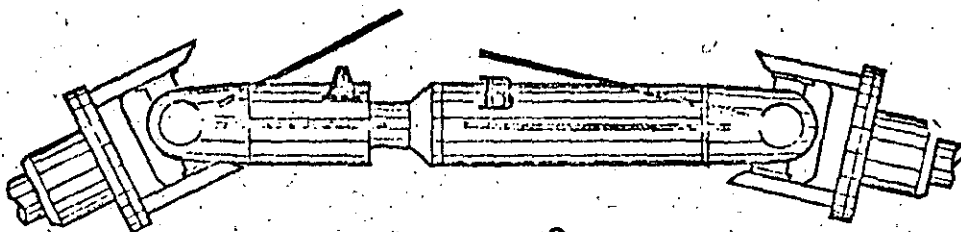
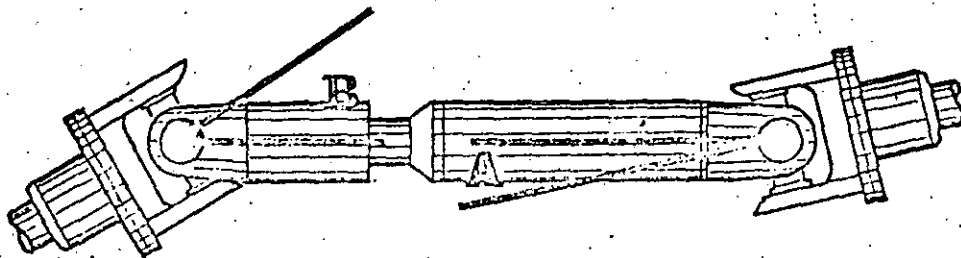


FIGURA No. 2

MOTORES DE COMBUSTION INTERNA

Se emplean como fuerza motriz para accionar los sistemas de riego por bombeo y se clasifican por su tipo de combustible y se seleccionan de acuerdo al Proyecto en el que van a ser empleados.

Existen motores de combustión interna que usan como combustible gasolina, gas butano ó diesel.

Los motores de gasolina no son recomendables para emplearse en sistemas de bombeo con fines de riego, por el alto costo de su operación, y sólo llegan a emplearse en forma esporádica en bajas potencias.

Los motores de gas butano son similares a los de gasolina, su costo de adquisición es bajo pero su operación es alta; éstos motores presentan menos carbonización que los de gasolina, razón por la cual el motor funciona más regularmente.

Los motores diesel son los que más aplicación tienen en los sistemas de bombeo con fines de riego, su costo de adquisición es alto pero su operación es bastante más baja que la de los motores de gasolina ó gas butano. Los hay en cualquier potencia de las normalmente utilizadas y se da preferencia a aquellos que operan a bajas velocidades por aumentar la vida útil de los mismos.

Para calcular y seleccionar un motor de combustión interna, se deben de considerar las diferentes clases de pérdidas, que disminuyen la potencia efectiva del mismo.

Las pérdidas que deben considerarse son:

- a). - Pérdidas por Temperatura
- b). - Pérdidas por Combustible
- c). - Pérdidas por A. S. N. M.
- d). - Pérdidas por Ventilador

Las pérdidas mencionadas afectan en porcentaje diferentes la potencia de una marca a otra, como a continuación se detalla:

MARCA	POR TEMPERATURA
Rolls Royce	2% por c/a 5.5° C arriba 30° C
Cummins	1% por c/a 5.6° C arriba 32° C
Lister	2% por c/a 5.5° C arriba 30° C

Las pérdidas por combustible, se deben principalmente al contenido de azufre en el diesel, el cual disminuye el número de calorías producidas en cada explosión y afectan en 5% la potencia, de los motores, cualquiera que sea su Marca.

Las pérdidas por altura sobre el Nivel del mar (A.S.N.M.) - - - varían de acuerdo a las diferentes marcas, como a continuación se indica:

MARCA	POR A. S. N. M.
Cummins	1% por cada 100 m después de 305 m S. N. M.
General Motors	1% por cada 100 m después de 1525 m S. N. M.
Rolls Rpyce-Lister	3.5% por cada 300 m después de 150 m S. N. M.

MARCA

POR VENTILADOR

Internacional ó Perkins

No especifican

2. - Selección de Curvas de Operación.

Todos los motores, independientemente su marca, se seleccionan de acuerdo a su curva de potencia (HP) - velocidad (RPM) que proporciona el fabricante.

Las curvas normales que se proporcionan son para operar los motores a Potencia Máxima, Potencia Intermitente ó Potencia Contínua.

Potencia Máxima. - Es la potencia máxima al freno que es capaz de desarrollar un motor en un dinamómetro, antes de salir de la fábrica. Esta curva sólo tiene utilidad para el fabricante como un control de calidad.

Potencia Intermitente. - Son las potencias que puede desarrollar un motor en sistemas de propulsión por ejemplo. - Trituradoras, camiones, malacates, sierras, etc.

Potencia Contínua. - Es la potencia que proporciona un motor sujeto a cargas de demanda uniforme ó sea que la potencia que proporciona a una velocidad dada siempre es constante, en estas condiciones es donde se obtiene la operación más económica y vida útil más larga del motor.

En los sistemas de riego por bombeo, se seleccionan los motores con las curvas de Potencia Contínua.

Para seleccionar el motor adecuado, normalmente se estima un 25% de pérdidas en el motor y se adicionan a la potencia efectiva para obtener una potencia nominal estimada. Se selecciona el motor de acuerdo a sus curvas de operación Potencia - Velocidad entrando con la potencia nominal estimada y una vez seleccionado, se calculan las pérdidas reales de potencia del motor señaladas por el fabricante y se obtiene la potencia nominal real.

Con esta potencia y las curvas del motor se determina si la selección del motor fué adecuada.

Ejemplo:

Q	=	60 lps	CAD	=	1 m.	Temp.	=	35°C
NB	=	70 m		=	83%			
Hf	=	3 m	a. s. n. m.	=	1 050 m.			

a). - Cálculo de la Potencia efectiva:

$$CDT = 70 \text{ m} + 3 \text{ m} + 1 \text{ m} = 74 \text{ m.}$$

$$Pe \text{ (bomba)} = \frac{Q \cdot CDT}{76} = \frac{60 \times 74}{76 \times 83} = 70.4 \text{ H.P.}$$

$$Pce = 70.4 \times 1.03 = 73 \text{ H.P.}$$

b). - Cálculo de la Potencia nominal estimada.

$$Pn = 1.25 \times Pce = 1.25 \times 73 = 91.25 \text{ H.P.}$$

c). - Selección del motor.

Motor	Rolls Royce
Modelo	C 4 N
Velocidad	1 400 r. p. m.
Potencia	91 H. P.

d). - Cálculo de las pérdidas de potencia.

Temperatura: 2% por c/a 5.5°C arriba de 30°C .

$$H_T = \underline{2\%} \text{ para } 35^{\circ}\text{C}$$

Combustible: 5% en todos los motores.

$$H_C = \underline{5\%}$$

Altura sobre el nivel del mar:

3.5% por c/a 300 m. después 150 m. s. n. m.

$$A_{snm} = 1050 - 150 = 900 \text{ m.}$$

$$H_{asn} = (900 : 300) 3.5 = 3 \times 3.5 = \underline{10.5\%}$$

Ventilador: 7 H. P. para motores de 6 cilindros.

e). - Cálculo de la Potencia Nominal.

$$\begin{aligned} P_n &= P_{ce} + P_{ce} (H_T + H_C + H_{asn}) + H_v \\ &= 73 + 73 (2\% + 5\% + 10.5\%) + 7 \text{ H. P.} \\ &= 73 + 73 (17.5\%) + 7 \text{ H. P.} \\ &= 73 + 12.7 + 7 = 92.7 \text{ H. P.} \end{aligned}$$

f). - Comprobación del motor seleccionado.

Potencia nominal real =	92.7	H. P.
Potencia nominal estimada =	<u>91.25</u>	H. P.
Diferencia	1.4	H. P.

3. - Selección de la Potencia Requerida en un Sistema de Bombeo.

La potencia requerida por un sistema de bombeo se le denomina potencia efectiva y para su cálculo interviene:

$$P_e = \frac{Q \cdot CDT}{\eta \cdot 76} \quad \text{en donde:}$$

P_e = Potencia efectiva (HP)

Q = Gasto de producción del pozo (L. P. S.)

CDT = Carga Dinámica Total (M) = $C_B + CAD$

η = Eficiencia de la bomba (%)

76 = Factor para convertir a H. P.

La potencia nominal es la potencia efectiva en el cabezal de engranes más las pérdidas de potencia del motor, de acuerdo a la marca seleccionada, ó sea:

$$P_{ce} = P_e + H_{ce} P_e \quad \text{en donde:}$$

P_{ce} = Potencia en el cabezal de engranes (HP)

P_e = Potencia efectiva en la bomba (HP)

H_{ce} = Pérdidas mecánicas por transmisión (3%)

Por lo tanto la potencia nominal será:

$$P_n = P_{ce} + P_{ce} (H_T + H_c + H_{asm}) + H_v$$

P_n = Potencia nominal (H. P.)

P_{ce} = Potencia en el cabezal de engranes (H. P.)

H_T = Pérdidas por temperatura (%)

H_c = Pérdidas por combustible (%)

H_{asm} = Pérdidas por Altura sobre el nivel del mar (%)

H_v = Pérdidas por ventilador (H. P.)

CÁLCULO Y SELECCION DE UN EQUIPO DE AFORO

Características Estimadas de Explotación del Pozo.

$$Q = 60 \text{ l. p. s.}$$

$$N.B. = 70 \text{ m.}$$

1. - Potencia efectiva requerida

$$HP = \frac{Q \times NB}{76 \times} = \frac{60 \times 70}{76 \times 75} = 74.66 \text{ H.P.}$$

2. - Potencia Nominal.

$$HP = 1.25 \times 74.66 = 93.32$$

3. - Motor seleccionado

Se selecciona con una potencia del 40% adicional Pn.

Marca: Rolls Royce

Modelo: C 6 N

Potencia: 130 H. P.

Velocidad: 1450 r. p. m.

Rango de velocidad: 1000 - 1700 rpm.

4. - Selección del Cabezal de Engranés.

Velocidad promedio estimada de la bomba = 1350 rpm.

$$\text{Relación de engranes} = \frac{\text{RPM m}}{\text{RPM B}} = \frac{1450}{1350} = 1.07$$

Relaciones de engranes más usuales:

$$2 : 3 = 0.66$$

$$3 : 4 = 0.75$$

$$4 : 5 = 0.80$$

$$5 : 6 = 0.83$$

$$10 : 11 = 0.90$$

$$1 : 1 = 1.00$$

Cabezal de engranes seleccionados:

Potencia de: 130 H.P.

Modelo 150-A (133 HP)

Rel. de Engranés: 1:1

Velocidad: 1450 RPM

5. - Cálculo de las velocidades Máx. y Min. de la bomba.

$$\text{Velocid. bomba min.} = \frac{\text{RPM motor}}{\text{Rel. Engr.}} = \frac{1000}{1} = 1000 \text{ RPM}$$

$$\text{Velocid. bomba máx.} = \frac{\text{RPM motor}}{\text{Rel. Engr.}} = \frac{1700}{1} = 1700 \text{ RPM}$$

6. - Cálculo de gastos estimados a diferentes escalones de velocidad.

$$Q = \frac{\text{Velocidad bomba}}{\text{Velocidad prom. M.}} \quad Q \text{ máx.}$$

1 000	÷	1 350 x 60	=	44.5
1 100	÷	1 350 x 60	=	48.9
1 200	÷	1 350 x 60	=	53.3
1 300	÷	1 350 x 60	=	57.8
1 400	÷	1 350 x 60	=	62.2
1 500	÷	1 350 x 60	=	66.7
1 600	÷	1 350 x 60	=	71.1
1 700	÷	1 350 x 60	=	75.5

7. - Selección de la bomba.

a). - Gasto a 1760 R.P.M.

$$1760 - 1350 \times 60 = 78.22 \text{ l.p.s.}$$

b). - Carga en la bomba a 1760 r.p.m.

$$C_B = \frac{\text{Velocidad Bomba}}{\text{Velocidad Promedio M.}} \times 70 \text{ m.} = \frac{\text{RPM B.}}{1350} \times 70 \text{ m.}$$

$$= \frac{1760}{1350} \times 70 \text{ m.} = 91.25 \text{ m.}$$

c). - Número de pasos.

De curvas Gasto - Carga de Fabricantes

$$Q = 78.22 \text{ l.p.s.} \quad (1426 \text{ g.p.m.})$$

Tazón: 12 Hs

Marca: JACUZZI

Carga por tazón: 18.29 m. (60')

$$\text{No. Pasos} = \frac{\text{Carga en la bomba}}{\text{Carga por tazón}} = \frac{91.25 \text{ m.}}{18.29} = 4.9$$

No. Pasos = 5

8. - Diámetro de la columna.

Se selecciona de acuerdo a la siguiente tabla:

Gasto (l.p.s.)	φ Columna	N.B. (m)	φ Flecha
30 a 50	6	60 a 100	1 1/4"
51 a 80	8	60 a 100	1 1/2"
81 a 130	10	60 a 100	1 3/4"
131 a 200	12	60 a 100	2"

Columna adecuada de 203mm (8") de diámetro y flecha de --
1 1/2" de diámetro.

9. - Longitud de la Columna:

Se considera un 30% adicional de columna sobre el nivel de --
bombeo, variando este porcentaje a juicio del Residente en función del com-
portamiento de los acufferos.

$$\text{Long. Cól.} = \frac{NB}{3.05} \times 1.3 = \frac{70}{3.05} \times 1.3 = 29.8 = 30$$

10. - Cabezal de Descarga. -

Se selecciona de acuerdo a la base del cabezal de engranes -
seleccionado y el diámetro de la columna seleccionado.

11. - Cálculo de la Potencia Teórica demandada a la máxima velocidad de la bomba.

$$C_B \cdot 1700 = \frac{1700}{1350} \times 70 = 88 \text{ m.} \quad Q = 75.5 \text{ l.p.s.}$$

$$\text{H.P.} = \frac{Q \cdot C}{76 \times} = \frac{75.5 \times 88}{76 \times 75} = 116.6 \text{ H.P.}$$

$$P_n = 1.25 \times 116.6 = 145 \text{ H.P.}$$

R E S U M E N

MOTOR: Rolls Royce C 6 N
Potencia: 130 H. P.
Velocidad: 1450 R. P. M.

CABEZAL DE ENGRANES:

Relación: 1 : 1
Potencia: 130 H. P.
Modelo: 150 - A

COLUMNA DE BOMBEO:

Tramos 30 de 8" ϕ y flecha de 1 1/2" ϕ

TAZONES:

Cuerpo de 5 pasos de 12" ϕ (Modelo 12 H. S.)

13

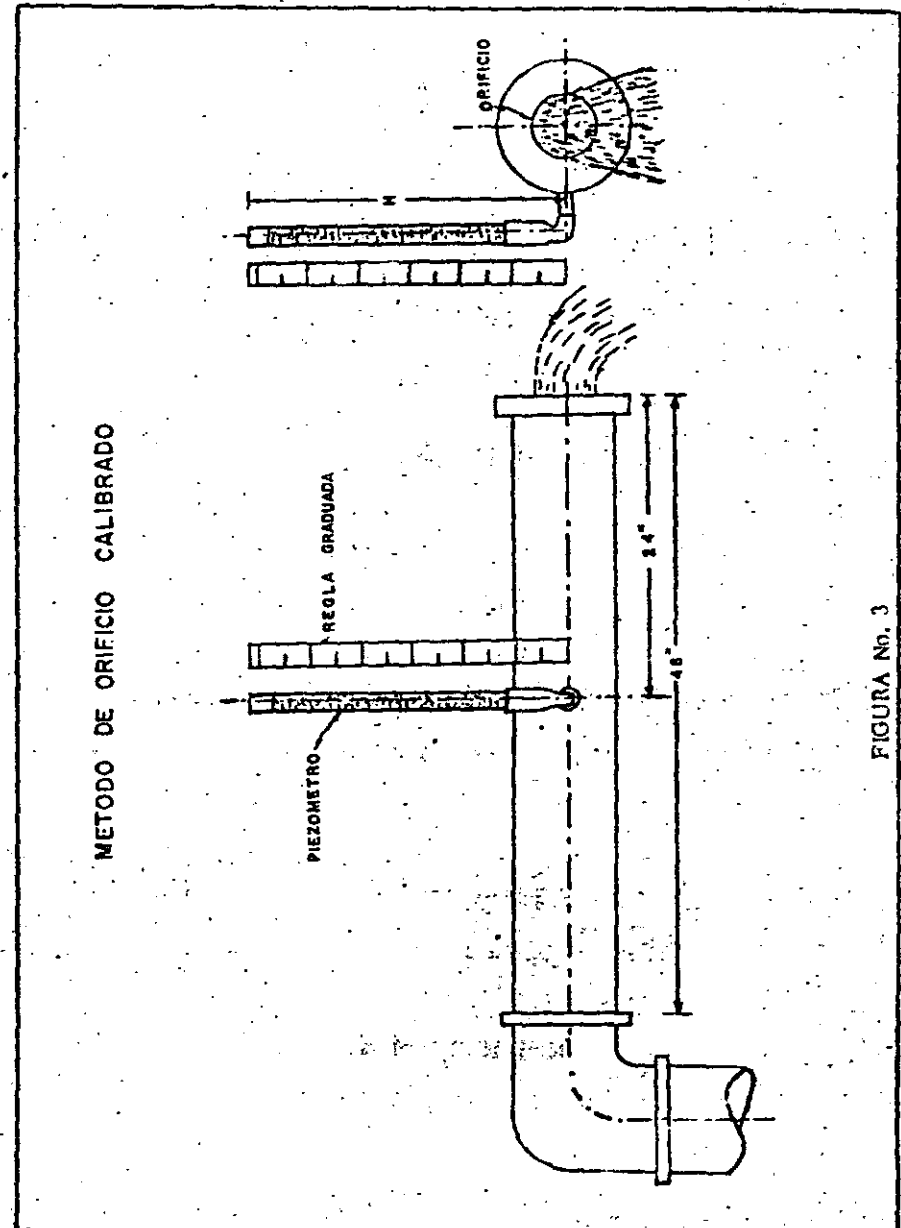
METODO DE ORIFICIO CALIBRADO

Es el método más preciso y más comunmente empleado para determinar el gasto de producción de un pozo, tiene las ventajas que el equipo empleado es compacto y de fácil instalación y consta principalmente de:

- a). - Un tubo con una longitud no menor de 1.22m (48"), conectado al cabezal de descarga en uno de sus extremos y en el otro -- deberá permitir la conexión de un porta orificio. A una distancia no menor de 61 cms. (24") del extremo libre, deberá contar con una perforación que permita conectar un piezómetro como se indica en la Figura 3.
- b). - Un porta orificios que permita con facilidad intercambiar orificios de diferente medida.
- c). - Orificios de diferentes diámetros interiores.
- d). - Un flexómetro.

Para obtener las mayores ventajas de éste método se deberá tomar en consideración:

- a). - El Tubo de descarga deberá estar en posición horizontal y la descarga completamente libre.
- b). - Los bordes de los orificios biselados preferentemente a 45° con el borde del filo en dirección aguas arriba.



$$G = 0.25 K D^2 \sqrt{h}$$

G = gasto en lts/seg.

K = constante experimental.

h = altura del agua en cms. en el tubo de vidrio.

D = diámetro orificio en pulgadas.

- c). - El orificio siempre deberá trabajar completamente lleno.
- d). - El diámetro del orificio deberá estar comprendido entre 1/2 a 3/4 el diámetro del tubo de descarga.
- e). - El piezómetro deberá quedar libre de burbujas y no sobresalir de la superficie interior del tubo de descarga.

Para obtener el gasto mediante la aplicación de este método, se deberán seguir los siguientes pasos:

- a). - Medir el Nivel Estático.
- b). - Medir el Nivel de Bombeo.
- c). - Medir la altura del agua del interior del piezómetro, como se indica en la Fig. 3 en cms.
- d). - Seleccionar la tabla que comprenda para el diámetro del tubo de descarga y de orificio empleados e interpolando en ella con la altura piezométrica obtener el gasto en l. p. s.

El aforo de un pozo se efectúa tomando la información anterior a diferentes velocidades (rpm) del motor. se recomienda variar esta, en escalones de 100 en 100 rpm. y tabularlas de la siguiente manera:

h	ORIFICIO 3"		ORIFICIO 4"		ORIFICIO 5"		ORIFICIO 6"		ORIF. 7"	ORIF. 8"
	tubo 4"	6"	6"	8"	6"	8"	8"	10"	10"	10"
10	5.27	4.18	7.93	7.44	15.41	12.21	19.47	17.53		
11	5.53	4.39	8.32	7.80	16.17	12.81	20.42	18.39		
12	5.77	4.58	8.69	8.15	16.89	13.38	21.32	19.20		
13	6.01	4.77	9.04	8.48	17.58	13.93	22.20	19.99		
14	6.24	4.95	9.38	8.80	18.24	14.46	23.04	20.75		
15	6.46	5.12	9.71	9.11	18.88	14.96	23.84	21.42		
16	6.67	5.29	10.03	9.41	19.50	15.45	24.62	22.18		
17	6.87	5.45	10.34	9.70	20.10	15.94	25.38	22.86		
18	7.07	5.61	10.64	9.98	20.68	16.39	26.12	23.52		
19	7.27	5.77	10.93	10.25	21.25	16.84	26.83	24.17		
20	7.45	5.92	11.22	10.52	21.80	17.28	27.53	24.79	37.03	55.88
21	7.64	6.06	11.49	10.78	22.34	17.70	28.21	25.41	37.95	57.27
22	7.82	6.20	11.76	11.03	22.86	18.12	28.87	26.00	38.84	58.61
23	7.99	6.35	12.03	11.28	23.38	18.53	29.52	26.59	39.72	59.93
24	8.17	6.48	12.29	11.52	23.88	18.92	30.16	27.16	40.57	61.22
25	8.34	6.62	12.54	11.76	24.38	19.32	30.78	27.72	41.41	62.48
26	8.50	6.75	12.79	11.99	24.86	19.70	31.39	28.27	42.22	63.72
27	8.66	6.87	13.03	12.22	25.33	20.07	31.99	28.81	43.03	64.93
28	8.82	7.00	13.27	12.45	25.80	20.44	32.58	29.34	43.82	66.13
29	8.98	7.12	13.50	12.67	26.25	20.80	33.15	29.85	44.59	67.29
30	9.13	7.25	13.74	12.88	26.70	21.16	33.72	30.36	45.36	68.44
31	9.28	7.37	13.96	13.10	27.14	21.51	34.28	30.87	46.11	69.58
32	9.43	7.48	14.19	13.31	27.58	21.85	34.82	31.36	46.85	70.66
33	9.58	7.60	14.41	13.51	28.00	22.19	35.37	31.85	47.57	71.79
34	9.72	7.71	14.62	13.71	28.43	22.53	35.90	32.33	48.29	72.86
35	9.86	7.83	14.84	13.91	28.84	22.85	36.42	32.80	48.99	73.93
36	10.00	7.94	15.05	14.11	29.25	23.18	36.94	33.26	49.69	74.98
37	10.14	8.05	15.26	14.31	29.65	23.50	37.45	33.72	50.37	76.01
38	10.28	8.15	15.46	14.50	30.05	23.81	37.95	34.17	51.04	77.03
39	10.41	8.26	15.66	14.69	30.44	24.12	38.44	34.62	51.71	78.04
40	10.54	8.37	15.86	14.88	30.83	24.43	38.94	35.07	52.38	79.04
41	10.67	8.47	16.05	15.06	31.21	24.73	39.42	35.50	53.02	80.01
42	10.80	8.57	16.25	15.24	31.59	25.04	39.90	35.93	53.67	80.99
43	10.93	8.67	16.44	15.42	31.97	25.33	40.36	36.35	54.30	81.94
44	11.06	8.78	16.64	15.60	32.34	25.62	40.83	36.77	54.93	82.89
45	11.18	8.87	16.82	15.78	32.70	25.91	41.29	37.19	55.55	83.82
46	11.31	8.97	17.01	15.95	33.06	26.20	41.75	37.60	56.16	84.75
47	11.43	9.07	17.19	16.13	33.42	26.48	42.21	38.01	56.77	85.67
48	11.55	9.17	17.38	16.29	33.77	26.76	42.65	38.41	57.37	86.57
49	11.67	9.26	17.56	16.46	34.13	27.04	43.09	38.81	57.97	87.47

h	ORIFICIO 3"		ORIFICIO 4"		ORIFICIO 5"		ORIFICIO 6"		ORIF. 7"		ORIF. 8"	h	ORIFICIO 3"		ORIFICIO 4"		ORIFICIO 5"		ORIFICIO 6"		ORIF. 7"		ORIF. 8"
	tubo 4"	6"	6"	8"	6"	8"	8"	10"	10"	10"	tubo 4"		6"	6"	8"	6"	8"	8"	10"	10"	10"	10"	10"
50	11.79	9.35	17.73	16.63	34.47	27.32	43.53	39.20	58.55	86.36	96	16.33	12.96	24.57	23.04	47.77	37.85	60.32	54.32	81.14			
51	11.90	9.45	17.91	16.80	34.81	27.59	43.96	39.59	59.13	89.23	97	16.42	13.03	24.70	23.16	48.01	38.05	60.63	54.60	81.56			
52	12.02	9.54	18.09	16.96	35.15	27.86	44.39	39.98	59.71	90.11	98	16.50	13.10	24.83	23.28	48.26	38.24	60.94	54.88	81.97			
53	12.14	9.63	18.26	17.12	35.49	28.12	44.82	40.36	60.29	90.97	99	16.59	13.16	24.95	23.40	48.50	38.44	61.26	55.16	82.40			
54	12.25	9.72	18.43	17.28	35.82	28.39	45.23	40.74	60.85	91.82	100	16.67	13.23	25.03	23.52	48.75	38.63	61.56	55.44	82.81			
55	12.36	9.81	18.60	17.44	36.15	28.65	45.65	41.11	61.41	92.67	101	16.75	13.30	25.21	23.64	48.99	38.82	61.87	55.72	83.22			
56	12.47	9.90	18.77	17.60	36.48	28.91	46.07	41.49	61.97	93.51	102	16.84	13.36	25.33	23.76	49.24	39.02	62.18	55.99	83.64			
57	12.59	9.99	18.94	17.76	36.80	29.17	46.48	41.86	62.52	94.34	103	16.92	13.43	25.45	23.87	49.48	39.21	62.48	56.27	84.04			
58	12.70	10.08	19.10	17.91	37.12	29.42	46.83	42.22	63.07	95.17	104	17.00	13.49	25.55	23.99	49.72	39.39	62.78	56.54	84.45			
59	12.80	10.16	19.25	18.07	37.44	29.67	47.28	42.58	63.61	95.98	105	17.08	13.56	25.70	24.10	49.95	39.58	63.08	56.81	84.86			
60	12.91	10.25	19.43	18.22	37.76	29.92	47.68	42.93	64.14	96.79	105	17.16	13.62	25.82	24.22	50.19	39.77	63.38	57.08	85.26			
61	13.02	10.33	19.59	18.37	38.07	30.17	48.08	43.30	64.67	97.59	107	17.24	13.69	25.94	24.33	50.43	39.96	63.68	57.35	85.66			
62	13.13	10.42	19.75	18.52	38.39	30.42	48.47	43.65	65.20	98.39	108	17.32	13.75	26.05	24.44	50.66	40.14	63.97	57.61	86.06			
63	13.23	10.50	19.91	18.67	38.69	30.66	48.86	44.00	65.73	99.18	109	17.40	13.81	26.16	24.55	50.90	40.33	64.27	57.88	86.45			
64	13.34	10.58	20.06	18.82	39.00	30.90	49.25	44.35	66.25	99.97	110	17.48	13.88	26.30	24.67	51.13	40.52	64.56	58.15	86.85			
65	13.44	10.67	20.22	18.96	39.30	31.14	49.63	44.68	66.76	100.74	111	17.56	13.94	26.42	24.78	51.36	40.70	64.86	58.41	87.25			
66	13.54	10.75	20.37	19.11	39.60	31.38	50.01	45.04	67.27	101.52	112	17.64	14.00	26.54	24.89	51.59	40.88	65.15	58.67	87.64			
67	13.64	10.83	20.53	19.25	39.90	31.62	50.39	45.38	67.78	102.29	113	17.72	14.06	26.66	25.00	51.82	41.06	65.44	58.93	88.03			
68	13.75	10.91	20.68	19.39	40.20	31.85	50.76	45.72	68.29	103.04	114	17.80	14.13	26.78	25.11	52.05	41.25	65.72	59.19	88.42			
69	13.85	10.99	20.83	19.54	40.50	32.09	51.14	46.05	68.79	103.80	115	17.88	14.19	26.90	25.22	52.27	41.42	66.02	59.45	88.80			
70	13.95	11.07	20.98	19.68	40.79	32.32	51.51	46.39	69.29	104.55	116	17.95	14.25	27.01	25.33	52.50	41.60	66.30	59.71	89.19			
71	14.05	11.15	21.13	19.82	41.08	32.55	51.87	46.71	69.78	105.29	117	18.02	14.31	27.12	25.44	52.73	41.79	66.59	59.97	89.58			
72	14.14	11.23	21.28	19.96	41.36	32.78	52.23	47.04	70.26	106.03	118	18.11	14.37	27.24	25.55	52.96	41.96	66.87	60.22	89.96			
73	14.24	11.30	21.43	20.10	41.65	33.01	52.60	47.37	70.75	106.77	119	18.19	14.43	27.36	25.66	53.18	42.14	67.16	60.48	90.34			
74	14.34	11.38	21.57	20.23	41.93	33.23	52.95	47.69	71.23	107.49	120	18.26	14.49	27.47	25.76	53.40	42.31	67.43	60.73	90.71			
75	14.44	11.46	21.72	20.37	42.22	33.45	53.31	48.01	71.71	108.22	121	18.34	14.55	27.59	25.87	53.63	42.49	67.72	60.98	91.09			
76	14.53	11.53	21.86	20.50	42.50	33.68	53.67	48.33	72.19	108.94	122	18.41	14.61	27.70	25.98	53.84	42.67	67.99	61.23	91.46			
77	14.63	11.61	22.01	20.64	42.78	33.90	54.00	48.65	72.67	109.65	123	18.49	14.67	27.82	26.09	54.07	42.84	68.27	61.49	91.84			
78	14.72	11.68	22.15	20.77	43.06	34.12	54.37	48.96	73.14	110.36	124	18.56	14.73	27.92	26.19	54.29	43.02	68.55	61.74	92.21			
79	14.82	11.76	22.29	20.90	43.33	34.33	54.71	49.28	73.60	111.05	125	18.64	14.79	28.04	26.30	54.50	43.19	68.82	61.98	92.58			
80	14.91	11.83	22.43	21.04	43.60	34.55	55.06	49.59	74.07	111.76	126	18.71	14.85	28.15	26.40	54.72	43.36	69.10	62.23	92.95			
81	15.00	11.91	22.57	21.17	43.88	34.77	55.40	49.90	74.53	112.46	127	18.79	14.91	28.26	26.50	54.94	43.53	69.37	62.48	93.32			
82	15.09	11.98	22.71	21.30	44.14	34.98	55.74	50.20	74.98	113.15	128	18.86	14.97	28.38	26.61	55.16	43.71	69.65	62.72	93.69			
83	15.19	12.05	22.85	21.43	44.41	35.19	56.08	50.51	75.44	113.84	129	18.93	15.03	28.49	26.71	55.37	43.88	69.92	62.97	94.06			
84	15.28	12.13	22.99	21.56	44.68	35.40	56.42	50.81	75.90	114.53	130	19.01	15.08	28.60	26.82	55.58	44.05	70.19	63.21	94.42			
85	15.37	12.20	23.12	21.69	44.95	35.62	56.76	51.12	76.35	115.21	131	19.08	15.14	28.71	26.92	55.80	44.22	70.46	63.46	94.78			
86	15.46	12.27	23.26	21.81	45.21	35.83	57.09	51.42	76.80	115.89	132	19.15	15.20	28.81	27.02	56.01	44.38	70.73	63.70	95.14			
87	15.55	12.34	23.39	21.94	45.47	36.03	57.42	51.71	77.24	116.55	133	19.23	15.26	28.92	27.13	56.22	44.55	70.99	63.94	95.50			
88	15.64	12.41	23.53	22.06	45.70	36.24	57.75	52.01	77.68	117.22	134	19.30	15.32	29.03	27.23	56.43	44.72	71.26	64.18	95.86			
89	15.73	12.48	23.66	22.19	45.99	36.44	58.08	52.30	78.12	117.89	135	19.37	15.37	29.14	27.33	56.64	44.88	71.53	64.42	96.22			
90	15.81	12.55	23.79	22.31	46.25	36.67	58.40	52.60	78.55	118.54	136	19.44	15.43	29.25	27.43	56.85	45.05	71.79	64.65	96.57			
91	15.90	12.62	23.99	22.44	46.50	36.85	58.72	52.99	78.99	119.20	137	19.51	15.49	29.36	27.53	57.06	45.22	72.06	64.89	96.93			
92	15.99	12.69	24.06	22.56	46.76	37.05	59.05	53.18	79.43	119.86	138	19.58	15.54	29.46	27.63	57.27	45.38	72.31	65.13	97.28			
93	16.08	12.76	24.19	22.68	47.01	37.25	59.37	53.47	79.86	120.51	139	19.65	15.60	29.57	27.73	57.48	45.54	72.58	65.36	97.63			
94	16.16	12.83	24.32	22.80	47.26	37.45	59.68	53.75	80.28	121.15	140	19.72	15.65	29.67	27.83	57.68	45.71	72.84	65.60	97.98			
95	16.25	12.90	24.45	22.92	47.52	37.65	60.00	54.04	80.71	121.79	141	19.79	15.71	29.78	27.93	57.89	45.87	73.10	65.83	98.33			
										142	19.86	15.76	29.89	28.03	58.09	46.03	73.35	66.06	98.66				

10

b	ORIFICIO 3"		ORIFICIO 4"		ORIFICIO 5"		ORIFICIO 6"		ORIF. 7"		ORIF. 8"	
	Tubo 4"	6"	6"	8"	6"	8"	8"	10"	10"	10"	10"	10"
43	19.93	15.82	29.99	23.13	58.30	46.19	73.61	66.30	99.02			
44	20.00	15.88	30.10	23.22	58.50	46.36	73.87	66.53	99.37			
145	20.07	15.93	30.20	28.32	58.70	46.52	74.13	66.75	99.72			
146	20.14	15.99	30.30	28.42	58.90	46.68	74.38	66.99	100.06			
147	20.21	16.04	30.41	28.52	59.10	46.84	74.64	67.22	100.40			
148	20.28	16.10	30.51	28.61	59.31	47.00	74.89	67.45	100.75			
149	20.35	16.15	30.62	28.71	59.51	47.16	75.15	67.68	101.09			
150	20.42	16.20	30.72	28.80	59.70	47.31	75.39	67.90	101.42			
151	20.48	16.26	30.82	28.90	59.90	47.47	75.64	68.12	101.76			
152	20.55	16.31	30.92	29.00	60.10	47.63	75.90	68.35	102.10			
153	20.62	16.36	31.02	29.09	60.30	47.78	76.14	68.57				
154	20.69	16.42	31.12	29.19	60.50	47.94	76.40	68.80				
155	20.75	16.47	31.22	29.28	60.69	48.09	76.64	69.02				
156	20.82	16.52	31.32	29.38	60.89	48.25	76.89	69.24				
157	20.89	16.58	31.43	29.47	61.08	48.40	77.13	69.47				
158	20.95	16.63	31.53	29.56	61.28	48.56	77.38	69.69				
159	21.02	16.68	31.63	29.66	61.47	48.71	77.63	69.91				
160	21.09	16.73	31.72	29.75	61.66	48.86	77.87	70.13				
161	21.15	16.75	31.82	29.84	61.86	49.02	78.11	70.35				
162	21.22	16.84	31.92	29.94	62.05	49.17	78.35	70.56				
163	21.28	16.89	32.02	30.03	62.24	49.32	78.59	70.78				
164	21.35	16.94	32.12	30.12	62.43	49.47	78.83	71.00				
165	21.41	16.99	32.22	30.21	62.62	49.62	79.07	71.21				
166	21.48	17.05	32.31	30.30	62.81	49.77	79.31	71.43				
167	21.54	17.10	32.41	30.39	63.00	49.92	79.55	71.65				
168	21.61	17.15	32.51	30.48	63.18	50.07	79.79	71.86				
169	21.67	17.20	32.60	30.58	63.38	50.22	80.03	72.07				
170	21.73	17.25	32.70	30.67	63.56	50.37	80.26	72.28				
171	21.80	17.29	32.80	30.76	63.75	50.52	80.50	72.50				
172	21.86	17.35	32.89	30.85	63.94	50.66	80.74	72.71				
173	21.93	17.40	32.99	30.94	64.12	50.81	80.97	72.92				
174	21.99	17.45	33.08	31.03	64.31	50.96	81.20	73.13				
175	22.05	17.50	33.18	31.11	64.49	51.10	81.44	73.34				
176	22.11	17.55	33.27	31.20	64.67	51.24	81.67	73.55				
177	22.18	17.60	33.37	31.29	64.86	51.39	81.90	73.76				
178	22.24	17.65	33.46	31.38	65.04	51.54	82.13	73.97				
179	22.30	17.70	33.55	31.47	65.22	51.68	82.36	74.17				
180	22.36	17.75	33.65	31.55	65.40	51.83	82.59	74.38				

R. P. M.	Tiempo Hrs.	N.B. m.	H. cms.	Diámetro (") Orificio Descarga		Gasto (lps)
1 200	2	11.00	34	6	8	35.90
1 300	2	13.20	43	6	8	40.36
1 400	2	14.60	55	6	8	45.65
1 500	2	16.80	64	6	8	49.25
1 600	2	19.20	72	6	8	52.23
1 700	2	21.10	86	6	8	57.09
1 800	2	23.40	95	6	8	60.00
1 900	2	25.00	109	6	8	64.27
2 000	2	25.30	115	6	8	66.00

Con los datos de la tabla anterior se elaboran las curvas de las Figuras 4 y 5.

Interpretación de la Gráfica. - Se podrá observar que se han trazado dos curvas, una de Gasto-Tiempo y otra de nivel de bombeo tiempo. en ambos casos el tiempo es el medido entre cada cambio de velocidad del motor (variación rpm), para el presente ejemplo se conservó la velocidad del motor en cada cambio durante dos horas.

Para seleccionar el punto más adecuado de explotación del pozo, se escoge aquel inmediato anterior en el que la separación entre ambas curvas

17

CURVA GASTO — NIVEL DE BOMBEO

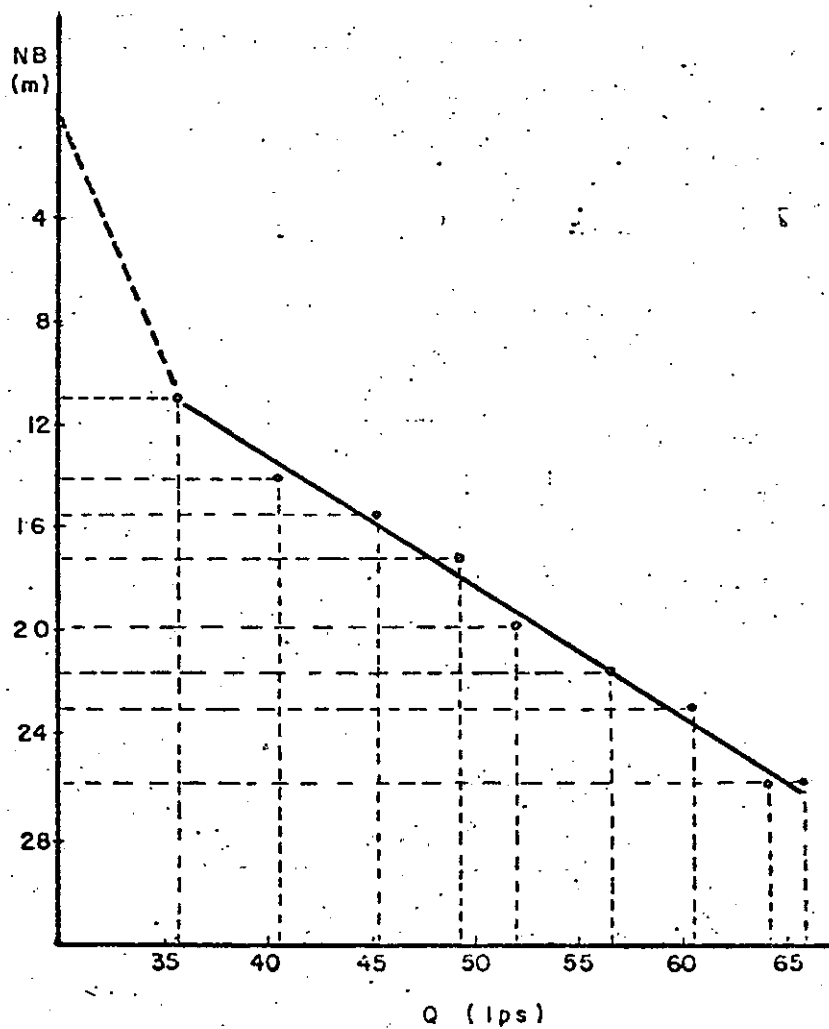


FIGURA No. 4

sea menor.

Para el caso que nos ocupa es para un gasto de 65.00 lps, con un nivel de bombeo de 25.00 m.

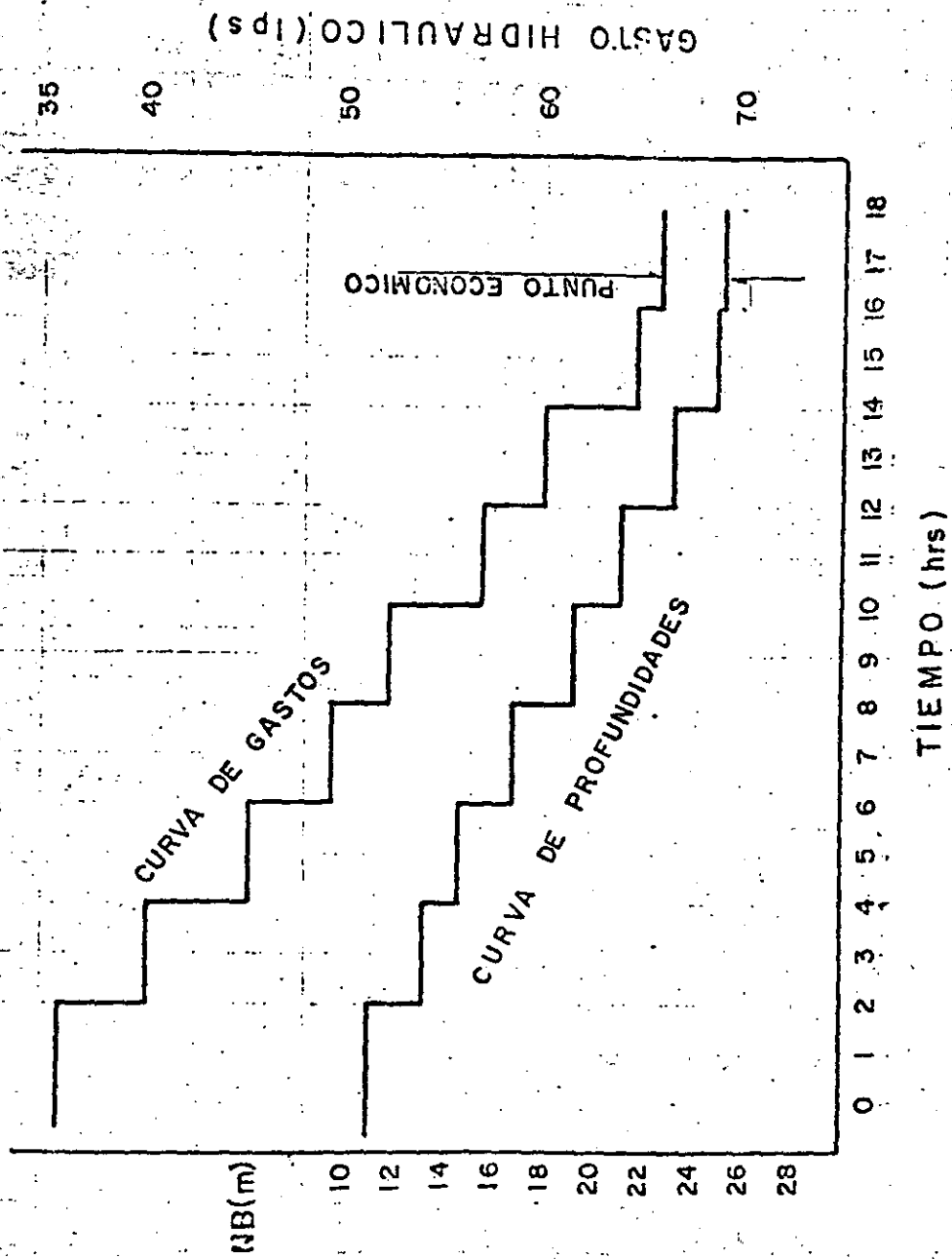


FIGURA No. 5

Como se podrá apreciar no se alcanzó a determinar el gasto real del acuífero por falta de capacidad del equipo de bombeo.

En las Figs. 6 y 7 se presenta un ejemplo de un pozo en que se obtuvo la capacidad máxima del mismo y para el cual el punto de explotación es para un gasto de 16.3 lps., con un nivel de bombeo de 64.00 m.

Recuperación. - Cuando se efectúa el bombeo de un pozo, el nivel estático al iniciar la prueba, generalmente no equivale al tomado una vez que el bombeo ha terminado, siendo necesario tomar el tiempo de estabilización del nivel, el cual puede tener una recuperación total o parcial.

Inmediatamente al terminar, el bombeo, se toma el nivel estático y a partir de este momento sucesivamente se continuarán las lecturas del nivel a intervalos no mayores de 20 segundos, si la recuperación es inmediata o mayores si ésta es lenta. El tiempo máximo medido de recuperación si no es completo no deberá exceder las veinticuatro horas.

CURVA GASTO-NIVEL DE BOMBEO

N.B(m)

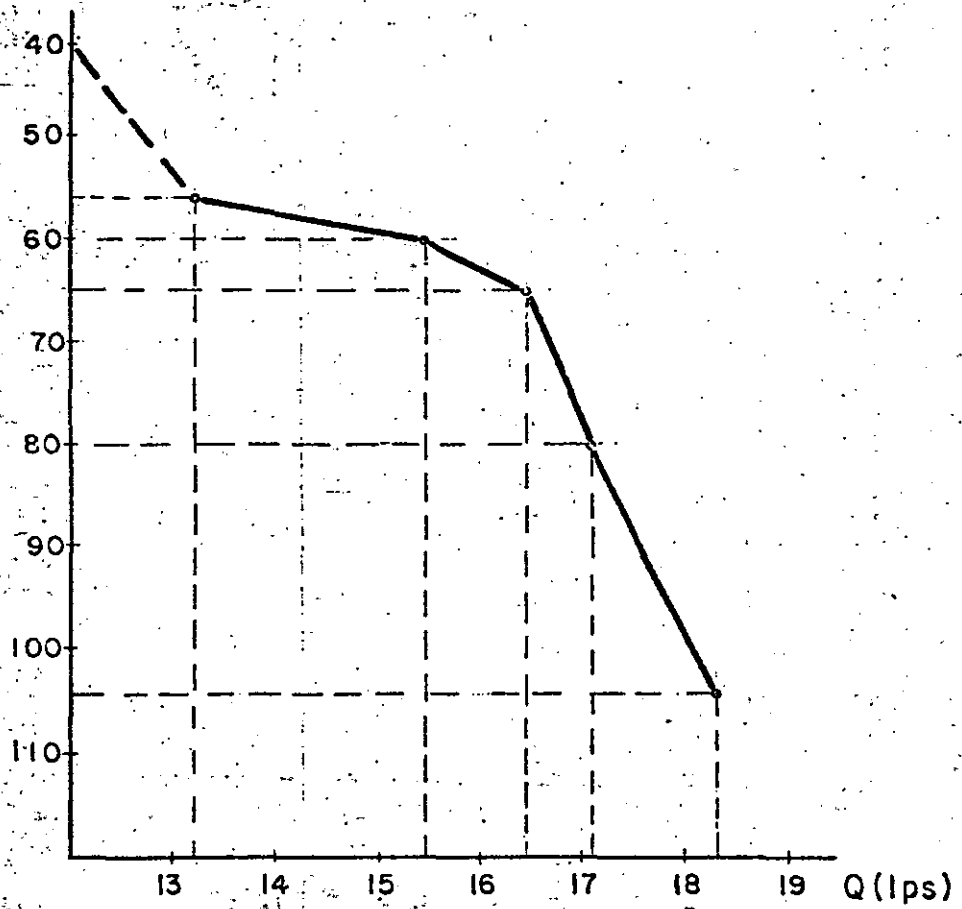
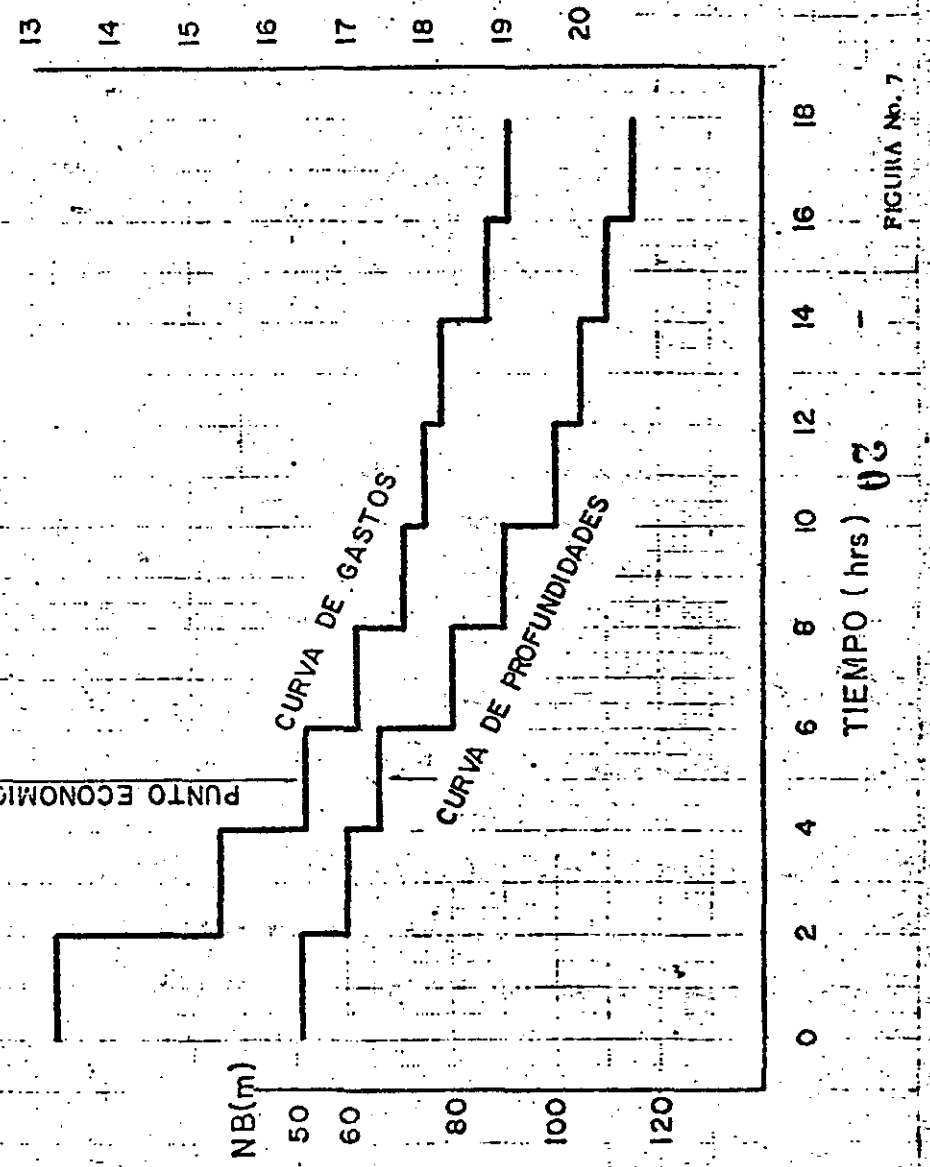


FIGURA No. 6

Q(lps)



TIEMPO (hrs) 03

FIGURA No. 7

A F O R O

Se entiende por aforo de un pozo, a la medición del gasto de producción del mismo y proporciona la información necesaria para un adecuado diseño y selección del equipo de bombeo.

Con el objeto de estar familiarizados con los términos usualmente empleados en las pruebas de aforo estos se ilustran y describen a continuación:

GASTO ó CAUDAL. - Es el volúmen de agua en la unidad de tiempo que produce el pozo, se expresa en litros por segundo.

NIVEL ESTÁTICO. - Es la distancia vertical, comprendida entre el brocal del pozo y el nivel libre del agua dentro de él, cuando no se está extrayendo un gasto en la superficie, se expresa en metros.

NIVEL DE BOMBEO ó DINÁMICO. - Es la distancia vertical, comprendida entre el brocal del pozo y el nivel del agua dentro de él, cuando se está extrayendo un gasto en la superficie, se expresa en metros.

ABATIMIENTO. - Es la distancia vertical comprendida entre el nivel estático y el nivel de bombeo, es la diferencia entre los niveles de bombeo y estático; se expresa en metros.

NIVEL DE RECUPERACION. -

Es la distancia vertical comprendida entre el brocal del pozo y el nivel libre del agua dentro de él, una vez que se ha suspendido la extracción de un caudal en la superficie; se expresa en metros.

RECUPERACION. -

Es el tiempo que tarda en estabilizarse el nivel de recuperación; se expresa en segundos, minutos u horas.

Medición de los Niveles de Agua. - Independientemente del sistema ó método de aforo empleado para la medición del gasto de un pozo, cuando se emplean equipos mecánicos ó electromecánicos para la extracción del agua del interior del pozo, se emplean comúnmente una sonda eléctrica para la medición de los niveles estático, de bombeo ó dinámico y de recuperación.

La sonda eléctrica consiste básicamente de un electrodo que se baja hasta hacer contacto con el agua mediante un cable eléctrico marcado en metros y una batería para proporcionar energía al electrodo a través de un miliampermetro (este puede ser sustituido por una señal luminosa ó sonora)

Al estar en contacto el electrodo con el agua, se cierra el circuito que es señalado en la superficie a través del miliampermetro y directamente se obtiene la profundidad del nivel que es equivalente a la longitud del cable eléctrico.

Carga Adicional en la Descarga. - Es la altura medida del nivel del terreno al punto en que el agua es descargada.

Carga en la Bomba. - Es equivalente al Nivel de Bombeo más las pérdidas por fricción.

Carga Total. - Es la suma de la Carga Adicional en la Descarga, más carga en la bomba.

Sumergencia original (Hs). - Es la distancia comprendida entre el nivel ó carga estática y el primer impulsor.

Sumergencia de trabajo (Hw). - Es la distancia comprendida entre el nivel dinámico y el primer impulsor.

Presión de Partida (Ps). - Es la presión (lbs/Pulg²) necesaria para iniciar el bombeo, se obtiene multiplicando la sumergencia original en pies por 0.434 (presión por pulg². de una columna de agua a un pie de altura) más las pérdidas por fricción en el tubo de aire comprimido.

Presión de trabajo (Pw). - Es la presión (lbs/pulg²). requerida para sostener el bombeo, se obtiene multiplicando la sumergencia de trabajo (Hw) en pies por 0.434 más las pérdidas por fricción en el tubo de aire comprimido.

$$P_s = 0.434 H_s + P_f$$

$$P_w = 0.434 H_w + P_f$$

Procentaje de sumergencia (H%). -

Es la relación entre la sumergencia de bombeo (Hw) y la longitud total de la tubería.

$$H\% = \frac{H_w}{c} \times 100$$

MÉTODOS DE AFORO

Para medir la capacidad de producción de un pozo existen otros sistemas ó métodos, que pueden aplicarse de acuerdo a la información que se pretenda obtener.

Los sistemas de Aforo comunmente empleados para determinar en forma aproximada y con mayor precisión las características hidráulicas de un pozo, son:

- 1). - Cuchareo.
- 2). - Método de Cubicación.
- 3). - Método de Escuadra
- 4). - Medidor de Flujo
- 5). - Medidor de Canal.
- 6). - Medición en pozos Brotantes.

Para la correcta selección del método de aforo adecuado, es necesario conocerlos, por lo que a continuación se describe cada uno de ellos.

- 1). - Método de Cuchareo. - Es útil en aquellos casos en que se tiene duda sobre la posibilidad de obtener producción de un pozo, deido a encontrarse localizado en zonas geohidrológicamente desfavorables, por tenerse resultados negativos en el Registro Eléctrico ó en las muestras obtenidas durante la perforación y se efectúan preferentemente antes de colocar el ademe en el Pozo.

Se emplea una cuchara de las utilizadas en los equipos de perforación tipo percusión para desalojar los cortes de los materiales perforados del fondo del pozo. Esta puede ser del tipo de bisagra ó de dardo y se deberá medir la capacidad de la misma (Fig. 8).

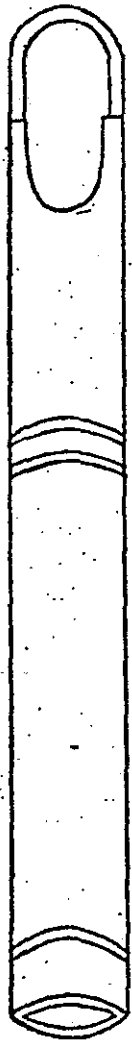
La prueba consiste en medir el nivel del agua mediante una sonda eléctrica; introducir la cuchara en el pozo abajo del nivel de agua, llenarla y extraerla, se repite esta operación en 4 ó 5 ocasiones y se toma la siguiente información:

- a). - Nivel del agua al iniciar
- b). - Volúmen total extraído
- c). - Tiempo efectivo empleado en la prueba
- d). - Nivel del agua al terminar

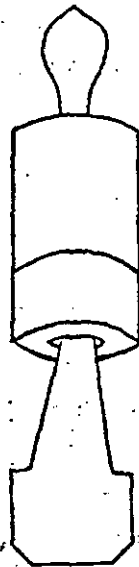
Dividiendo el volúmen total extraído entre el tiempo efectivo empleado en la prueba, se obtiene el gasto y la diferencia de niveles proporciona el abatimiento. Del resultado de esta prueba se podrá determinar.

- a). - Si se abate totalmente el pozo, no será conveniente proseguir

CUCHARA



DARDO



BISAGRA

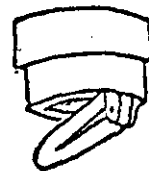


FIGURA No. 8

la terminación del mismo ó se estudiará la posibilidad de profundizarlo.

- b). - Si el gasto obtenido y su abatimiento es suficiente para tomar la decisión de proseguir ó no los trabajos de perforación.
- c). - Si no existe abatimiento, continuar con los trabajos de terminación del pozo.

- 2). - Método de Cubicación. - Este procedimiento es aplicable en aquellos pozos de producción baja, con gastos comprendidos hasta 2 l. p. s. y se recomienda para la extracción del agua del interior del pozo la utilización de un guimbaete, el cual consiste básicamente en una bomba de desplazamiento directo, integrada por un cilindro con dos válvulas check, unido a una varilla mediante la cual desde la superficie se le proporciona un movimiento ascendente y descendente, que permite descargar un volumen equivalente al suyo (Fig. 9).

El movimiento ascendente y descendente de la varilla se proporciona mediante el empleo de un balancín, el cual es accionado por un motor de combustión interna (puede ser eléctrico).

El gasto en la superficie se mide mediante el empleo de un tambor de 200 litros de capacidad ó similar y tomando el tiempo de llenado del mismo.

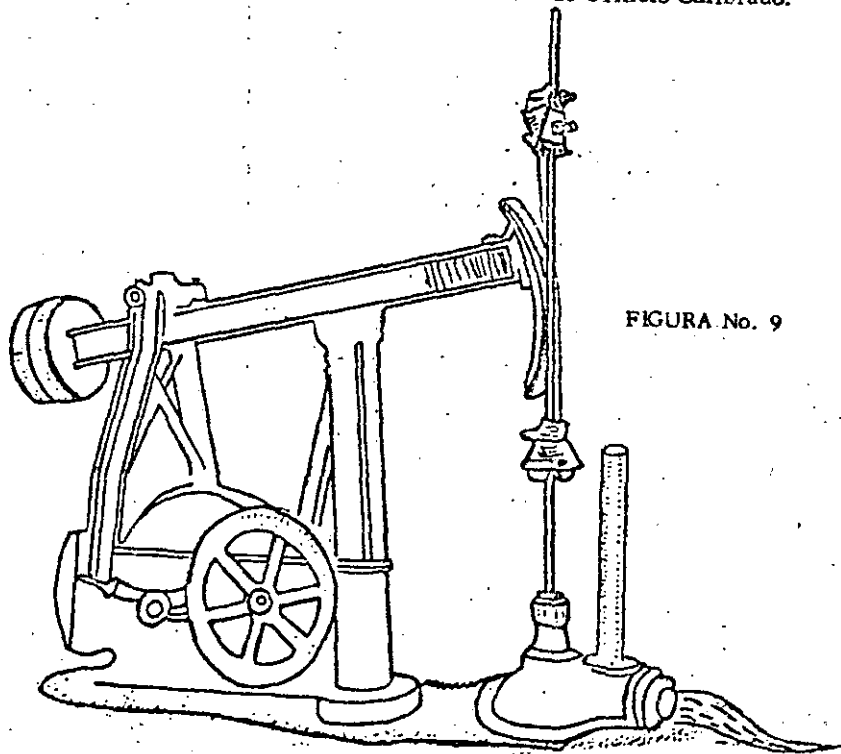
Los niveles del agua estático y dinámico, se miden empleando -- una sonda eléctrica.

Para la elaboración de la curva de aforo se deberán tomar los siguientes datos:

LECTURA N. E. = 40 m.

R. P. M.	N. B. (m)	Vol. Calibrado (Hs)	Tiempo seg.	Gasto lps
500	75	200	350	0.5
600	90	200	300	0.6
700	127	200	200	1.0

Para la elaboración de la Curva Gasto-Nivel de Bombeo, se seguirá el mismo procedimiento descrito en el Método de Orificio Calibrado.



SIFONEO CON AIRE

Puede emplearse para la extracción del agua del pozo, el bombeo inyectando aire comprimido, requiriéndose para tal operación el siguiente -- equipo.

Un compresor, una línea para descargar el agua del pozo y una línea para inyectar el aire, este sistema tiene dos variantes que a continuación se detallan:

- 1a. Variante. - El tubo de inyección del aire se introduce dentro del tubo de descarga del agua (Fig. 10).
- 2a. Variante. - El tubo de inyección del aire se introduce fuera del tubo de descarga del agua (Fig. 11).

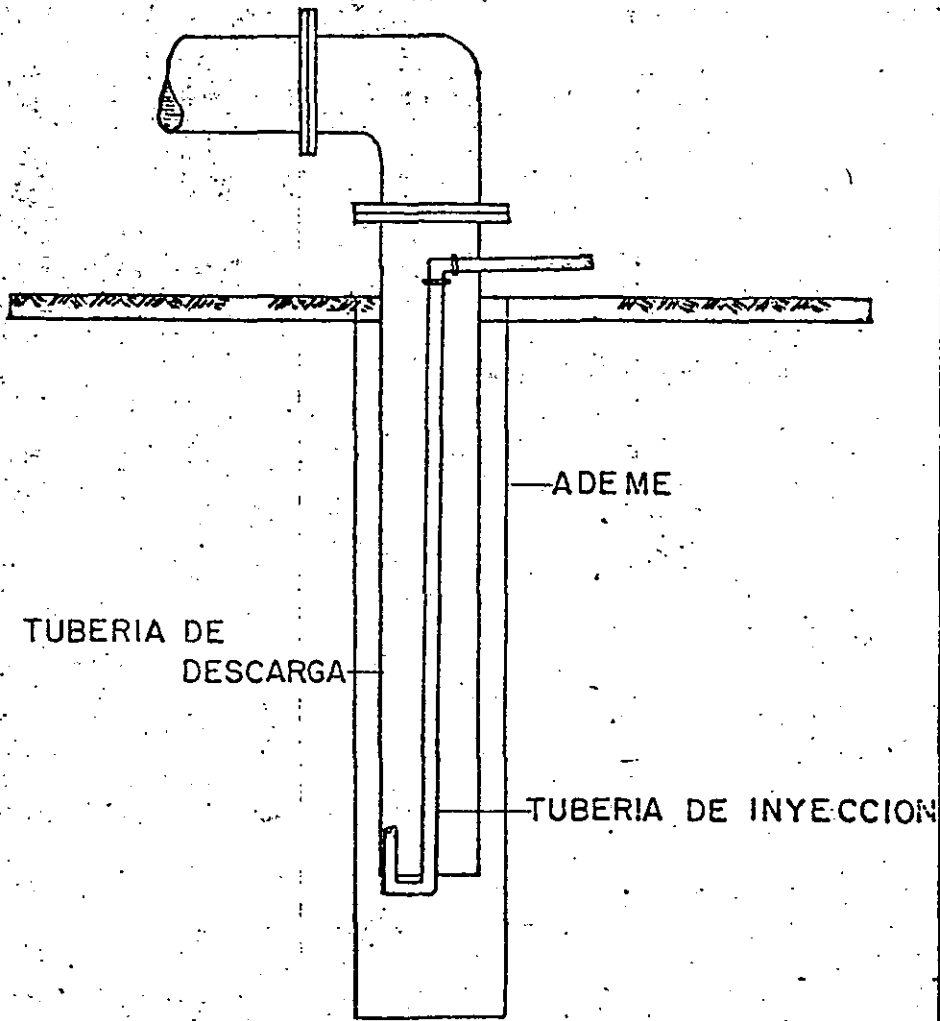
En ambos casos la inyección del aire en el interior del pozo provoca una columna de mezcla de aire - agua, que es más ligera que la columna de agua situada afuera del tubo.

La diferencia de peso entre ambas columnas provoca un desequilibrio que expulsa la columna de mezcla aire - agua por ser más ligera. Al sostener la inyección del aire se provoca la expulsión de agua en forma intermitente.

El agua descargada en la superficie, se mide como en el caso anterior por cubicación empleando uno ó más tambores de 200 litros.

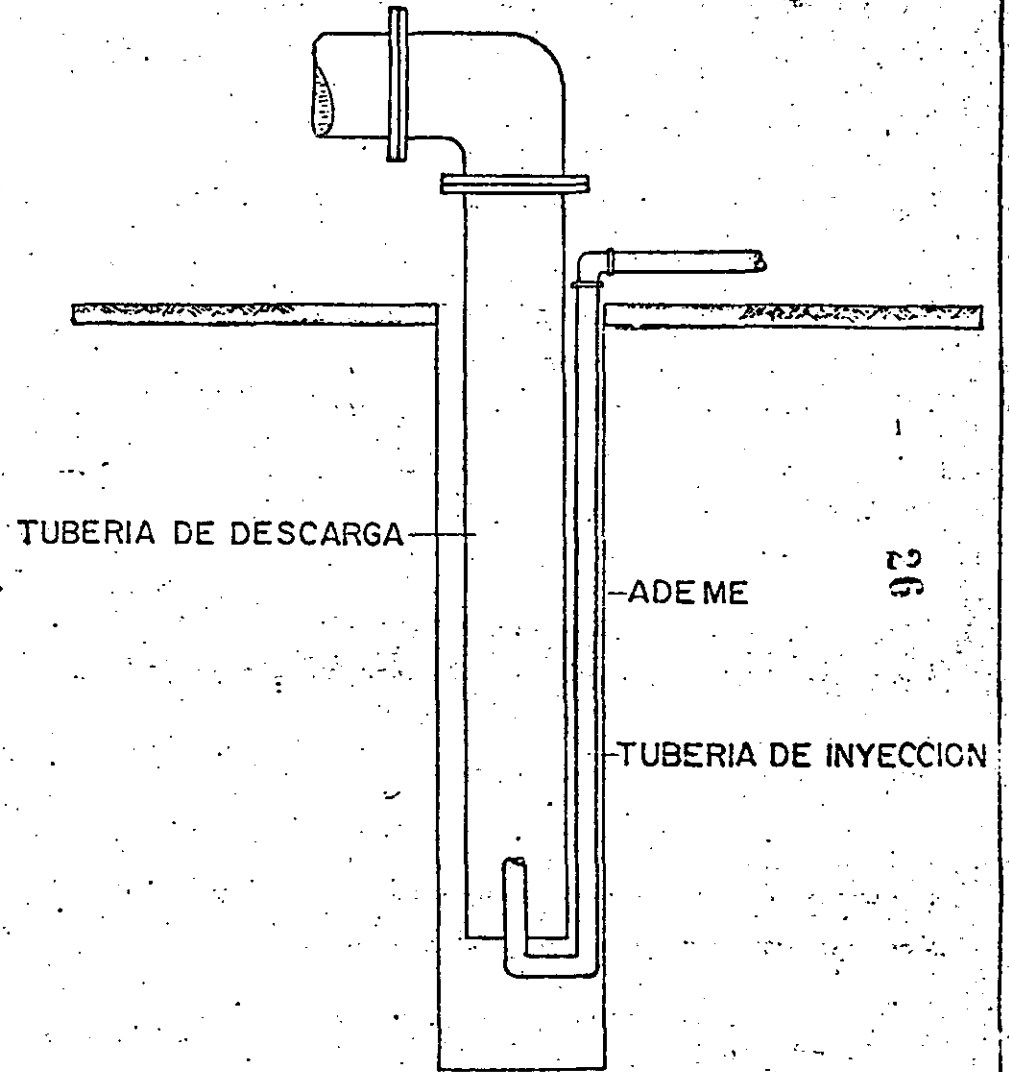
Si el gasto es mayor de 5 lps., se debe emplear para su medición: recipientes de mayor capacidad (presa de lodos, camión que etc.).

Para la selección de la capacidad del compresor, diámetros y -- longitudes de las líneas de inyección y de descarga, se anexan tablas.



SIFONEO POR AIRE

FIGURA No. 10



SIFONONEO POR AIRE

FIGURA No. 11

26

CAPACIDADES EMPLEANDO SISTEMA CON TUBERIA EXTERIOR						
Diámetro Mínimo del Pozo	DIAMETRO DE TUBOS		CAPACIDAD - GPM			
	Tubo de Descarga de agua	Tubo de Aire	SUMERGENCIA			
			70%	60%	50%	40%
3	1	3/8	10-17	8-12	7-11	6-10
3 1/2	1 1/4	3/8	16-24	11-18	10-15	8-12
4	1 1/2	1/2	20-36	16-28	12-21	10-19
5	2	3/4	33-65	26-55	20-40	18-35
6	2 1/2	1	60-100	50-85	36-85	32-55
6	3	1	90-130	78-120	55-100	50-95
6	3 1/2	1	120-250	110-180	90-150	80-130
8	4	1 1/4	200-235	160-250	130-200	120-180
8	4 1/2	1 1/2	250-475	200-375	170-275	155-225
10	5	1 1/2	300-600	275-475	200-375	180-300
10	6	2	500-900	450-775	350-575	280-500

49

CAPACIDADES EMPLEANDO TUBERIA INTERIOR.						
Diámetro Mínimo del Pozo.	Diámetro de Tubos Tubo de Descarga de Agua	Tubo de Aire	Capacidad - GPM.			
			70%	60%	50%	40%
1 1/4	3/8	3/8	13-22	10-16	9-14	8-13
1 1/2	3/8	3/8	18-28	13-22	10-17	9-15
2	1/2	1/2	30-56	25-46	18-33	16-30
2 1/2	3/4	3/4	40-80	34-70	26-50	21-43
3	1	1	75-105	64-100	48-82	41-75
3 1/2	1	1	105-210	95-155	80-130	70-110
4	1 1/4	1 1/4	160-270	135-200	105-160	100-150
4 1/2	1 1/2	1 1/2	200-390	170-300	140-230	130-190
5	1 1/2	1 1/2	260-510	220-400	175-300	160-250
6	2	2	425-775	380-650	300-500	250-425
7	2	2	500-1000	450-850	400-700	325-550
8	2	2	800-1300	700-1200	600-1000	500-750
10	2 1/2	2 1/2	1200-2000	1050-1800	900-1550	700-1250

50

23

CAPACIDAD DE AIRE NECESARIO PARA BOMBLEAR 1 GALON DE AGUA.

Fórmula:
$$Q = \frac{HI}{C \cdot \log. 10 \frac{HW + 34}{34}} \quad (\text{ft}^3)$$

Donde: HI = Altura de succión.....ft
 HW = Sumergencia de bombeo....ft
 C = Constante - Tabla abajo

Sumergible	75%	70%	65%	60%	55%	50%	45%	40%	35%
Constante C Tubería interior	330	322	306	285	262	238	214	185	162
Constante C Tubería exterior	366	358	348	335	318	296	272	246	216

PIES CUBICOS DE AIRE LIBRE PARA ELEVAR 1 GALON DE AGUA-PRESION DE TRABAJO PARA SUMERGENCIA DE 25% a 50%

Altura total- de suc- ción - en pies	RAZON DE SUMERGENCIA							
	25% 1/3 a 1		33% 1/2 a 1		43% 3/4 a 1		50% 1 a 1	
	Aire Libre PC	Presión Trabajo	Aire Libre PC	Presión Trabajo	Aire Libre PC	Presión Trabajo	Aire Libre PC	Presión Trabajo
20								
30								
40								
50								
60								
80								
100								
120								
140								
160								
180							0.761	81
200							0.807	90
250							0.916	113
300						1,302	101	1,021
350						1,422	118	1,121
400						1,545	135	1,221
450						1,658	152	1,319
500			2,580	113	1,773	169	1,411	225
550			2,738	124	1,882	187	1,504	247
600			2,879	135	1,992	202		
650			3,025	146	2,100	220		
700	3,910	105	3,168	157	2,205	236		
750	4,065	113	3,302	169				
800	4,220	120	3,445	180				
850	4,385	128	3,581	191				
900	4,535	135	3,712	202				
950	4,670	142						
1000	4,840	150						

29
20

Piés cúbicos de aire libre para elevar un galón de agua - presión de trabajo para sumergencia de 55% a 71%:

Altura total - de succión en Pies.	RAZON DE SUMERGENCIA.							
	55%		60%		66%		71%	
	1. 1/4 a 1	Presión trabajo	1. 1/2 a 1	Presión trabajo	2 a 1	Presión trabajo	2. 1/2 a 1	Presión trabajo
20					0.169	18	0.143	23
30					0.194	27	0.165	34
40			0.271	27	0.217	36	0.184	45
50			0.296	24	0.240	45	0.208	56
60			0.318	41	0.261	54	0.229	68
80			0.364	54	0.302	72	0.267	90
100			0.407	67	0.342	90	0.280	100
120			0.448	81	0.379	108		
140	0.558	79	0.489	95	0.414	126		
160	0.602	90	0.528	108				
180	0.642	101	0.565	122				
200	0.683	113	0.602	135				
250	0.779	141						
300	0.872	169						
350	0.964	197						
400	1.052	225						
450	1.139	253						
500								
550								
600								
650								
700								
750								
800								

BOMBA VERTICAL

Para la medición de gastos mayores de 10 lps., usualmente se emplean los métodos de Escuadra, Orificio, Medidor de flujo y Canal. para la aplicación de cualquiera de estos métodos, es necesario contar con un flujo de agua constante en la superficie, el cual generalmente es proporcionado mediante el empleo de una bomba turbina tipo vertical accionada por motor de combustión interna.

Este equipo de bombeo está integrado principalmente por Cuerpo de Tazones y Colador. Está formado por uno ó más pasos, integrados cada uno de ellos por una cámara ó carcasa que aloja en su interior un impulsor, el cual proporciona energía al agua permitiendo su expulsión al siguiente paso ó a la columna de bombeo.

Los impulsores pueden ser del tipo cerrado ó semi-abierto; generalmente en el primer paso se coloca un tubo de succión y un colador, este último tiene como finalidad el proteger los impulsores del pozo de ciertos sólidos en suspensión.

Columna de Bombeo. - Puede ser lubricada por agua ó por aceite, en el primer caso consta de tubería de bombeo ó descarga y flecha para proporcionar movimiento a los impulsores, en el segundo caso consta de tubería de bombeo ó descarga, cubreflecha y flecha, entre estas dos últimas se coloca el aceite para su lubricación.

Cabezal de Descarga. - Su función es la de sostener la columna de bombeo y los tazones, proporcionar la base de apoyo al cabezal de engranes y cambiar la dirección del flujo del agua.

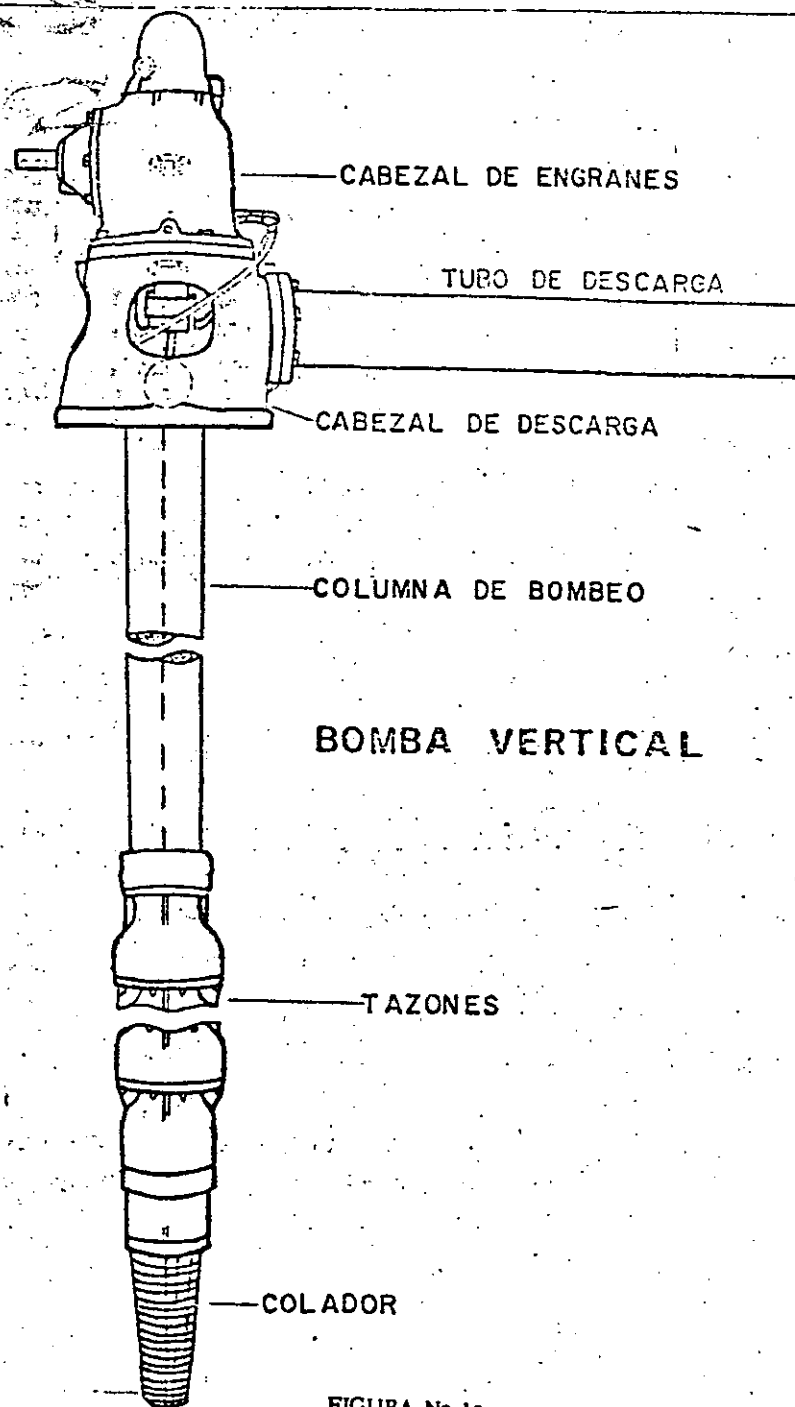


FIGURA No.12

Cabezal de Engranés. - Aloja en su interior dos engranes que pueden ser de dimensiones iguales ó diferentes, los cuales se encuentran acoplados a flechas que se conectan a la flecha de la bomba y a la flecha - motriz (flecha cardán) proveniente del motor.

Motor. - Se emplean motores de combustión interna, con capacidades que varían de acuerdo a la potencia que se demande en función del Gas y el Nivel de bombeo máximo que se pretendan obtener.

Tubo de Descarga. - Se conecta al cabezal de descarga, normalmente tiene 3.05 m (10') de longitud.

3). - Método de Escuadra. - Este método permite medir gastos aproximados en descargas a tubo lleno ó parcialmente lleno; su aplicación es sencilla y consiste en tener un tubo de descarga acoplado al cabezal de la bomba con una longitud no menor de 1.50 m (3') para sostener un flujo laminar en su interior y descarga libre en su extremo.

Quando se tiene el tubo de descarga lleno y se desea conocer el gasto aproximado, se hace necesario conocer la distancia horizontal D la cual se mide como lo indica la Fig.13 y con este valor se entra en las tablas que se anexan, interpolando con el dato del tubo de descarga y se obtendrá directamente el gasto correspondiente.

Quando la descarga sea a tubo parcialmente lleno, el procedimiento es igual al anterior, excepto en la forma de medir la distancia D la cual se efectuará de acuerdo a la Fig.13 correspondiente.

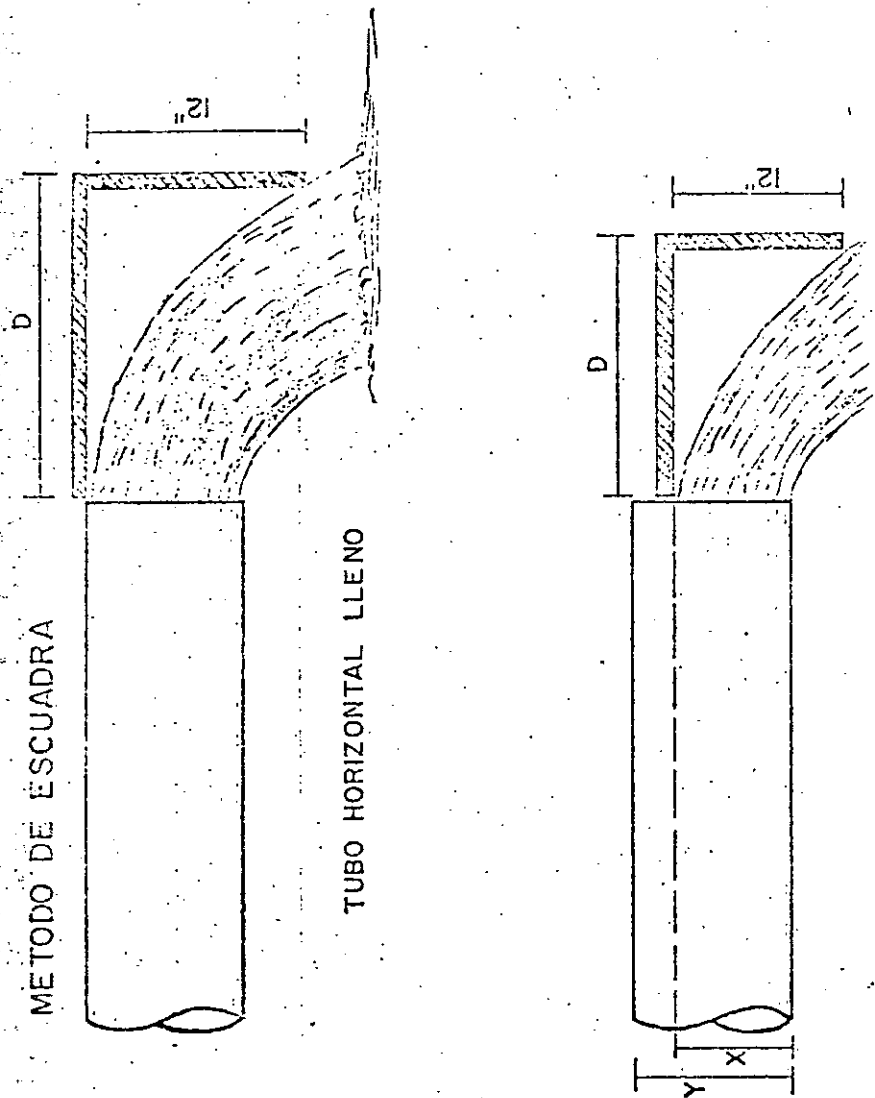


FIGURA No. 13

En este caso para obtener el gasto real será necesario obtener el valor de la relación $\frac{x}{y}$ en la que x es el tirante del agua en el interior del tubo de descarga, y es el diámetro interior con este dato interpolado en la tabla correspondiente se obtiene un valor en porciento (%).

Con el valor de D y la tabla a tubo lleno se obtiene el gasto que -- multiplicado por el valor de porciento antes obtenido se tiene el gasto real -- (corregido).

El aforo consiste en medir el nivel estático y obtener a diferentes velocidades del motor (es conveniente a cada 100 rpm) las siguientes lecturas:

- Nivel de Bombeo.
- Distancias horizontales D como se indica en la Figura.
- Velocidad del motor (rpm).
- Tiempo de cada escalón de velocidad.

La información recabada se tabulara de la siguiente forma:

R.P.M.	N. B. (m)	Distancia D (cm)	Gasto l. p. s.
1 200	11.00	34	33.8
1 300	13.20	40	39.7
1 400	14.60	44	43.7
1 500	16.80	48	47.7
1 600	19.20	52	51.7
1 700	21.10	56	55.6
1 800	23.40	58	57.6
1 900	25.00	62	61.6
2 000	25.30	66	65.6

La gráfica de Gasto-Nivel de Bombeo y su interpretación se describirán en el Método de Orificio Calibrado.

AFORO DE TUBOS HORIZONTALES CON DESCARGA COMPLETA

59

Diámetro del tubo en pulgadas dist. horizontal en cms. en lts/seg.

Dist. Horiz.	2"	2 1/2"	3"	3 1/2"	4"	4 1/2"	5"	5 1/2"	6"	7"
20	1.6	2.5	3.6	5.0	6.5	8.2	10.1	12.3	14.6	19.9
22	1.8	2.8	4.0	5.5	7.2	9.0	11.1	13.5	16.1	21.9
24	2.0	3.0	4.4	6.0	7.8	9.8	12.2	14.7	17.5	23.8
26	2.1	3.3	4.7	6.5	8.5	10.7	13.2	16.0	19.0	25.8
28	2.3	3.5	5.1	7.0	9.1	11.5	14.2	17.2	20.4	27.8
30	2.5	3.8	5.4	7.5	9.8	12.3	15.2	18.4	21.9	29.8
32	2.6	4.1	5.8	8.0	10.4	13.1	16.2	19.6	23.4	31.8
34	2.8	4.3	6.2	8.4	11.1	13.9	17.6	20.9	24.8	33.8
36	3.0	4.6	6.5	8.9	11.7	14.6	18.2	22.1	26.3	35.8
38	3.1	4.8	6.9	9.4	12.4	15.6	19.3	23.3	27.8	37.8
40	3.3	5.1	7.3	9.9	13.0	16.4	20.3	24.5	29.2	39.7
42	3.4	5.3	7.6	10.4	13.7	17.2	21.3	25.8	30.7	41.7
44	3.6	5.6	8.0	10.9	14.3	18.0	22.3	27.0	32.1	43.7
46	3.8	5.8	8.3	11.4	15.0	18.9	23.3	28.2	33.6	45.7
48	3.9	6.1	8.7	11.9	15.6	19.7	24.3	29.4	35.1	47.7
50	4.1	6.3	9.1	12.4	16.3	20.5	25.3	30.7	36.5	49.7
52	4.3	6.6	9.4	12.9	16.9	21.3	26.3	31.9	38.0	51.7
54	4.4	6.8	9.8	13.4	17.6	22.1	27.4	33.1	39.4	53.7
56	4.6	7.1	10.2	13.9	18.2	23.0	28.4	34.4	40.0	55.6
58	4.8	7.3	10.5	14.4	18.9	23.8	29.4	35.6	42.4	57.6
60	4.9	7.6	10.9	14.9	19.5	24.6	30.4	36.8	43.8	59.6
62	5.1	7.9	11.2	15.4	20.2	25.4	31.4	38.0	45.3	61.6
64	5.2	8.1	11.6	15.9	20.8	26.2	32.4	39.3	46.7	63.9
66	5.4	8.4	12.0	16.4	21.5	27.1	33.4	40.5	48.2	65.6
68	5.6	8.6	12.3	16.9	22.1	27.9	34.5	41.7	49.7	67.6
70	5.7	8.9	12.7	17.4	22.8	28.7	35.5	42.9	51.1	69.6
72	5.9	9.1	13.1	17.9	23.4	29.5	36.5	44.2	52.6	71.5
74	6.1	9.4	13.4	18.4	24.1	30.3	37.5	45.4	54.0	73.5
76	6.2	9.6	13.8	18.9	24.7	31.2	38.5	46.6	55.5	75.5
78	6.4	9.9	14.1	19.4	25.4	32.0	39.5	47.9	57.0	77.5

60

AFORO DE TUBOS HORIZONTALES CON DESCARGA COMPLETA

Diámetro del tubo en pulgadas dist. horizontal en cms. en lts/seg.

Dist. Horiz.	8"	9"	10"	11"	12"	13"	14"	15"	16"
20	26.0	32.9	40.6	49.1	58.6	68.6	79.5	91.4	103.6
22	28.6	35.2	44.6	54.0	64.5	75.4	87.4	100.0	114.0
24	31.2	39.5	48.7	59.0	70.3	82.3	95.4	109.7	124.4
26	33.8	42.8	52.8	63.9	76.2	89.1	103.3	118.8	134.7
28	36.4	45.0	56.8	68.8	82.1	96.0	111.3	128.0	145.1
30	39.0	48.3	60.9	73.7	87.9	102.8	119.2	137.1	155.5
32	41.6	52.6	64.9	78.6	93.8	109.7	127.2	146.3	165.9
34	44.2	55.9	69.0	83.5	99.7	116.5	135.1	155.4	176.3
36	46.8	59.2	73.1	88.4	105.5	123.4	143.1	164.5	186.7
38	49.4	62.5	77.1	93.4	111.4	130.3	151.0	173.7	197.1
40	52.0	65.8	81.2	98.2	117.2	137.1	159.0	182.8	207.5
42	54.6	69.1	85.2	103.2	123.1	144.0	166.9	192.0	217.9
44	57.2	72.4	89.3	108.1	129.0	150.8	174.9	201.1	228.3
46	59.8	75.6	93.4	113.0	134.8	157.7	182.8	210.2	238.7
48	62.4	78.9	97.4	117.9	140.7	164.5	190.8	219.4	249.1
50	65.0	82.2	101.5	122.8	146.6	171.4	198.7	228.5	259.5
52	67.6	85.5	105.5	127.7	152.4	178.3	206.7	237.7	269.9
54	70.2	88.8	109.6	132.7	158.3	185.1	214.6	246.8	280.3
56	72.7	92.1	113.6	137.6	164.1	192.0	222.6	256.0	290.7
58	75.3	95.4	117.7	142.5	170.0	198.8	230.5	265.1	301.1
60	77.9	98.7	121.8	147.4	175.9	205.7	238.5	274.2	311.5
62	80.5	102.0	125.8	152.3	181.7	212.5	246.4	283.4	321.9
64	83.1	105.2	129.9	157.2	187.6	219.4	254.4	292.5	332.3
66	85.7	108.5	133.9	162.1	193.5	226.2	262.3	301.7	342.7
68	88.3	111.8	138.0	167.1	199.3	233.1	270.3	310.8	353.1
70	90.9	115.1	142.1	172.0	205.2	240.0	278.2	319.9	363.5
72	93.5	118.4	146.1	176.9	211.0	246.8	286.2	329.1	373.9
74	96.1	121.7	150.2	181.8	216.9	253.7	294.1	338.2	384.3
76	98.7	125.0	154.2	186.7	222.8	260.5	302.1	347.4	394.7
78	101.3	128.3	158.3	191.6	228.6	267.4	310.0	356.5	404.2

AFORO DE TUBOS HORIZONTALES CON DESCARGA COMPLETA

Diámetro del tubo en pulgadas dist. horizontal en cms. en lts/seg.

st. al.	2"	2 1/2"	3"	3 1/2"	4"	4 1/2"	5"	5 1/2"	6"	7"
6.6	10.1	14.5	19.9	26.0	32.8	40.5	49.1	58.4	79.5	
6.7	10.4	14.9	20.4	26.7	33.6	41.5	50.3	59.9	81.5	
6.9	10.6	15.2	20.9	27.3	34.4	42.6	51.5	61.3	83.5	
7.1	10.9	15.6	21.4	28.0	35.3	43.6	52.8	62.8	85.4	
7.2	11.1	16.0	21.9	28.6	36.1	44.6	54.0	64.3	87.4	
7.4	11.4	16.3	22.4	29.3	36.9	45.6	55.2	65.7	89.4	
7.5	11.7	16.7	22.9	29.9	37.7	46.6	56.4	67.2	91.4	
7.7	11.9	17.0	23.3	30.6	38.5	47.6	57.7	68.6	93.4	
7.9	12.2	17.4	23.8	31.2	39.4	48.6	58.9	70.1	95.4	
8.0	12.4	17.8	24.3	31.9	40.2	49.7	60.1	71.6	97.4	
8.2	12.7	18.1	24.8	32.5	41.0	50.7	61.4	73.0	99.4	
8.4	12.9	18.5	25.3	33.2	41.8	51.7	62.6	74.5	101.3	
8.5	13.2	18.9	25.8	33.8	42.6	52.7	63.8	76.0	103.3	
8.7	13.4	19.2	26.3	34.5	43.4	53.7	65.0	77.4	105.3	
8.9	13.7	19.6	26.8	35.1	44.3	54.7	66.3	78.9	107.3	
9.0	13.9	19.9	27.3	35.8	45.1	55.7	67.5	80.3	109.3	
9.2	14.1	20.3	27.8	36.4	45.9	56.8	68.7	81.8	111.3	
9.3	14.4	20.7	28.3	37.1	46.7	57.8	69.9	83.3	113.3	
9.5	14.7	21.0	28.8	37.7	47.5	58.8	71.2	84.7	115.3	
9.7	15.0	21.4	29.3	38.4	48.4	59.8	72.4	86.2	117.2	
9.8	15.2	21.8	29.8	39.0	49.2	60.8	73.6	87.6	119.2	
10.0	15.5	22.1	30.3	39.7	50.0	61.8	74.8	89.1	121.2	
10.2	15.7	22.5	30.8	40.3	50.8	62.8	76.1	90.6	123.2	
10.3	16.0	22.8	31.3	41.0	51.6	63.8	77.3	92.0	125.2	
10.5	16.2	23.2	31.8	41.7	52.5	64.9	78.5	93.5	127.2	
10.7	16.5	23.6	32.3	42.3	53.3	65.9	79.8	95.0	129.2	
10.8	16.7	23.9	32.8	43.0	54.1	66.9	81.0	96.4	131.2	
11.0	17.0	24.3	33.3	43.6	54.9	67.9	82.2	97.9	133.1	
11.2	17.2	24.7	33.8	44.3	55.7	68.9	83.4	99.3	135.1	
11.3	17.5	25.0	34.3	44.9	56.6	69.9	84.7	100.8	137.1	
11.5	17.7	25.4	34.8	45.6	57.4	70.9	85.9	102.2	139.1	

AFORO DE TUBOS HORIZONTALES CON DESCARGA COMPLETA

Diámetro del tubo en pulgadas dist. horizontal en cms. en lts/seg.

Dist. Htal.	8"	9"	10"	11"	12"	13"	14"	15"	16"
80	103.9	131.6	162.4	196.5	234.5	274.2	318.0	365.6	414.
82	106.5	134.8	166.4	201.4	240.4	281.1	325.9	374.8	424.
84	109.1	138.1	170.5	206.4	246.2	287.9	333.8	383.9	435.
86	111.7	141.4	174.5	211.3	252.1	294.8	341.8	393.1	445.
88	114.3	144.7	178.6	216.2	257.9	301.7	349.7	402.2	456.
90	116.9	148.0	182.6	221.1	263.8	308.5	357.7	411.4	466.
92	119.5	151.3	186.7	226.0	269.7	315.4	365.6	420.5	476.
94	122.1	154.6	190.8	230.9	275.5	322.2	373.6	429.6	487.
96	124.7	157.9	194.8	235.8	281.4	329.1	381.5	438.8	497.
98	127.3	161.2	198.9	240.8	287.2	335.9	389.5	447.9	507.
100	129.9	164.4	202.9	245.7	293.1	342.8	397.4	457.1	518.
102	132.5	167.7	207.0	250.6	299.0	349.6	405.4	466.2	528.
104	135.1	171.0	211.1	255.5	304.8	356.5	413.3	475.2	538.
106	137.7	174.3	215.1	260.4	310.7	363.4	421.3	484.5	549.
108	140.3	177.6	219.2	265.3	316.6	370.2	429.2	493.6	559.
110	142.9	180.9	223.2	270.2	322.4	377.1	437.2	502.8	570.
112	145.5	184.2	227.3	275.2	328.3	383.9	445.1	511.9	580.
114	148.1	187.5	231.4	280.1	334.1	390.8	453.1	521.0	590.
116	150.7	190.8	235.4	285.0	340.0	397.6	461.0	530.2	601.
118	153.3	194.0	239.5	289.9	345.9	404.5	469.0	539.3	611.
120	155.9	197.3	243.5	294.8	351.7	411.3	476.9	548.5	621.
122	158.5	200.6	247.6	299.7	357.6	418.2	484.9	557.6	632.
124	161.1	203.9	251.6	304.6	363.5	425.1	492.8	566.8	642.
126	163.7	207.2	255.7	309.5	369.3	431.9	500.8	575.9	652.
128	166.3	210.5	259.8	314.5	375.1	438.8	508.7	585.0	663.
130	168.9	213.8	263.8	319.4	381.0	445.6	516.7	594.2	673.
132	171.5	217.1	267.9	324.3	386.9	452.5	524.6	603.3	684.
134	174.1	220.3	271.9	329.2	392.8	459.4	532.5	612.5	694.
136	176.7	223.6	276.0	334.1	398.6	466.2	540.5	621.6	704.
138	179.3	226.9	280.1	339.0	404.5	473.1	548.5	630.7	715.
140	181.9	230.2	284.1	343.9	410.4	480.0	556.0	639.9	725.

AFORO DE TUBOS HORIZONTALES

TUBOS DESCARGANDO PARCIALMENTE LLENOS

x/y	%	x/y	%	x/y	%	x/y	%
0.01	0.17	0.27	21.79	0.53	53.82	0.79	84.73
0.02	0.47	0.28	22.92	0.54	55.09	0.80	85.77
0.03	0.88	0.29	24.06	0.55	56.35	0.81	86.77
0.04	1.34	0.30	25.24	0.56	57.63	0.82	87.76
0.05	1.87	0.31	26.41	0.57	58.89	0.83	88.73
0.06	2.44	0.32	27.59	0.58	60.13	0.84	89.67
0.07	3.08	0.33	28.78	0.59	61.40	0.85	90.59
0.08	3.74	0.34	29.98	0.60	62.64	0.86	91.49
0.09	4.46	0.35	31.19	0.61	63.89	0.87	92.36
0.10	5.21	0.36	32.42	0.62	65.13	0.88	93.20
0.11	5.98	0.37	33.64	0.63	66.36	0.89	94.02
0.12	6.80	0.38	34.87	0.64	67.58	0.90	94.79
0.13	7.64	0.39	36.11	0.65	68.81	0.91	95.54
0.14	8.51	0.40	37.36	0.66	70.02	0.92	96.26
0.15	9.41	0.41	38.60	0.67	71.22	0.93	97.30
0.16	10.33	0.42	39.85	0.68	72.41	0.94	97.56
0.17	11.27	0.43	41.11	0.69	73.59	0.95	98.13
0.18	12.24	0.44	42.37	0.70	74.76	0.96	98.66
0.19	13.23	0.45	43.65	0.71	75.94	0.97	99.12
0.20	14.23	0.46	44.91	0.72	77.08	0.98	99.52
0.21	15.27	0.47	46.18	0.73	78.21	0.99	99.83
0.22	16.31	0.48	47.45	0.74	79.34	1.00	100.00
0.23	17.38	0.49	48.73	0.75	80.44		
0.24	18.45	0.50	50.00	0.76	81.54		
0.25	19.54	0.51	51.27	0.77	82.62		
0.26	20.66	0.52	52.55	0.78	83.69		

BOMBA SUMERGIBLE

Entre los equipos de bombeo de uso menor frecuente para ser empleados en el aforo de pozos se encuentra la bomba sumergible, la cual está constituida (Fig. 14) principalmente por:

Bomba-Motor. - Están unidos por el cuerpo de succión, que constituye la entrada de agua, protegida por un colador de lámina.

La bomba está formada por uno ó varios pasos, integrados cada uno de ellos por una cámara ó carcasa que aloja en su interior un impulsor el cual al girar proporciona energía al agua permitiendo su expulsión al siguiente pozo ó a la tubería de descarga, en ésta se encuentra instalada una válvula check vertical con cuerda.

El motor es eléctrico, para operar a 3 600 rpm. con devanado de cobre aislado a prueba de agua, es el tipo de rotor en corto circuito y opera con una carga de agua en su interior, independiente del agua del pozo para lubricar chumaceras y refrigerar las bobinas.

Tubería de Descarga. - Conduce el agua de la bomba a la superficie está integrada por tramos de tubería, unidos por cople y cuerda.

El empleo de los equipos de bombeo tipo sumergible en el aforo de pozos reúne las siguientes desventajas:

a). - No contar con líneas alimentadoras de energía (electricidad) en el sitio de los trabajos.

BOMBA SUMERGIBLE

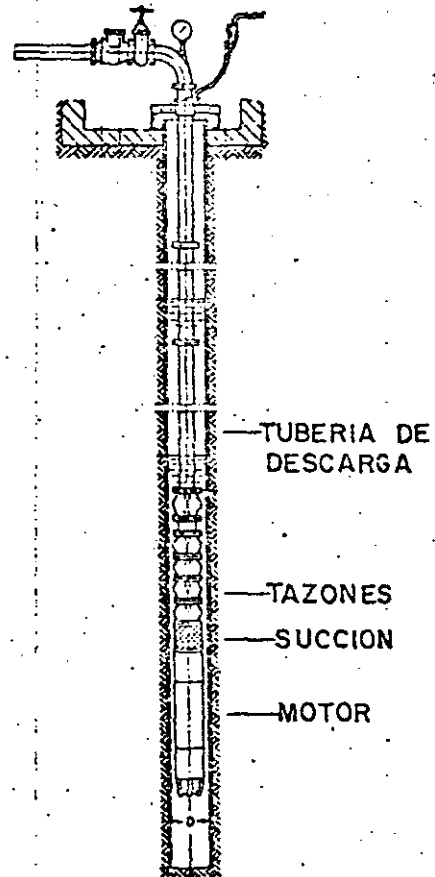


FIGURA No. 14

- b). - Depender para su empleo de plantas s de luz, limitando la potencia de los motores a la capacidad de las plantas y consecuentemente a bombear gastos reducidos.
- c). - No ser posible variar la velocidad del motor, por ser ésta constante (nose cuenta con facilidad con reductores de velocidad).

Para estar en condiciones de obtener variaciones de gasto y niveles de bombeo y efectuar el aforo del pozo, se instala en la descarga en la superficie una válvula que permita variar las condiciones mencionadas.

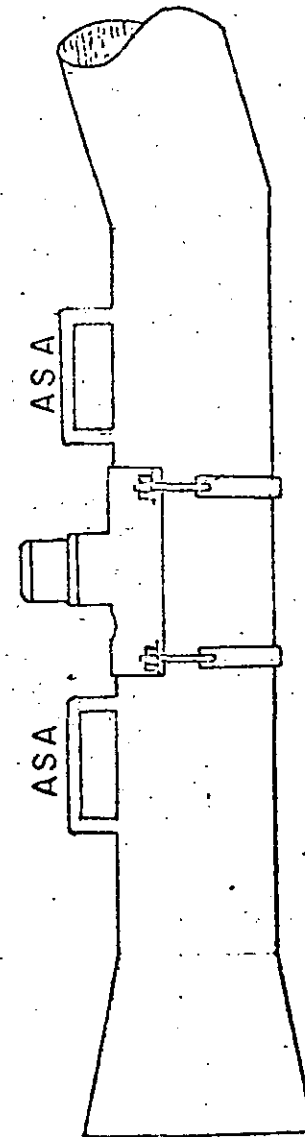
- 4). - Medidor de Flujo. - Existen diferentes marcas de medidores de flujo de baja presión, son compactos y potátiles, instalados sobre un tubo de longitud adecuada al rango del medidor. Este tubo tiene en su extremo de entrada una campana para permitir su conexión al tubo de descarga de la bomba, en su otro extremo tiene soldado un ángulo con descarga hacia arriba, que permite operar el medidor completamente ahogado a su máxima eficiencia (ver Fig. 15).

Se fabrican en diferentes medidas desde 4" hasta 12" de diámetro y para gastos de 3.0 lps. a 126 lps.

Para aforar mediante el empleo del medidor, el procedimiento a seguir es variar la velocidad del motor en escalones de 100 en 100 rpm y en cada uno de ellos medir el gasto que proporciona al medidor en lps, y tomar el nivel de bombeo, la velocidad del motor y el nivel estático antes y después de la prueba. La construcción de la gráfica Gasto-Nivel de Bombeo y su interpretación, así como recuperación del pozo, se sigue la misma secuela mencionada en el método de orificio.

De acuerdo con los fabricantes el margen de error en las lecturas de gasto es del 2%.

- 5). - Medición en Canal. - Para obtener la medición de gasto de un pozo, mediante el empleo de un canal, es necesaria la construcción de un vertedor el cual puede ser la sección rectangular ó triángula que --



MEDIDOR DE FLUJO

98

que son los más usuales, también se emplea el trapecial ó Cipolletti y deben de reunir para su aplicación los siguientes requisitos:

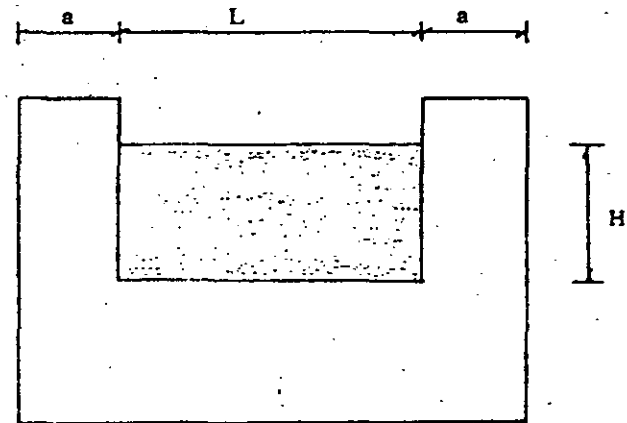
- a). - El canal debe tener cierta pendiente en el punto que se localice el vertedor, para permitir la retención parcial del agua y el derrame sobre el vertedor.
- b). - La cresta del vertedor debera estar perfectamente horizontal, excepto en el triangular y suficientemente alta para permitir un derrame libre aguas abajo.

Para efectuar una adecuada medición, se deberá tomar en consideración:

- a). - La lectura del tirante de agua sobre la cresta en el vertedor rectangular ó sobre el vertice en el triangular, se deberá tomar aguas arriba del vertedor, donde se tenga un flujo laminar.
- n). - Para la aplicación de las tablas que se anexan, es conveniente que la longitud de la cresta sea de 0.30, 0.90 ó 1.50 m. en el vertedor rectangular ó el ángulo del vertedor triangular sea de 60° ó 90°.

Para determinar el gasto de un pozo en un momento dado, es necesario tomar los siguientes datos en el campo:

- a). - Nivel Estático
- b). - Nivel de Bombeo



$$\text{FORMULA: } Q = 1.84 LH^{3/2}$$

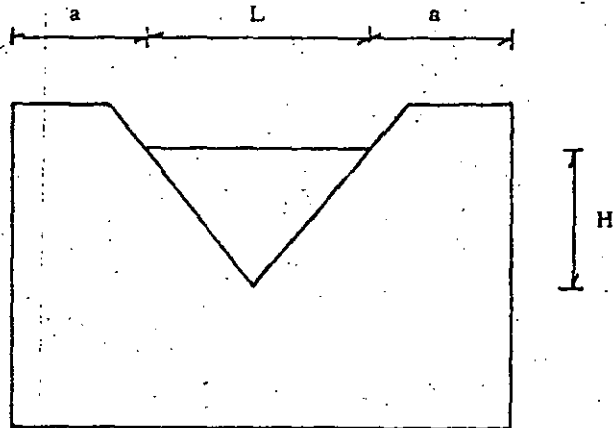
Q = Gasto en lts/seg.

H = Tirante del agua en cm.

L = Ancho del vertedor en cm.

L = Debe ser de 4 a 8 veces H.

FIGURA No. 16



$$\text{FORMULA: } Q = 0.01178 CLH^{3/2}$$

Q = Gasto en lts/seg.

C = Constante experimental = 0.57

H = Altura del agua a partir del vértice.

L = Ancho de la lámina de agua a la altura H.

FIGURA No. 17

- c). - Tirante del agua sobre la cresta ó vértice.
 d). - Longitud de la cresta (vértedor rectangular).

Seleccionando las tablas adecuadas al vertedor que se tenga, se obtiene el gasto directamente en l. p. s. entrando con los datos de los incisos c y d mencionados.

Para efectuar el aforo de un pozo, se construye en la descarga del mismo un canal, con la estructura vertedora que se desee en su extremo y se bombea el pozo a diferentes velocidades del motor como en los casos anteriores es conveniente en escalones de 100 a 100 rpm y se tomar los datos que se mencionan:

La tabulación de los datos de campo quedaría así:

R. P. M.	N. B. (m)	H (cms)	L (cms)	Gasto (L. P. S.)
1 200	11.00	7.5	90.00	33.4
1 300	13.20	8.5	90.00	40.3
1 400	14.60	9.0	90.00	43.8
1 500	16.80	9.5	90.00	47.5
1 600	19.20	10.0	90.00	51.1
1 700	21.10	10.5	90.00	55.0
1 800	23.40	11.0	90.00	59.0
1 900	25.30	12.0	90.00	67.0
2 000	25.30	12.0	90.00	67.0

DETERMINACION DE GASTOS MEDIANTE EL EMPLEO DE UN
VERTEDOR RECTANGULAR

El valor "S" que aparece en las tablas indica los lts/seg. que hay que suministrar por cada 30 cms. de aumento en el valor de L. La tabla se dedujo en la formula: $G = 0.0184 \cdot (L - Q \cdot 2H) \cdot \sqrt{H^3}$.

H cms.	Longitud 30	L 90	en cms. 150	S.
2	1.5	4.7	7.8	1.6
2.5	1.9	5.7	9.6	1.9
3	2.8	8.6	14.3	2.9
3.5	3.5	10.7	19.9	3.6
4	4.3	13.1	21.9	4.4
4.5	5.1	15.6	26.1	5.3
5	6.0	18.3	30.7	6.2
5.5	6.9	21.1	35.3	7.1
6	7.8	24.0	40.2	8.1
6.5	8.8	27.1	45.4	9.2
7	9.7	30.1	50.5	10.2
7.5	10.7	33.4	56.0	11.3
8	11.8	36.8	61.7	12.5
8.5	12.9	40.3	67.6	13.7
9	14.0	43.8	73.7	14.9
9.5	15.2	47.5	79.8	16.2
10	16.3	51.1	86.0	17.4
10.5	17.5	55.0	92.6	18.8
11	18.7	59.0	99.3	20.2
11.5	19.9	63.0	106.1	21.5
12	21.1	67.0	112.9	23.0
12.5	22.4	71.1	119.9	24.4
13	23.7	75.4	127.2	25.9
13.5	24.9	79.7	134.5	27.4
14	26.2	84.1	141.9	28.9
14.5	27.5	88.5	149.5	30.5
15	28.9	93.0	157.1	32.1
15.5	37.5	97.5	164.8	33.6
16		102.3	172.9	35.3
16.5		106.9	180.9	37.0
17		113.0	191.3	39.2
17.5		116.5	197.3	40.4
18		121.5	205.8	42.2
18.5		126.3	214.2	43.9
19		131.4	222.8	45.7
19.5		136.4	231.4	47.5
20		141.5	240.2	49.4
20.5		146.7	249.2	51.2
21		151.9	258.1	53.1
21.5		157.2	267.2	55.0

H cms.	Longitud 30	L 90	en cms. 150	S.
22		162.6	276.5	57.0
22.5		167.8	285.6	58.9
23		173.4	295.2	60.9
23.5		178.8	304.6	62.9
24		184.4	314.2	64.9
24.5		190.3	324.4	67.1
25		195.2	332.9	68.9
26		206.0	351.7	72.9
27		217.9	372.5	77.3
28		229.8	393.2	81.7
29		241.6	413.7	86.1
30		253.5	436.0	91.3
31		265.8	456.1	95.2
32		277.5	476.6	99.6
33		288.7	499.2	105.3
34		304.8	524.5	109.9
35		315.4	543.3	114.0
36		329.1	567.5	119.2
37		341.6	589.8	124.1
38		354.8	613.2	129.2
39		367.5	635.8	134.1
40		381.7	661.0	139.7
41		395.1	684.9	144.9
42		408.4	708.7	150.7
43		422.4	733.7	155.7
44		436.3	758.7	161.2
45		450.1	783.5	166.7
46		463.3	808.3	172.2
47		480.0	837.3	178.7
48		491.2	857.7	183.3
49		505.4	883.5	189.1
50		520.3	910.6	195.1

DETERMINACION DE GASTOS MEDIANTE UN EMPLEO
DE UN VERTEDOR TRIANGULAR

H cms.	Gasto 90°	lts/seg. 60°
2.0	0.08	0.04
2.5	0.13	0.08
3.0	0.21	0.12
3.5	0.33	0.19
4.0	0.43	0.24
4.5	0.58	0.33
5.0	0.75	0.43
5.5	0.95	0.55
6.0	1.18	0.68
6.5	1.44	0.83
7.0	1.74	1.00
7.5	2.07	1.19
8.0	2.43	1.40
8.5	2.84	1.64
9.0	3.26	1.88
9.5	3.73	2.15
10.0	4.25	2.45
10.5	4.80	2.77
11.0	5.38	3.11
11.5	6.01	3.47
12.0	6.70	3.86
12.5	7.42	4.28
13.0	8.18	4.72
13.5	9.00	5.19
14.0	9.85	5.68
14.5	10.76	6.21
15.0	11.70	6.75
15.5	12.70	7.33
16.0	13.75	7.93
16.5	14.85	8.57
17.0	16.01	9.23
17.5	17.22	9.93
18.0	18.45	10.65
18.5	19.74	11.39
19.0	21.12	12.18
19.5	22.58	13.03
20.0	24.04	13.87
20.5	25.57	14.75
21.0	27.17	15.68
21.5	28.78	16.61
22.0	30.46	17.58

H cms.	Gasto 90°	lts/seg. 60°
22.5	32.21	18.59
23.0	33.89	19.56
23.5	35.91	20.72
24.0	37.93	21.88
24.5	39.95	23.05
25.0	41.96	24.21
26.0	46.40	26.77
27.0	50.84	29.33
28.0	55.68	32.13
29.0	60.69	35.08
30.0	66.31	38.26
31.0	71.55	41.28
32.0	77.74	44.85
33.0	83.93	48.42
34.0	90.52	52.22
35.0	97.24	56.10
36.0	104.64	60.37
37.0	112.04	64.64
38.0	119.44	68.90
39.0	120.36	73.64
40.0	135.85	78.38
41.0	144.18	83.19
42.0	153.46	88.54
43.0	162.48	93.74
44.0	172.29	99.41
45.0	182.65	105.38
46.0	192.60	111.12
47.0	203.23	117.25
48.0	214.12	123.54
49.0	225.83	130.29
50.0	237.80	137.20
51.0	249.50	143.95
52.0	261.87	151.09
53.0	274.38	158.30
54.0	287.16	165.68
55.0	301.28	173.82
56.0	316.08	182.36
57.0	329.53	190.12
58.0	344.32	198.66
59.0	359.12	207.19
60.0	373.91	215.73

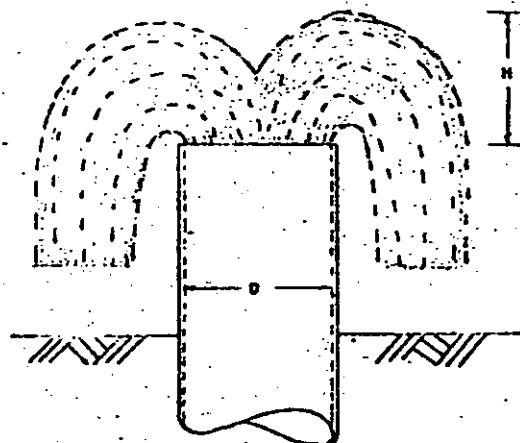
6. - AFORO EN POZOS RECTANGULARES.

DIAMETROS DE TUBOS

H Cms.	2"	3"	4"	5"	6"	7"	8"	10"
7	2.12	4.66	8.19	13.10	18.86	25.67	34.32	57.75
8	2.27	5.04	8.86	14.16	20.16	27.44	36.96	62.26
9	2.40	5.35	9.40	15.02	21.63	29.44	39.74	66.15
10	2.56	5.76	10.02	15.83	23.05	31.38	42.80	70.43
11	2.69	6.05	10.51	16.79	24.45	33.28	45.38	74.63
12	2.84	6.31	10.97	17.54	25.81	35.14	47.89	77.96
13	2.99	6.65	11.68	18.26	26.87	36.58	48.95	81.95
14	3.10	6.90	12.12	18.95	28.19	38.37	52.27	85.04
15	3.24	7.22	12.55	19.83	29.49	40.14	54.66	88.01
16	3.35	7.45	13.10	20.48	30.46	41.46	56.45	91.80
17	3.49	7.76	13.51	21.11	31.39	43.18	58.78	94.62
18	3.63	7.99	13.90	21.96	32.31	44.44	60.49	97.38
19	3.73	8.21	14.28	22.56	33.54	45.66	62.77	100.04
20	3.82	8.42	14.81	23.14	34.41	46.80	64.40	102.63
22	4.01	8.93	15.53	24.53	36.09	49.64	67.54	107.64
24	4.19	9.33	16.23	25.63	37.70	51.85	70.55	112.43
26	4.41	9.81	16.89	26.67	39.65	54.53	73.43	117.02
28	4.51	10.18	17.72	27.98	41.15	56.59	76.20	121.45
30	4.78	10.54	18.34	28.96	43.03	58.57	79.66	125.70
32	4.94	10.88	18.94	29.91	44.45	60.50	82.28	129.83
34	5.14	11.34	19.73	30.83	45.81	63.00	84.81	133.82
36	5.29	11.66	20.30	31.73	47.14	64.83	87.26	137.70
38	5.44	11.98	20.86	32.94	48.43	66.60	89.65	141.46
40	5.64	12.30	21.40	33.80	49.70	68.34	91.99	145.16
42	5.77	12.60	21.93	34.63	50.92	70.03	94.26	148.74
44	5.91	12.89	22.45	35.45	52.12	71.67	96.47	152.23
46	6.04	13.18	23.19	36.24	53.29	73.28	98.41	155.65
48	6.17	13.47	23.69	37.02	54.43	74.86	100.75	159.00
50	6.30	13.89	24.18	38.18	55.56	76.40	102.84	162.28
55	6.61	14.57	25.36	40.05	58.87	80.95	107.86	170.20
60	6.90	15.21	26.49	41.83	61.49	84.55	112.66	177.77
65	7.18	15.84	27.58	43.54	64.00	88.01	117.27	185.05
70	7.45	16.43	28.92	45.18	66.42	91.33	121.69	192.02
75	7.79	17.19	29.93	46.76	68.74	94.52	125.95	198.75
80	8.05	17.75	30.91	48.30	71.00	97.62	130.08	205.26
85	8.30	18.30	31.86	49.79	73.19	100.64	134.10	211.60
90	8.54	18.83	32.79	51.23	75.31	103.55	137.98	217.73
95	8.77	19.35	33.69	52.63	77.37	106.39	141.76	223.69
100	9.09	19.85	34.56	54.00	79.38	109.15	145.44	229.50

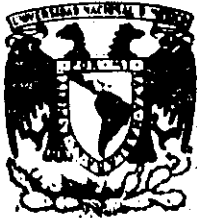
MEDICION DE POZO BROTANTE

$$G = 0.225 C D^2 \sqrt{H}$$



- G = CASTO EN LITROS SEGUNDO
 C = CONSTANTE EXPERIMENTAL
 D = DIAMETRO INTERIOR DEL TUBO EN PULGADAS
 H = ALTURA DEL CHORRO EN CENTIMETROS

FIGURA No. 16



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ING. EDUARDO MARTINEZ GONZALEZ

ABRIL, 1985

I N T R O D U C C I O N

Con el objeto de cuantificar el importe de los trabajos, que son desarrollados por los equipos y herramientas para la perforación de pozos profundos para el suministro de agua potable, es necesario llevar a cabo análisis de precios unitarios y así poder tomar las decisiones pertinentes a cada caso en particular (reposición de equipo, estados financieros, beneficio social, etc.).

Para llevar a cabo dichos análisis es necesario recurrir a un analista de precios unitarios, que en forma resumida se los definirá como una persona que sabe combinar los procedimientos constructivos (por lo que es necesario que tenga la suficiente experiencia en el campo), con los lineamientos oficiales aprobados para la integración de precios unitarios (por lo que debe tener experiencia en gabinete).

En este curso expondré estos lineamientos, a fin de que estos --- apuntes les sirvan como criterio general para la obtención de sus precios unitarios, y puedan utilizarlos para los fines que cada institución juzgue convenientes.

"ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS"

La Secretaría de Programación y Presupuesto, a efecto de dejar de finidos todos los cargos que constituyen un Precio Unitario, y evitar diferentes interpretaciones, publicó en el Diario Oficial de La Federación del 7 de julio de 1983, los lineamientos para la integración de los precios unitarios, copia anexa al final de estos apuntes.

En el análisis de un PRECIO UNITARIO intervienen los cargos que a continuación se mencionan.

- 1.- CARGOS DIRECTOS
- 2.- CARGOS INDIRECTOS
- 3.- CARGOS POR UTILIDAD
- 4.- CARGOS ADICIONALES

Estos cuatro cargos están constituidos por:

- 1.- CARGOS DIRECTOS
 - 1.a. Mano de obra

- 1.b. Materiales
- 1.c. Maquinaria
- 1.d. Herramienta de mano

La suma de los importes a estos cuatro cargos, nos dá como resultado el COSTO DIRECTO del concepto analizado.

1.a. CARGO DIRECTO POR MANO DE OBRA

Este cargo es el resultado de dividir el importe de los Salarios del Personal (afectado del factor de Mano de Obra) entre el rendimiento del mismo personal por unidad de tiempo.

Factor de Mano de Obra:

-Días señalados por la Ley Federal del Trabajo no laborables y sufragados por la Empresa-

1°	Enero
21	Marzo
1°	Mayo
16	Septiembre
20	Noviembre
1°	Diciembre -de cada 6 años- (0.16 días por año)
25	Diciembre
6	Días de vacaciones más prima del 25% (7.5 días por año)
52	Días de domingo al año

65.66 días/año

4.00 otras festividades (3 y 10 de mayo, 2 de noviembre y 12 de diciembre)

suma 69.66

Por concepto de Cuota Patronal al I.M.S.S., la Empresa tiene que cubrir aproximadamente el 20% del salario del trabajador.

$$\text{FACTOR MANO DE OBRA} = \frac{365}{365 - 69.66} \times 1.20 = 1.48$$

1.b. CARGO DIRECTO POR MATERIALES

Este cargo se obtiene de dividir el importe de los materiales de consumo entre la producción en las mismas unidades del Precio Unitario analizado.

1.c. CARGO DIRECTO POR MAQUINARIA

Constituido por los cargos: fijos, combustible, lubricantes y llantas.

A continuación definiremos el concepto de Cargos Fijos, formado a su vez por los cargos:

- 1.c.1.1. Cargo por depreciación: $D = (Va - Vr) / Ve$
 1.c.1.2. Cargo por inversión: $I = (Va + Vr) i / 2 \cdot Ha$
 1.c.1.3. Cargo por seguros: $S = (Va + Vr) s / 2 \cdot Ha$
 1.c.1.4. Cargo por mantenimiento: $T = Q \cdot D$

En donde:

- Va = Valor de adquisición de la maquinaria nueva
 Vr = Valor de rescate de la maquinaria
 Ve = Vida económica de la maquinaria en horas efectivas
 i = Tasa de interés anual
 Ha = Horas efectivas por año
 S = Prima anual de seguros (0.006)
 Q = Factor de mantenimiento (0.80)

Definiremos el concepto de Cargo por Combustible de la siguiente manera:

- 1.c.2.1. Gasolina = 0.2271 HP. FOG. \$ litro
 1.c.2.2. Diesel = 0.1514 HP. FOD. \$ litro

En donde:

- HP = Potencia nominal efectiva para trabajo continuo
 FOG = Factor de operación para motores de gasolina (0.70)
 FOD = Factor de operación para motores diesel (0.80)

En relación al Cargo por Lubricantes tenemos que:

- 1.c.3.1. Gasolina = $(0.0030 \times HP \times 0.70 + \frac{C}{T})$ \$ litro
 1.c.3.2. Diesel = $(0.0035 \times HP \times 0.80 + \frac{C}{T})$ \$ litro

En donde:

- C = Capacidad del carter en litros
 T = Horas entre cambio de aceite

Con esto concluimos lo relativo al COSTO DIRECTO. Veamos ahora el cargo por Costos Indirectos.

2.- CARGOS INDIRECTOS

El análisis de estos cargos son muy variados, ya que dependen de los sistemas operativos de cada Empresa o Institución, por lo que cada una de estas tienen porcentajes de indirectos diferentes; sin embargo para fines de esta exposición, procederé a desglosar este porcentaje basado en estadística personal.

La presentación de este cargo lo voy a hacer en porcentaje del costo directo y considerando además un anticipo del 20% que sobre el importe de los trabajos nos deben de otorgar de acuerdo al Reglamento de Obra Pública expedido por la S.P.P.

1.1. Administración de Campo

a) Personal técnico	3.90%
b) Personal administrativo	2.10%
c) Pasajes y viáticos	2.00%
d) Campamento	2.50%
e) Transporte de personal y vehículos	1.30%
f) I.M.S.S. e impuestos	<u>3.50%</u>
	15.30%

1.2. Administración Central

a) Personal directivo	0.80%
b) Personal técnico	1.10%
c) Personal administrativo	0.90%
d) Pasajes y viáticos	0.50%
e) Oficina y mobiliario	1.25%
f) Vehículos	0.40%
g) Financiamiento, seguros y fianzas	7.00%
h) I.M.S.S. e impuestos	<u>1.30%</u>
	13.25%

Suman los cargos indirectos 28.55%

2.- CARGOS POR UTILIDAD

Consideramos para este efecto la suma de la utilidad más el impues

to sobre la renta:

$$10\% + 8.43\% = 18.43\%$$

3.- CARGOS ADICIONALES

a) Obras de beneficio social	1.00%
b) Inspección y verificación de obras	0.50%
c) Aportación para el I.C.I.C.	<u>0.20%</u>
	1.70%

Para integrarlo en un solo cargo tenemos:

$$\frac{1}{1-0.017} - 1 = 1.73\%$$

Suman los Cargos indirectos, utilidad y adicionales:

$$28.55\% + 18.43\% + 1.73\% = 48.71\%$$

Pasaremos ahora a aplicar, en un ejemplo práctico, lo anteriormente señalado obteniendo el costo directo horario de un equipo completo de perforación; de ahí, y como posteriormente señalaremos, es posible analizar cualquier PRECIO UNITARIO relativo a esta actividad.

MAQUINARIA Y EQUIPO BASICO

- a) PERFORADORA ROTARIA Tipo 1500 con bomba de lodos de 5½ x 8, montada sobre la misma plataforma, motor diesel de 145 HP.

$$Va = \$78'000,000.00; \quad Vr = 20\% Va; \quad Ve = 12,000 \text{ hrs.}$$

$$C = 28 \text{ litros}$$

- b) CAMION PIPA para 8000 Lts. con motor de gasolina de 150 HP.

$$Va = \$6'800,000.00; \quad Vr = 20\% Va; \quad Ve = 8,000 \text{ hrs.}$$

$$C = 10 \text{ litros}$$

c) MOTOSOLDADORA de 300 Amperes con motor de gasolina de 60 HP.

$$Va = \$1'660,000.00; Vr = 20\% Va; Ve = 8,000 \text{ hrs.}$$

$$C = 5 \text{ litros}$$

DETERMINACION DEL COSTO HORARIO

I. Cargos Fijos (perforadora)

$$D = (Va - Vr) / Ve$$

$$D = (\$78'000,000.00 - 0.20 \times \$78'000,000.00) / 6 \text{ años} \times 2000 \text{ hrs/año}$$

$$D = \$5,200/\text{hora}$$

$$I = (Va + Vr) i / 2 \text{ Ha.}$$

$$I = (\$78'000,000.00 + 0.20 \times \$78'000,000.00) 0.50 / 2 \times 2000 \text{ hrs.}$$

$$I = \$11,700.00/\text{hora}$$

$$S = (Va + Vr) s / 2 \text{ Ha.}$$

$$S = (\$93'600,000.00) 0.006 / 4000 \text{ hrs.}$$

$$S = \$140.40/\text{hora}$$

$$T = Q.D. = 0.80 \times \$5,200 = \$4,160.00$$

Suman los Cargos Fijos: \\$21,200.40/hora.

II. Cargo por Consumos (perforadora)

$$\text{Combustible} = 0.1514 \text{ HP. FOD} \times \$ \text{ litro diesel}$$

$$= 0.1514 \times 145 \times 0.80 \times \$31.20 = \$547.95/\text{hora}$$

$$\text{Lubricantes} = (0.0035 \times \text{HP} \times 0.80 + \frac{C}{T}) \$ \text{ litro aceite}$$

$$= (0.0035 \times 145 \times 0.80 + \frac{28}{100}) \$306.00 = \$209.92/\text{hora}$$

Suma del cargo por consumos: \\$757.87/hora.

III. Cargo por operación

-Plantilla Personal

1 Jefe de Pozo
 2 Perforistas
 1 Soldador
 1 Chofer
 4 Ayudantes

-Salario Diario

\$ 3,000.00
 4,000.00
 2,200.00
 2,200.00
 6,000.00

\$17,400.00

Cargo por operación: \$17,400.00xF.M.O.x365 días/2000 hrs.

Cargo por operación: \$17,400.00x1.48x365/2000= \$4,699.79/hora

Suman los Cargos de la Perforadora: \$26,658.01/hora

En cuanto al análisis del equipo auxiliar (inciso b y c) para abreviar la exposición sumemos sus componentes.

I. Cargos fijos (equipo auxiliar)

$$D = (\$8'460,000.00 - 0.20 \times \$8'460,000.00) / 8000 = \$846.00$$

$$I = (\$8'460,000.00 + 0.20 \times \$8'460,000.00) 0.50 / 4000 = \$1,269.00/hora$$

$$S = (\$8'460,000.00 + 0.20 \times \$8'460,000.00) 0.006 / 4000 = \$15.23 hora$$

$$T = 0.80 \times \$846.00 = 676.80/hora$$

Suman los Cargos Fijos: \$2,807.03/hora

II. Cargo por consumos (equipo auxiliar)

$$\text{-Combustible} = 0.2271 \times 0.70 \times \$55.00 = \$1,836.10/hora$$

$$\text{-Lubricantes} = (0.0030 \times 210 \times 0.70 + \frac{15}{100}) \$290.00 = \$171.39/hora$$

Suma el Cargo por Consumos: \$2,007.49/hora

Suman los Cargos del Equipo Auxiliar: \$4,814.52/hora

Factor de incidencia = 0.65

Importe por Equipo Auxiliar = \$4,814.52 = \$3,129.44/hora

COSTO DIRECTO MAQUINARIA Y EQUIPO: \$29,787.45/hora.

A continuación y para fines prácticos, se presenta un listado de avances reales observados a lo largo de 20 años y proporcionados por la C.N.I.C.

<u>Diámetro Perforado</u>	<u>Material clase I de 0 a 100 m.</u>	<u>Rendimiento en m/h.</u>
8"	Directo	2.83
12"	Directo	1.60
18"	Ampliación de 12" a 18"	2.11
24"	Ampliación de 12" a 24"	0.99
	<u>Material clase II de 0 a 100 m.</u>	
8"	Directo	1.32
12"	Directo	0.75
18"	Ampliación de 12" a 18"	0.95
24"	Ampliación de 12" a 24"	0.45
	<u>Material clase III de 0 a 100 m.</u>	
8"	Directo	0.68
12"	Directo	0.39
18"	Ampliación de 12" a 18"	0.51
24"	Ampliación de 12" a 24"	0.24

Analícemos ahora el Precio Unitario del Concepto:

PERFORACION EN 12" DE DIAMETRO EN MATERIAL CLASE III POR METRO LINEAL DE 0 A 100 M. DE PROFUNDIDAD.

Avance Promedio = 0.39 Mts/hora

I. CARGO POR MAQUINARIA Y EQUIPO: $\$29,787.45/0.39 = \$76,378.08/M.$

II. CARGO POR BARRENA.

a) Tricónica de 12" \emptyset con insertos de Carburo de Tungsteno

$\$1'600,000.00/200 M = \$8,000.00/M.$

COSTO DIRECTO = $\$84,378.08/M.$

más 48.71% de indirectos y utilidad = $\$41,100.56/M.$

PRECIO UNITARIO = $\$125,478.64/M.$

Del ejemplo así presentado, podemos decir que está analizado en una forma generalmente aprobada y aceptada por los ANALISTAS DE PRECIOS UNITARIOS; sin embargo hay factores como el de la Tasa de Interés Anual, Valor de Adquisición, Horas de Vida Util y Rendimientos, que están sujetos a la apreciación de los analistas, por lo que es básico fundamentar los argumentos con estadística, experiencia y, sobre todo, conocimientos para evitar caer en errores que obliguen a no llevar a feliz término los TRABAJOS COMPROMETIDOS.

Con esto damos por concluido lo que podemos llamar análisis tradicional de precios unitarios, y que nos sirven para la elaboración de presupuesto para la construcción de obras una vez aprobados los mismos. Debido a los fuertes incrementos en los precios de todos los conceptos que integran los costos de la construcción, los precios unitarios deben actualizarse constantemente, situación para lo cual desde hace aproximadamente ocho años, las Dependencias Federales han aceptado que cada vez que surja un incremento de precios unitarios mayor al 5%, los presupuestos de obra se modifiquen en la misma proporción, para lo cual cada Dependencia, y en un afán de ser más expeditos en la obtención de dichos incrementos, elaboraron una serie de Fórmulas de Escalación para cada uno de los trabajos que contratan; sin embargo, debido a lo dinámico que actualmente son los incrementos de precios, continuamente se tienen que modificar dichas fórmulas de escalación, cuyos principios a continuación señalamos:

$$R_t = [C_1 \left(\frac{R_{cf}}{100} + 1\right) + C_2 \left(\frac{R_s}{100} + 1\right) + C_3 \left(\frac{R_{cl}}{100} + 1\right) + C_4 \left(\frac{R_{mh}}{100} + 1\right)] - 100$$

En donde:

- R_t = Factor de incremento o actualización
- C₁ = Componente de costos por cargos fijos
- C₂ = Componente de costos por salarios
- C₃ = Componente de costos por combustibles y lubricantes
- C₄ = Componente de costos por materiales y herramientas
- R_{cf} = Incremento de costo relativo a cargos fijos
- R_s = Incremento de costo relativo a salarios
- R_{cl} = Incremento de costo relativo a combustibles y lubricantes
- R_{mh} = Incremento de costo relativo a materiales y herramientas

Se debe cumplir que: C₁ + C₂ + C₃ + C₄ = 100

El valor o peso de los factores "C" dependerán de la importancia relativa de los diferentes elementos de insumos de la construcción, en la magnitud que estos hayan intervenido durante el período que se pretenda actualizar.

Ejemplo:

Para un contrato obtenido mediante concurso de Obra Pública el 1° de enero de 1975 relativo a la perforación de pozos profundos para suministro de agua potable para riego agrícola, obtener el factor de incremento al 1° de enero de 1976.

- 1.- CARGOS FIJOS: De datos de concurso el costo del equipo fue de \$8'193,199.20, actualizando precios al 1° de enero de 1976 se tiene un costo para el mismo equipo de \$10'348,829.91.

por lo que $R_{cf} = \$10'348,829.91 / \$8'193,199.20 = 1.2631 = 26.31\%$

- 2.- SALARIOS: El índice de salarios se tomó de la publicación "Comisión Nacional de Salarios Mínimos" el cual para el año de 1975 era de:-----
\$47.10 y a partir del 1° de enero de 1976 era de \$58.20.

$R_s = \$58.20 / \$47.10 = 1.2357 = 23.57\%$

- 3.- COMBUSTIBLES Y LUBRICANTES:

No hubo incrementos.

$R_{cl} = 0$

- 4.- MATERIALES Y HERRAMIENTAS:

Los índices de incrementos se tomaron de la publicación "Indicadores Económicos", editada por el BANCO DE MEXICO, S.A.

Del renglón de Materiales para Construcción tenemos:

Enero 1975 = 299.3
Enero 1976 = 354.3

$R_{mh} = 354.3 / 299.3 = 1.1837 = 18.37\%$

Fórmula de Escalación aprobada para este tipo de trabajos:

$$R_t = \left[73 \left(\frac{R_{cf}}{100} + 1 \right) + 12 \left(\frac{R_s}{100} + 1 \right) + 5 \left(\frac{R_{cl}}{100} + 1 \right) + 10 \left(\frac{R_{mh}}{100} + 1 \right) \right] - 100$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$R_t = \left[73 \left(\frac{26.31}{100} + 1 \right) + 12 \left(\frac{23.57}{100} + 1 \right) + 5 \left(\frac{0}{100} + 1 \right) + 10 \left(\frac{18.37}{100} + 1 \right) \right] - 100$$

$$R_t = (19.21 + 73 + 2.83 + 12 + 5 + 1.84 + 10) - 100 = 123.88 - 100$$

$$R_t = 23.88\%$$

Este tipo de fórmulas, cumplieron anteriormente su cometido cuando la inflación anual del País era de 10 a un 15%; sin embargo en la actualidad no son aceptables ya que no se han dinamizado desde su creación, por lo que su utilización ya no es confiable.

Como comentario final, nosotros los ingenieros o los que de alguna forma desempeñamos actividades relativas a la construcción, no debemos de perder de vista de que debido al problema económico vigente y por todos conocido tenemos que cuidar sistemáticamente nuestros costos, para lo cual hay que vigilar que los procedimientos constructivos sean los más eficientes y económicos ya que la cobertura actual para absorber cualquier desviación es muy pequeña.

Abril de 1985 México
 Ing. Eduardo Martínez González
 Precios Unitarios
 Perforación de Pozos para agua
 División de Educación Continua
 Facultad de Ingeniería U.N.A.M.

5.1. GENERALIDADES.

5.1.1. Los precios unitarios que forman parte de un contrato, convenio o acuerdo para la ejecución de obras públicas, deberán integrarse tomando en cuenta los criterios que se señalan en esta Sección y lo establecido en la Ley de Obras Públicas y su Reglamento.

5.1.2. La integración de los precios unitarios para un trabajo determinado, deberá guardar concordancia con los procedimientos constructivos, con los programas de trabajo, de utilización de maquinaria y equipo, con los costos de los materiales, en la época y en la zona y demás recursos necesarios, todo ello de acuerdo con las normas y especificaciones de construcción de "La Dependencia" o "Entidad".

5.1.3. La enumeración de los cargos mencionados en estas reglas y lineamientos generales para la integración de precios unitarios, tiene por objeto cubrir en la forma más amplia posible, la lista de los cargos correspondientes a los recursos necesarios para realizar cada concepto de trabajo. Sin embargo, sólo se deberá considerar los que sean procedentes y en la medida en que sean aplicables.

5.1.4. Los precios deberán expresarse siempre en moneda nacional y las unidades de medida de los conceptos de trabajo corresponderán al sistema métrico decimal; cuando por las características de los trabajos y a juicio de "La Dependencia" o "Entidad" se requiera utilizar otras unidades de medidas tales como: pieza, lote, salida, mueble u otras similares, estas unidades podrán ser empleadas.

5.1.5. El análisis, cálculo e integración de los precios unitarios de conceptos de trabajo no previstos en el catálogo original que sirvió de base para la adjudicación y contratación de la obra pública, para los cuales no existen elementos contenidos en los conceptos analizados y no es factible determinar los precios unitarios con los datos básicos de costo de los precios unitarios establecidos; o cuando "El Contratista" y "La Dependencia" o "Entidad" no tengan antecedentes de conceptos similares ni cuenten con datos de costo, suficientes para su integración, el costo directo deberá analizarse con base en los costos observados que intervienen por concepto de materiales, mano de obra y equipo.

Los indirectos y la utilidad deberán determinarse de común acuerdo entre "El Contratista" y "La Dependencia" o "Entidad" sin que exceda el porcentaje considerado en los análisis de la propuesta original.

5.2. DEFINICION DE TERMINOS.

Para los propósitos de estas reglas y lineamientos señalados a continuación y a fin de precisar el significado convencional de algunos tér-

minos en ellas empleados, se establecen las siguientes definiciones.

5.2.1. NORMA DE OBRA PUBLICA.

Conjunto de disposiciones y requisitos generales establecidos por las Dependencias o Entidades que deben aplicarse para la realización de estudios, proyectos, ejecución y equipamiento de las obras, la puesta en servicio, su conservación o mantenimiento y la supervisión de esos trabajos, comprendiendo la medición y la base de pago de los conceptos de trabajo.

5.2.2. ESPECIFICACION.

Conjunto de disposiciones, requisitos e instrucciones particulares que modifican, adicionan o substituyen a las Normas correspondientes y que deben aplicarse ya sea para el estudio, para el proyecto y/o para la ejecución y equipamiento de una obra determinada, la puesta en servicio, su conservación o mantenimiento y la supervisión de esos trabajos. En lo que se oponga a las Normas, las Especificaciones prevalecerán.

5.2.3. CONCEPTO DE TRABAJO.

Conjunto de operaciones y materiales que, de acuerdo con las Normas y Especificaciones respectivas, integran cada una de las partes que se dividen convencionalmente los estudios, proyectos, la ejecución y equipamiento de las obras, la puesta en servicio, su conservación o mantenimiento y la supervisión de esos trabajos con fines de medición y pago.

5.2.4. UNIDAD DE MEDIDA.

La que se usa convencionalmente para cuantificar cada concepto de trabajo para fines de medición y pago.

5.2.5. PRECIO UNITARIO.

Importe total por unidad de medida de cada concepto de trabajo.

5.2.6. ESTIMACION.

Valuación de los trabajos ejecutados en determinado periodo, aplicando los precios unitarios de los conceptos de trabajo pactados durante dicho periodo o el porcentaje de precio alzado pactado correspondiente al avance de cada unidad de obra o de la obra. Por extensión, el documento en el que se asignan las valuaciones antes mencionadas, para efecto de pago.

5.2.7. LIQUIDACION.

Estimación final en la cual se ajusta el total de los trabajos ejecutados en los términos del contrato.

5.3. CARGOS QUE INTEGRAN UN PRECIO UNITARIO.

5.3.1. El precio unitario se integra sumando todos los cargos directos e indirectos correspondientes al concepto de trabajo, el cargo por la utilidad del contratista y aquellos cargos adicionales estipulados contractualmente.

5.3.2. Para efectos de estas reglas se entenderá como:

CARGOS DIRECTOS. Son los cargos aplicables al concepto de trabajo que se derivan de las erogaciones por mano de obra, materiales, maquinaria, herramienta, instalaciones, y por patentes en su caso, efectuadas exclusivamente para realizar dicho concepto de trabajo.

CARGOS INDIRECTOS. Son los gastos de carácter general no incluidos en los cargos en que deba incurrir "El Contratista" para la ejecución de los trabajos y que se distribuyen en proporción a ellos para integrar el precio unitario.

CARGOS POR UTILIDAD. Es la ganancia que debe percibir "El Contratista" por la ejecución del concepto de trabajo.

CARGOS ADICIONALES. Son las erogaciones que debe realizar "El Contratista", por estar estipuladas en el contrato, convenio o acuerdo, como obligaciones adicionales, así como los impuestos y derechos locales que se causen con motivo de la ejecución de los trabajos y que no forman parte de los cargos directos, de los indirectos, ni de la utilidad.

5.4. CARGOS DIRECTOS.

5.4.1. **CARGO DIRECTO POR MANO DE OBRA.** Es el que se deriva de las erogaciones que hace "El Contratista", por el pago de salarios al personal que interviene exclusiva y directamente en la ejecución del concepto de trabajo en que se trate, incluyendo al cabo o primer mando. No se considerarán dentro de este cargo las percepciones del personal técnico, administrativo, de control, supervisión y vigilancia, que corresponden a los cargos indirectos.

El cargo de mano de obra "Mo" se obtendrá de la ecuación:

$$Mo = \frac{S}{R}$$

en la cual:

"S" representa los salarios del personal que interviene en la ejecución del concepto de trabajo por unidad de tiempo. Incluirá todos los cargos y prestaciones derivados de la Ley Federal

del Trabajo, de los Contratos de Trabajo en vigor y en su caso de la Ley del Seguro Social.

"R" representará el rendimiento, es decir, el trabajo que desarrolla el personal por unidad de tiempo, medido en la misma unidad utilizada al valorar "S".

5.4.2. **CARGO DIRECTO POR MATERIALES.** Es el correspondiente a las erogaciones que hace "El Contratista" para adquirir o producir todos los materiales necesarios para la correcta ejecución del concepto de trabajo, que cumpla con las normas de construcción y especificaciones de "La Dependencia" o "Entidad", con excepción de los considerados en los cargos por maquinaria. Los materiales que se usen podrán ser permanentes o temporales, los primeros son los que se incorporan y forman parte de la obra; los segundos son los que se consumen en uno o varios usos y no pasan a formar parte integrante de la obra.

El cargo unitario por concepto de materiales "M" se obtendrá de la ecuación:

$$M = Pm \cdot C$$

en la cual:

"Pm" representa el precio de mercado más económico por unidad del material de que se trate, puesto en el sitio de su utilización. El precio unitario del material se integrará sumando a los precios de adquisición en el mercado, los de acarreo, maniobras y mermas aceptables durante su manejo. Cuando se usen materiales producidos en la obra, la determinación del cargo unitario será motivo del análisis respectivo.

"C" representa el consumo de materiales por unidad de concepto de trabajo. Cuando se trate de materiales permanentes, "C" se determinará de acuerdo con las cantidades que deban utilizarse según el proyecto, las normas y especificaciones de construcción de "La Dependencia" o "Entidad", considerando adicionalmente los desperdicios que la experiencia determine. Cuando se trate de materiales temporales, "C" se determinará de acuerdo con las cantidades que deban utilizarse según el proceso de construcción y el tipo de obra, considerando los desperdicios y el número de usos con base en el programa de obra, en la vida útil del material de que se trate y en la experiencia.

5.4.3. **CARGO DIRECTO POR MAQUINARIA.** Es el que se deriva del uso correcto de las máquinas consideradas como nuevas y que sean las adecuadas y necesarias para la ejecución del concepto de trabajo, de acuerdo con lo estipulado en las normas y especificaciones de construcción de "La Dependencia" o "Entidad" y conforme al programa establecido.

El cargo directo unitario por maquinaria

Cargo por Mantenimiento Mayor. Son las erogaciones correspondientes a las reparaciones de la maquinaria en talleres especializados, o aquellas que puedan realizarse en el campo, empleando personal especialista y que requieran retirar la maquinaria de los frentes de trabajo. Este cargo incluye la mano de obra, repuestos y renovaciones de partes de la maquinaria, así como otros materiales necesarios.

Cargo por Mantenimiento Menor. Son las erogaciones necesarias para efectuar los ajustes rutinarios, reparaciones y cambios de repuestos que se efectúan en las propias obras, así como los cambios de líquido para mandos hidráulicos, aceite de transmisión, filtros, grasas y estopas. Incluye el personal y equipo auxiliar que realiza estas operaciones de mantenimiento, los repuestos y otros materiales que sean necesarios.

Este cargo está representado por:

$$T = Q \cdot D$$

En la que:

"Q" es un coeficiente que considera tanto el mantenimiento mayor como el menor. Este coeficiente varía según el tipo de máquina y las características del trabajo, y se fija en base a la experiencia estadística.

"D" representa la depreciación de la máquina calculada de acuerdo con lo expuesto en la Norma 5.4.3.1.1.

5.4.3.2. CARGO POR CONSUMOS. Son los que se derivan de las erogaciones que resulten por el uso de combustibles u otras fuentes de energía y en su caso lubricantes y llantas.

5.4.3.2.1. CARGO POR COMBUSTIBLES. Es el derivado de todas las erogaciones originadas por los consumos de gasolina y diésel para el funcionamiento de los motores. El cargo por combustible "E" se obtendrá, mediante la ecuación:

$$E = c \cdot Pc$$

En la cual:

"c" representa la cantidad de combustible necesario, por hora efectiva de trabajo. Este coeficiente está en función de la potencia del motor, del factor de operación de la máquina y de un coeficiente determinado por la experiencia, que variará de acuerdo con el combustible que se utilice.

"Pc" representa el precio del combustible puesto en la máquina.

5.4.3.2.2. CARGO POR OTRAS FUENTES DE ENERGÍA. Es el cargo por los consumos de energía eléctrica o de otros energéticos distintos a los señalados en la regla anterior. La determi-

nación de este cargo requerirá en cada caso un estudio especial.

5.4.3.2.3. CARGO POR LUBRICANTES. Son los motivados por el consumo y los cambios periódicos de aceites lubricantes de los motores.

Se obtendrá de la ecuación:

$$Al = (c + ab) \cdot Pl$$

En la cual:

"al" representa la cantidad de aceites lubricantes necesaria por hora efectiva de trabajo, de acuerdo con las condiciones medias de operación; está determinada por la capacidad de recipiente dentro de la máquina y los tiempos entre cambios sucesivos de aceites.

"Pl" representa el precio de los aceites lubricantes puestos en las máquinas.

"c" representa el consumo entre cambios sucesivos de lubricantes.

5.4.3.2.4. CARGO POR LLANTAS. Es el correspondiente al consumo por desgaste de las llantas. Cuando se considere este cargo, al calcular la depreciación de la maquinaria deberá deducirse del valor inicial de la misma, el valor de las llantas.

El cargo por llantas "N" se obtendrá de la ecuación:

$$N = \frac{Vn}{Hv}$$

En la cual:

"Vn" representa el precio de adquisición de las llantas, considerando el precio en el mercado nacional de llantas nuevas de las características indicadas por el fabricante de la máquina.

"Hv" representa las horas de vida económica de las llantas, tomando en cuenta las condiciones de trabajo impuestas a las mismas. Se determinará de acuerdo con la experiencia, considerando entre otros, los factores siguientes: velocidad máxima de trabajo; condiciones relativas del camino que transite, tales como pendientes, curvaturas, superficie de rodamiento, posición en la máquina; cargas que soporte, y clima en que se operen.

5.4.3.3. CARGOS POR SALARIOS PARA LA OPERACION. Es el que resulta por concepto de pago del o los salarios del personal encargado de la operación de la máquina, por hora efectiva de trabajo de la misma.

Este cargo se obtendrá mediante la ecuación:

U" se expresa como el cociente del costo horario directo de las máquinas, entre el rendimiento horario de dichas máquinas. Se obtendrá mediante la ecuación:

$$CM = \frac{HMD}{RM}$$

en la cual:

"HMD" representa el costo horario directo de la maquinaria. Este costo se integra con cargos fijos, los consumos y los salarios de operación, calculados por hora de trabajo.

"RM" representa el rendimiento horario de la máquina nueva en las condiciones específicas del trabajo a ejecutar, en las correspondientes unidades de medida.

5.4.3.1. CARGOS FIJOS. Son los correspondientes a depreciación, inversión, seguros y mantenimiento.

5.4.3.1.1. CARGO POR DEPRECIACION. Es el que resulta por la disminución del valor original de la maquinaria, como consecuencia de su uso, durante el tiempo de su vida económica. Se considerará una depreciación lineal, es decir, que la maquinaria se deprecia una misma cantidad por unidad de tiempo.

Este cargo está dado por:

$$D = \frac{Va - Vr}{Ve}$$

en la que:

"Va" representa el valor inicial de la máquina, considerándose como tal, el precio comercial de adquisición de la máquina nueva en el mercado nacional, descontando el precio de las llantas, en su caso.

"Vr" representa el valor de rescate de la máquina, es decir, el valor comercial que tiene la misma al final de su vida económica.

"Ve" representa la vida económica de la máquina, expresada en horas efectivas de trabajo; o sea el tiempo que puede mantenerse en condiciones de operar y producir trabajo en forma económica, siempre y cuando se le proporcione el mantenimiento adecuado.

5.4.3.1.2. CARGO POR INVERSION. Es el cargo equivalente a los intereses del capital invertido en maquinaria.

Está dado por:

$$I = \frac{(Va + Vr)i}{2 Ha}$$

En la que:

"Va" y "Vr" representan los mismos valores enunciados en el punto 5.4.3.1.1.

"Ha" representa el número de horas efectivas que el equipo trabaja durante el año.

"i" representa la tasa de interés anual expresada en decimales.

Las Dependencias y Entidades para sus estudios y análisis de precios unitarios considerarán a su juicio la tasa de interés "i". Los contratistas en sus propuestas de concurso, propondrán la tasa de interés que más les convenga.

En los casos de ajustes por variación del costo de los insumos que intervengan en los precios unitarios, y cuando haya variaciones de las tasas de interés, el ajuste de éste se hará en base al relativo de los mismos, conforme a los que hubiere determinado el Banco de México en la fecha del concurso y el correspondiente a la fecha de la revisión.

5.4.3.1.3. CARGO POR SEGUROS. Es el que cubre los riesgos a que está sujeta la maquinaria de construcción durante su vida económica, por accidentes que sufra. Este cargo forma parte del precio unitario, ya sea que la maquinaria se asegure por una compañía de seguros, o que la empresa constructora decida hacer frente, con sus propios recursos, a los posibles riesgos de la maquinaria.

Este cargo está dado por:

$$S = \frac{Va + Vr}{2} \cdot \frac{S}{Ha}$$

En donde:

"Va" representa el valor inicial de la máquina, considerándose como tal, el precio comercial de adquisición de la máquina nueva en el mercado nacional, descontando el precio de las llantas, en su caso.

"Vr" representa el valor de rescate de la máquina, es decir, el valor comercial que tiene la misma al final de su vida económica.

"S" representa la prima anual promedio fijada como porcentaje del valor de la máquina y expresada en decimales.

"Ha" representa el número de horas efectivas que el equipo trabaja durante el año.

5.4.3.1.4. CARGO POR MANTENIMIENTO MAYOR O MENOR. Es el originado por todas las erogaciones necesarias para conservar la maquinaria en buenas condiciones durante su vida económica.

$$Co = \frac{So}{H}$$

En la cual:

"So" representa los salarios por turno del personal necesario para operar la máquina, entendiéndose por salarios la definición dada en la regla 5.4.1.

"H" representa las horas efectivas de trabajo de la máquina dentro del turno.

5.4.3.4. CARGO POR TRANSPORTE EXTRAORDINARIO DE MAQUINARIA.

Corresponde a las erogaciones necesarias para traslado extraordinarios de maquinaria ordenados por "La Dependencia" o "Entidad". Este cargo se analizará como un concepto de trabajo específico.

5.4.4. CARGO DIRECTO POR HERRAMIENTA.

5.4.4.1. CARGO POR HERRAMIENTA DE MANO. Este cargo corresponde al consumo por desgaste de herramientas de mano utilizadas en la ejecución del concepto de trabajo.

Este cargo se calculará mediante la fórmula:

$$HM = K_0 \cdot Mo$$

En la cual:

"K₀" representa un coeficiente cuya magnitud se fijará en función del tipo de trabajo de acuerdo con la experiencia.

"Mo" representa el cargo unitario por concepto de mano de obra calculado de acuerdo con la regla 5.4.1.

5.4.4.2. CARGO POR MAQUINAS-HERRAMIENTAS. Este cargo se analizará en la misma forma que el cargo directo por maquinaria, según lo señalado en la regla 5.4.3.

5.4.5. CARGO DIRECTO POR EQUIPO DE SEGURIDAD. Este cargo corresponde al equipo necesario para la protección personal del trabajador para ejecutar el concepto de trabajo.

Este cargo se calculará mediante la fórmula:

$$ES = K_s \cdot Mo$$

En la cual:

"K_s" representa un coeficiente cuyo valor se fija en función del tipo de trabajo y del equipo requerido para la seguridad del trabajador.

"Mo" representa el cargo unitario por concepto de mano de obra calculado de acuerdo con la regla 5.4.1.

5.5. CARGO POR INSTALACIONES. Corresponde a las erogaciones para construir todas las instalaciones necesarias para realizar los conceptos de trabajo. Dichas instalaciones se dividen en dos grupos: las generales y las específicas.

Los cargos correspondientes a las primeras se considerarán como cargos indirectos y los correspondientes a las segundas se considerarán, a juicio de "La Dependencia" o "Entidad", ya sea como un concepto de trabajo específico, o como cargo directo dentro del concepto de trabajo del que formen parte.

5.6 CARGOS INDIRECTOS

5.6.1. Corresponden a los gastos generales necesarios para la ejecución de los trabajos no incluidos en los cargos directos que realiza "El Contratista", tanto en sus oficinas centrales como en la obra, y que comprenden, entre otros, los gastos de administración, organización, dirección técnica, vigilancia, supervisión, financiamiento, imprevistos, transporte de maquinaria y, en su caso, prestaciones sociales correspondientes al personal directivo y administrativo.

5.6.2. Los cargos indirectos se expresarán como un porcentaje del costo directo de cada concepto de trabajo. Dicho porcentaje se calculará sumando los importes de los gastos generales que resulten aplicables, y dividiendo esta suma entre el costo directo total de la obra de que se trate.

Exclusivamente para los casos de gastos que se realicen en base a porcentajes impositivos sobre el precio unitario, el cargo debe hacerse aplicando el porcentaje que resulta de la siguiente expresión:

$$\frac{(\% - 100) \cdot X}{100 - X} \quad X = \text{porcentaje impositivo.}$$

5.6.3. Los gastos generales más frecuentes que podrán tomarse en consideración para integrar el cargo indirecto y que pueden aplicarse indistintamente a la Administración Central o a la Administración de Obra o a ambas, según el caso, son los siguientes:

5.6.3.1. Honorarios, sueldos y prestaciones:

- 1.--Personal directivo.
- 2.--Personal técnico.
- 3.--Personal administrativo.
- 4.--Personal en tránsito.

5.—Cuota patronal de Seguro Social e im-
punto adicional sobre remuneraciones pagadas,
los conceptos 1 a 4.

6.—Prestaciones que obliga la Ley Federal
del Trabajo para los conceptos 1 a 4.

7.—Pasajes y Viáticos.

5.6.3.2. Depreciación, mantenimiento y ren-
tas:

1.—Edificios y locales.

2.—Locales de mantenimiento y guarda.

3.—Bodegas.

4.—Instalaciones generales.

5.—Muebles y enseres.

6.—Depreciación o renta, y operación de ve-
hículos.

5.6.3.3. Servicios:

1.—Consultores, asesores, servicios y labo-
ratorios.

2.—Estudios e Investigaciones.

5.6.3.4. Fletes y acarreos:

1.—De campamentos.

2.—De equipo de construcción.

3.—De plantas y elementos para instalacio-
nes.

4.—De mobiliario.

5.6.3.5. Gastos de oficina:

1.—Papelería y útiles de escritorio.

2.—Correos, teléfonos, telégrafos, radio.

3.—Situación de fondos.

4.—Copias y duplicados.

5.—Luz, gas y otros consumos.

6.—Gastos de concursos.

5.6.3.6. Seguros, fianzas y financiamientos:

1.—Primas por seguros.

2.—Primas por fianzas.

3.—Financiamiento.

5.6.3.7. Depreciación, mantenimiento y
rentas de campamentos.

5.6.3.8. Trabajos Previos y Auxiliares.

1.—Construcción y conservación de caminos
de acceso.

2.—Montajes y desmantelamientos de equi-
po.

5.7. CARGO POR UTILIDAD

La utilidad quedará representada por un
porcentaje sobre la suma de los cargos directos
más indirectos del concepto de trabajo. Dentro
de este cargo queda incluido el Impuesto Sobre
la Renta que por Ley debe pagar "El Contratista".

5.8. CARGOS ADICIONALES

Son las erogaciones que realiza "El Contra-
tista" por estipularse expresamente en el con-
trato de obra como obligaciones adicionales, así
como los impuestos y derechos locales y Federa-
les que se causen con motivo de la ejecución de
los trabajos y que no están comprendidos dentro
de los cargos directos, ni en los indirectos, ni en
la utilidad. Los impuestos y cargos adicionales
se expresarán porcentualmente sobre la suma
de los cargos directos, indirectos y utilidad, sal-
vo cuando en el contrato, convenio o acuerdo se
estipule otra forma de pago.

Los cargos adicionales no deben ser afecta-
dos por la utilidad. Las obligaciones adicionales
a que se refiere este cargo se determinan en base
a un porcentaje sobre el precio final de los traba-
jos ejecutados, por lo que su valorización debe
hacerse con la expresión siguiente:

$$\% = \frac{100 \quad \Sigma P}{100 \quad - \quad \Sigma P}$$

en la que:

"%" representa el porcentaje aplicable a la
suma de los importes de los cargos directos, más
indirectos, más utilidad.

"Σ P" representa la suma, en su caso, de los
por cientos de las obligaciones contractuales es-
tablecidas, excepto el Impuesto Sobre la Renta
que queda incluido en la utilidad.



CONTRATO _____	FECHA _____	ANEXO 18
OBRA _____	CALCULO _____	
LUGAR _____	REVISO _____	

ANÁLISIS DEL COSTO DE HORA MAQUINA DIRECTO (H.M.D.)

MAQUINA _____ MODELO _____

CAPACIDAD _____ DATOS ADICIONALES _____

DATOS GENERALES

1) Precio Adquisición \$ _____

2) Equipo Adicional \$ _____

3) Llantas \$ _____

4) Valor Inicial (Va): \$ _____

5) Valor Rescate (Vr) % = \$ _____

6) Vida económica (Ve) Horas _____

7) Tasa interés anual (i) _____

8) Horas por año (Ha) _____ hrs/año

9) Prima anual seguros (S) _____

10) Coeficiente Almacenaje (Ka) _____

11) Factor de Mantenimiento (O) _____

12) Motor _____ de _____ H.P.

13) Factor operación _____

14) Potencia Operación _____ H.P.

I. — CARGOS FIJOS

a) DEPRECIACION: $D = (Va - Vr) / Ve =$ \$ _____

b) INVERSION: $I = (Va + Vr) / 2 Ha =$ \$ _____

c) SEGUROS: $S = (Va + Vr) / 2 Ha =$ \$ _____

d) ALMACENAJE: $A = Ka \times D =$ \$ _____

e) MANTENIMIENTO: $T = O \times D =$ \$ _____

SUMA CARGOS FIJOS POR HORA \$ _____

II. — CARGOS POR CONSUMO

a) COMBUSTIBLE $E = C \times Pc$ (c es la cantidad de combustible por hora, y Pc el precio del combustible) =

DIESEL: $E = 0.1514 \times$ _____ HP. ap. \times \$ _____ /hora \$ _____

GASOLINA $E = 0.2271 \times$ _____ HP. ap. \times \$ _____ /hora \$ _____

b) OTRAS FUENTES DE ENERGIA = $0.746 \times$ _____ H.P. \times \$ _____ kw/hr. \$ _____

c) LUBRICANTES $L = a \times Pl$ (a es la cantidad de aceite por hora y Pl el precio de los aceites)

CAPACIDAD CARTER C = _____ lts. Cambios aceite: I = _____ horas

$a = C/I + \frac{0.0035}{0.0130} \times$ _____ HP. ap. = _____ lts/hora

$L =$ _____ lts/hora \times \$ _____ / lts. \$ _____

d) Llantas: $Ll = \frac{VII \text{ (Valor llantas)}}{Hv \text{ (vida económica en horas)}}$ \$ _____

e) Mantenimiento menor _____ \$ _____

f) Otros consumos _____ \$ _____

SUMA CARGOS CONSUMO POR HORA \$ _____

III. — CARGO POR OPERACION

OPERADOR _____ \$ _____

_____ \$ _____

_____ \$ _____

Salario/Turno promedio = $So =$ \$ _____

Horas/Turno promedio = $H =$ _____ horas \times _____ (factor rendimiento de operación) = _____ horas

Operación = $O = So/H =$ \$ _____

SUMA CARGOS OPERACION POR HORA \$ _____

COSTO HORA MAQUINA DIRECTO (H.M.D.) \$ _____

_____ % INDIRECTOS \$ _____

_____ % UTILIDAD \$ _____

PRECIO UNITARIO HORA MAQUINA EFECTIVA \$ _____



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

PRECIOS UNITARIOS

ABRIL, 1985

✓

PRECIOS UNITARIOS

La Industria de la Construcción como tal, necesita de varios elementos para su operación, dentro de los cuales destaca por su importancia, la función desarrollada por el Departamento de Costos, ya que de él depende el conocimiento del valor de venta de sus productos, esto es los precios unitarios, por su forma tan particular de operar, la Industria de la Construcción es la única que para lograr la aprobación del valor de sus productos, tiene que demostrar el costo de los mismos, razón por la cual el conocimiento de ellos es fundamental para la vida de las Empresas del ramo.

Para poder realizar el análisis de costo directo de cualquier clase de construcción, intervienen en ella 3 conceptos básicos, a saber; Mano de Obra, Maquinaria y Materiales.

Podemos exponer a grandes rasgos que existen dos clases de actividades perfectamente definidas dentro de la Industria de la Construcción, las llamadas de Construcción Urbana y las de Construcción Pesada.

Para cada una de ellas los análisis de costos son diferentes, en cuanto a que en la primera de ellas el orden de importancia por su costo es; la mano de obra y los materiales ó viceversa, y en tercer lugar la maquinaria, en tanto que para la Construcción Pesada el mayor costo, depende de la maquinaria y el segundo y tercer lugar son ocupados por la mano de obra y los materiales en forma alternada dependiendo del tipo específico de las construcciones, en ambas actividades el concepto de la mano de obra es idéntico por lo que para fines de presentación procederemos a la obtención del factor de mano de obra, mismo que a continuación señalamos :

Días del año = 365
Días señalados por la Ley Federal del trabajo no laborables y sufragados por la Empresa, 1° de Enero, 21 de Marzo, 1° de Mayo, 16 de Septiembre - - 20 de Noviembre, 1° de Diciembre de cada 6 años, 25 de Diciembre, 6 días de vacaciones más prima del 25 %, todos los días domingo del año, otras festividades (3 de Mayo, 10 de Mayo, 2 de Noviembre y 12 de Diciembre).

En resumen, días pagados no laborados :

Por la Ley Federal del Trabajo	=	6
Domingos	=	52
Vacaciones	=	7.5
Otras Festividades	=	4
		69.5

2

365 - 69.5 = 295.5 días efectivos por año.

Por concepto de Seguro Social las Empresas tienen que cubrir por cuotas, aproximadamente el 20 % del Salario del trabajador, por lo que el factor de mano de obra será :

$$\text{Factor de Mano de Obra} = \frac{365}{295.5} \times 1.20 = 1.48$$

Para facilidad de esta exposición estamos complementándola con el análisis de un precio unitario para perforación de pozos de agua, actividad que está contemplada dentro de lo que es la construcción pesada.

En relación al ejemplo que presentaremos más adelante, mencionaremos el criterio seguido para la cuantificación del factor de indirectos y utilidad en porcentaje sobre el costo directo.

Porcentaje de Indirectos (Administración) y Utilidad.

1.- Traslado de equipo, construcción de oficinas, bodegas y talleres.	3
2.- Administración de campo.	6
3.- Construcción caminos y conservación.	3
4.- Transporte de personal y equipo.	2
5.- Bonificaciones al personal.	2
6.- Financiamiento y fianzas.	7
7.- Administración oficinas centrales e impuestos.	12
8.- Utilidad después de impuestos.	10
	<hr/>
	45 %

A continuación presentamos el análisis de renta horaria de equipo de perforación trabajando, de este mismo y, como posteriormente indicaremos se obtienen todos los precios unitarios relativos a la perforación de pozos.

I.- Maquinaria y equipo :

- a).- Perforadora rotaria tipo 1,500 con bomba de lodos tipo 5 1/2 X 8 montada sobre la misma plataforma, con motor diesel de 145 HP.
- b).- Camión pipa para 8,000 litros con motor de gasolina de 150 HP.
- c).- Motosoldadora de 300 amperes con motor de gasolina de 60 HP.

II.- Determinación de la renta horaria.

II a).- Perforadora :

Valor de adquisición.	Va = \$ 45'250,000.00
Valor de rescate.	Vr = 20 % Va = \$ 9'050,000.00
Horas por año.	Ha = 2,000
Vida económica.	Ve = 6 años x 2,000 hr/año = 12,000 horas.
Tasa de interés anual.	i = 42 %
Factor de operación.	Fo = 0.80
Potencia de Operación.	PO = 145 x 0.80 = 116 HP
Capacidad carter.	C = 28 litros
Horas cambio aceite.	t = 100
Prima anual de seguros.	s = 0.006
Factor de almacenaje.	Ka = 0.01
Factor de mantenimiento.	Q = 0.80
Consumo diesel HP/hr.	c = 0.1514 . PO
Consumo aceite HP/hr.	a = 0.0035 . PO

Precio diesel.
Precio aceite.

Pc = \$ 14.00 / lt.
PL = \$ 90.00/lt.

3

C A R G O S F I J O S :

Depreciación	D = (Va - Vr) / Ve = (\$ 36'200,000.00) / 12,000 = \$	3,016.67/hr
Inversión	I = (Va + Vr) i/2 Ha = \$ 54'300,000.00 x 0.42 / 4,000 = \$	5,701.50/hr
Seguros	S = (Va + Vr) s/2 Ha = \$ 54,300,000.00 x 0.006 / 4,000 = \$	81.45/hr
Almacenaje	A = Ka. D = 0.01 x \$ 3,016.67 - - - - - = \$	30.17/hr
Mantenimiento	T = Q. D = 0.80 x \$ 3,016.67 - - - - - = \$	2,413.34/hr

Suma de cargos fijos \$ 11,243.13/hora

CARGOS POR CONSUMOS :

Combustible	E = c. PL = 0.1514 x 116 x \$ 14.00 - - - - - = \$	245.87/hr
Lubricantes	L = (a + $\frac{C}{t}$) \$ 90.00 = (0.0035 x 116 + $\frac{28}{100}$) \$ 90.00 = \$	61.74/hr

Suma de consumos \$ 307.61/hr

Suma la perforadora: \$ 11,550.74/hora

II b).- Equipo Auxiliar :

	Camión Pipa	Motosoldadora
Va =	\$ 2'100,000.00	\$ 620,000.00
Vr =	\$ 420,000.00	\$ 124,000.00
Ha =	2,000	2,000
Ve =	8,000	8,000
i =	42 %	42 %
HP =	150	60
Fo =	0.70	0.70
PO =	105 HP	42 HP
C =	10 litros	5 litros
t =	100 horas	100 horas
s =	0.006	0.006
Ka =	0.01	0.01
Q =	0.70	0.70
c =	0.2271 . PO	0.2271 . PO
a =	0.003 . PO	0.003 . PO
PL =	\$ 24.00 / lt	\$ 24.00 / lt
PL =	\$170.00 / lt	\$170.00 / lt

Por facilidad sumaremos valores del equipo auxiliar

D = (\$ 2'720,000.00 - \$ 544,000.00) / 8,000 - - - - - = \$	272.00/hr
I = (\$ 2'720,000.00 + \$ 544,000.00) 0.42 / 4,000 - - - - - = \$	342.72/hr
S = \$ 3'264,000.00 x 0.006 / 4,000 - - - - - = \$	4.90/hr
A = 0.01 x \$ 272.00 - - - - - = \$	2.72/hr
T = 0.70 x \$ 272.00 - - - - - = \$	190.40/hr
	\$ 812.74/hr
E = 0.2271 x 147 x \$ 24.00 - - - - - = \$	801.21/hr
L = (0.003 x 147 + $\frac{15}{100}$) \$ 170.00 - - - - - = \$	100.47/hr
	\$ 901.68/hr

Suma el equipo auxiliar \$ 1,714.42 / hora.

4

Factor de incidencia = 0.65

Cargo por equipo auxiliar = 0.65 x \$ 1,714.42 - - - - - = \$ 1,114.37

MANO DE OBRA :

- 1 Jefe de Pozo - - - - - \$ 1,800.00 / dia
- 2 Perforistas - - - - - \$ 2,500.00 / dia
- 1 Soldador - - - - - \$ 800.00 / dia
- 1 Chofer - - - - - \$ 800.00 / dia
- 4 Ayudantes - - - - - \$ 1,800.00 / dia

\$ 7,700.00 / dia x 1.48 = \$ 11,396.00 / dia.

Cargo por Maquinaria = \$ 11,550.74 / hr + \$ 1,114.37 / hr - - - - = \$ 12,665.11/hr

Cargo por mano de obra = \$ 11,396.00 x 365 / 2,000 - - - - - = \$ 2,079.77/hr

Costo horario equipo de perforación : \$ 14,744.88/hr

Precio unitario del concepto perforación de pozo en 12" de diámetro en material clase-II por metro lineal :

Cargo por barrena = \$ 140,000.00 / 200 m = \$ 700.00 / m

Avance = 1.80 mts. / hr

Cargo por maquinaria = \$ 14,744.88 / 1.80 - - - - - = \$ 8,191.60/m

Cargo por barrena - - - - - = \$ 700.00

Costo Directo : \$ 8,891.60/m

Precio Unitario = \$ 8,891.60 x 1.45 = \$ 12,892.82 / m.

Del ejemplo presentado diremos que el análisis efectuado es el tradicionalmente utilizado, y los factores ahí indicados son los aceptados por las Dependencias Federales, factores como los de seguros, almacenaje, mantenimiento, consumos de combustibles y lubricantes, etc.

Hasta ahora hemos visto el criterio general para los análisis de precios unitarios vigentes en la presentación de presupuestos para la construcción de obras, ya sea por adjudicación ó por concurso, una vez aprobados estos presupuestos y debido a los fuertes incrementos en los precios de todos los conceptos que integran los costos de construcción, los precios unitarios originales deberán actualizarse constantemente, -- las Dependencias Oficiales han aceptado que cada vez que haya un incremento de precios mayores del 5 %, dichos precios unitarios deberán modificarse (actualmente y basados en los índices del Banco de México el incremento mensual es de aproximadamente del --- 6 %), para lo cual cada Dependencia en base al tipo de obra que ejecutan han elaborado una serie de fórmulas de escalación, cuyo principio, es el que a continuación presentamos :

5

$$Rt = \left[C1 \left(\frac{Rcf}{100} + 1 \right) + C2 \left(\frac{Rs}{100} + 1 \right) + C3 \left(\frac{Rcl}{100} + 1 \right) + C4 \left(\frac{Rmh}{100} + 1 \right) \right] - 100$$

- En donde :
- Rt = Factor de incremento ó de actualización.
 - C1 = Componente de costos por cargos fijos.
 - C2 = Componente de costos por salarios.
 - C3 = Componente de costos por combustibles y lubricantes.
 - C4 = Componente de costos por materiales y herramientas.
 - Rcf = Incremento de costo relativo a cargos fijos.
 - Rs = Incremento de costo relativo a salarios.
 - Rcl = Incremento de costo relativo a combustibles y lubricantes.
 - Rmh = Incremento de costo relativo a materiales y herramientas.

Se debe cumplir que : $C1 + C2 + C3 + C4 = 100$

El valor ó "peso" de los factores "C" dependerán de la importancia relativa de los diferentes elementos de insumos de la construcción, en la magnitud que estos hayan intervenido durante el período que se pretenda actualizar.

Ejemplo : Para un contrato obtenido mediante concurso de obra pública el 1º de Enero de 1975; relativo a la perforación de pozos profundos para suministro de agua potable para riego agrícola, obtener el factor de incremento al 1º de Enero de 1976.

1.- Cargos Fijos : De datos de concurso el costo del equipo fué de \$ 8'193,199.20, -- actualizando precios al 1º de Enero de 1976 se tiene un costo para el mismo equipo de \$ 10'348,829.91.

Por lo que $Rcf = \$ 10'348,829.91 / \$ 8'193,199.20 = 1.2631 = 26.31 \%$.

2.- Salarios - - : El índice de salarios se tomó de la publicación "Comisión Nacional de los Salarios Mínimos", el cual para al año de 1975 era de - - - \$ 47.10 y a partir del 1º de Enero de 1976 era de \$ 58.20.

$Rs = \$ 58.20 / \$ 47.10 = 1.2357 = 23.57 \%$.

3.- Combustibles y Lubricantes : No hubo incrementos.

$Rcl = 0$

4.- Materiales y Herramientas : Los índices de incremento se tomaron de la publicación "Indicadores Económicos" editada por el Banco de México, S. A.

Del renglón de Materiales para Construcción tenemos :

Enero 1975 = 299.3
 Enero 1976 = 354.3

6

$$R_{mh} = 354.3 / 299.3 = 1.1837 = 18.37 \% .$$

Fórmula de escalación aprobada para este tipo de trabajos :

$$R_t = \left[73 \left(\frac{R_{cf}}{100} + 1 \right) + 12 \left(\frac{R_s}{100} + 1 \right) + 5 \left(\frac{R_{cl}}{100} + 1 \right) + 10 \left(\frac{R_{mh}}{100} + 1 \right) \right] - 100$$

Sustituyendo valores, tenemos.:

$$R_t = \left[73 \left(\frac{26.31}{100} + 1 \right) + 12 \left(\frac{23.57}{100} + 1 \right) + 5 \left(\frac{0}{100} + 1 \right) + 10 \left(\frac{18.37}{100} + 1 \right) \right] - 100$$

$$R_t = (19.21 + 73 + 2.83 + 12 + 5 + 1.84 + 10) - 100 = 123.88 - 100$$

$$R_t = 23.88 \%$$

Como punto final a esta presentación y remarcando lo que se dijo al principio de la misma, la Industria de la Construcción, es la única cuyos costos tienen que ser debidamente comprobados por las Empresas y aprobados por el Cliente de tal manera que las utilidades de las mismas son conocidas con bastante exactitud por lo que definitivamente estamos al margen de cualquier tipo de especulación; es para reflexionar el hecho de que si todas las actividades comerciales susceptibles de hacerlo, llevaran un control de costos, y se disciplinaran a presentar los análisis de precios correspondientes muy probablemente se ayudaría a resolver en parte el fenómeno económico que vivimos, en virtud de que se adquirirían los productos y servicios a precios justos, ó al menos con pleno conocimiento de honradez de los mismos.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

EQUIPOS DE BOMBEO, SELECCION

ING. LUIS MATUS ZARATE

ABRIL, 1935

EQUIPOS DE BOMBEO VERTICALES TIPO TURBINA

Las bombas, en sus diferentes tipos o diseños, pueden ser utilizadas para el bombeo de pozos profundos, lagunas, ríos, sumideros, cárcamos, torres de enfriamiento, tuberías de alimentación o sustancias químicas, etc, pudiendo operar con fluidos corrosivos ó altamente contaminados, por lo que tienen muchas aplicaciones y su correcta selección para un trabajo determinado dependen de las condiciones de servicio y de los niveles de bombeo, así por ejemplo, en las regiones donde las lluvias son escasas y donde las corrientes de agua superficiales no existen, el bombeo de aguas subterráneas se hace necesario y a veces indispensable utilizando para tal fin las bombas verticales tipo turbina y cuando la fuente de captación es un depósito de agua, lagos o arroyos y en general cuando el nivel de bombeo es menor de 3.0 m, se utilizan las bombas horizontales tipo turbina.

BOMBA VERTICAL TIPO TURBINA:

La Bomba vertical tipo turbina conocida también como de pozo profundo, se compone principalmente de las siguientes partes:

1. - Colador
2. - Tubo de succión
3. - Cono de succión
4. - Cuerpo de Tazones
5. - Cono de descarga

6. - Tubería de columna
7. - Flecha
8. - Tubo Cubreflecha
9. - Cabezal de descarga
10. - Tubo de descarga

1. - COLADOR. - Puede ser de tipo cónico o de canasta, de alambre galvanizado y de diferentes diámetros, debe tener un área efectiva para la entrada del agua igual a 4 veces el área del tubo de succión al cual va acoplado y su función es la de impedir el paso de sólidos que puedan dañar a los tazones.

2. - TUBO DE SUCCION. - Es un tubo de acero, con roscas en ambos extremos y va acoplado por la parte inferior con el colador y por la superior con el cono de succión del primer tazón, generalmente es del mismo diámetro que la tubería de columna y con longitud de 1.5 a 3.0 m. La función de este tubo es la de disminuir la velocidad del líquido lo suficiente para permitir la sedimentación de las partículas de mayor peso específico. En aquellos pozos que arrojan arena, actúa como un desarenador.

3. - CONO DE SUCCION. - El cono de succión o cono de entrada, es una pieza de acoplamiento entre el primer tazón y el tubo de succión, este acoplamiento puede ser por medio de cuerdas o por brida dependiendo de cada fabricante, se construye de fierro y sirve como puerto de entrada de los fluidos a los tazones.

4. - T A Z O N. - La mayoría de las Empresas que fabrican bombas verticales tipo turbina, han formulado sus propias especificaciones y bajo las mismas han fabricado sus modelos de tazones para que

funcionen con eficiencia ante cualquier combinación de gasto y carga, la diferencia que existe entre los equipos de bombeo ofrecidos por los fabricantes está precisamente en el diseño de los tazones, siendo éste además la única parte que normalmente fabrican ya que las demás las adquieren con los diversos proveedores.

Un tazón es una carcasa de fierro fundido con álabes directrices fundidos sobre sus paredes internas, estos álabes son los encargados de guiar a la parte superior del tazón la corriente de agua impulsada por los álabes móviles del impulsor convirtiendo así la energía cinética en presión.

a). - Primer tazón. - Se compone de un tazón acoplado al cono de succión ó entrada y se localiza después del tubo de succión y su función es la de descargar el fluido a la columna de bombeo ó a un tazón intermedio.

b). - Tazón intermedio. - En su fabricación es igual al primer tazón, e xcepto que carece de succión y su función consiste en recibir el fluido bombeado por el primer tazón y descargarlo a otro inmediato superior.

c). - Tazón superior o de descarga. - Es el tazón que se encuentra junto a la columna de bombeo, está formado por un tazón y un cono de descarga, en su fabricación es exactamente igual al primer tazón y al tazón intermedio y tiene como función descargar y guiar el fluido bombeado al interior de la columna de bombeo.

d). - Cuerpo de tazones. - Puede estar formado por un primer tazón únicamente o bien por un primer tazón, uno ó varios intermedios, denominándose al primer caso cuerpo de tazones de un paso y al segundo, de 2, 3, etc. pasos.

e). - Impulsor. - Cada tazón, el primero, el intermedio o el superior, contiene un impulsor, el cual va mecánicamente conectado a la flecha de impulsores, constituye el elemento básico de bombeo, recibe el líquido a bombear y lo impulsa hacia los álabes directrices del tazón, los más usuales son los del tipo semiabierto y cerrado, de los cuales los distintos fabricantes tienen una gran variedad para poder cubrir una amplia gama de gastos y cargas. Generalmente se fabrican de fierro o bronce.

f). - Impulsor semiabierto. - El impulsor semiabierto se acostumbra usar cuando el líquido a bombear tiene una densidad mayor que la del agua, tales como aguas negras, substancias químicas, etc., y en general en aquellos líquidos que contengan en suspensión materiales de grandes dimensiones, debido a que se tiene la idea de que los impulsores tipo cerrado se atascan con el manejo de esta clase de líquidos y los semiabiertos su posición se puede ajustar dentro del tazón para que los sólidos en suspensión causen menor desgaste.

Con los impulsores tipo semi abiertos, se puede variar el gasto hidráulico, dentro de límites del 15% aproximadamente en más ó en menos, en relación al gasto óptimo de bombeo.

Siempre disminuirá la eficiencia del impulsor, a partir de su

punto de máxima eficiencia, al variar en más ó menos el gasto de bombeo.

Lo anterior se debe a que la máxima eficiencia de un impulsor, sólo podrá variar en sentido descendente porque durante el funcionamiento de los impulsores semi abiertos, hay un retroceso del fluido debido a que en el tazón existe una zona de alta presión en un extremo y de baja en el otro, en la inferior se forma la zona de succión, la que obliga a una parte del fluido que es impulsado hacia arriba a regresar formando remolinos, originando la disminución de la eficiencia del impulsor.

Este retroceso aumenta a medida que se separa más el impulsor de su asiento y ocasiona, cuando la bomba tiene que trabajar en líquidos con materiales en suspensión y sobre todo cuando se trata de agua con arena, más desgaste en los álabes tanto del impulsor como del tazón.

g). - Impulsor cerrado. - Con este tipo de impulsor no es posible regular la eficiencia ya que las zonas de alta y baja presión del tazón no se comunican entre sí, sino que están separadas por el impulsor, el cual cierra la cámara de baja presión que le corresponde, siendo el flujo constante hacia arriba y sin retroceso.

Cuando los impulsores cerrados van acoplados a bombas accionadas con motores de combustión interna y variamos la velocidad del impulsor, varía el gasto y la Potencia y se conserva constante la eficiencia de la bomba. En los impulsores semiabiertos no es posible mantener constante la eficiencia de la bomba.

Selección del Impulsor. - Para un trabajo determinado, la mejor selección del modelo de impulsor es el que funcione con máxima eficiencia. Desafortunadamente esto se logra rara vez porque para cada modelo de impulsor existe un punto en donde la combinación gasto - carga obtiene

la máxima eficiencia; dado que es imposible para los fabricantes diseñar y construir bombas para cada tipo de operación, han fabricado impulsores - estándar que abarcan diferentes condiciones de gasto y carga, existiendo - por esta razón una gran variedad de modelos donde siempre hay la posibilidad de seleccionar uno que se adapte a las características de explotación - con una eficiencia muy cercana al máximo.

En la selección de un modelo de impulsor, el gasto y la eficiencia son los factores determinantes, pues aún cuando dos modelos de impulsores sean del mismo diámetro, no están diseñados para proporcionar - la misma eficiencia, ni consumen la misma potencia, aún cuando por ser - del mismo diámetro su costo es el mismo.

Por otra parte, la carga dinámica total no interviene en la - selección del modelo de impulsor, pero es el factor determinante para elegir el número de pasos.

Curvas características de los impulsores. - La Mayoría de las Empresas que fabrican las bombas verticales tipo turbina, han formulado sus propias especificaciones y bajo las mismas han fabricando sus modelos de impulsores para que funcionen con eficiencia ante cualquier combinación de gasto y carga, dentro de estas especificaciones se encuentran las - curvas características de los impulsores, mismas que han sido calculadas en las fábricas después de pruebas exhaustivas y a base de cuidadosa medición del gasto, presión, energía recibida y velocidad del impulsor.

En las curvas de Gasto - Carga se observa:

1o. el gasto y la carga dependen de la velocidad, diámetro y espesor del impulsor. Si se mantiene constante la velocidad entre dos impulsores del mismo diámetro, el que tenga mayor espesor proporcionará - mayor gasto. La carga depende del diámetro exterior del impulsor, al recortar un impulsor se disminuye su diámetro exterior, con lo cual se reduce la carga. El efecto de cambio del diámetro exterior es para disminuir la velocidad periférica del impulsor y tiene exactamente el mismo efecto que si se reduce la velocidad rotativa sin alterar el diámetro.

2o. - La potencia, es función del gasto, la carga y la eficiencia del impulsor.

3o. - Si el diámetro del impulsor permanece constante, al - cambiar la velocidad del impulsor, el gasto cambiará en razón directa, la - carga en relación al cuadrado y la potencia en relación al cubo del cambio de velocidad, o sea:

$$\frac{\text{rpm } 1}{\text{rpm } 2} = \frac{Q1}{Q2} = \frac{\sqrt{C1}}{\sqrt{C2}} = \frac{\sqrt[5]{HP1}}{\sqrt[5]{HP2}}$$

Ejemplo:

El impulsor modelo 12 X C (Fig. 1), proporciona a la velocidad de 1160 rpm un gasto de 75.71 lps (1200 gpm), contra una carga de 6.22 m (20.4 pies) y requiere 7.8 HP para vencerla ¿Cuáles serán las nuevas condiciones si se opera a 1760 rpm?.

La relación de las velocidades será:

$$\frac{1760 \text{ rpm}}{1160 \text{ rpm}} = 1.52$$

El gasto cambia en proporción directa:

$$75.71 \times 1.52 = 115.08 \text{ lps (1824 gpm)}$$

La carga cambia en relación al cuadrado de la velocidad:

$$1.52^2 \times 6.22 = 14.37 \text{ m (47.13 pies)}$$

La potencia cambia en relación al cubo de la velocidad:

$$1.52^3 \times 7.8 = 27.38 \text{ HP}$$

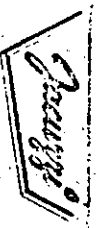
Lo anterior se comprueba en la curva de la figura No. 2.

40. - Si la velocidad permanece constante, al cambiar el diámetro del impulsor, el gasto cambiará en razón directa, la carga en relación al cuadrado y la potencia en relación al cubo del cambio del diámetro, esto es:

$$\frac{d1}{d2} = \frac{Q1}{Q2} = \frac{\sqrt{CI}}{\sqrt{C2}} = \frac{\sqrt[3]{HP1}}{\sqrt[3]{HP2}}$$

Ejemplo:

Un impulsor de 242.88 mm (9 9/16") de diámetro proporcional a una velocidad de 1760 rpm, un gasto de 115.08 lps (1824 gpm), contra una carga de 14.37 m (47.13 pies) y consume una potencia de 27.38 HP para moverlo. ¿Cuáles serán las nuevas condiciones de operación al se cambia el diámetro a 225.42 mm (8 7/8")?



JACUZZI-UNIVERSAL S.A.
MONTERREY, N. L.

CURVA DE RENDIMIENTO PARA BOMBA TURBINA

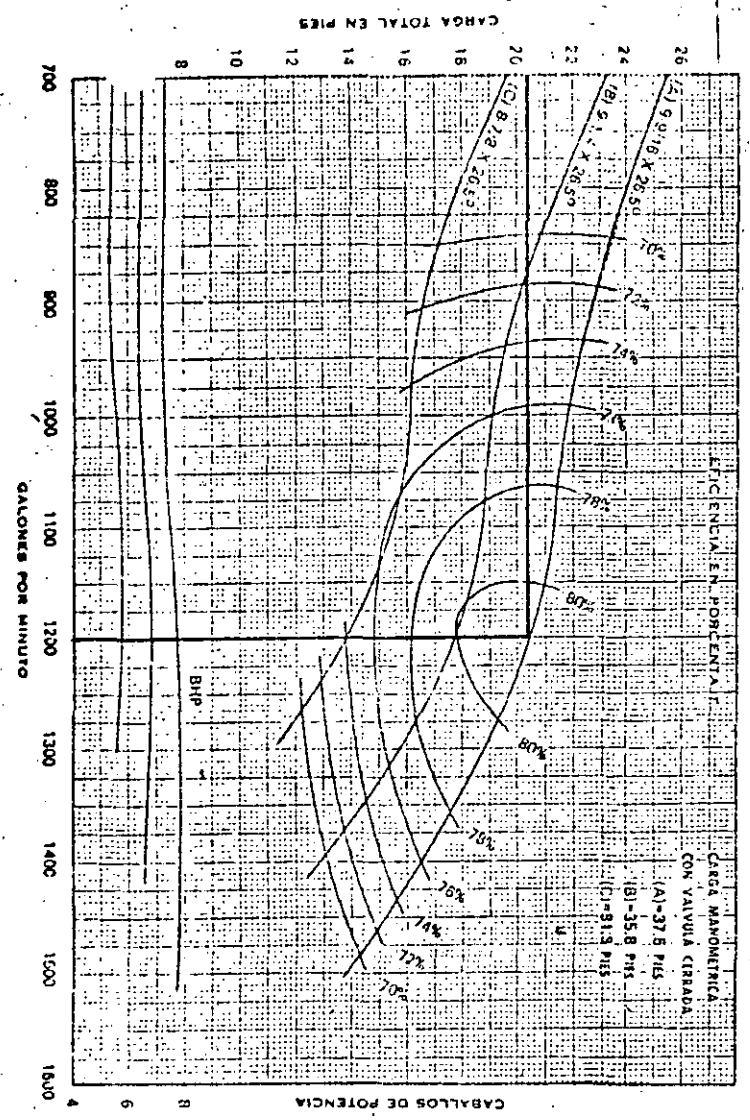


FIGURA NO. 1

NUMERO DE VALORES	CAMBIO DE EFICIENCIA
1	-1
2	-2
3	-3

El cambio de eficiencia puede afectar la carga y el caudal.

Dim. Tazon 11 1/2 P4-
Num. Tazon 3351 C1.
Num. Impulsor 23AG.
MATERIA: FIERRO K28

Area del Orificio del Impulsor CERRADO
Tipo Impulsor K = 18.7

RENDIMIENTO POR ETAPA

Curva No. 12X121
P.M.A. 1140
Tazon 12XC

La eficiencia está basada en el bombeo de agua lim-pia, a una temperatura que no exceda de 30°C. (86°F) y que este 11 1/2 de 581. Aire a cavavata. Y con los impulsores alib- y con los impulsores alib- No. 131911 con 81421.

SECCION 2130
DICIEMBRE 15 DE 1978
12XC

La relación de los diámetros será:

$$rd = \frac{225.42 \text{ mm}}{242.88 \text{ mm}} = 0.928$$

El gasto cambia en proporción directa:

$$Q = 115.08 \times 0.928 = 106.80 \text{ lps (1692.78 gpm)}$$

La carga cambia en relación al cuadrado del diámetro:

$$C = 0.928^2 \times 14.37 \text{ m} = 12.37 \text{ m (40.59 pies)}$$

La potencia cambia en relación al cubo del diámetro:

$$P = 0.928^3 \times 27.38 = 21.88 \text{ HP}$$

Por lo que respecta a la eficiencia, si los cambios son del orden del 5 al 6% no cambia o es mínima la variación, pero si se excede de estos valores, se reduce la eficiencia del impulsor.

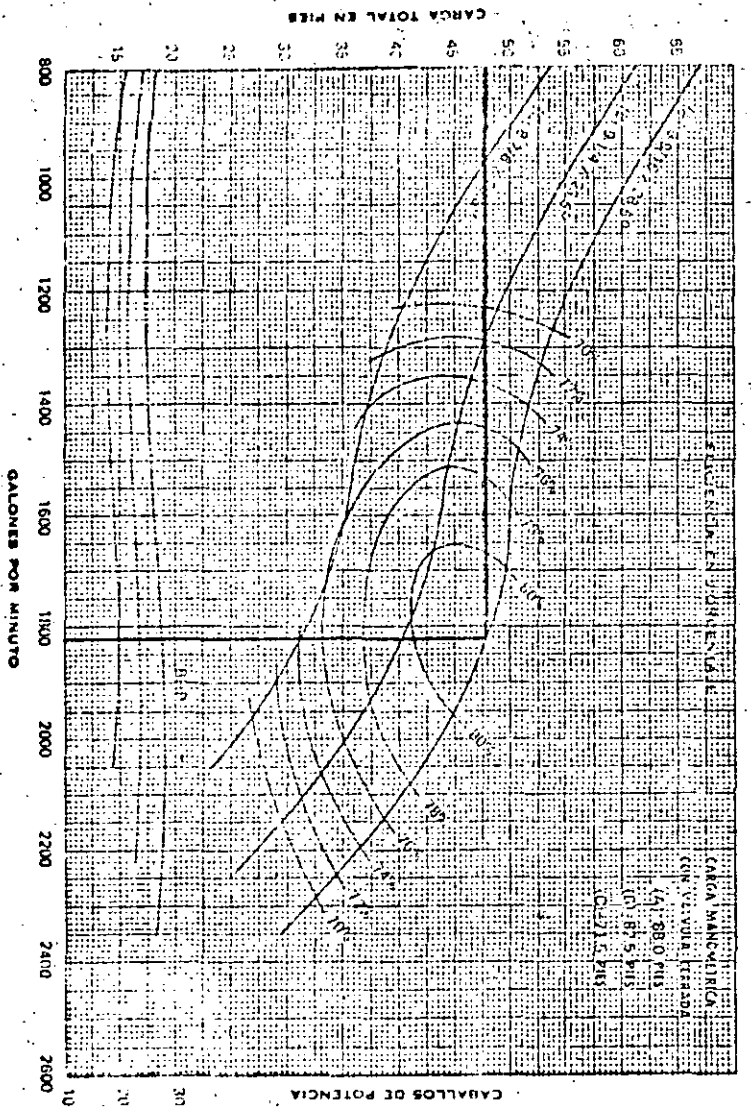
5. - CONO DE DESCARGA. - Como su nombre lo indica, tiene forma cónica y sirve de acoplamiento entre el tazón superior y la columna de bombeo, se fabrica de fierro fundido.

6



JACUZZI-UNIVERSAL S.A.
MONTERREY N. L.

CURVA DE RENDIMIENTO PARA BOMBA TURBINA



Numero de Tazones	Cambio de Eficiencia
1	-4
2	-2
3	-1

El cambio de eficiencia puede afectar la carga y el caudal.

Dim. Tazón 11 1/2 Ptg.
Nom. Tazón 3301 C.L.
Nom. Impulsor 3380.
Tazón M-3

Area del Ojo 35 1/2 Ptg. 2
del Impulsor CERRADO
K = 18.2

RENDIMIENTO POR ETAPA	
Carga No.	12X-20
R.P.M.	1740
Tazón	12XC

La eficiencia que brinda esta bomba de agua tiene un margen de seguridad que no varía de 30% hasta 100% y que este libro de datos que se proporciona con las impelleres que se fabrican, respaldados y los datos suministrados.

12XC
SECCION
3120
15 DE DICIEMBRE
1970

FIGURA NO. 2

6. - TUBERIA DE COLUMNA. - Está formada por tramos de tubo de acero de 3.05 m. (10') de longitud, distintos diámetros y diferentes cédulas, es el soporte del cuerpo de tazones y sirve de conducción del agua bombeada y aloja en su interior la flecha de transmisión. La unión entre tramos de tubería puede ser por cople o mediante bridas, dependiendo de su diámetro, generalmente va con cople desde los 63.50 mm (2 1/2") hasta los 406.4 mm (16") y a partir de los 457.20 mm (18") con bridas y se considera de construcción especial.

7. - FLECHA VERTICAL. - Dentro y concéntricamente a la tubería de columna se encuentra la flecha vertical, que es el eje central de la bomba, la cual es impulsada desde la parte superior por el motor eléctrico o de combustión interna comunicando un movimiento rotatorio a los impulsores. Está formada por tramos de 3.05 m. (10') de longitud, o sea, que tiene la misma longitud que un tramo de tubería de columna, son de acero cold Rolled y van unidos entre sí por medio de coples y alineados por medio de chumaceras de bronce, las cuales tienen rosca externa y sirven para unir los tramos de los tubos cubreflecha.

Para seleccionar el diámetro de una flecha, hay que considerar la velocidad angular o de rotación y la potencia que va a soportar, es decir, el par de torsión que tiene que resistir. Para determinar las pérdidas por fricción y la potencia que soporta una flecha, lo más práctico y recomendable es consultar las tablas que los fabricantes han elaborado, donde se --

puede observar:

a). - Las pérdidas por fricción en la flecha, son directamente proporcionales a la velocidad angular, es decir, que a doble velocidad corresponde doble pérdida por fricción y a triple velocidad, triple pérdida, etc.

b). - La potencia especificada para una flecha, aumenta en proporción directa con su velocidad angular, es decir, que a doble velocidad, doble potencia, etc.

Los conceptos antes expuestos, proporcionan el medio para determinar las nuevas condiciones a las que trabajará la flecha cuando se conoce la pérdida por fricción, la velocidad de rotación, el diámetro de la flecha y la potencia. Por ejemplo: sean las siguientes condiciones actuales:

Potencia máxima = 38 HP

Diámetro de la flecha = 19 mm (3/4")

Pérdida por fricción = 0.70 (por cada 100 m ó 100 pies)

Velocidad rotación = 3500 rpm.

Se desea conocer las nuevas condiciones de operación cuando la velocidad de la flecha sea de 1760 rpm.

La potencia disminuirá en proporción directa, como 1760 rpm es aproximadamente la mitad de 3500 rpm, la potencia será la mitad de 38 HP, o sean, 19 HP.

La pérdida por fricción disminuirá en proporción directa, -- puesto que a 3500 rpm las pérdidas son de 0.70 por cada 100 m ó 100 pies a 1760 rpm, será de 0.35 para la misma longitud de flecha, de donde se obtiene que las condiciones de servicio serán:

CARACTERISTICAS	ACTUALES	ANTERIORES
Velocidad rotación	= 1760 rpm	3500 rpm
Potencia máxima	= 19 HP	38 HP
Diámetro de la flecha	= 19 mm (3/4")	19 mm (3/4")
Pérdidas por fricción	= 0.35	0.70

8. - CUBREFLECHA. - Como en el caso de la flecha vertical, el tubo cubreflecha va dentro y concéntricamente a la tubería de columna, cada tramo se construye de acero, con longitud de 1.52 m. (5') y con diámetro un poco mayor que el diámetro de la flecha con la cual va a trabajar en conjunto. Para una misma bomba todos los tubos cubreflecha son iguales con excepción del superior que tiene cuerda externa en su extremo superior para recibir la tuerca de tensión.

Para evitar las vibraciones del tubo cubreflecha se colocan a distancias convenientes unos soportes llamados arañas o estrellas, mismos que se fabrican de hule duro, y su número va en función del diámetro de la flecha y por regla general se colocan a distancias más cortas a medida que la flecha es de menor diámetro. Una araña cada 3 ó cada 5 tramos de --

columna de bombeo.

La función del tubo cubreflecha es la contener el aceite lubricante en el espacio anular que se forma entre su pared interna y la superficie exterior de la flecha. Este aceite mantiene lubricada a la flecha con lo cual se evita el calentamiento excesivo y el desgaste prematuro.

Los tubos cubreflechas van unidos entre sí por medio de chumaceras de bronce que tienen cuerdas externas.

Columna de Bombeo. - Se le denomina así al conjunto que forman la tubería de columna, la cubreflecha y la flecha, las hay lubricadas por aceite o por agua y la diferencia entre uno y otro es que la lubricada por agua, carece de cubreflecha y su lubricación se efectúa por el agua bombeada y su selección depende del objetivo a que se destine, por ejemplo, el agua de los pozos destinados a usos domésticos debe excluir totalmente el aceite y por esta razón se utiliza la columna lubricada por agua y en aquellos pozos que arrojan arena fina, se utiliza la lubricada por aceite, en este último ejemplo, el tubo cubreflecha evita el desgaste prematuro o excesivo de las flechas y las chumaceras de bronce puesto que el agua y en ocasiones la arena bombeadas, no entran en contacto con las mismas, es la más adecuada para los pozos con fines de riego.

Las columnas lubricadas por agua no deben operarse sin antes prelubricar las flechas con agua ya que si estas se encuentran secas, al entrar en rotación aún por periodos cortos, sufrirán graves daños, estos da

nos también los causan los motores eléctricos y cabezales de engranes que no cuentan con trinquete de no retroceso y aquellos motores de combustión interna que no pueden regularse rápidamente a su velocidad de trabajo.

Para seleccionar el diámetro óptimo que una columna de bombeo debe tener, los fabricantes de bombas han elaborado tablas donde se observan los diámetros de flecha y cubreflecha que son compatibles de usarse con cada diámetro de tubería de columna, así como el gasto que puede circular y la pérdida de carga por fricción. Las pérdidas por fricción son muy importantes, ya que si se hace circular un gasto excesivo por un determinado diámetro de columna, causará grandes pérdidas que se traducen en consumo extra de energía que tendrá que proporcionar el motor, aumentando el costo de operación del equipo, por eso, en la mayoría de los casos, es preferible que el costo inicial sea más alto. Por ejemplo, para extraer 45 Ips. (713 gpm) podría usarse columna de bombeo de 152.4 x 38.1 x 25.4 mm (6" x 1 1/2" x 1") de diámetro con pérdidas de 6.8 m. por cada 100 m. ó columna de 203 x 38.1 x 25.4 mm (8" x 1 1/2" x 1"), con pérdidas de 0.98 m. por cada 100 m. ocasionando que con la columna de 6" se utilice mayor potencia para extraer el mismo gasto que con la de 8", aun siendo ésta última más cara.

Las diferentes compañías fabricantes de bombas recomiendan aceptar pérdidas por fricción hasta un 5% lo cual se considera económico.

9. - CABEZAL DE DESCARGA. - Se fabrica de fierro, tiene como función sostener desde la superficie a la columna de bombeo, el

cuerpo de tazones, el colador, los tubos de succión y descarga, el lubricador automático o manual, soporta al motor eléctrico o al cabezal de engranes y tiene como función adicional, cambiar la dirección del flujo; recibe los estoperos ó sellos que impiden la fuga del líquido o la admisión del aire.

Todos los fabricantes de cabezales de descarga tienen nomenclatura especial para designar los distintos modelos, pero en general se conocen por los diámetros de la base superior, la descarga y columna de bombeo expresadas en pulgadas.

Ejemplo: 8" x 8" x 16".

La selección del cabezal de descarga se hace en función de los diámetros de la base del motor eléctrico ó cabezal de engranes y de la columna de bombeo.

10. - TUBO DE DESCARGA. - El tubo de descarga viene siendo como una prolongación de la columna de bombeo y al igual que el tubo de succión, es de acero y con longitud de 1.52 m. (5') ó 3.05 m. (10') con un diámetro que generalmente es el mismo que el de la columna requiriéndose una brida para acoplarlo al cabezal de descarga.

SELECCION DE UN EQUIPO DE BOMBEO

Para estar en condiciones de calcular y seleccionar un equipo de bombeo vertical tipo turbina, para pozo profundo, es indispensable contar con la siguiente información:

- a). - Diámetro libre del ademe.
- b). - Profundidad total del pozo.
- c). - Gasto de explotación.
- d). - Carga en la bomba.
- e). - Carga adicional en la descarga.
- f). - Carga dinámica total.
- g). - Fuerza motriz, diesel o eléctrica.

Esta información se obtendrá en la recepción de los trabajos de perforación, en las pruebas de aforo; y de los proyectos de las zonas de riego; de la exactitud con que se obtenga se tendrá una adecuada selección y diseño del equipo de bombeo.

a). - DIAMETRO LIBRE DEL ADEME. - Es indispensable determinar el diámetro libre del ademe del pozo, hasta la profundidad a donde se va a instalar el equipo de bombeo, ya que el diámetro libre, limita el tamaño, tipo y capacidad de la bomba que se alojará en él. Este diámetro libre se obtiene mediante una prueba de verticalidad.

Con el diámetro libre del ademe y la relación de éste con los diámetros máximos de los tazones, nominal y exterior y el espacio anular mínimo adecuado entre el ademe y el cuerpo de tazones, se podrá conocer la capacidad máxima de extracción de la bomba, como se indica en la tabla siguiente:

DIAMETRO ADEME	DIAMETRO MAX. TAZONES		ESPACIO ANULAR ADEME - TAZONES	GASTO MAXIMO
	NOMINAL	EXTERIOR		
10"	8"	7 1/2"	6.35 mm (2 1/2")	36 l. p. s.
12"	10"	9 1/2"	6.35 mm (2 1/2")	64 l. p. s.
14"	12"	11 1/2"	6.35 mm (2 1/2")	100 l. p. s.
16"	14"	13 1/2"	6.35 mm (2 1/2")	144 l. p. s.

Como se podrá observar, si se tiene un pozo terminado con ademe de 14" de diámetro libre, el diámetro máximo de tazones que se podrá alojar, será de 11 1/2" (12" diámetro nominal) y el gasto máximo que se podrá extraer será de 100 l. p. s., si la capacidad específica del acuífero lo permite.

b). - PROFUNDIDAD TOTAL DEL POZO. - Es importante conocer la profundidad total del pozo ya que en algunos casos no se deja suficiente cámara de bombeo lo que puede ser una limitación para la instalación del equipo.

No hay que olvidar que la longitud de bomba abajo del nivel de bombeo es aproximadamente de 12 metros, que incluye 2 ó 3 tramos de columna adicionales para futuros abatimientos, cuerpo de tazones, tubo de succión y colador por lo que la cámara de bombeo deberá ser por lo menos de 15 m. más que el nivel de bombeo.

c). - CAPACIDAD REQUERIDA O GASTO DE EXPLOTACION.-

Una vez que se tienen tabulados todos los datos tomados en el campo durante el aforo, se trazará la curva Gasto Abatimiento, sobre la cual se determinará el punto más conveniente para la explotación del pozo, al respecto se tienen los siguientes criterios:

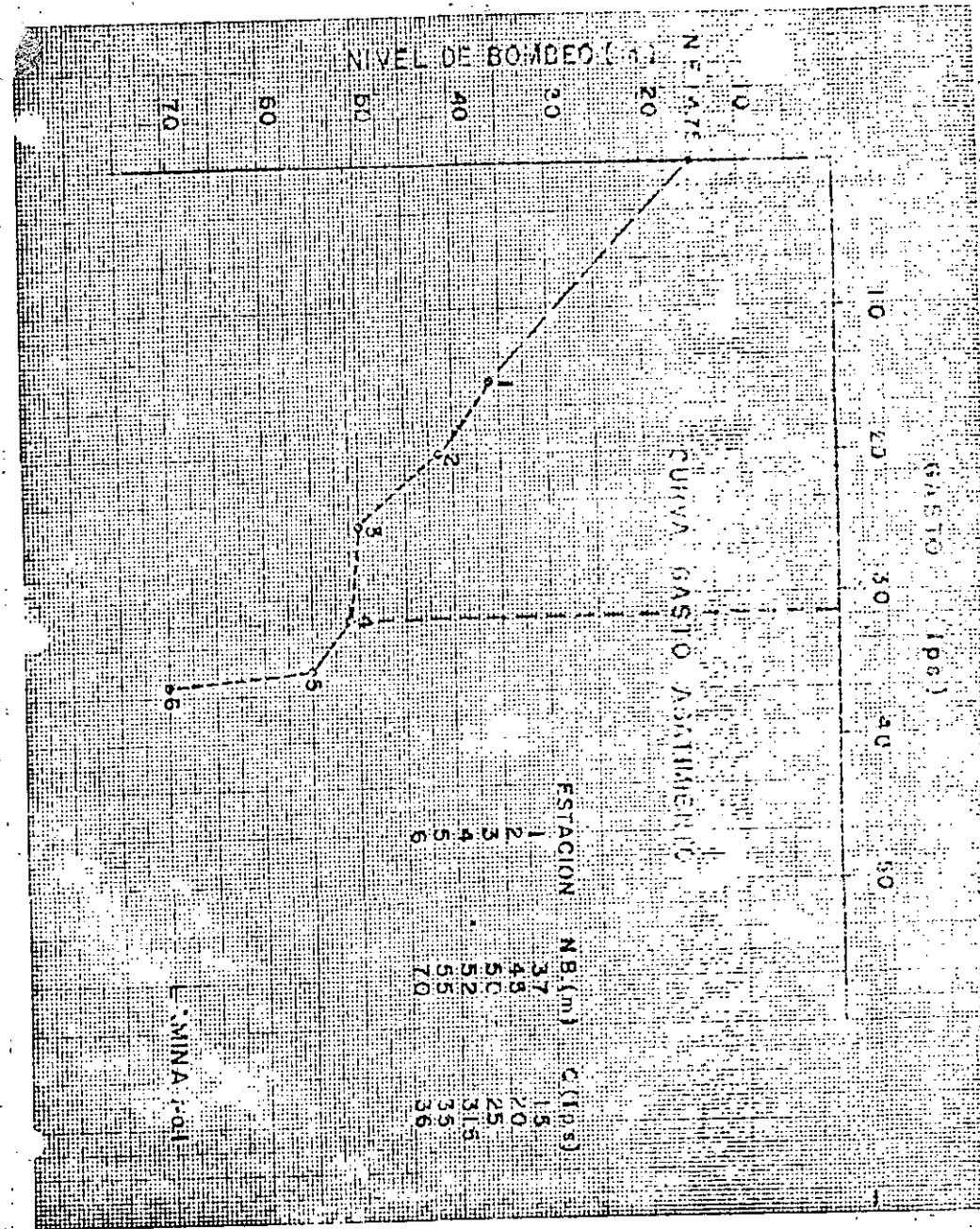
1. - Normalmente se acostumbra considerar como gasto máximo del pozo, al obtenido en el último punto de la curva de aforo habiéndose o no alcanzado la capacidad real del acuífero y como gasto máximo de explotación -- aproximadamente el 90% del gasto máximo, pudiendo variar en menos este -- porcentaje, en función del tiempo de recuperación de los niveles de bombeo - (Lámina No. 1).

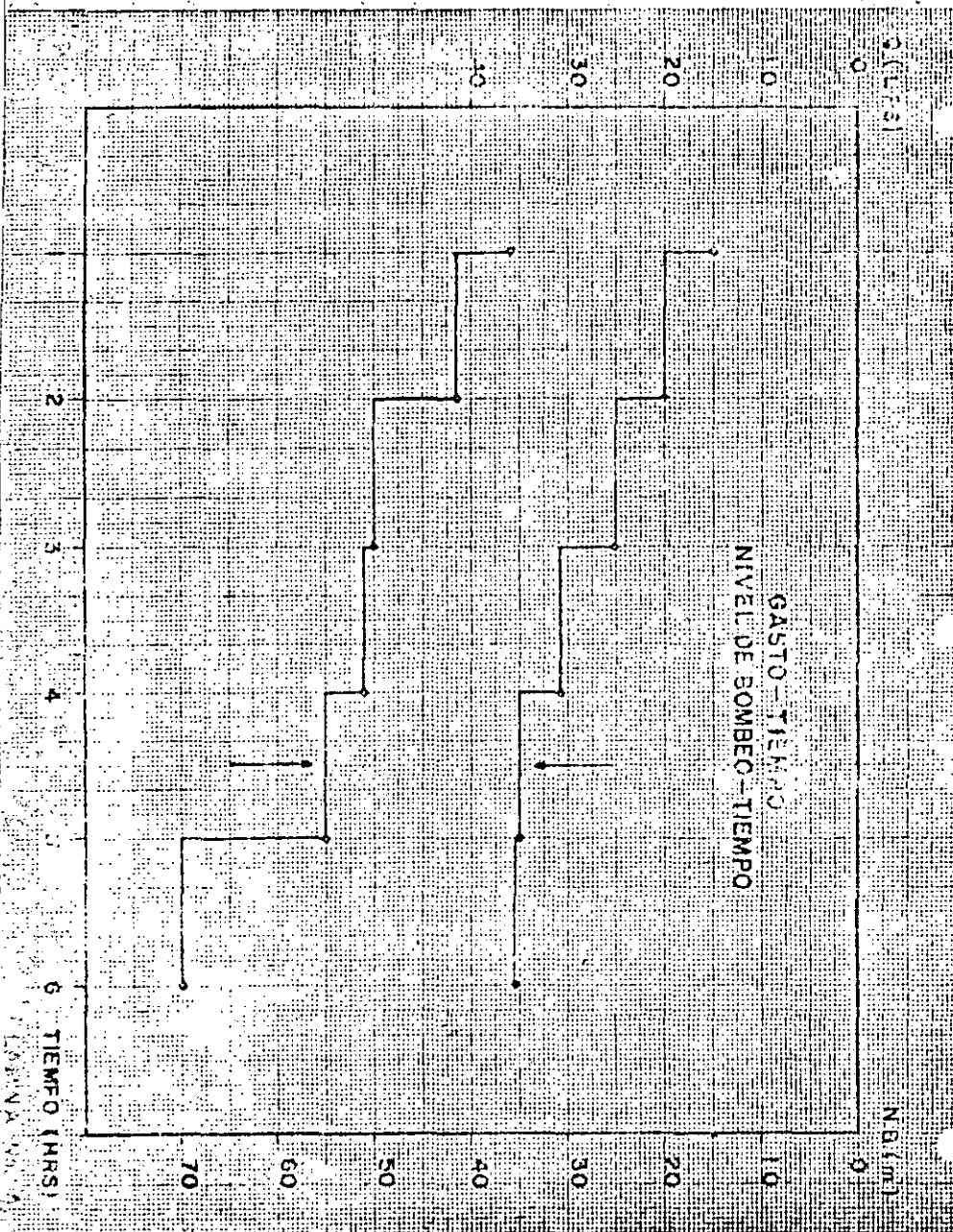
2. - Trazando las curvas de Gasto - Tiempo y Nivel de Bombeo - Tiempo, determinando el gasto máximo de explotación en el punto donde la separación entre escalones es menor y como punto óptimo de explotación el escalón inmediato anterior al gasto máximo de explotación. (Lámina No. 1-A).

3. - Cuando no se dispone de los datos de un aforo completo, es decir, que no se llegó a determinar la capacidad máxima del pozo, y se dispone de mayor superficie por beneficiar, se deberá repetir el aforo.

4. - El gasto de explotación, también se puede fijar de acuerdo a los puntos mencionados y al proyecto de zona de riego correspondiente.

d. - CARGA EN LA BOMBA (CB). - Es el nivel de bombeo más las pérdidas por fricción y velocidad que se tienen desde el cono de descarga - hasta el cabezal de la bomba, es decir, en la longitud de la columna de bombeo.





e). - CARGA ADICIONAL EN LA DESCARGA (CAD). - Es la carga que tiene que vencer la bomba a partir de su cabezal hasta el punto libre del sistema y comprende el desnivel topográfico ó carga estática de descarga (h_0), las pérdidas por fricción en la tubería de conducción y en los dispositivos instalados en ella, tales como válvulas, codos, tes, piezas especiales, aspersores, etc. ó carga de fricción en la descarga (h_{fd}).

f). - CARGA MANOMETRICA TOTAL O CARGA DINAMICA TOTAL (CDT). - Es un sistema de bombeo, se le da el nombre de carga manométrica total o carga dinámica total, a la suma de las energías contra las que debe operar una bomba para mover determinada cantidad de agua de un punto a otro, (Lámina No. 2) es decir:

$$CDT = CS + CAD$$

g). - TIPO DE FUERZA MOTRIZ. - Tipo de energía con que se cuenta para la operación del equipo de bombeo: Es necesario saber si los motores serán eléctricos ó de combustión interna. En caso de que se trate de energía eléctrica, se requiere el voltaje de la línea de alta tensión para poder seleccionar el equipo adecuado, si es de combustión interna se requerirá conocer la altitud del sitio de instalación.

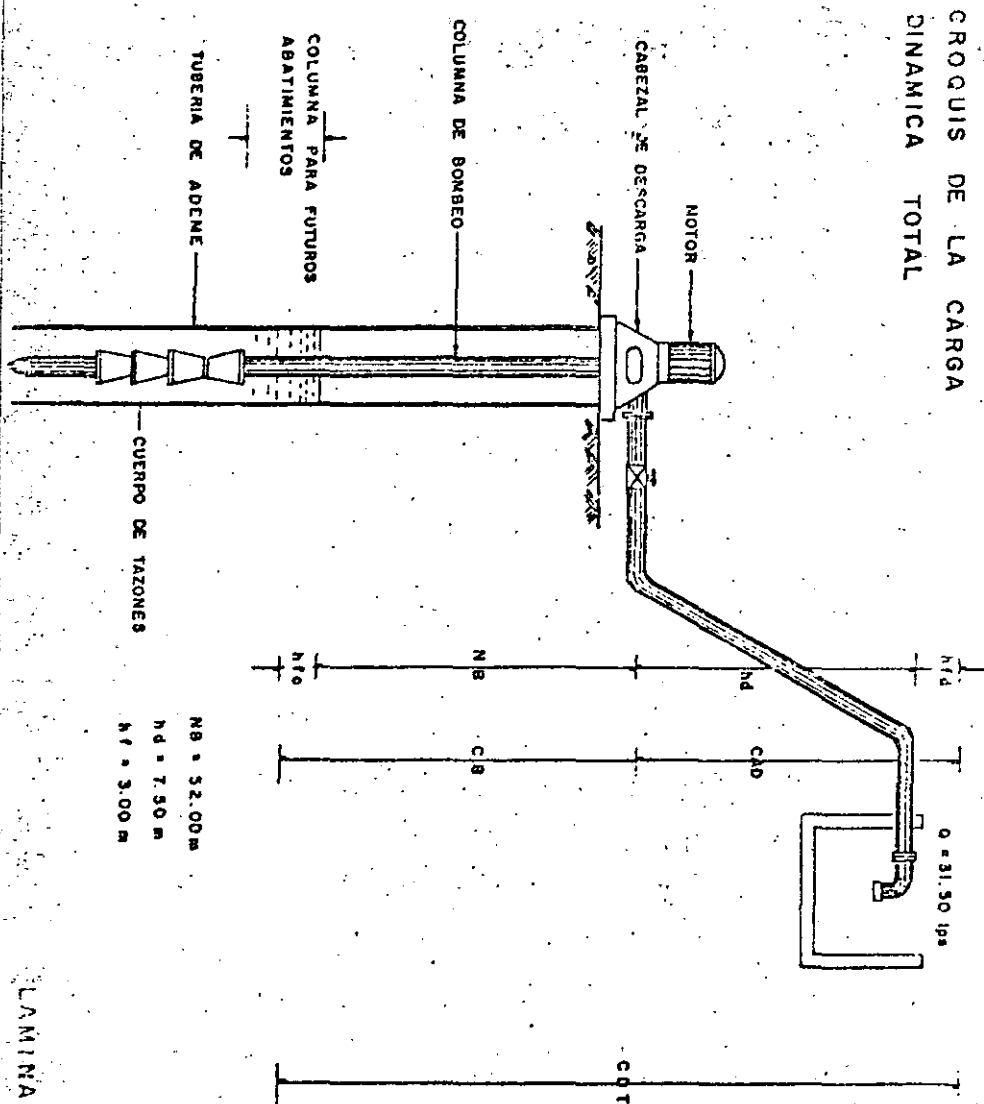
III. - CALCULO Y SELECCION DE UN EQUIPO DE BOMBEO. -

A. - Condiciones de servicio. -

- Gasto de explotación (Q) = 31.50 l. p. s.
- Nivel dinámico o de bombeo (NB) = 52.0 m.
- Desnivel topográfico (h_d) = 7.50 m.
- Pérdidas por fricción en la tubería de descarga y dispositivos instalados (h_{fd}) = 3.00 m
- Tipo de Energía = Eléctrica, 13, 200 volts, en alta tensión.
- Tipo de Lubricación: Aceite
- Líquido a manejar: Agua Limpia
- Diámetro libre del ademe y su longitud = 304.8 mm (12") y 150.0 m.
- Profundidad total del pozo = 150.0 m.

B. - Cálculo del Equipo de Bombeo:

- DETERMINACION DE LA LONGITUD DE LA COLUMNA DE BOMBEO. - Cada tramo de columna de bombeo mide 3.05 m. (10') de longitud y como el nivel de bombeo es de -- 52 m. se tiene: $\text{Long.Col.} = \frac{52}{3.05} = 17.05 = 17$ tramos de columna. Con el objeto de prever futuros abatimientos, es recomendable que la longitud de la columna sea mayor que



el nivel dinámico, por lo que generalmente se solicita con dos o tres tramos más, dependiendo de los abatimientos que se tengan en la zona. Por lo anterior, se tiene:

$$17 + 2 = 19 \text{ Tramos} = 57.95 \text{ m.}$$

2. - CALCULO DE LA CARGA DINAMICA TOTAL TENTATIVA.

$$CDT = CB + CAD$$

$$CB = NB + h_{fc}$$

$$NB = 52.00 \text{ m.}$$

h_{fc} = Se desconoce, por lo que inicialmente se considerará del 5% del NB y posteriormente se determinará su valor real.

$$h_{fc} = 5\% NB = 0.05 \times 52 = 2.60 \text{ m.}$$

$$CB = 52 + 2.60 = 54.60 \text{ m. (aprox.)}$$

A continuación se procede a calcular la Carga Adicional en la Descarga (CAD), ó sea:

$$CAD = h_d + h_{fd} = 7.50 + 3.00 = 10.50 \text{ m.}$$

Por lo tanto, la carga dinámica total tentativa será:

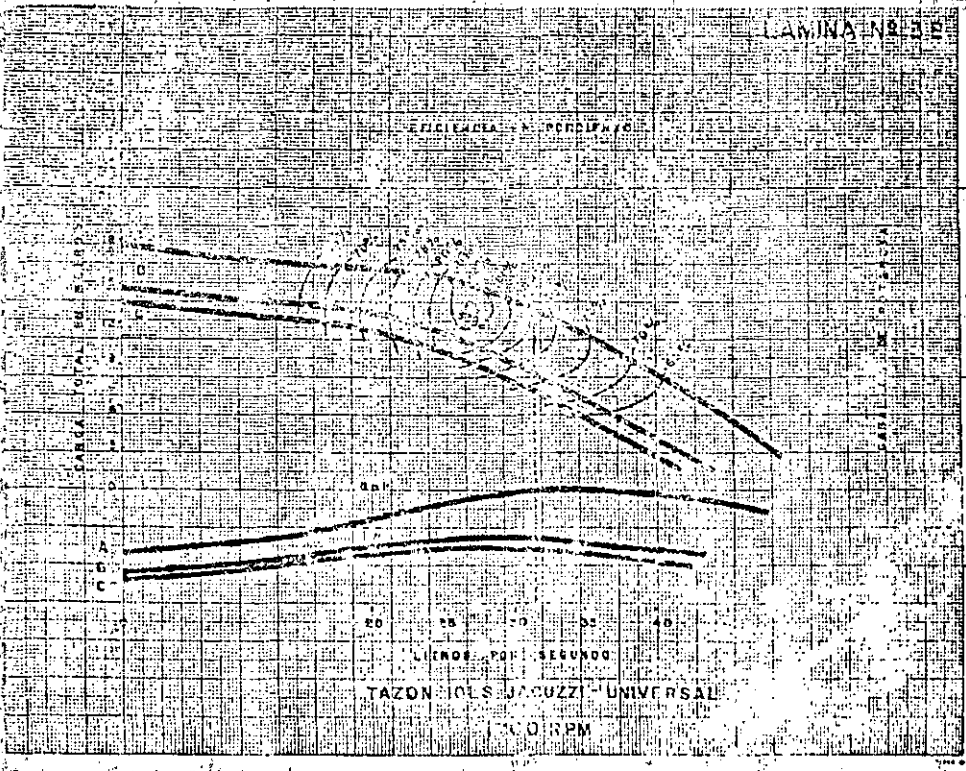
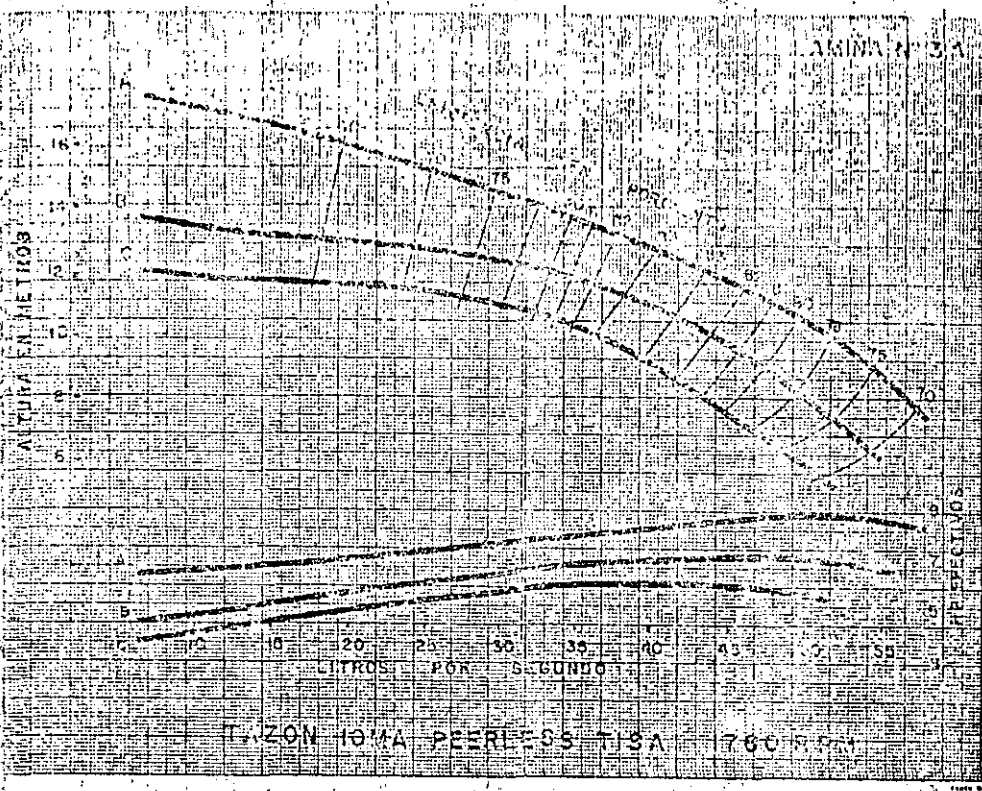
$$CDT = CB + CAD = 54.60 + 10.50 = 65.10 \text{ m.}$$

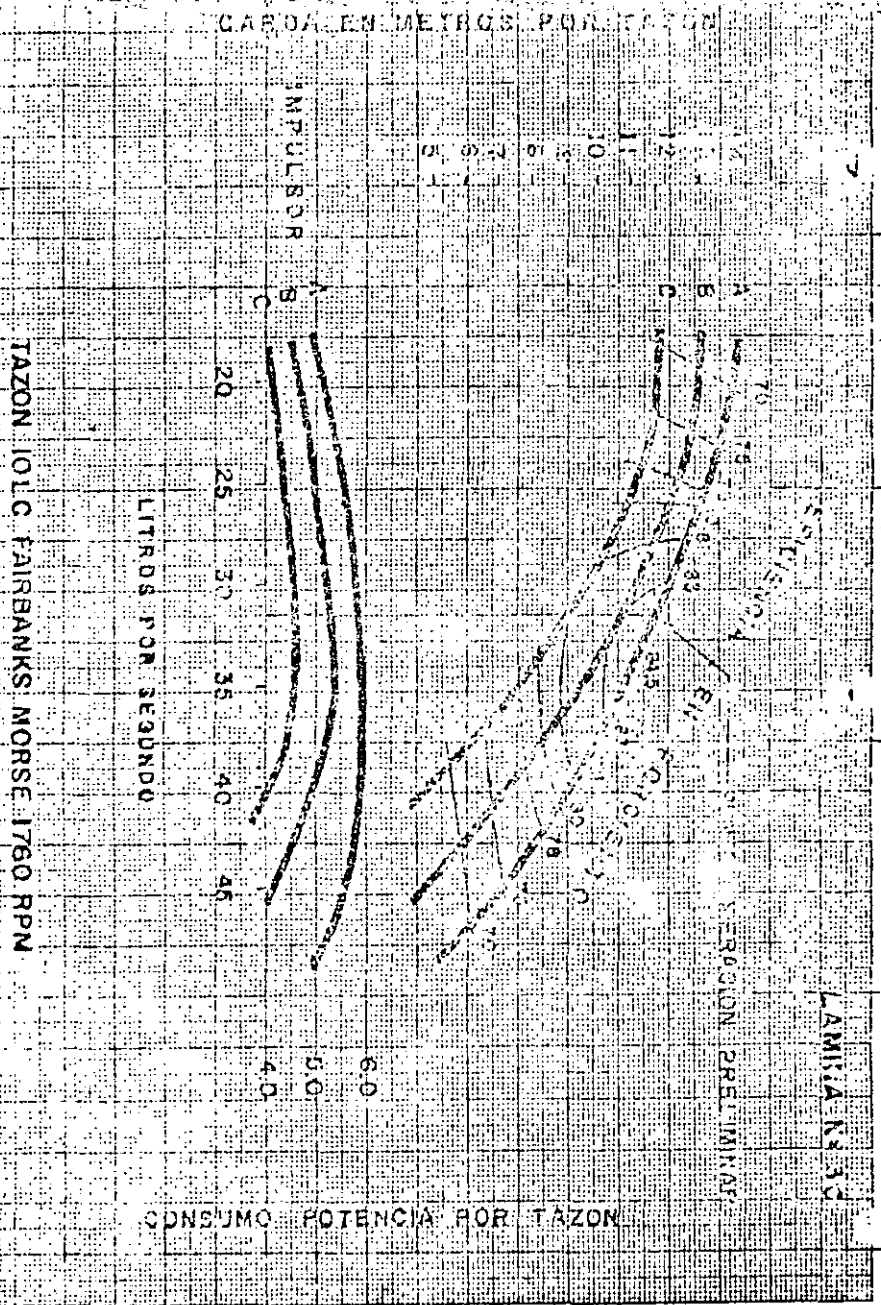
De donde se deduce que se tendrá que seleccionar una bomba

capaz de dar 31.50 l. p. s., contra una carga dinámica total de 65.10 m.

3. - SELECCION DEL CUERPO DE TAZONES. - Todos los fabricantes de equipos de bombeo tienen curvas de operación para diferentes tamaños de tazones, recortes de impulsor y velocidades. En la selección de un modelo de impulsor, el gasto y la eficiencia son los factores determinantes, en las láminas Nos. 3A, 3B y 3C se muestran las curvas de operación de diferentes fabricantes, como se podrá observar para nuestras características de explotación y seleccionando siempre el diámetro máximo del impulsor, cada curva proporciona una eficiencia máxima de 77%, 79% y 83% respectivamente; por lo anterior se seleccionó el impulsor modelo 10 LC (Lámina No. 3C), con velocidad de operación de 1760 r. p. m., cuyo tazón tiene un diámetro nominal de 25.4 cm. (10") aproximadamente y que por lo tanto pasa libremente por la tubería de ademe de 30.48 cm. (12").

La curva A indica el diámetro máximo de fabricación del impulsor, la C el diámetro máximo de recorte y la B el corte medio y se emplean para ajustar el gasto y la carga.





En la curva del impulsor seleccionado en el di. m. A proporción 31.50 lps, contra una carga de 11.73 m. por tazón (C_T), con una eficiencia del 83%, por lo tanto: No. Pasos = $\frac{CDT}{C_T} = \frac{65.10}{11.73} = 5.6 = 6$ impulsores. Se requieren 6 impulsores en el cuerpo de tazones para que se pueda vencer la carga dinámica total.

4. - CALCULO DE LA POTENCIA TEORICA:

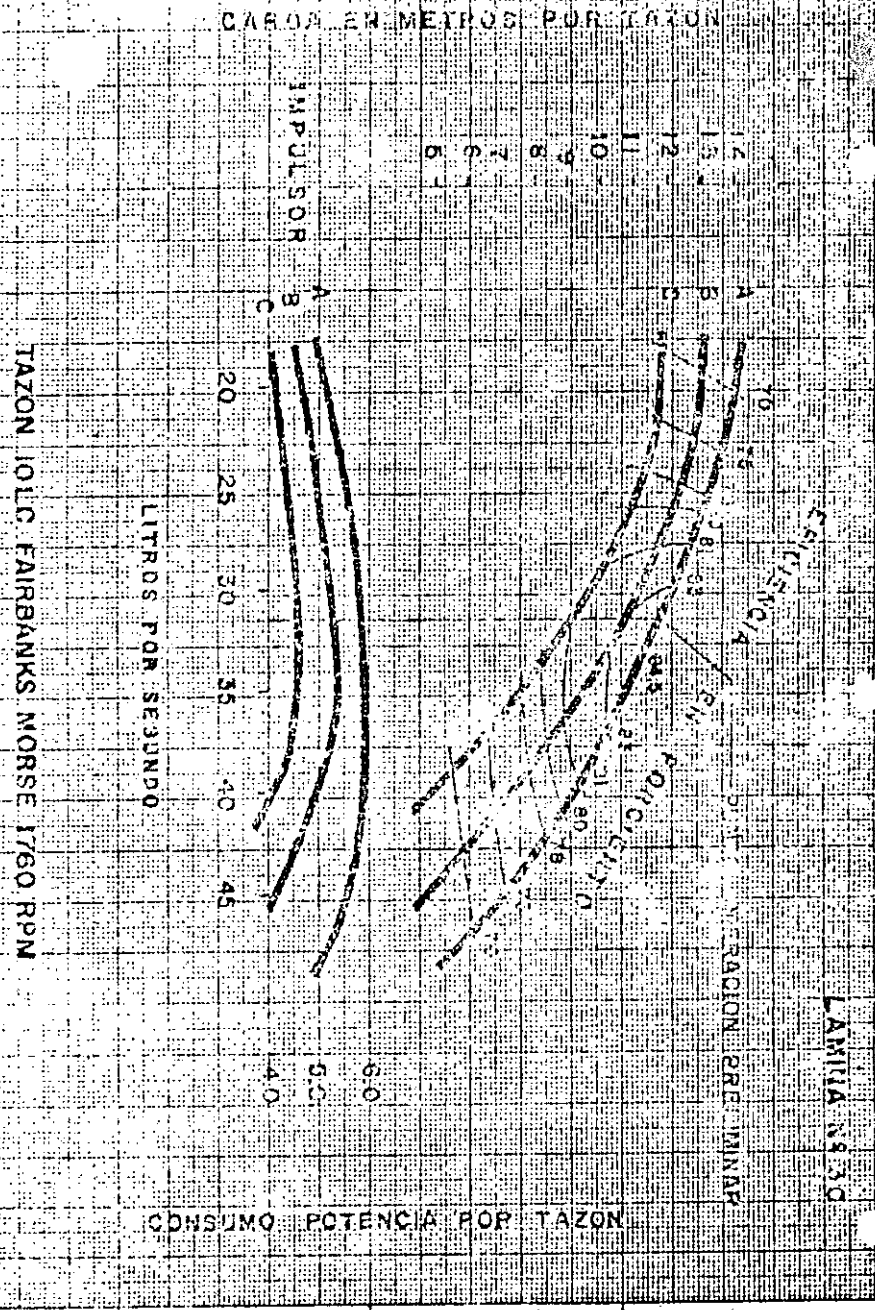
Para calcular la potencia que demandan los impulsores se utiliza la formula siguiente:

$$HP = \frac{Q \cdot CDT}{76 \cdot Ef} \cdot GE$$

- Q = Gasto en litros por segundo ó galones por minuto.
- CDT = Carga dinámica total en metros ó pies.
- Ef = Eficiencia en por ciento
- GE = Gravedad específica.
- 76 = Constante para obtener la potencia en H. P. ó 3960 en el sistema Inglés.

Como la carga dinámica total es tentativa, la potencia consumida será aproximadamente de:

$$HP = \frac{31.50 \times 65.10}{76 \times 0.83} \times 1 = 32.50$$



En la curva del impulsor seleccionado en el di. m. A proporciona 31.50 lps, contra una carga de 11.73 m. por tazón (C_T), con una eficiencia del 83%, por lo tanto: $No. Pasos = \frac{CDT}{C_T} = \frac{65.10}{11.73} = 5.6 = 6$ impulsores. Se requieren 6 impulsores en el cuerpo de tazones para que se pueda vencer la carga dinámica total.

4. - CALCULO DE LA POTENCIA TEORICA:

Para calcular la potencia que demandan los impulsores se utiliza la formula siguiente:

$$HP = \frac{Q \cdot CDT}{76 \cdot Ef} \quad GE$$

Q = Gasto en litros por segundo ó galones por minuto.

CDT = Carga dinámica total en metros ó pies.

Ef = Eficiencia en porciento

GE = Gravedad específica.

76 = Constante para obtener la potencia en H. P. ó 3960 en el sistema Inglés.

Como la carga dinámica total es tentativa, la potencia consumida será aproximadamente de:

$$HP = \frac{31.50 \times 65.10}{76 \times 0.83} \times 1 = 32.50$$

17

5. - SELECCION DEL DIAMETRO DE LA FLECHA: Conocida la potencia que consumen los impulsores, se procede a calcular el diámetro de la flecha que los accionará, misma que deberá soportar esta potencia a la velocidad de operación de la bomba, para lo cual se consulta la tabla de Selección de flechas (Lámina No. 4), que los fabricantes de bombas han elaborado, en donde se observa que a 1760 rpm, la flecha más adecuada es la de 2.54 cm. (1") de diámetro, ya que soporta hasta 48 H. P.

6. - SELECCION DE LA COLUMNA DE BOMBEO: Se determina en función del gasto y del valor mínimo de las pérdidas por fricción, mismo que se obtiene consultando la Lámina No. 5, en donde se observa que para los 31.50 lps (500 gpm) y flecha de 2.54 cm. (1"), la tubería de columna y tubo cubreflecha adecuados son de 15.24 cm. (6") y 3.8 cm. (1 1/2") de diámetro con 3.70 m. de pérdidas por fricción por cada 100 m. (o 3.70 pies por cada 100 pies).

7. - CALCULO DE LAS PERDIDAS POR FRICCION EN LA COLUMNA: Se tiene $h_f = 3.70$ m. por cada 100 m.

$$h_{fc} = 0.037 \times 57.95 = 2.14 \text{ m. (real)}$$

LAMINA Nº 4

TABLA DE SELECCION DE FLECHAS

18

Diámetro de flecha	CABALIAJE PERMISIBLE A UNA VELOCIDAD DE:										Empuje total en libras
	3500	2900	1760	1400	1170	960	800	700	580		
3/4"	38.0	31.5	18.0	15.7	12.5	10.2	9.3	7.6	6.3	2030#	
1"	96.0	79.5	48.0	39.5	31.7	26.0	23.5	19.2	15.8	3780#	
1-3/16"	163	135	81.5	67.0	53.0	44.5	40.0	32.4	27.0	5400#	
1-7/16"	290	241	145	121	96.0	80.0	72.0	58.0	48.0	7900#	
1-11/16"	530	440	265	220	175	144	130	106	87.5	11700#	
1-15/16"	740	610	365	305	242	202	181	147	121	14700#	
2-3/16"		900	545	455	360	300	270	220	181	19200#	
2-7/16"		1290	780	645	515	430	385	313	257	24400#	
2-11/16"			1060	890	700	580	525	430	355	30000#	
2-15/16"			1400	1170	930	770	690	565	465	36200#	

8. - CALCULO DE LA CARGA DINAMICA TOTAL REAL

CDT = CB + CAD
 CB = NB + h_{fc} = 52 + 2.14 = 54.14 m.
 CAD = 10.50 m. anteriormente calculado.

Por lo tanto, la carga dinámica total real será:

CDT = CB + CAD = 54.14 + 10.50 = 64.64 m.

9. - CARGA REAL POR TAZON: Carga real por tazón o carga por paso = $\frac{CDT}{No. \text{ pasos}} = \frac{64.64}{6} = 10.77 \text{ m.}$

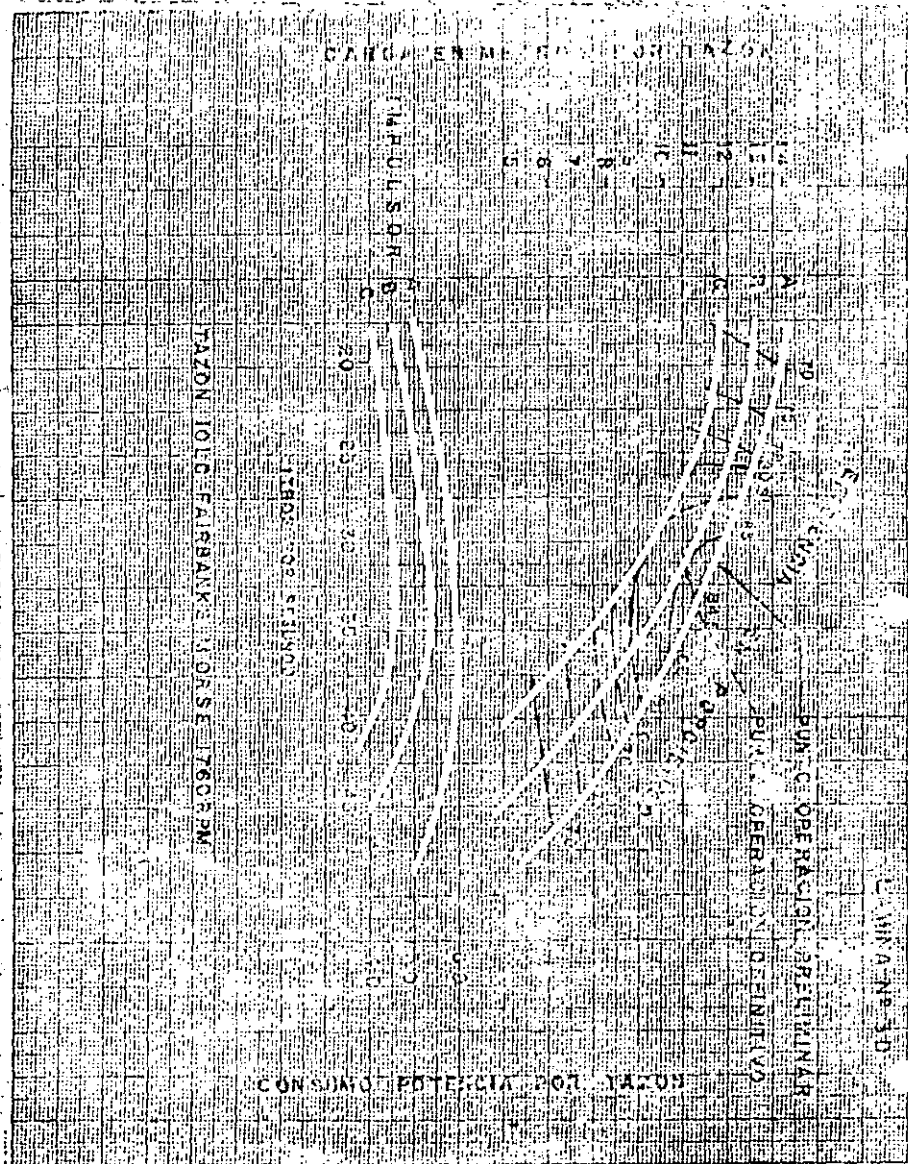
10. - POTENCIA REAL DEMANDADA. - Una vez determinada la carga real por tazón, nuevamente se consulta la curva de operación del impulsor seleccionado y en la intercepción de los valores de la carga por paso y del gasto, será el punto de operación, que para el presente ejemplo se localiza en la curva B, lo que significa que se tiene que recortar el diámetro del impulsor de la curva A a la B (Lámina No. 3D).

La eficiencia continúa siendo 83%, por lo tanto, la potencia real consumida por los seis tazones será:

HP = $\frac{Q \cdot CDT}{76 \times E_f} \cdot G_e = \frac{31.50 \times 64.64}{76 \times 0.83} \times 1 = 32.28$

PERDIDA POR FRICCION EN 100 PIES DE COLUMNA CON FLECHA INTERMEDIA CERRADA O ABIERTA PARA CAPACIDADES DE 10 A 1090 GALONES LE-CC A LA IZQUIERDA DE LA LINEA GRUESA PARA CAPACIDADES DE 1050 A 5000 GALONES LEASE A LA DERECHA DE LA LINEA GRUESA

COLUMNA STD.	3 STD.		4 STD.		5 STD.		6 STD.		8 STD.		10 STD.		12 STD.		COLUMNA STD.	FLECHA
	W	H	W	H	W	H	W	H	W	H	W	H	W	H		
15	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	15
16	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	16
17	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	17
18	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	18
19	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	19
20	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	20
21	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	21
22	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	22
23	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	23
24	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	24
25	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	25
26	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	26
27	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	27
28	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	28
29	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	29
30	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	30
31	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	31
32	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	32
33	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	33
34	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	34
35	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	35
36	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	36
37	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	37
38	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	38
39	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	39
40	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	40
41	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	41
42	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	42
43	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	43
44	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	44
45	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	45
46	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	46
47	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	47
48	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	48
49	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	49
50	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	50
51	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	51
52	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	52
53	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	53
54	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	54
55	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	55
56	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	56
57	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	57
58	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	58
59	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	59
60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	60
61	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	61
62	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	62
63	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	63
64	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	64
65	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	65
66	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	66
67	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	67
68	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	68
69	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	69
70	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	70
71	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	71
72	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	72
73	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	73
74	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	74
75	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	75
76	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	76
77	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	77
78	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	78
79	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	79
80	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	80
81	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	81
82	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	82
83	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	83
84	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	84
85	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	85
86	1.0	1.0	1.0	1.0	1											



11. - PERDIDAS DE POTENCIA EN LA FLECHA. - Tomando en consideración que existen pérdidas por fricción en la flecha que transmite la potencia del motor a los impulsores, -- éstas se obtendrán de la Lámina No. 6 en función de las revoluciones por minuto de la bomba y del diámetro de la flecha, por lo que a la potencia anterior deberá agregarse la pérdida por fricción, que es de 0.53 H. P. por cada 30.40 m. (100 - pies); de donde:

$$\text{Pérdida de potencia} = h_{HP} = \frac{57.95 \times 0.53}{30.40} = 1.00 \text{ HP.}$$

12. - CONSUMO TOTAL DE POTENCIA:

$$HP_t = HP + h_{HP} = 32.28 + 1.0 = 33.28$$

13. - SELECCION DEL MOTOR ELECTRICO. - En virtud que comercialmente no se encuentran motores con ésta capacidad, se escoge el motor eléctrico inmediato superior a la potencia requerida, que para nuestro caso será el de 40 HP., que trabajará a la velocidad de 1760 rpm., 440 volts, 4 polos, 3 fases, a prueba de goteo, con trinquete de no retroceso, etc.

14. - SELECCION DEL CABEZAL DE DESCARGA. - Se hace en función tanto del diámetro de la base del motor como de la columna de bombeo seleccionada; para el presente ejemplo un motor de 40 HP. tiene una base cuyo diámetro es de 41.91 cm. (16 1/2") (Lámina No. 7) y como el diámetro de la tubería de columna es de 15.24 cm. (6"), se tendrá que seleccionar un cabezal de descarga que tenga en la base superior 41.91 cm. (16 1/2") de diámetro y pueda recibir la columna de 15.24 cm. (6") es decir, será un cabezal Modelo 16 1/2" x 6".

De esta forma se ha seleccionado el equipo de bombeo adecuado a las condiciones de servicio solicitado; el cual estará integrado por lo siguiente (Lámina No. 8):

- Un motor eléctrico de 40 HP.
- Un cabezal de descarga Mod. 16 1/2" x 6"
- 57.95 m. (19 tramos) de columna de bombeo de 15.24 x 3.8 x 2.54 cm. (6" x 1 1/2" x 1").
- Un primer tazón Mod. 10LC Corte B.
- Cinco tazones adicionales Mod. 10LC Corte B.
- Un tubo de succión de 15.24 cm. (6") de diámetro y 3.05 m. (10') de longitud.
- Un colador cónico galvanizado de 15.24 cm. (6") de diámetro.

17a

PERDIDA DE POTENCIA EN LA FLECHA POR CADA 30.4 Mts. (100 pies) DE LONGITUD.

RPM.	DIAMETRO DE LA FLECHA.														
	1.9	2.54	3.01	3.81	4.28	4.92	5.5	6.15	6.82	7.46	8.10	8.75	9.39	10.03	10.67
PIE/IG.	3/4	1	1-3/16	1-1/2	4-11/16	1-15/16	2-3/16	2-7/16	2-11/16	2-15/16	3	3-1/4	3-1/2	3-3/4	4
3500	.62	1.1	1.45	2.2	2.8										
2900	.52	.88	1.3	1.8	2.3										
1760	.32	.53	.72	1.25	1.4	1.9	2.3	2.9	3.4	4.2					
1460	.26	.44	.61	.96	1.2	1.6	2.0	2.4	2.9	3.5					
1160	.21	.35	.48	.75	.94	1.2	1.5	1.9	2.3	2.7					
970	.29	.40	.61	.77	1.0	1.3	1.6	1.9	2.3	2.3					
870	.26	.36	.56	.69	.92	1.2	1.4	1.7	2.1	2.1					
730	.22	.31	.48	.58	.77	1.0	1.2	1.4	1.7	1.7					
690	.21	.29	.45	.55	.74	.92	1.13	1.32	1.61	1.61					
575	.17	.24	.38	.46	.61	.77	.95	1.10	1.34	1.34					
490	.15	.21	.32	.39	.52	.65	.81	.94	1.14	1.14					
430	.13	.18	.28	.34	.46	.57	.71	.81	1.00	1.00					
390	.12	.17	.26	.31	.42	.52	.64	.75	.91	.91					

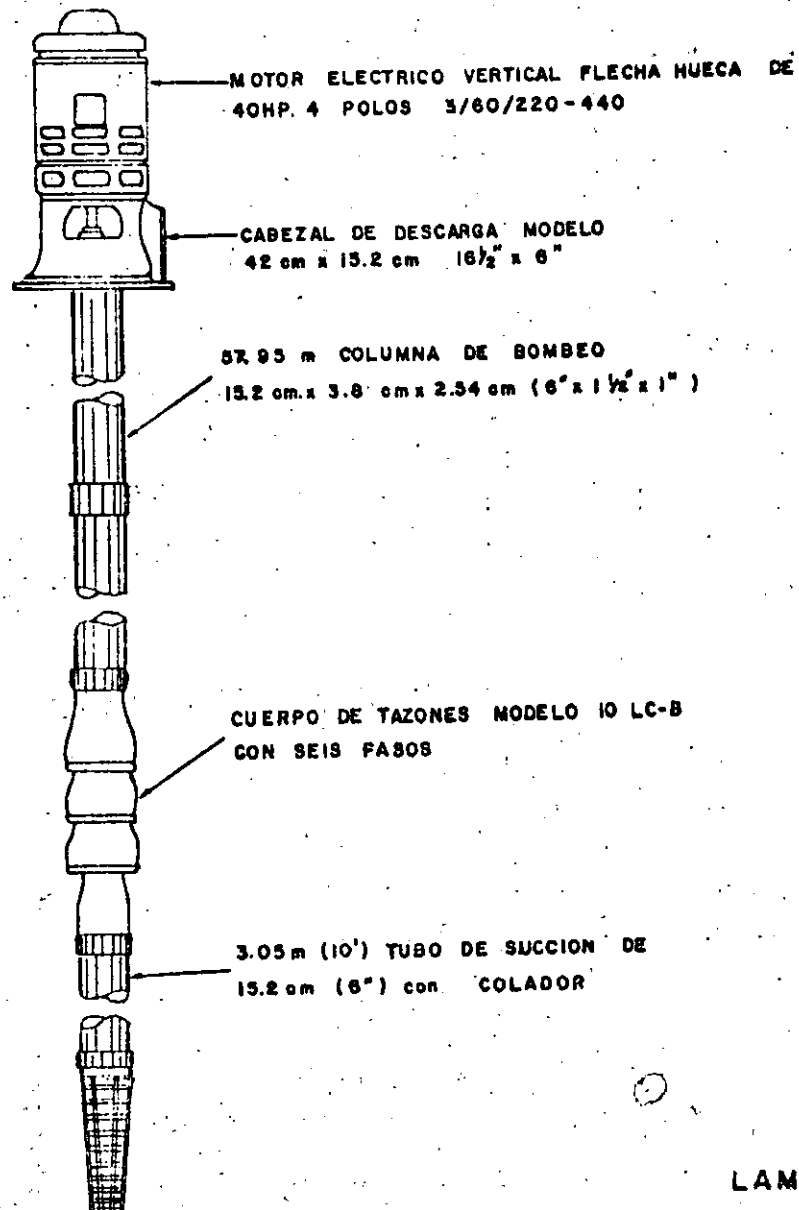
12a

12b

70B 220/440, 550 Volt

HP CP	RPM (Sinc)	Armazon	Modelo	Diámetro Paso (Pulg)		Empuje axial (Lbs)
				Normal	Altern	
1	3000/3600	215P	21KA102PX	10	—	300
	1500/1800	215P	21KA104PX	10	—	480
	1000/1200	215P	21KA106PX	10	—	660
	750/900	215P	21KA108PX	10	—	920
1 1/2	3000/3600	215P	21KA152PX	10	—	380
	1500/1800	215P	21KA154PX	10	—	590
	1000/1200	215P	21KA156PX	10	—	800
	750/900	215P	21KA158PX	10	—	1120
2	3000/3600	215P	21KA202PX	10	—	450
	1500/1800	215P	21KA204PX	10	—	690
	1000/1200	215P	21KA206PX	10	—	960
	750/900	215P	21KA208PX	10	—	1280
3	3000/3600	215P	21KA302PX	10	—	570
	1500/1800	215P	21KA304PX	10	—	870
	1000/1200	215P	21KA306PX	10	—	1200
	750/900	256UP	25KA308PX	10	—	1400
5	3000/3600	215P	21KA502PX	10	—	750
	1500/1800	215P	21KA504PX	10	—	1100
	1000/1200	256UP	25KA506PX	10	—	1500
	750/900	256UP	25KA508PX	10	—	1600
7 1/2	3000/3600	215P	21KA752PX	10	—	960
	1500/1800	256UP	25KA754PX	10	—	1400
	1000/1200	256UP	25KA756PX	10	—	1920
	750/900	A28GUP	28KA758PX	12	16 1/2	1800
10	3000/3600	256UP	25KA102PX	10	—	1100
	1500/1800	256UP	25KA104PX	10	—	1700
	1000/1200	A28GUP	28KA106PX	12	16 1/2	2280
	750/900	365UP	36KA108PX	16 1/2	20	2200
15	3000/3600	256UP	25KA152PX	10	—	1300
	1500/1800	A28GUP	28KA154PX	12	16 1/2	2000
	1000/1200	A32GUP	32KA156PX	12	16 1/2	2800
	750/900	365UP	36KA158PX	16 1/2	20	2400
20	3000/3600	A28GUP	28KA202PX	12	16 1/2	1500
	1500/1800	A28GUP	28KA204PX	12	16 1/2	2400
	1000/1200	32GUP	32KA206PX	16 1/2	20	3280
	750/900	365UP	36KA208PX	16 1/2	20	2800
25	3000/3600	A28GUP	28KA252PX	12	16 1/2	1650
	1500/1800	A32GUP	32KA254PX	12	16 1/2	2600
	1000/1200	A40SUP	40KA256PX	16 1/2	20	3680
	750/900	A40SUP	40KA258PX	16 1/2	20	3100
30	3000/3600	A32GUP	32KA302PX	12	16 1/2	1800
	1500/1800	A32GUP	32KA304PX	12	16 1/2	2700
	1000/1200	A40SUP	40KA306PX	16 1/2	20	4080
	750/900	A44SUP	44KA308PX	20	20	3500
40	3000/3600	A32GUP	32KA402PX	16 1/2	12	2000
	1500/1800	A365UP	36KA404PX	16 1/2	12	3400
	1000/1200	A44SUP	44KA406PX	20	16 1/2	4800
	750/900	A44SUP	44KA408PX	20	16 1/2	4400
50	3000/3600	A365UP	36KA502PX	16 1/2	12	3000
	1500/1800	A365UP	36KA504PX	16 1/2	12	3800
	1000/1200	A44SUP	44KA506PX	20	16 1/2	5360
	750/900	A44SUP	44KA508PX	20	16 1/2	4900
60	3000/3600	A365UP	36KAGG2PX	16 1/2	20	3000
	1500/1800	A40SUP	40KA604PX	16 1/2	20	4300
	1000/1200	A44SUP	44KA606PX	20	16 1/2	5800
	750/900	A40SUP	40KA752PX	16 1/2	20	3000
75	3000/3600	A40SUP	40KA754PX	16 1/2	20	4800
	1500/1800	A44SUP	44KA756PX	20	16 1/2	6720
	1000/1200	A44SUP	44KA104PX	20	16 1/2	5500
	750/900	A44SUP	44KA122PX	20	16 1/2	6300
100	1500/1800	A44SUP	44KA154PX	20	16 1/2	6900

BOMBA TURBINA VERTICAL
LUBRICADA POR ACEITE



22

13a

III. - EMPUJE TOTAL O AXIAL DE LA BOMBA:

Con el objeto de verificar que los baleros de carga del motor eléctrico soportarán el empuje total ó axial de la bomba, se procede a calcular su valor, el cual es la suma del empuje hidráulico más la carga estática o sea:

$$\text{Empuje total} = (K \times \text{CDT}) + (W \times S) + (K_a \times \text{No. de Pasos}).$$

Donde:

K = Factor de empuje de la bomba en lb/pie.

CDT = Carga dinámica total en pies.

W = Peso de la flecha en lbs.

S = Longitud de la columna en pies.

K_a = Factor por paso en lb/pie.

(K x CDT) = Empuje hidráulico.

(W x S) + (K_a x No. de pasos) = Carga estática.

(W x S) = Peso de la flecha

K_a x No. de pasos = Peso de los impulsores y la flecha de -

los impulsores.

En la fórmula anterior K, K_a y W son constante proporcionadas por cada fabricante de bombas. En la lámina No. 9 entrando con el modelo del impulsor seleccionado se determinan los valores de K y K_a. Sustituyendo valores en la fórmula, se tiene:

$$\text{Empuje total} = (9.0 \times 212.02) + (2.8 \times 190.0) + (11.2 \times 6) = -$$

2507.38 lbs.

Tamaño de bomba	Factor de empuje Hidráulico K	Factor por paso K _a
4 LC	1.2	2.0
4 MC	1.2	2.0
6 XLC	2.7	2.5
6 LC	3.2	2.5
6 MC	3.2	2.6
6 HC	3.3	2.6
7 MC	4.7	5.0
8 XLC	5.0	5.5
8 LC	6.0	5.5
8 MC	6.7	5.5
8 HC	7.2	5.5
10 XLC	8.2	10.8
10 LC	9.0	11.2
10 MC	9.3	11.3
10 HC	10.6	11.3
12 LC	13.2	18.0
12 MC	13.4	18.5
12 HC	15.5	19.5
14 LC	17.6	24.0
14 MC	18.5	30.0
14 HC	21.5	24.5
16 LC	19.5	34.5
16 MC	23.0	34.5
18 MC	35.0	46.00
20 MC	38.8	55.0

LAMINA Nº 9

FACTUR	
por columna	
Dímetro de flecha (Pulg.)	Peso (W) lb/ple
3/4	1.6
1	2.8
1-3/16	4.0
1-7/16	5.8
1-11/16	8.1
1-15/16	10.6
2-3/16	13.6
2-7/16	17.0
2-11/16	21.0
2-15/16	25.0

23

Este valor es menor al que soporta el balero de carga con que se surten estos motores y que resiste un máximo de 3400 lbs. (Lámina No. 7), lo que demuestra que la selección del equipo es correcta. En caso de que el empuje total hubiera sido mayor, habría la necesidad de suministrar el motor con baleros de mayor capacidad, o lo que es más común, un juego de dos baleros que aumentan la capacidad de carga original.

IV. - ALARGAMIENTO RELATIVO DE LA FLECHA. -

Por otra parte, cuando un equipo de bombeo está en operación sus flechas se alargan debido al empuje hidráulico, por lo que se debe calcular este alargamiento para compensarlo y permitir el juego axial requerido por los tazones, evitando que los impulsores rocen y se desgasten, lo que ocasionaría un aumento de potencia.

Para obtener el alargamiento relativo de una flecha, se utiliza la fórmula siguiente:

Alargamiento relativo = Alargamiento de la flecha menos el alargamiento de la columna.

$$\text{Alargamiento de la flecha} = \frac{\text{CDT} \times \text{S} \times \text{PE} \times \text{K}}{2'500,000 \times \text{As}}$$

$$\text{Alargamiento de la columna} = \frac{\text{CDT} \times \text{S} \times \text{PE} \times \text{Xc}}{2'500,000 \times \text{Ac}}$$

Donde:

CDT = Carga dinámica total en pies.

S = Longitud de la columna en pies

- PE = Peso específico del líquido (1.0 para el agua pura)
- K = Factor de empuje de la bomba en lb/pie.
- As = Área de la sección transversal de la flecha en pulg.²
- Xc = Constante de alargamiento de la columna (Peso neto del agua entre la columna y el tubo cubreflecha, menos el factor de empuje de la bomba).
- Ac = Superficie total de las secciones transversales de la tubería de columna y el tubo cubreflecha en pulg.²

Continuando con el ejemplo y substituyendo valores, se tiene:

$$\text{Alargamiento de la flecha} = \frac{\text{CDT} \times \text{S} \times \text{PE} \times \text{K}}{2'500,000 \times \text{As}} = \frac{212.02 \times 190 \times 1.0 \times 9.0}{2'500,000 \times 6.785}$$

$$\text{Alargamiento de la flecha} = 0.17 \text{ pulgadas}$$

Para determinar los valores de Xc y Ac, se consulta la Lámina No. 10, de donde se obtiene:

$$\text{Xc} = \text{Peso neto del agua entre la columna y el tubo cubreflecha menos el factor de empuje de la bomba} = 11.29 - 9.0 = 2.29 \text{ lb/pie.}$$

$$\text{Ac} = 6.65 \text{ pulg.}^2$$

Substituyendo estos valores, se tendrá:

$$\text{Alargamiento de la columna} = \frac{\text{CDT} \times \text{S} \times \text{PE} \times \text{Xc}}{2'500,000 \times \text{Ac}} = \frac{212.02 \times 190 \times 1 \times 2.29}{2'500,000 \times 6.65}$$

$$\text{Alargamiento de la columna} = 0.00554 \text{ pulgadas}$$

$$\text{Alargamiento relativo} = 0.17 - 0.00554 = 0.1645 \text{ pulgadas}$$

RELACION DEL PESO DEL AGUA EN LAS COLUMNAS DE BOMBEO

Columna tubo - cubreflecha en - pulg.	Peso del Agua en la tubería de columna en lbs/pie.	Peso del Agua desalojado por el tubo cubreflecha en lbs/pie.	Peso Neto del agua en la columna lbs/pie.	Superficie total de las secciones transversales de la tubería de columna y tubo cubreflecha. plg ² AC
2½x3/4	2.07	0.191	1.88	1.704
3x1¼	3.20	0.94	2.26	3.11
4x1¼	5.51	0.94	4.57	4.05
4x1½	5.51	1.22	4.29	4.24
4x2	5.51	1.93	3.58	4.65
5x1¼	8.66	0.94	7.72	5.18
5x1½	8.66	1.22	7.44	5.37
5x2	8.66	1.93	6.76	5.78
5x2½	8.66	2.81	5.85	6.56
6x1¼	12.51	0.94	11.57	6.46
6x1½	12.51	1.22	11.29	6.65
6x2	12.51	1.93	10.58	7.06
6x2½	12.51	2.81	9.70	7.84
6x3	12.51	4.17	8.34	8.60
6x3½	22.15	1.22	20.93	8.33
8x2	22.15	1.93	20.22	8.74
8x2½	22.15	2.81	19.34	9.52
8x3	22.15	4.17	17.98	10.28
8x3½	22.15	5.44	16.71	10.94
10x2	35.3	1.9	33.4	10.66
10x2"	35.3	2.8	32.5	11.44
10x3	35.3	4.1	31.2	12.20
10x3½	35.3	5.4	29.9	12.86
12x2½	49.7	2.8	26.9	15.14
12x3	49.7	4.1	45.6	15.90
12x3½	49.7	5.4	44.3	16.56
12x4	49.7	6.8	42.8	17.29
14x2½	59.7	2.8	56.9	18.31
14x3	59.7	4.1	55.5	19.07
14x3½	59.7	5.4	54.3	19.73
14x4	59.7	6.8	52.8	20.46

AREA EN plg² DE LA SECCION TRANSVERSAL DE LAS FLECHAS DE LINEA

3/4"	0.441
1"	0.785
1-3/16"	1.107
1½"	1.766
1-11/16"	2.235
1-15/16"	2.947
2-3/16"	3.756

LAMINA Nº 10

Una vez determinado el valor del alargamiento relativo de la flecha, se compara con el del juego axial del tazón seleccionado, el mismo -- que es proporcionado por los fabricantes de bombas (Lámina No. 11), que para el tazón Modelo 10 LC es de 0.375 pulg. = 0.952 cm., de donde:

$$0.375 > 0.1645$$

lo que indica que el diámetro de la flecha seleccionada es la adecuada.

Generalmente, se recomienda efectuar el cálculo del alargamiento relativo de la flecha en aquellos equipos de bombeo cuya longitud de columna sea mayor de 76 m. (250 pies), ó bien cuando la carga dinámica -- total sea mayor de 91 m. (300 pies).

V.- EQUIPO COMBUSTION INTERNA.

Por otra parte, si la bomba es accionada por un motor de -- combustión interna hay que considerar partes accesorias que constituyen la transmisión, la que puede ser por cabezal de engranes en ángulo recto y flecha flexible, o bien por banda y poleas. Normalmente se utiliza la transmisión por cabezal de engranes en ángulo recto y flecha flexible, por lo que -- continuando con el ejemplo, primeramente se deberá calcular la pérdida en H.P. que se tiene en la flecha flexible y en el cabezal de engranes, misma -- que según los fabricantes es de aproximadamente el 3% de la potencia total que demanda la bomba, o sea:

$$33.28 + 1 = 34.28 \text{ H.P.}$$

que es la potencia que tendrá que proporcionar el motor de combustión interna.

JUEGO AXIAL PERMITIDO POR LOS TAZONES

MODELO TAZON	Alargamiento permitido T4
10 LC	3/8" (0.375)
10 MC	5/16" (0.312)
10 HC	3/8" (0.375)
12LC	1/2" (0.500)
12 MC	No
12 HC	No
14 LC	5/8" (0.625)
14 MC	7/16" (0.437)
14 HC	No
16 LC	1/2" (0.500)
16 MC	7/16" (0.437)
18 MC	1/2" (0.500)

LAMINA N° 11

a). - SELECCION DEL MOTOR DE COMBUSTION INTERNA. -

En un motor de combustión interna hay que considerar varios tipos de pérdidas que lo afectan y cuyos valores son variables de una marca a otra, por lo que a la potencia (continua) nominal deberá deducirsele:

1. - Altitud. - 3.5% por cada 305 m. (1000') después de los primeros 305 m. (1000').
2. - Calidad del Combustible. - 2%.
3. - Temperatura. - 2% por cada 5.5° C arriba de 30° C de temperatura ambiente.
4. - Ventilador. - 7 HP.

b). - CALCULO DE LAS PERDIDAS DEL MOTOR DE COMBUSTION INTERNA. -

1. - Altitud. - Considerando la altitud del pozo a 1400 m. - - s. n. m.

$$1400 - 305 = 1095 \text{ m.}$$

$$\frac{1095}{305} = 3.5 \quad 3.5 \times 3.5 = 12.25 \%$$

2. - Calidad del Combustible 2.00 %
3. - Temperatura. - Considerando 35.5° C de temperatura ambiente 2.00 %
4. - Ventilador 7 HP

$$\text{Total de Pérdidas} = 7 \text{ HP} + 16.25 \%$$

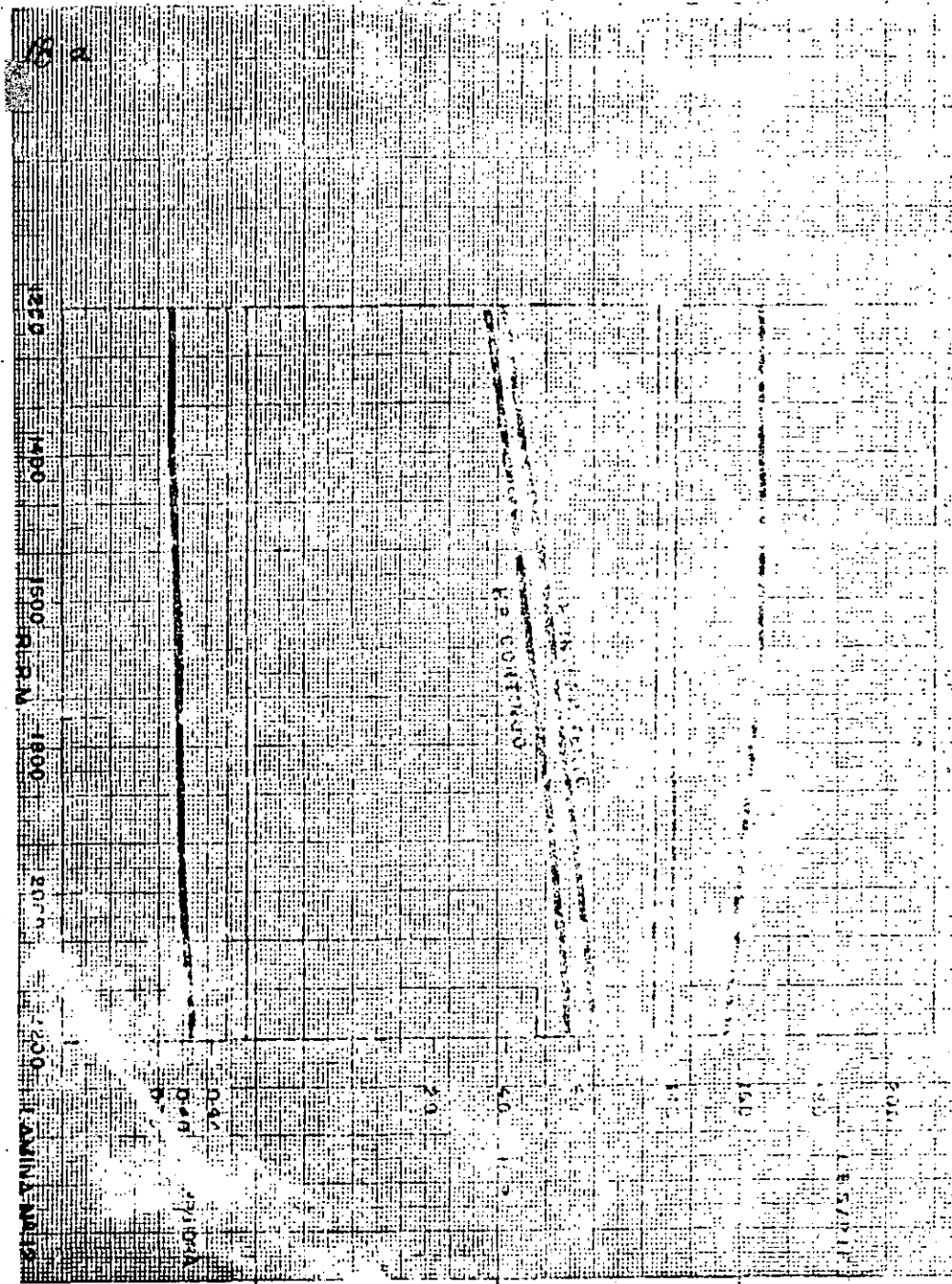
De acuerdo con lo anterior y dado que no se conoce la potencia nominal del motor (HPn), a la potencia efectiva que demanda la bomba - incluyendo las pérdidas por transmisión deberá agregársele las pérdidas -- antes mencionadas.

$$\text{HPn} = \frac{34.28}{100\% - 16.25\%} + 7 = \frac{34.28}{83.75\%} + 7 = 41 + 7 = 48.0$$

Con el dato de la potencia nominal, se consultan las curvas - de los motores de los diferentes fabricantes, procurando que el punto caiga en el tercio medio de la misma, ya que una velocidad menor daría como resultado la adquisición de un motor muy grande y costoso y que se carbonizaría fácilmente y una velocidad mayor acabaría prematuramente con el mismo, seleccionándose en esta forma el motor Marca Lister, Modelo HRW4 - que a la velocidad de 1,800 rpm proporciona los 48.0 HP. (Lámina No. 12).

c. - SELECCION DEL CABEZAL DE ENGRANES. -

Después de determinar la marca, el modelo y la velocidad -- del motor, se procede a seleccionar el cabezal de engranes, el que se escoge de acuerdo con la potencia total y la velocidad de la bomba. Como la potencia total es de 33.28 HP., y la velocidad de operación de 1760 rpm., en la Lámina No. 13 se tiene que el Modelo 31, proporcionar 40 HP a esta velocidad, cuya base tiene un diámetro de 16 1/2"., lo que obliga a utilizar un cabezal de descarga que tenga en la base superior este mismo diámetro, concluyendo que invariablemente el --

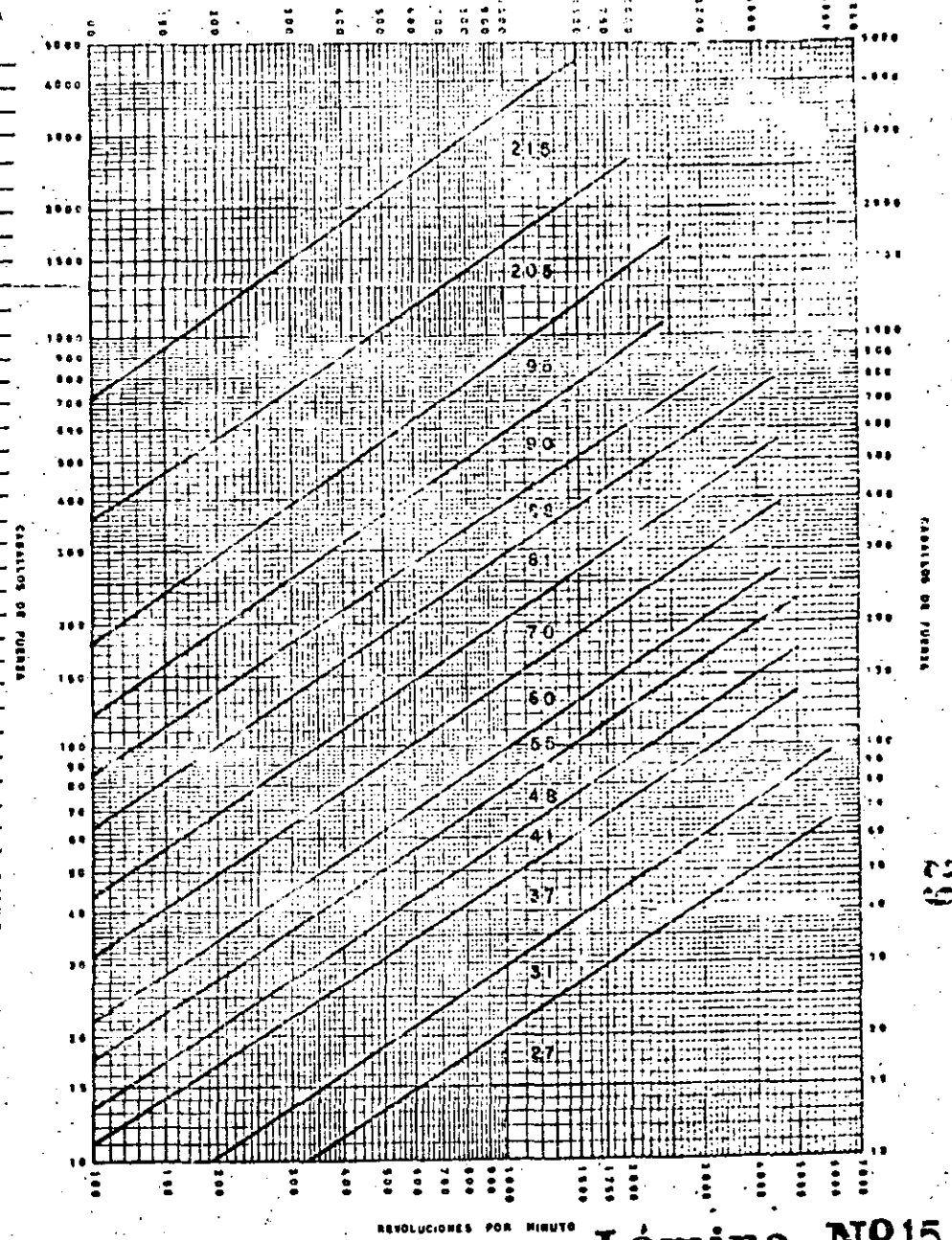


RELACION CAB. ENGRANADOS

RPM Motor	RPM, Bomba								
	3450	2900	2000	1760	1460	1160	970	870	730
500	1:1	6:5	7:4	2:1					
400									
300									
200	10:11	11:10							
100			7:4						
600	5:6		3:2						
500	5:6	1:1			2:1				
400	4:5								
300			4:3						
200	3:4	10:11		3:2	7:4				
100			5:4						
600	2:3	4:5	6:5	4:3					
500		3:4	11:10	5:4	3:2		2:1		
400				6:5		7:4			
300	4:7		1:1	11:10	4:3	7:4	2:1		
200		2:3	11:10						
100	1:2		10:11	1:1	5:4	3:2		2:1	
600		4:7	5:6		6:5	3:2		2:1	
500			4:5	10:11	11:10	4:3			
400		1:2	3:4	5:6	1:1			2:1	
300			4:5		6:5				2:1
200			2:3	3:4	10:11	11:10			
100			4:7	2:3	4:5	1:1			
600				3:4	10:11	11:10			
500			1:2	2:3	5:6	1:1	11:10		
400				1:2		1:1	5:4	4:3	
300					5:6	10:11	11:10	6:5	
200				1:2		4:5	10:11	1:1	
100					1:2	2:3	5:6	5:6	
600		4:7						3:4	

LAMINA Nº 14

TABLA PARA SELECCION DE PLECAJAS PERMANENTES
REVOLUCIONES POR MINUTO



REVOLUCIONES POR MINUTO Lámina Nº 15



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

EQUIPO ELECTRICO

ING. LEANDRO MONTES LARIOS

ABRIL ,1985

I N D I C E

1

PAG.

Apartarrayos	22
Arrancador	23
Arrancador Magnético	29
Arrancador Manual	26
Arrancador a Tensión Plena	24
Arrancador a Tensión Reducida	24
Cálculo del Conductor Eléctrico	42
Cables en Paralelo	39
Capacidad del Transformador	19
Conductores Eléctricos	35
Conductores Eléctricos Sumergibles	35
Conexión Delta Estrella del Transformador	17
Consejos para la conservación de Arrancadores y Motores	52
Cuchilla Fusible	20
Diagrama Unifilar	49
Determinación de la Potencia consumida por un Motor	9
Equipo de Control y Protección	23
Instrumentos de Medición	50
Interruptor	31
Interruptor de Fusibles	32
Interruptor Termomagnético	32
Interruptor Electromagnético	32
Motor Hírozontal	5
Motor Monofásico	1
Motor Sumergible	5
Motor Trifásico	1
Motor Vertical	5
Partes de Equipo Eléctrico	48
Partes Principales del Transformador	17
Principio de Operación del Motor	3
Regulación	41
Selección de la Capacidad del Motor Vertical	6
Selección de la Capacidad del Motor Sumergible	8
Subestación Eléctrica	15
Tabla de Capacidad de Corriente de Conductores TW y THW	36
Tabla de Características del Conductor Sumergible	38
Tabla para selección de tubo conduit	40
Tabla para determinar conductor para motor vertical horizontal ..	44
Tabla para determinar conductor para motor sumergible	46
Tabla para selección de Equipo de control y transformador	34
Tipos de motores	1
Transformador Eléctrico	15
Tubo Conduit	39
Velocidad del Motor	3

TIPOS DE MOTORES ELECTRICOS

MOTOR ELECTRICO DE INDUCCION. - El motor eléctrico de inducción recibe éste nombre porque opera bajo el principio de inducción electromagnética y se define como una máquina que transforma la energía eléctrica en energía mecánica.

El motor de inducción es conocido también como motor "asíncrono" porque no llega a desarrollar la velocidad "síncrona" que no puede ser alcanzada por el motor por ser la velocidad de las ondas electromagnéticas.

El motor eléctrico compite ventajosamente con el de combustión interna por tener una vida económica mucho mayor, por su alta eficiencia, por su costo, operación y mantenimiento más bajos, puede ser monofásico o trifásico de rotor devanado o de jaula de ardilla, de 2 ó varios polos según la velocidad y frecuencia de operación.

MOTOR MONOFASICO. - Es utilizado en potencias pequeñas cuando la alimentación disponible así sea.

MOTOR TRIFASICO. - Es el más usado, se fabrica desde 1/4 HP hasta potencias mayores de 2000 HP, la ventaja sobre el monofásico

es la de demandar menor corriente.

MOTOR DE ROTOR DEVANADO. - Recibe éste nombre porque está devanado, se construye por paquetes de láminas troqueladas y ranuradas montadas sobre la flecha, las bobinas se devanan sobre las ranuras, su arreglo depende del número de polos y fases.

MOTOR DE ROTOR JAULA DE ARDILLA. - El 90% de la fabricación de motores es rotor jaula de ardilla y recibe este nombre debido a que tiene la forma de una jaula de ardilla, en éste caso el bobinado está constituido por barras fundidas de aluminio quedando unidas entre sí en corto circuito.

ELEMENTOS QUE FORMAN UN MOTOR DE INDUCCION. - Básicamente el motor de inducción está formado por los siguientes elementos:

- a). - Estator
- b). - Rotor
- c). - Carcaza

ESTATOR. - El estator representa una de las partes del circuito magnético, está formado por paquetes de láminas de acero al silicio troqueladas y ranuradas con objeto de que el bobinado del estator pueda

alojarse en las ranuras, a semejanza del transformador el estator forma el circuito primario.

ROTOR. - Es la parte móvil del motor y la que transmite por medio de la flecha la energía mecánica a la carga, en forma análoga al transformador representa el circuito secundario.

CARCAZA. - Recibe también el nombre de soporte o envolvente por ser el elemento que contiene al estator y rotor.

PRINCIPIO DE OPERACION DEL MOTOR ELECTRICO DE INDUCCION

Si se aplica tensión a las terminales del estator, se produce una fuerza magnetomotriz uniforme y giratoria. Si por ejemplo, el rotor es "jaula de ardilla", en cada barra se induce una fuerza magnetomotriz de sentido opuesto que hace circular una corriente produciéndose un par que hace girar al rotor.

VELOCIDAD DEL MOTOR. - La velocidad del motor depende únicamente de la frecuencia y del número de polos, se calcula con la fórmula de la velocidad síncrona.

$$N_s = \frac{120 f}{p}$$

D o n d e ;

N_s Es la velocidad síncrona en revoluciones por minuto (rpm).

f Es la frecuencia en ciclos por segundo (cps)

p Es el número de polos.

Así por ejemplo si el número de polos es 2 para 60 cps:

$$N_s = \frac{60 \times 120}{2} = 3600 \text{ rpm.}$$

DESLIZAMIENTO. - El deslizamiento se define como la diferencia entre la velocidad síncrona y la velocidad del rotor, se expresa en porciento por medio de la fórmula siguiente:

$$\% S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100$$

D o n d e :

N_s Es la velocidad síncrona en rpm.

- Nr. Es la velocidad del rotor en rpm.
- $\% S$ Es el porcentaje de deslizamiento (el máximo permisible es del 15%).

MOTOR HORIZONTAL. - El motor horizontal es el más común y se llama así por la posición de la flecha que es paralela con respecto a su base.

MOTOR VERTICAL. - El motor vertical tiene la flecha normal a su base. se construye de flecha sólida ó hueca siendo el de flecha hueca el más empleado, se utiliza para accionar bombas verticales de turbina, para evitar la rotación inversa de la bomba tiene trinquete de no retroceso.

La potencia nominal de los motores horizontales y verticales que se construyen bajo Normas Americanas es la potencia al freno es decir la que entregan en la flecha, por lo que la potencia total desarrollada es la que resulta de dividir la potencia nominal entre la eficiencia.

MOTOR SUMERGIBLE. - El motor eléctrico sumergible va unido en la succión de la bomba por medio de un cople rígido de acero inoxidable, trabaja con una carga de agua en su interior independiente del agua del pozo para lubricar las chumaceras y refrigerar las bobinas, el

devanado de las bobinas está hecho con alambre de cobre aislado a prueba de agua.

En los motores eléctricos sumergibles construidos bajo Normas Europeas, la potencia nominal es la potencia total desarrollada, por lo que debe multiplicarse la potencia nominal o dividirse la potencia requerida por la eficiencia del motor para seleccionar su capacidad.

FACTOR DE SERVICIO. - La potencia nominal de la placa del motor multiplicada por el factor de servicio, es una indicación que marca la carga total que puede soportar sin daño, cuando opera a la tensión, frecuencia y temperatura nominales.

SELECCION DE LA CAPACIDAD DEL MOTOR ELECTRICO

Considerando los siguientes datos:

Gasto = 50 lps

Carga dinámica total = 103 m.

Eficiencia = 75%

a). - Motor eléctrico vertical. -

La potencia requerida por la bomba en HP para los datos anteriores se calcula por medio de la fórmula siguiente:

$$HP_{req} = \frac{Q \times C.D.T.}{76 \times E}$$

D o n d e :

Q Es el gasto en lps

CDT Carga dinámica total

E Eficiencia de la bomba

76 Constante para obtener HP

$$HP_{req} = \frac{50 \times 103}{76 \times 0.75} = 90.35$$

En base al cálculo anterior el motor adecuado es de 100 HP, considerando la eficiencia del 90% la potencia total desarrollada será.

$$HP_T = \frac{100}{0.9} = 111.11$$

Pero como la potencia requerida es de 90.35 HP la potencia total desarrollada por el motor de 100 HP es:

$$HP_T = \frac{90.35}{0.9} = 100.38$$

b). - Motor Eléctrico Sumergible

Partiendo de la potencia requerida del cálculo anterior, -- según las eficiencias siguientes se tiene:

El motor de 100 HP tiene una eficiencia del 86%.

El motor de 125 HP tiene una eficiencia del 87%.

Multiplicando la eficiencia por la potencia se obtiene la potencia al freno es decir en la flecha.

$$HP = 100 \times 0.86 = 86$$

$$HP = 125 \times 0.87 = 108.75$$

Dividiendo la potencia requerida entre la eficiencia del motor se obtiene la potencia nominal.

$$HP = \frac{90.35}{0.86} = 105.05$$

$$HP = \frac{90.35}{0.87} = 103.85$$

Como se observa el motor adecuado es el de 125 HP.

DETERMINACION DE LA POTENCIA CONSUMIDA POR UN MOTOR ELECTRICO

El medio más exacto de obtener la potencia consumida por un motor es con un Wattmetro, haciendo la conversión a HP, pero si no se cuenta con este instrumento puede calcularse en forma muy aproximada -- determinando la corriente en Amperes y el voltaje en volts con un Voltampermetro.

EJEMPLO No. 1

En un motor de 100 HP se obtuvieron las siguientes lecturas:

CON EL VOLTAMPERMETRO

Voltaje E = 452 Volts
Corriente I = 99.7 Amp.

CON EL WATTMETRO

POTENCIA TOTAL DESARROLLADA

$$P = 68.5 \text{ KW}$$

POTENCIA REACTIVA

$$P = 32.36 \text{ KVAR}$$

CONVERSION DE KW A HP

$$\text{HP} = \frac{\text{KW}}{0.746} \times \text{N}$$

$$\text{HP} = \frac{68.5}{0.746} \times 0.9 = 82.64$$

Con los valores de potencia obtenidos con el Wattmetro se calcula la potencia aparente en KVA y el factor de potencia.

POTENCIA APARENTE

$$\text{KVA} = \sqrt{\text{KW}^2 + \text{KVAR}^2}$$

$$\text{KVA} = \sqrt{(68.5)^2 + (32.36)^2} = \sqrt{4692.25 + 1047.16} = 75.75$$

FACTOR DE POTENCIA

$$\text{FP} = \frac{\text{KW}}{\text{KVA}} = \frac{68.5}{75.75} = 0.9$$

Para determinar la potencia con los datos de corriente y --
voltage se pueden emplear las siguientes fórmulas:

POTENCIA TOTAL DESARROLLADA

$$P = \frac{\sqrt{3} \times E \times I \times FP}{1000} = KW \quad \dots\dots (1)$$

POTENCIA NOMINAL Y CONVERSION DE KW A HP

$$HP = \frac{KW}{0.746} \times N \quad \dots\dots (2)$$

POTENCIA NOMINAL EN HP

$$HP = \frac{\sqrt{3} \times E \times I \times N \times FP}{746} \quad \dots\dots (3)$$

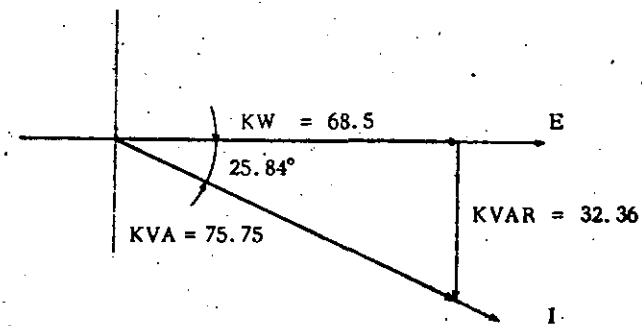
USANDO 1 Y CONSIDERANDO FP = 0.85

$$P = \frac{1.73 \times 452 \times 99.7 \times 0.85}{1000} = 66.27 \text{ KW}$$

USANDO 2

$$HP = \frac{66.27}{0.746} \times 0.9 = 79.95$$

DIAGRAMA DE POTENCIAS



$$FP = \cos 25.84^\circ = 0.9$$

EJEMPLO No 2

En un motor de 200 HP se obtuvieron las siguientes lecturas:

CON VOLTAMPERMETRO

$$\begin{aligned} E &= 450V \\ I &= 201.4A \end{aligned}$$

CON WATTMETRO

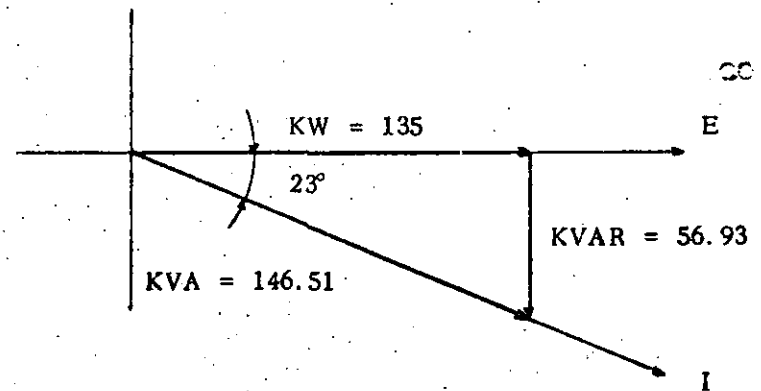
$$\begin{aligned} P &= 135 \text{ KW} \\ \text{HP} &= 162.86 \\ P &= 56.93 \text{ KVAR} \\ \text{KVA} &= 146.51 \\ \text{F.P.} &= 0.92 \end{aligned}$$

POTENCIA TOTAL DESARROLLADA

$$P = \frac{1.73 \times 450 \times 201.4 \times 0.85}{1000} = 133.27 \text{ KW}$$

$$\text{HP} = \frac{133.27}{0.746} \times 0.9 = 160.78$$

DIAGRAMA DE POTENCIAS



$$\text{FP} = \cos 23^\circ = 0.92$$

SUBESTACION ELECTRICA

Una subestación eléctrica es el conjunto de equipos o dispositivos que permiten cambiar las características de la energía eléctrica (voltaje, corriente, etc.).

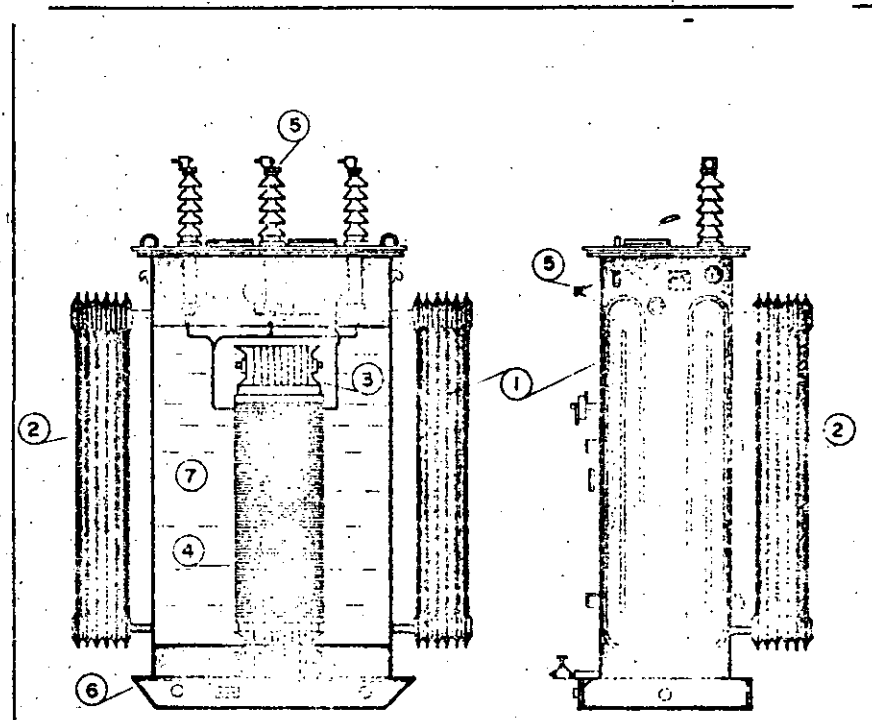
ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UNA SUBESTACION. --

La subestación la constituyen el transformador, las cuchillas, interruptor, apartarrayos, pararrayos, aisladores, postes, estructuras, etc.

TRANSFORMADOR ELECTRICO. - Un transformador es --

una máquina que transfiere energía eléctrica de un circuito a otro conservando la frecuencia constante, bajo el principio de inducción electromagnética.

Los transformadores se construyen con aceite ó secos, con enfriamiento por aire; por aceite ya sea natural o forzado por medio de bombas y ventiladores, el enfriamiento más empleado es el de aceite con enfriamiento natural, en éste tipo el aceite circula por convección natural dentro de un tanque provisto de enfriadores o radiadores tubulares.



PARTES ESENCIALES DEL TRANSFORMADOR

- 1.- TANQUE
- 2.- TUBOS RADIADORES
- 3.- NUCLEO (CIRCUITO MAGNETICO)
- 4.- DEVANADOS
- 5.- BOQUILLAS O AISLADORES DE PORCELANA
- 6.- BASE PARA DESLIZAR
- 7.- REFRIGERANTE

PARTES PRINCIPALES DEL TRANSFORMADOR

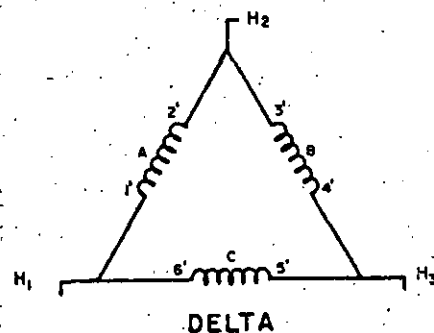
- a). - Núcleo o circuito magnético.
- b). - Devanados.
- c). - Aceite refrigerante y aislante.
- d). - Tanque o recipiente.
- e). - Boquillas de baja y alta tensión.
- f). - Taps o cambiador de derivaciones.
- g). - Tubos radiadores.

Los transformadores pueden ser monofásicos o trifásicos, de uno ó varios voltajes en el primario y secundario con conexiones Delta Estrella, Estrella Delta, Delta Delta, Estrella Estrella, etc, el más usado para equipos de bombeo es el trifásico, conexión Delta Estrella.

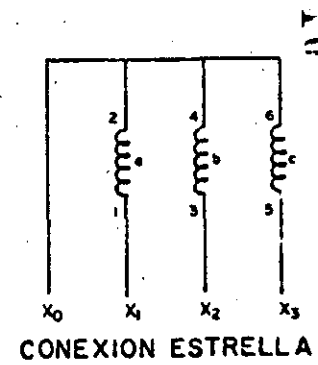
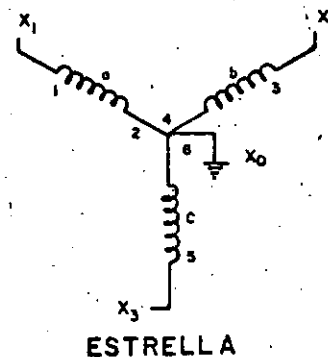
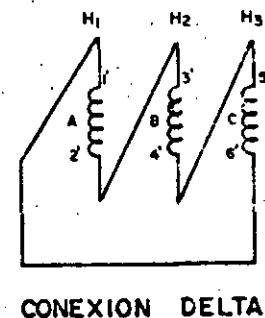
CONEXION DELTA ESTRELLA. - Es un arreglo que se hace en los devanados de los transformadores y se emplea porque pueden obtenerse dos voltajes diferentes sin hacer cambios en las conexiones de los devanados.

- H_1, H_2, H_3 . - Terminales de la conexión delta en alta tensión.
- A , B , C . - Devanados de alta tensión.
- 1' , 3' , 5' . - Principio de bobinas de los devanados de alta tensión.
- 2' , 4' , 6' . - Final de bobinas de los devanados de alta tensión.
- X_1, X_2, X_3 . - Terminales de la conexión estrella en baja tensión.

SIMBOLOS



DIAGRAMAS



CONEXION DELTA ESTRELLA

X0. - Terminal del neutro o punto común de la conexión estrella.

a , b , c. - Devanados de baja tensión

1 , 3 , 5. - Principio de bobinas de los devanados de baja tensión.

2 , 4 , 6. - Final de bobinas de los devanados de baja tensión.

Si el valor del voltaje es 440 volts entre cualquier par de terminales, por ejemplo: $X_1 - X_2$, el voltaje entre cualquier terminal y neutro será 254 volts por ejemplo: $X_1 - X_0$, si el voltaje es 220 volts entre $X_1 - X_2$, entre $X_1 - X_0$, será 127 volts.

La razón es que en un sistema trifásico estrella el voltaje entre fases llamado "voltaje de línea" debe dividirse entre $\sqrt{3}$ para obtener el voltaje de fase.

CAPACIDAD DE UN TRANSFORMADOR PARA UN MOTOR - ELECTRICO. - Normalmente se considera que un 1HP = 1 KVA pero si se desea conocer estrictamente la capacidad en KVA se parte de la equivalencia de 1 HP en Watts utilizando la fórmula siguiente:

$$KVA = \frac{HP \times KW}{FP \times N}$$

Donde:

KVA Es la potencia aparente en Kilovolt - Amperes.

KW Es la potencia real en Kilowatts.

FP Es el factor de potencia del motor (85% mínimo -- aceptable).

N Es la eficiencia del motor (90%)

HP Es la potencia en caballos = 746 Watts.

Así por ejemplo para 100 HP utilizando la fórmula.

$$KVA = \frac{100 \times 0.746}{0.85 \times 0.9} = 97.5$$

Partiendo de la igualdad de 1 HP = 1 KVA el transformador requerido es de 100 KVA pero como el transformador comercial es de 112.5 KVA se selecciona éste.

CUCHILLAS FUSIBLE. - Las cuchillas desconectadoras fusible sirven para proteger al transformador contra corriente excesiva, -- provocada por sobrecarga o corto circuito, además sirven para conectar -- o desconectar el transformador de la línea de alta tensión.

INTERRUPTOR. - En subestaciones de plantas de bombeo se

CAPACIDAD DEL LISTON FUSIBLE PARA USARSE
EN DESCONECTADORES FUSIBLE. PARA TRANS
FORMADORES TRIFASICOS EN VOLTAJES DE:

13.2, 22 y 33 KV.

KVA DEL TRANSFORMADOR	AMPERES DEL FUSIBLE		
	13.2 KV	22 KV	33 KV
15	2	1.5	1
30	3	2	1.5
45	5	3	2
50	5	3	2
75	7	5	3
112.5	10	7	5
150	15	7	5
225	20	10	10
300	20	15	10

hace necesario contar con un medio de desconexión para los casos en que se requiera desenergizar la subestación por reparación o siniestro en las instalaciones, este medio de desconexión debe ser capaz de abrir con carga y ésto se logra con un interruptor.

APARTARRAYOS. - El equipo eléctrico debe estar protegido contra sobretensiones de origen atmosférico que se originan con las -- descargas atmosféricas, ésta protección se logra con el apartarrayos cuya función es la de descargar a tierra la corriente que se produce en una descarga aún, cuando ésta no caiga sobre la línea eléctrica de alta tensión ya que por el fenómeno de inducción se inducen sobrevoltajes en la línea cu--yas ondas viajan a la velocidad de la luz en ambas direcciones de la línea.

PARARRAYOS. - El pararrayos es una punta aguda de me-
tal buen conductor que se instala en las partes más elevadas (edificios, -
torres, postes, etc.). para atraer el rayo y proteger al equipo contra descargas directas.

AISLADORES. - Para mantener un buen aislamiento entre -
las partes energizadas y tierra se utilizan los aisladores que se construyen
de porcelana u otros materiales altamente resistentes al paso de la co- --
rriente.

EQUIPO DE CONTROL Y PROTECCION

Las instalaciones eléctricas deben estar provistas de elementos detectores de situaciones anómalas de operación, que puedan evitar que éstas lleguen a destruirse o dañarse ocasionando interrupción del servicio e inversiones por reparación; las instalaciones con motores eléctricos se controlan y protegen por medio de arrancadores e interruptores.

ARRANCADOR. - El arrancador como su nombre lo indica, sirve para poner en marcha un motor así como para detenerla, todo motor de más de 10 HP debe estar provisto de un arrancador, los arrancadores protegen a los motores contra sobrecargas por medio de elementos térmicos o magnéticos a través de relevadores de sobrecarga que efectúan el paro del motor.

El arrancador es capaz de interrumpir una corriente diez veces mayor que la nominal del motor a plena carga, pero las corrientes debidas a fallas de corto circuito son mucho mayores. Por ello, el circuito debe estar siempre protegido por medio de fusibles o interruptores automáticos, éstos deben instalarse antes del arrancador.

Los arrancadores se construyen manuales y automáticos a tensión plena y tensión reducida, para equipos de bombeo se utilizan los automáticos a tensión reducida.

ARRANCADOR A TENSION PLENA. - Estos arrancadores son los más sencillos pues constan de un contacto o contactor y un relevador de sobrecarga, se usan cuando se requiere un par elevado al arranque y la corriente tomada no es excesiva para la línea de alimentación, en motores pequeños o motores con corriente de arranque reducida ya que los motores de inducción en el arranque toman de 6 a 10 veces la corriente de plena carga causando con ello caídas de Voltaje en la línea de alimentación, haciendo que los motores instalados en el mismo sistema saigan de operación al bajarse el voltaje.

ARRANCADOR A TENSION REDUCIDA. - Este arrancador limita la corriente de arranque reduciendo el par de arranque, es el más usado, se construyen 4 tipos que son:

- a). - Tipo autotransformador.
- b). - Tipo de resistencias primarias.
- c). - Tipo devanado bipartido.
- d). - Tipo estrella delta.

ARRANCADOR A VOLTAJE REDUCIDO TIPO AUTOTRANSFORMADOR. - Es el tipo más usado por tener más ventajas, consta generalmente de 2 autotransformadores conectados en delta abierta con derivaciones de voltaje al 50, 65 y 80% de la tensión de línea, los fabricantes

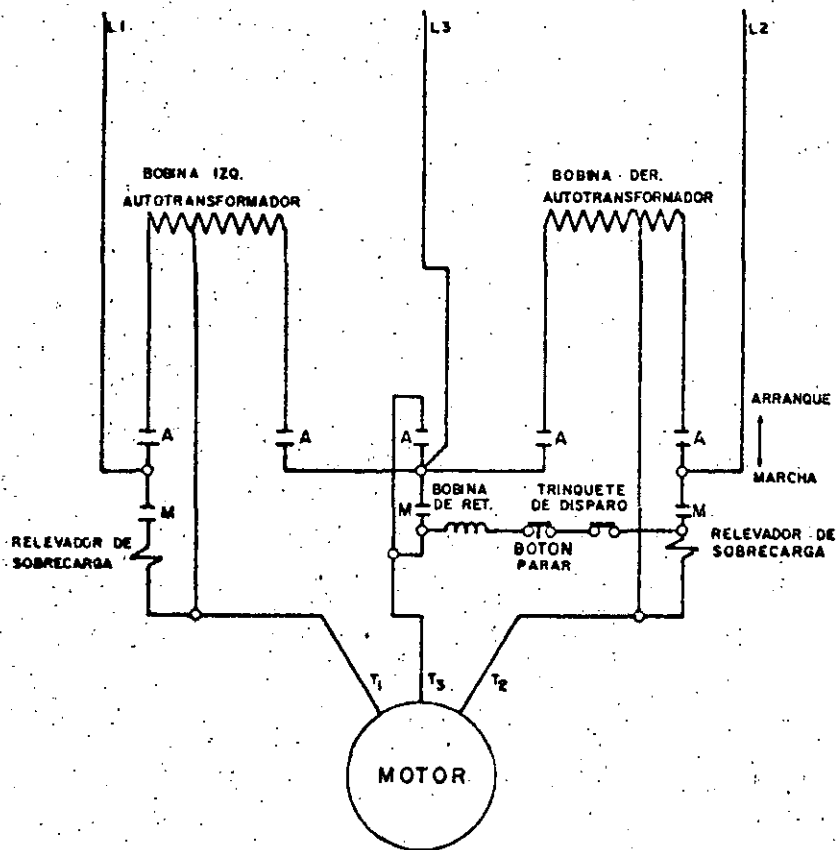


DIAGRAMA ELECTRICO DEL
ARRANCADOR MANUAL

los suministran en la derivación del 65%.

Las características de éstos arrancadores son: corriente de arranque reducida, par de arranque bajo y prácticamente constante, -- potencia absorbida pequeña y factor de potencia bajo.

Se construyen arrancadores de autotransformador manuales y automáticos, en los manuales, los contactos están sumergidos en aceite y se accionan por una palanca que se acciona desde el exterior de la caja, constan de 5 contactos de arranque A y 3 de marcha M.

El arrancador automático consta de un contactor de arranque de 5 contactos 2A y un contactor de marcha con 3 contactos M. cuando se oprime el botón de arranque el contactor de arranque acciona conectando el autotransformador tomando el motor la tensión reducida, el contactor acciona también un relé de tiempo el que después de que el motor acelera desconecta el contactor de arranque y conecta el de marcha, quedando fuera el autotransformador y el motor directo a la línea a través del relevisor de sobrecarga.

ARRANCADOR MANUAL. - El arrancador manual consta básicamente de 3 bobinas de autotransformador (una para cada alimentador), contactos de arranque, contactos de marcha, dispositivos de protec

ción y su palanca de operación. Cada una de las bobinas del autotransformador tiene derivaciones para reducir la tensión de arranque al 80%, 65% y 50% de la tensión plena. La derivación usada deberá proveer el par requerido a la mínima corriente de arranque.

Para operar éste arrancador, se mueve la palanca a la posición de "arranque" y se mantiene en esa posición (7 - 13 seg.) conectando el motor a través del autotransformador; posteriormente se pasa la palanca a la posición de "marcha" donde se mantiene indefinidamente sostenida por una bobina de retención, en esta posición el autotransformador es sacado de la línea de alimentación y el motor queda conectado a tensión plena. La bobina de retención se conecta en serie con el contacto del relevador de sobrecarga, de manera que cuando actúa éste, desconecta la bobina, la cual hace que la palanca vuelva a su posición de "desconectado".

Para desconectar el motor, basta con oprimir el botón de "paro" el cual desconecta la bobina de retención. Los contactos en este tipo de arrancador están sumergidos en aceite con objeto de evitar el flaqueo. También hay arrancadores en aire, los cuales en lugar de contactos tienen un interruptor de doble tiro.

La mayoría de los arrancadores de este tipo, usan en la actualidad dos bobinas de autotransformador. En éstos arrancadores, ca

da una de las bobinas se conecta en serie con dos de las líneas, formando una conexión equivalente a una delta abierta.

ARRANCADOR MANUAL A VOLTAJE REDUCIDO. - Estos arrancadores están contruidos para usarse con motores "jaula de ardilla", cuya potencia no permite el arranque a pleno voltaje, debido a que la corriente sería excesiva y causaría un descenso repentino del voltaje, que perturbaría a los conectados en el mismo circuito, haciéndolos salir de su operación; actualmente se protegen contra sobrecarga y bajo voltaje, con relevadores con protección en las 3 fases y bobina de cierre.

CAPACIDAD DE ACEITE Y PESO DE LOS ARRANCADORES MANUALES

TAMAÑO	HP	Lt	PESO Kg
2	15 - 30	8	45
3	30 - 50	12	85
5	60 - 200	23	140
5M	250 - 300	23	235

ARRANCADOR MAGNETICO - En los arrancadores magnéticos la operación es similar a los manuales, excepto que el cambio se hace automáticamente por medio de contactores magnéticos y un relevador de tiempo.

ARRANCADOR MAGNETICO A VOLTAJE REDUCIDO. - Estos arrancadores del tipo autotransformador, se utilizan para el arranque de motores "jaula de ardilla" limitando la corriente en la etapa de arranque e impidiendo corrientes que causen fluctuaciones perjudiciales en la línea de alimentación.

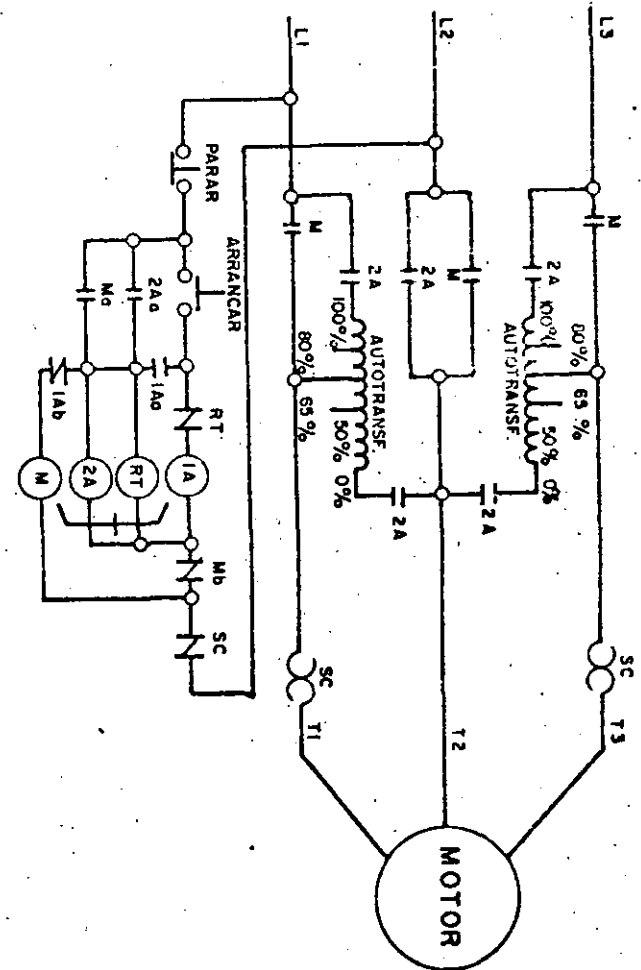
Constan de dos contactores de arranque (voltaje reducido) un contactor de marcha (pleno voltaje), relevador de tiempo, relevador de sobrecarga, autotransformador con 3 derivaciones a 50, 65 y 80% de la tensión nominal (se suministran en la derivación de 65%).

Los arrancadores magnéticos pueden operar a control remoto, se recomienda el uso de relevadores de sobrecarga tripolares para dar protección en las 3 fases.

VENTAJAS DEL ARRANCADOR AUTOMATICO RESPECTO AL MANUAL

1o. - Puede operarse a control remoto,

DIAGRAMA ELECTRICO DEL
ARRANCADOR MAGNETICO



20. - Puede arrancarse un mayor número de veces que el manual.

30. - Su transición es cerrada evitando que el motor se desconecte al pasar de arranque a marcha.

40. - Como la transferencia de arranque a marcha es automática se evita que al operarlo se mantenga el autotransformador conectado hasta llegar a quemarlo

CAPACIDAD DEL ARRANCADOR. - El arrancador debe ser de la misma capacidad en HP que el motor, puede ser mayor siempre y cuando la protección térmica o magnética sea adecuada a la potencia instalada del motor pero nunca inferior porque se quemaría el autotransformador.

INTERRUPTOR. - Las instalaciones deben estar protegidas por medio de un interruptor que debe instalarse antes del arrancador.

Para proteger las instalaciones contra corto circuito existen tres tipos de interruptores que son:

- a). - De fusible. -
- b). - Termomagnéticos. -
- c). - Electromagnéticos. -

Su aplicación es de acuerdo con las características eléctricas que se requieran.

INTERRUPTOR DE FUSIBLES. - Es la protección más simple, consta de una aleación de plomo y estaño de un punto de fusión muy bajo la que al fundirse interrumpe el circuito.

INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO. - Este interruptor tiene dos elementos de disparo uno térmico y otro magnético, el térmico se calienta al pasar una corriente excesiva producida por una sobrecarga efectuándose el disparo, el magnético es de "tiempo inverso", o sea que a mayor corriente menor es el tiempo de disparo y éste se produce en un corto circuito.

Este interruptor se usa más que el de fusibles por ocupar menos espacio, ser más liviano, porque no necesita cambiarse ningún elemento cuando opera, porque su capacidad es la mitad de la del fusible para protección de motores, por consiguiente más económico.

INTERRUPTOR ELECTROMAGNETICO. - Estos interruptores se usan cuando se requieren capacidades interruptivas muy altas, se construyen de operación manual y eléctrica, consisten de 2 mecanismos

uno de almacenamiento de energía por medio de carga de resorte y otro - para cierre y disparo.

SELECCION DE LA CAPACIDAD DEL INTERRUPTOR. - -

La capacidad recomendada para fuerza en termomagnético o electromagnético es dos veces la potencia y la del de fusible cuatro veces.

TABLA PARA SELECCIONAR LAS CAPACIDADES DE APARATOS DE CONTROL Y TRANSFORMADOR

Motor HP	Arrancador HP	Interruptor Term. 440 V. AMP	Transformador KVA
30	30	70	30
40	40	100	45
50	50	100	75
60	60	125	75
75	75	150	75
100	100	200	112.5
125	125	250	150
150	150	300	150

CONDUCTORES ELECTRICOS

Los conductores eléctricos usados en instalaciones para equipos de bombeo son el TW, THW y el sumergible.

CONDUCTOR TW. - De cubierta termoplástica a base de cloruro de polivinilo PVC de uso general, resistente a la temperatura hasta 60°C en local seco o mojado. 600 volts, se fabrica en calibres de No. 20 al 4/0 AWG.

CONDUCTOR THW. - De cubierta termoplástica a base de cloruro de polivinilo especial PVC, de uso general resistente a la temperatura hasta 90°C en ambiente seco, 75°C con ambiente húmedo y 60°C en aceite, 600 Volts, se fabrica en calibres del 14 AWG al 1000 MCM.

CONDUCTOR PARA ALIMENTACION DE BOMBAS SUMERGIBLES. - Es un cable de tres conductores flexibles con aislamiento de polietileno en colores para identificación de fases y cubierta de cloruro de polivinilo PVC negra, para operar sumergido en el agua, resistente a la temperatura hasta 75°C, 600 volts, es de fabricación especial y bajo pedido, se fabrica en calibre 12 al 3/0 AWG.

TABLA COMPARATIVA DE CAPACIDAD DE CONDUCCION DE CORRIENTE ENTRE EL CONDUCTOR TW Y THW PARA 30°C EN EL AMBIENTE

CALIBRE AWG o MCM	TW		THW	
	1 A 3 COND. EN TUBO	1 COND. AL AIRE LIBRE	1 A 3 COND. EN TUBO	1 COND. AL AIRE LIBRE
20	3	3		
18	5	5		
16	8	8		
14	15	20	25	30
12	20	25	30	40
10	30	40	40	55
8	40	55	50	70
6	55	80	70	100
4	70	105	90	135
2	95	140	120	180
1	110	165	140	210
1/0	125	195	155	245
2/0	145	225	185	285
3/0	165	260	210	330
4/0	195	300	235	385
250			270	425
300			300	480
350			325	530
400			360	575
500			405	660
600			455	740
750			500	845
1000			585	1000
TEMP. ° C	FACTORES DE CORRECCION PARA TEMP. SUPERIOR A 30° C			
	MULTIPLIQUESE LA CAPACIDAD DE CORRIENTE POR:			
	AISLAMIENTO			
	60°C	60°C	75°C	90°C
35	0.91	0.91	0.94	0.95
40	0.82	0.82	0.88	0.91
45	0.71	0.71	0.82	0.87
50	0.58	0.58	0.75	0.82
55	0.41	0.41	0.67	0.76
60			0.58	0.71
70			0.35	0.58
75				0.50
80				0.41

FACTORES DE CORRECCION POR AGRUPAMIENTO

CABLES CON SEPARACION MANTENIDA DE 1/4 A 1 VEZ SU DIAMETRO

NUMERO DE CABLES INSTALADOS VERTICALMENTE	EN CHAROLA					
	NUMERO DE CABLES INSTALADOS HORIZONTALMENTE					
	1	2	3	4	5	6
1	1.00	0.93	0.87	0.84	0.83	0.82
2	0.89	0.83	0.79	0.76	0.75	0.74
3	0.80	0.76	0.72	0.70	0.69	0.68
4	0.77	0.72	0.68	0.67	0.66	0.65
5	0.75	0.70	0.66	0.65	0.64	0.63
6	0.74	0.69	0.64	0.63	0.62	0.61

CABLES SIN SEPARACION

EN CHAROLA	
NUMERO TOTAL DE CONDUCTORES	FACTOR
3	1.00
4 - 6	0.80
7 - 24	0.70
25 - 42	0.60
43 Y MAS	0.50

EN TUBO CONDUIT O DUCTO CUADRADO				
NUMERO DE CONDUCTORES	4 - 6	7 - 24	25 - 42	MAS DE 42
FACTOR	0.80	0.70	0.60	0.50

TABLA DE CARACTERISTICAS DEL CONDUCTOR PARA BOMBA SUMERGIBLE PARA 75°C DE OPERACION Y 30°C DE TEMPERATURA AMBIENTE

CALIBRE AWG	DIMENSIONES EXTERIORES		PESO Kg/Km	CAPACIDAD DE CORRIENTE EN AMP
	ALTO mm	ANCHO mm		
12	7.2	15.4	205	20
10	9.7	20.8	345	30
8	11.6	26.3	515	45
6	12.6	29.5	710	65
4	13.9	33.4	990	85
2	15.6	38.5	1410	115
1/0	20.2	49.1	2280	150
2/0	21.1	51.8	2680	175
3/0	22.9	57.1	3330	200

FACTORES DE CORRECCION PARA TEMPERATURAS MAYORES DE 30°C

°C	FACTOR
40	0.88
45	0.82
50	0.75
55	0.67
60	0.58

TABLA PARA SELECCIONAR EL TUBO CONDUIT

CALIBRE CONDUCTOR AWG ó MCM	Ø mm	NUMERO DE CONDUCTORES: TW, 6, THW, ADMISIBLES EN TUBO CONDUIT									
		NOMI NAT. REF. 1.	13 (1/2")	19 (3/4")	25 (1")	32 (1 1/4")	38 (1 1/2")	52 (2")	64 (2 1/2")	76 (3")	102 (4")
14	3.5		5	12	21	33	15	27			
12	4.0		4	9	16	25	9	16	25		
10	4.6		3	7	12	19	7	12	19	27	24
8	6.1			3	6	10	5	9	14	20	19
6	7.9				4	6	3	6	10	14	16
4	9.1				4	6	3	6	10	14	13
2	10.7				3	3	2	5	7	10	10
1	12.8							4	6	9	9
1/0	13.8							4	6	9	8
2/0	15.0							4	6	9	7
3/0	16.3							4	6	9	6
4/0	17.8							3	4	6	5
250	19.8							3	4	6	4
300	21.2							3	4	6	4
350	22.5							3	4	6	3
400	23.7							3	4	6	3
500	25.9							3	4	6	3
600	28.8							3	4	6	3
750	31.5							3	4	6	3
1000	35.4							3	4	6	3

LA TABLA ANTERIOR FUE CALCULADA SOBRE LOS SIGUIENTES PORCENTAJES DEL AREA NOMI
NAL DE LOS TUBOS

* Ø EXTERIOR	No. DE CONDUCTORES	Ø UTILIZABLE DEL AREA
	1	53
	2	31
	MAS DE 2	40

CANALIZACION. - Los conductores eléctricos forrados de ben protegerse contra daño mecánico y cualesquier acción atmosférica o de roedores, etc, para conservar su aislamiento y evitar fallas por corto circuito se usa el tubo conduit o ducto.

TUBO CONDUIT. - Sirve para alojar en su interior los conductores eléctricos, puede ser metálico rígido o flexible, negro, galvanizado, pared delgada o gruesa, de plástico y asbesto cemento, se instala oculto o visible, se fabrica en diámetros de 13mm (1/2") a 102mm(4").

DUCTOS. - Hay dos tipos, el metálico y de cemento, el metálico se instala visible y se fabrica de sección cuadrada de 6.5 x 6.5, 10 x 10 y 15 x 15 cm. el de cemento se instala subterráneo y puede ser de dos o cuatro vías con diámetro máximo por vía de 102 mm (4").

MUFA SECA. - Para evitar la introducción del agua de lluvia en el tubo conduit se usa la mufa seca que es una pieza metálica curva con tapa de baquelita con agujeros para introducir el conductor.

CABLES EN PARALELO. - Cuando se tiene la necesidad de conducir corrientes altas, se recomienda el uso de cables en paralelo (con la condición de que sean del mismo calibre) en lugar de un solo cable

por fase, debido a que a mayor diámetro, se dificulta más su manejo al instalarse; no deben usarse conductores de diferentes calibres, por el hecho de que los conductores de menor sección pueden conducir más Amperes por mm² que los de mayor sección, por el "efecto superficial" o también llamado "efecto piel"; ya que mientras que, en un conductor delgado la corriente se distribuye uniformemente en toda su sección, en un conductor grueso la corriente sólo circula alrededor o sea en su superficie, de ahí el nombre antes mencionado.

REGULACION. - Cuando la carga que se va alimentar está alejada de la fuente, es conveniente verificar la caída de tensión para un calibre seleccionado; ya que no solo basta seleccionar el conductor de acuerdo con la corriente a conducir, aún habiendo considerado los factores de corrección por agrupamiento y temperatura, pues si se tienen caídas arriba de las permisibles, se estará desperdiciando energía, lo cual es indeseable en toda instalación eléctrica; las caídas máximas permisibles según Normas, son de 3% para alumbrado y 4% para fuerza; para determinar el calibre adecuado de un conductor por medio de la caída de tensión, se pueden utilizar las siguientes fórmulas:

$$a) \quad \text{Monofásico 2 Hilos} \quad A = \frac{4 \times I \times L}{E_n \times P}$$

$$b) \quad \text{Trifásico} \quad A = \frac{2 \times I \times L \times \sqrt{3}}{E_f \times P}$$

DONDE:

- A = Area del conductor en mm².
 I = Corriente total del circuito en Amp.
 L = Longitud total del circuito en m.
 E_n = Voltaje entre fase y neutro en volts.
 E_f = Voltaje entre fases en volts.
 P = Porcentaje de caída de voltaje.

CALCULO DE LA CAPACIDAD DEL CONDUCTOR ELECTRI

CO. - El Reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas establece que el alimentador de un motor eléctrico debe ser capaz de conducir el 125% de la corriente a plena carga.

$$I_c = 1.25 \cdot I_{pc}$$

Para calcular la capacidad del conductor eléctrico para alimentar varios motores se toma el 125% de la corriente a plena carga del motor mayor más la suma de las corrientes a plena carga de los otros motores.

$$I_c = 1.25 I_{pc} \text{ motor mayor} + I_{pc1} + I_{pc2} + I_{pcn}$$

D onde

I_c corriente del conductor alimentador en Amp.

I_{pc} corriente a plena carga del motor en Amp.

La corriente a plena carga de un motor eléctrico de Inducción trifásica se calcula por medio de la fórmula siguiente:

$$I_{pc} = \frac{HP \times 746 W}{\sqrt{3} \times E \times FP \times N}$$

D onde

HP Es la potencia del motor en caballos de fuerza.

746 W Es el equivalente de 1 HP.

E Es el voltaje entre fases en Volts.

FP Es el Factor de Potencia del motor.

N Es la eficiencia del motor.

$\sqrt{3}$ Es el factor para sistema trifásico.

TABLA DE CALIBRES DE CONDUCTOR Y TUBO CONDUCT A 440 VOLTS

23

POTENCIA MOTOR HP	CALIBRE Y TIPO DE CONDUCTOR EN TUBO CONDUCT	
	TW	T H W
20	8 AWG	19 COND. EN TUBO ϕ en mm
25	8	19
30	6	19
40	4	25
50	2	25
60	2	32
75	1/0	32
100	3/0	38
125	4/0	52
150		52
200		52
250		52
300		52

44

SELECCION DEL CONDUCTOR PARA UN MOTOR ELECTRICO DE 100 HP.

a). - Motor vertical de 100 HP, 440 Volts.

$$I_{pc} = 123 \text{ Amp.}$$

$$I_c = 1.25 \times 123 = 153.75 \text{ Amp.}$$

C O N D U C T O R

El calibre adecuado del conductor tipo TW es el No. 3/0 - -
AWG. que maneja 165 Amp.

En THW el calibre adecuado es el No. 1/0 AWG que maneja
155 Amp.

TUBO CONDUIT

El diámetro del tubo conduit para alojar 3 conductores del -
3/0 AWG es de 52mm (2").

Para alojar 3 conductores 1/0 AWG es de 38mm (1 1/2").

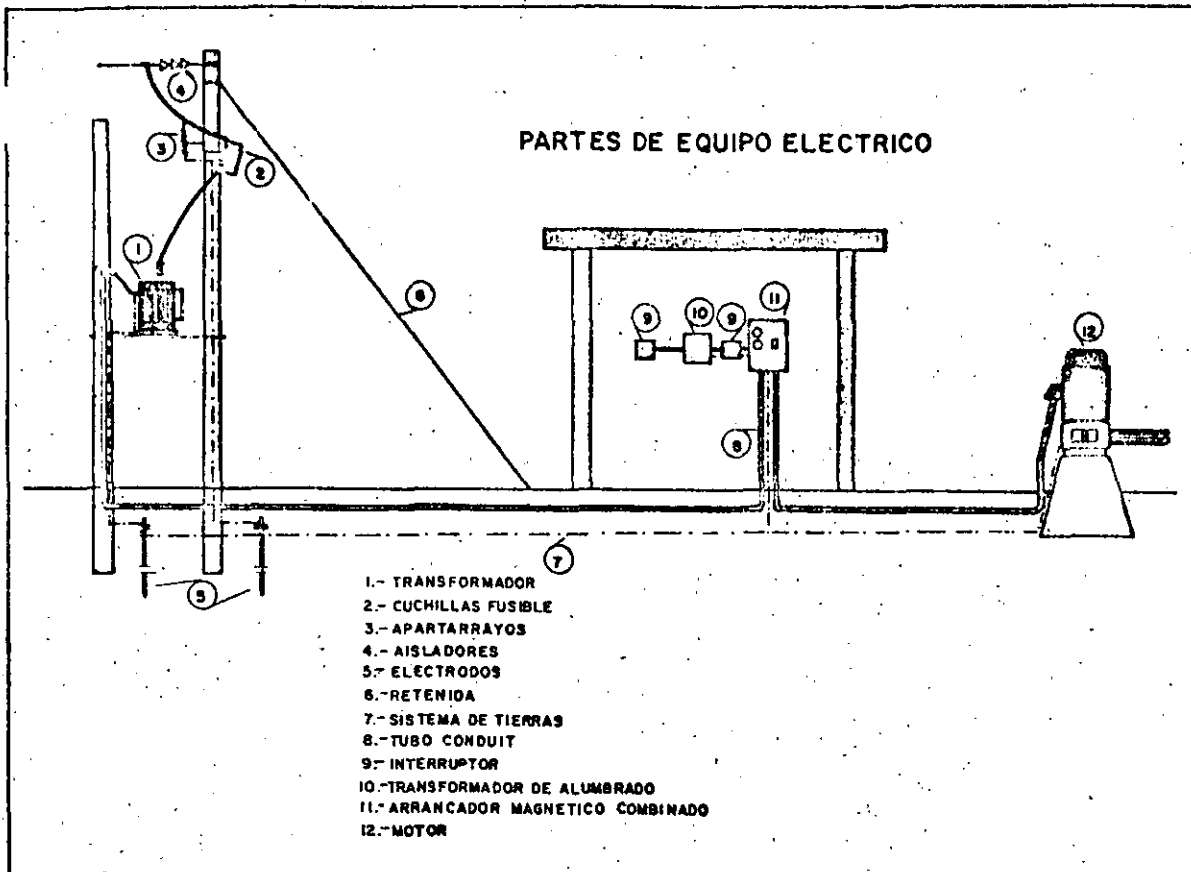
b). - Motor sumergible de 100 HP, 440 Volts.

$$I_{pc} = 125 \text{ Amp.}$$

TABLA PARA SELECCIONAR CABLES SUBMARINOS EN 440 VOLTS

POTENCIA MOTOR (HP)	CORR. MOTOR PLENA CARGA (AMPERES)	CALIBRE DEL CONDUCTOR AWG
5	9	3 x 12
7.5	12.5	3 x 12
10.5	15.5	3 x 12
12.5	19.	3 x 10
15	21.5	3 x 10
17.5	24.5	3 x 10
20	28	3 x 8
25	34.5	3 x 8
33	45	3 x 6
41	56	3 x 4
50	67.5	3 x 4
62	84	3 x 2
75	100	3 x 1/0
85	113	3 x 1/0
100	125	3 x 2/0
125	156	3 x 3/0
150	186	6 x 1/0
200	255	6 x 2/0
250	310	6 x 3/0

23



48

47

$$I_c = 1.25 \times 125 = 156.25 \text{ Amp.}$$

CONDUCTOR

El calibre adecuado del cable submarino es de 3 x 2/0 AWG

que no requiere tubo conduit.

INSTRUMENTOS DE MEDICION

VOLTAMPERMETRO DE GANCHO. - Con este instrumento se pueden hacer mediciones de corriente y voltaje, su operación es sencilla obteniendo lecturas de corriente por medio de la pinza o gancho que se abre para encerrar al conductor donde se desea medir la corriente. la medición de voltaje se obtiene a través de dos terminales de voltaje que se aplican a las terminales de la línea.

MEGGER. - Se utiliza para medir la resistencia de aislamiento de los devanados de los transformadores, motores, arrancadores y de los conductores.

WATTMETRO DE GANCHO: - Con este instrumento se determina la potencia consumida en Watts y el factor de potencia.

INSTRUMENTOS DE TEMPERATURA. - Estos aparatos miden la temperatura a través de una sonda, un registrador con aguja y escalas con registro en grados centígrados, son apropiados para determinar la temperatura de operación de los motores.

26

49

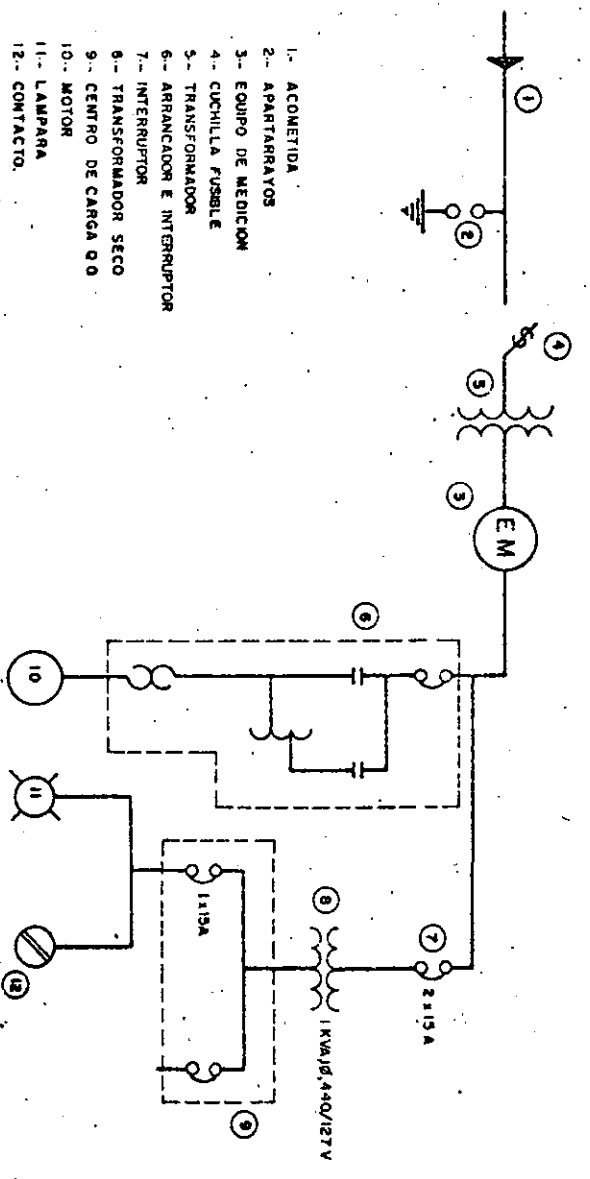
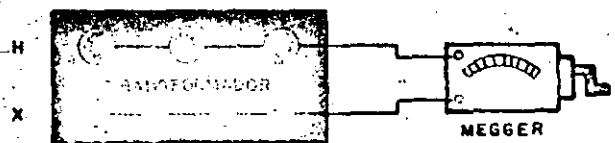


DIAGRAMA UNIFILAR

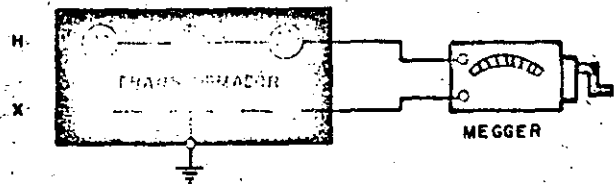
49

51

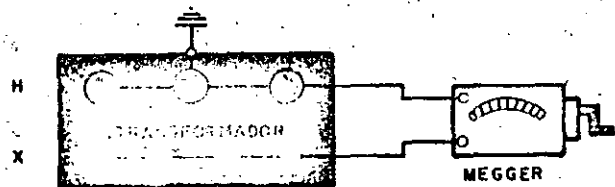
DIAGRAMAS ILUSTRATIVOS PARA LA MEDICION DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO CON MEGGER



DEVANADO DE ALTO VOLTAJE VS DEVANADO DE BAJO VOLTAJE



ALTO VOLTAJE VS BAJO VOLTAJE + TANQUE A TIERRA



ALTO VOLTAJE + TANQUE A TIERRA VS BAJO VOLTAJE

CONSEJOS WESTINGHOUSE Y GENERAL ELECTRIC PARA LA CONSERVACION DE ARRANCADORES Y MOTORES DE INDUCCION JAULA DE ARDILLA

<u>ANOMALIA</u>	<u>CAUSA</u>	<u>REMEDIO</u>
EL MOTOR SE PARA	Motor sobrecargado	Disminúyase la carga.
	Voltaje muy bajo	Medir la tensión
	Dispositivo de sobre carga disparado.	Esperar a que se enfríe el dispositivo de sobrecarga y volver a arrancar.
EL MOTOR NO ARRANCA	Línea desconectada	Conectar la línea.
	Conexiones de control equivocadas.	Comprobarlas con el diagrama de conexiones.
	Conexiones flojas	Apretar las conexiones.
	La máquina impulsada está bloqueada	Arrancar el motor en vacío. Si éste arranca bien, examínese la máquina impulsada.
	Circuito abierto en los devanados del rotor o estator.	Localizar los circuitos -- abiertos.
	Corto circuito en los devanados del estator.	Localizar la bobina en -- corto circuito.
	Contacto a tierra en el devanado.	Localizar el contacto a -- tierra.
	Cojinetes duros.	Arreglar o cambiar el cojinete.
	Tiene una fase abierta.	Ver que no haya ninguna -- fase abierta.

217

ANOMALIA	CAUSA	REMEDIO
EL MOTOR TARDA MUCHO EN ACELERAR	Demasiada carga.	Disminuir la carga.
	Rotor defectuoso	Cambiarlo
	Voltaje muy débil	Que la empresa de energía aumente el voltaje.
ROTACION INVERTIDA.	Fases en secuencia errada.	Inviértanse las conexiones en el motor o en el tablero.
EL MOTOR SE CALIENTA O HUEVA	Sobrecarga	Medir la carga con el ampermetro. Reducirla.
	Ventilación defectuosa.	Limpiar los conductos de ventilación y los devanados, debe salir chorro constante de aire.
	Desequilibrio eléctrico puede tener una fase abierta.	Comprobar si hay desequilibrio de tensión y si el motor trabaja en una sola fase.
	Bobina a tierra.	Encontrar y reparar.
	Alto o bajo voltaje.	Comprobar con voltmetro.
	El rotor roza el estator.	Si no se debe a fresado defectuoso, cambiar los cojinetes.
EL MOTOR VIBRA	Motor mal alineado	Realinése.
	Bases débiles.	Reforzarias.
	Cojinetes de bolas defectuosos.	Reemplazar.

ANOMALIA	CAUSA	REMEDIO
MOTOR RUIDOSO	El motor funciona con una sola fase.	Parar el motor y arrancar de nuevo, no arrancará si está en una sola fase.
	El rotor roza con el estator.	Centrar el rotor.
	El motor flojo en la base.	Apretar los pernos de sujeción.
RUIDO MAGNETICO EN EL MOTOR	Entrehierro no uniforme.	Revísese y corríjase.
	Rotor desequilibrado.	Equilíbrese.
EL CONTACTOR O EL RELEVADOR NO SE CIERRA	No hay voltaje de entrada.	Revísense los fusibles y el interruptor.
	Bajo voltaje.	Revísese la línea de entrada y véase si los conductores son demasiado delgados.
	Arrollamiento en circuito abierto.	Reemplácese.
	Botón, enclavamiento o relevador que no hacen buen contacto.	Ajústese para que se mueva correctamente y haga la presión apropiada.
	Conexión floja o conductor roto.	Desconéctese la corriente y revísese el circuito con una linterna.
	Botón mal conectado.	Revísense las conexiones y véase si están de acuerdo con el diagrama.

ANOMALIA

CAUSA

REMEDIO

55

29

EL CONTACTOR O
EL RELEVADOR NO
SE ABRE.El contacto del rele-
vador de sobrecarga
está abierto.

Ajustese el relevador

Piezas mecánicas da-
ñadas, gastadas o ---
mal ajustadas.Limplense y ajústense me-
cánicamente. Alinéense ---
los cojinetes y véase que ---
funcionen sin obstáculo. ---
Repárense o reemplácense
las piezas gastadas o daña-
das.

Botón mal conectado

Revísense las conexiones
y véase si están de acuer-
do con el diagrama.El botón, el enclava-
miento o el contacto
del relevador no es-
tá abricado el circulo
de la bobina.Ajústese para obtener el
movimiento correcto, fa-
cilidad de funcionamiento
y apertura apropiada.Piezas mecánicas -
dañadas, gastadas o
mal ajustadas.Limplense y ajústense me-
cánicamente. Alinéense ---
los cojinetes y véase que ---
funcionen sin obstáculo. ---
Repárense o reemplácense
las piezas gastadas o daña-
das.

ANOMALIA

CAUSA

REMEDIO

56

EXCESIVA CORROSION
DE LOS CONTACTOS.
LOS CONTACTOS SE
FUNDEN Y SE PEGAN
O SE CALIENTAN DE-
MASIADO.Los resortes de los
contactos no ejercen
suficiente presión, lo
cual hace que éstos
se calienten o produz-
can arcos al cerrarse.Ajústense para aumentar
la presión de contacto.
Reemplácense los resor-
tes o los contactos si fue-
re necesario.La superficie de los
contactos está áspera
y sólo deja pasar
corriente por un área
muy reducida.Alíense los contactos con
papel de lija o una lima de
grano fino. Reemplácense
si están muy gastados.Los contactos vibran
impulsados por vibra-
ciones producidas ---
fuera del gabinete del
arrancador.Compruébese la presión
del resorte del contacto
del disyuntor para ver si
es suficiente. Apriétense
todas las conexiones. Si
la situación no mejora, ---
móntese o muévase el con-
trol donde no vibre.

BIBLIOGRAFIA

57

1. - Manual Estandar del Ing. Elect. Archer E. Knowlton
2. - Curso de Transformadores y Motores Trifásicos de Inducción del Ing. Ciliberto Enríquez Harper
3. - Manual Eléctrico Phelps Dodge Pyesa
4. - Conservación Preventiva de Motores y Generadores Westinghouse Electric International Company
5. - Reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas
6. - Catálogo de Conductores Condumex
7. - Catálogo de Conductores Phelps Dodge Pyesa
8. - Catálogo Industrial Carter Hammer
9. - Catálogo Eléctrico BEM



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

INTRUSION SALINA
NORMA DE CALIDAD

ING. JUAN MANUEL LESSER I.

ABRIL, 1985

GENERALIDADES SOBRE LA INTRUSION SALINA EN ACUIFEROS COSTEROS Y METODOS DE CONTROL

Por: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES

La explotación de agua subterránea en acuíferos de zonas costeras encara un gran riesgo, denominado "Intrusión Salina". Muchas de las zonas costeras de México están siendo degradadas por este fenómeno, como resultado del exceso de bombeo.

Un renglón importante en los acuíferos costeros, es el estudio de la determinación de la intrusión salina cuando ésta aún no la ha afectado nocivamente. Dentro de estos estudios, es esencial, la determinación de la posición del nivel piezométrico y sus fluctuaciones con el tiempo, así como el registro de los incrementos de salinidad en los pozos. Si se cuenta con estos datos puede conocerse rápidamente la posición y la peligrosidad de la intrusión y planear las alternativas más convenientes para su control.

CARACTERISTICAS FISICAS DE LA INTRUSION SALINA.

Para que una zona costera se vea afectada por este fenómeno, es necesario que se cumplan las dos condiciones siguientes:

- a) Continuidad Hidráulica.- En muchas cuencas costeras de nuestro país, existe continuidad hidráulica en los materiales que forman las planicies costeras la cual se continúa hasta el mar, cerca de la línea de la costa. Puede presentarse también, capas de material permeable confinado, que se continúa a cierta profundidad, hasta más allá de la costa. Algunos acuíferos se encuentran cubiertos por lodo y otros materiales relativamente impermeables que impiden que el agua de mar los contamine.
- b) Inversión del Gradiente.- Otras de las condiciones necesarias para que se lleve a cabo la intrusión salina, es la inversión del gradiente, la cual, se presenta cuando la carga hidráulica del mar es mayor a la del acuífero. Esto sucede si el nivel piezométrico es abatido a profundidades bajo el nivel del mar.

Cuando el gradiente es hacia el mar, existe un flujo de agua hacia él y cuando el gradiente es hacia tierra adentro se establece un flujo de agua, hacia el valle. En la

práctica, la magnitud el gradiente hidráulico se obtiene a partir de la medición de la profundidad al nivel del agua en pozos y norias.

PRINCIPIO DE GHYBEN - HERZBERG.

A lo largo de las líneas de costa el agua de los acuíferos se encuentra descansando sobre el agua de mar, debido a la diferencia de densidades de éstas. El contacto entre estas dos masas de agua (interfase salina) se encuentra en equilibrio dinámico, por lo cual las modificaciones en las condiciones originales del acuífero, producen cambios en la posición del contacto entre las dos aguas.

La profundidad a la cual se encuentra la interfase fue descrita por Badon Ghyben en 1869, y aplicada a problemas específicos por Bairat Herzberg en 1901.

La teoría se basa en lo siguiente:

El peso de una columna vertical de agua dulce que va desde el nivel piezométrico del acuífero hasta la interfase se encuentra equilibrada por el peso de una columna de agua de mar que vaya desde el nivel del mar, hasta la interfase. Esto es, el peso de la columna de agua dulce de longitud $h + Z$ es igual al peso de una columna de agua de mar de longitud Z , donde "h" es la elevación del nivel estático a partir del nivel del mar y "Z" es la profundidad a la interfase, a partir del mismo nivel de referencia.

Si "Dd" y "Dm" representan las densidades del agua dulce y de mar respectivamente, la condición para el balance hidrostático se expresa de la siguiente manera:

$$D_m \cdot g \cdot Z = D_d \cdot g \cdot (h + Z)$$

$$Z = \frac{D_d}{D_m - D_d} h$$

Considerando que las densidades del agua de mar y del agua dulce son 1.025 y 1.000, respectivamente, tenemos que:

$$Z = 40 h$$

O sea que por cada metro que se eleve el nivel piezométrico sobre el nivel del mar, existirán 40 metros de agua dulce bajo el mismo nivel de referencia (Figura 2). La posición del nivel piezométrico sobre el mar, condiciona la profundidad a la interfase. Los movimientos de la superficie del mar por mareas y de la superficie piezométrica del acuífero, producidos por aumento ó disminución de agua en él, pro-

ducen fluctuaciones en la posición de la interfase. El área en donde se llevan a cabo estas fluctuaciones, se denominan zona de difusión. La mayoría de los acuíferos que no están sobreexplotados, descargan agua hacia el mar y la posición real de la interfase, en este caso, se encuentra a mayor profundidad (Hubbert) que la calculada por Ghyben-Herzberg, (figura 3).

MECANISMO DE LA INTRUSION SALINA.

Existen varios mecanismos por los cuales el agua de mar puede intrusionar a un acuífero costero. Estos, están relacionados con la disminución de la elevación del nivel piezométrico y la inversión del gradiente hidráulico, que permite al agua de mar moverse hacia tierra adentro. Bajo condiciones naturales en los acuíferos costeros, existe un equilibrio entre la recarga, la descarga y el cambio del almacenamiento. Es conveniente que exista un flujo de agua dulce al mar, para conservar el equilibrio, y evitar la intrusión. Conforme el agua subterránea es extraída por bombeo, el nivel estático baja acomodándose a las nuevas condiciones y el flujo de la intrusión salina se comienza a mover hacia el acuífero, ocupando primero las zonas costeras y posteriormente la zona de explotación del valle.

METODOS DE CONTROL DE LA INTRUSION SALINA.

Varios métodos de control son conocidos y utilizados para prevenir la intrusión salina. Los más comunes son:

- 1).- Reducción de la extracción
- 2).- Recarga artificial,
- 3).- Fronteras impermeables.
- 4).- Barrera con pozos de bombeo y
- 5).- Barreras con pozos de inyección (figura 4).

REDUCCION DE LA EXTRACCION.

Una de las medidas técnicamente más sencillas para prevenir la intrusión de agua de mar, es la reducción de la extracción de agua subterránea, a un nivel planificado. Esta medida implica una disminución en las demandas de agua lo cual, en ocasiones crea problemas socioeconómicos y políticos muy fuertes. Cuando se opta por este método y el bombeo es reducido, puede establecerse nuevamente el gradiente hacia el mar y la intrusión es reemplazada por un ligero flujo de agua dulce hacia el mar. Si existe información suficiente sobre la variación de los niveles del agua y si se conocen las condiciones geológicas del subsuelo, la reducción de la extracción puede ser controlada de tal manera, que se obtenga la máxima cantidad de agua sin provocar una intrusión salina nociva.

RECARGA ARTIFICIAL.

4

Para ello es necesario contar con una fuente adicional de agua así como condiciones apropiadas del terreno, de tal manera, que la recarga pueda llevarse a cabo. Las obras para la recarga pueden consistir en zanjas superficiales construidas en el área de recarga a través de las cuales se hace circular agua que se infiltra al subsuelo. Otro tipo de obras, consiste en la construcción de presas de infiltración, localizadas en la zona de recarga. En zonas donde existen capas confinantes impermeables, pueden construirse pozos de inyección. Al llevar a cabo esta recarga se provoca la reinvención del gradiente hacia el mar, la cual es acompañada por un flujo de agua dulce. La recarga, en esta forma, es económica, respecto a los otros métodos, pero en la mayoría de los casos no se cuenta con fuentes de agua adicional para llevarla a cabo.

FRONTERAS IMPERMEABLES.

Consiste en la construcción de una barrera impermeable entre la línea de costa y los pozos de explotación. El medio de construcción puede ser excavando una zanja que posteriormente se rellena con materiales arcillosos. Otro tipo de barrera, consiste en el inyectado de material impermeable. Estas construcciones son usadas solo en áreas relativamente someras. Es importante, el conocer los resultados posteriores a su construcción, ya que, si la impermeabilización es completa, permitirá abatimientos fuertes y por lo tanto la obtención de mayores volúmenes de agua almacenada. Este método tiene la desventaja de no contar con un flujo de agua subterránea hacia fuera de la zona, que en ocasiones, es necesario para mantener un balance de sales favorables.

BARRERA DE POZOS DE BOMBEO.

Consiste en una línea de pozos localizados entre la zona de explotación del valle y el mar. Los pozos, deben de extraer toda el agua de mar que intrusiona al acuífero, hasta obtener un equilibrio hidrostático. Para ello, los niveles de agua deben de ser bajados en la barrera, más que en cualquier otro punto en la cuenca. El volumen de extracción que se lleva a cabo en el valle, debe de ser reducido, cuando menos una cantidad ligeramente menor a la que se obtenía antes de aplicar el método. Es importante, disponer del registro de los niveles del agua en la zona de la barrera, así como el conocer la cantidad exacta de agua que se debe de bombear para obtener los resultados deseados. Esta cantidad de agua que se debe de extraer, es muy variable y deberá de ser mayor

5

al volumen de agua de mar que originalmente intrusiónaba. Mientras más cerca del mar se localiza la barrera, el bombeo tendrá que ser mayor.

BARRERA CON POZOS DE INYECCION.

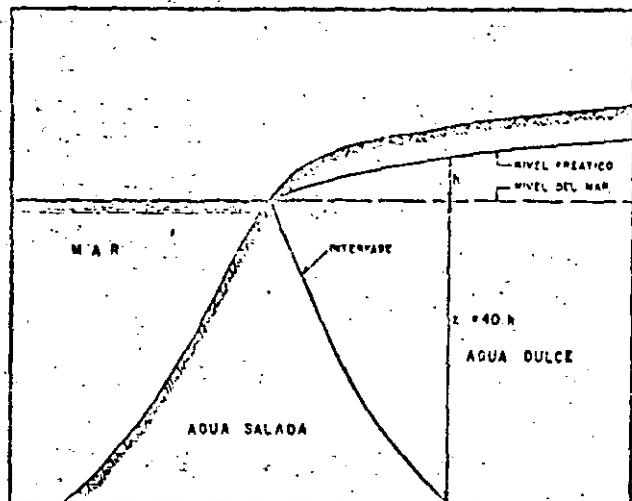
Este método para control de intrusiones salinas, consiste en la construcción de pozos de inyección alineados a lo largo de la costa, su funcionamiento va a depender de la resistencia que encuentre el agua al moverse en el subsuelo. Al inyectar agua al acuífero se provoca la elevación del nivel piezométrico lo cual se lleva a cabo hasta alcanzar el gradiente requerido. Debido a la diferencia en densidad entre el agua de mar y el agua dulce, se requiere una columna de 41 metros de agua dulce para equilibrar una columna de 40 metros de agua salada. Para controlar la intrusión es necesario primeramente determinar el espesor de sedimentos permeables. Posteriormente se construye la barrera de pozos de inyección y se provoca la elevación del nivel piezométrico a lo largo de la línea de pozos, hasta alcanzar una altura de 75 centímetros arriba del nivel del mar, por cada 30 metros de espesor del acuífero bajo el mismo nivel de referencia. La cantidad de agua utilizada para dicho fenómeno puede ser estimada. Después de que en la barrera con pozos de inyección, se establece un equilibrio, la cantidad de agua que fluye hacia el acuífero, será la cantidad de agua de mar que intrusiónaba anteriormente, siempre y cuando la explotación de la planicie se haya conservado igual. Para mantener el balance dinámico de esta zona, es necesario que exista un pequeño flujo de agua dulce hacia el mar. La magnitud de este flujo es variable, pero será de alrededor del 10% de la que fluye hacia el acuífero. El número de pozos requeridos para formar la barrera dependerá de las características hidráulicas del acuífero, en especial de la capacidad específica de un pozo de bombeo perforado en la zona.

METODO COMBINADO; BARRERA POR POZOS DE BOMBEO BARRERA POR POZOS DE INYECCION.

Este método utiliza la combinación de los dos métodos anteriores. Para ello, la barrera por pozos de bombeo, es localizada entre la línea de costa y la zona de explotación del valle y la barrera por pozos de inyección se ubica tierra adentro, del otro lado de la zona de explotación. La barrera combinada, compuesta de los dos sistemas, operando simultáneamente, minimizada los efectos de subsidencia y extracción de agua, así como otros efectos secundarios y permite una mayor flexibilidad en su operación sobre la de uno solo de los sis-

temas previamente descritos. 6

NOTA : Para la elaboración de este artículo, se -
utilizaron datos de diferentes textos y trabajos, principal--
mente de los apuntes del curso de hidrología subterránea del
Departamento de Recursos Hidráulicos del Estado de California,
E.U., por Raymond C. Richter.



INTRUSION SALINA SEGUN LA TEORIA DE G.HERZBERG

FIG - 1

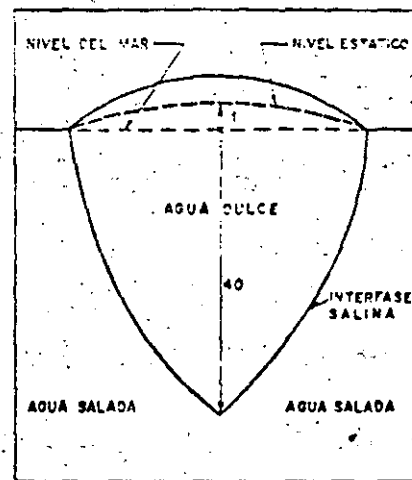
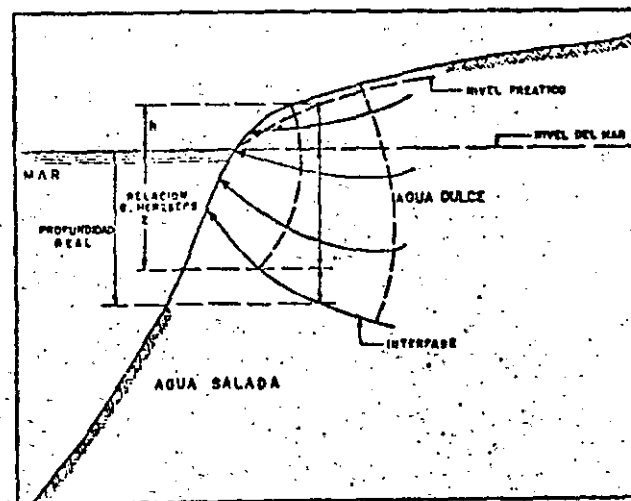
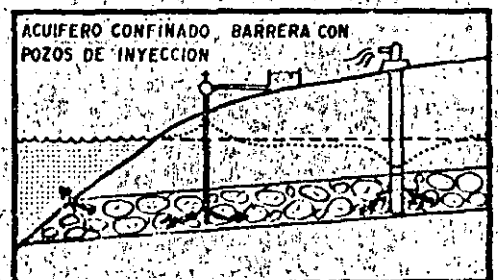
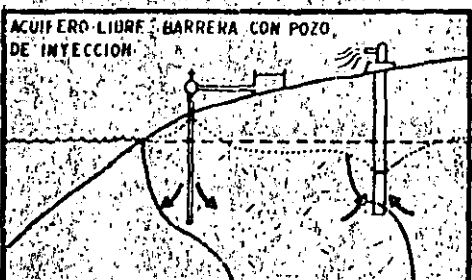
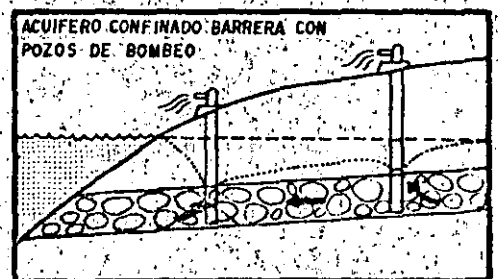
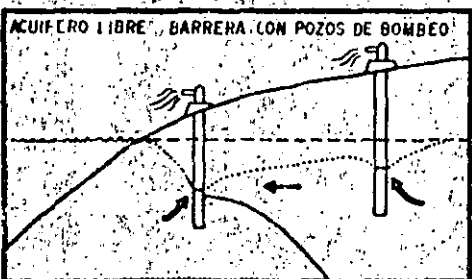
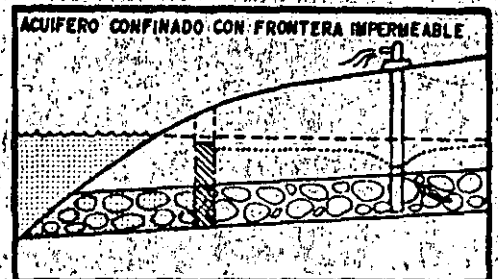
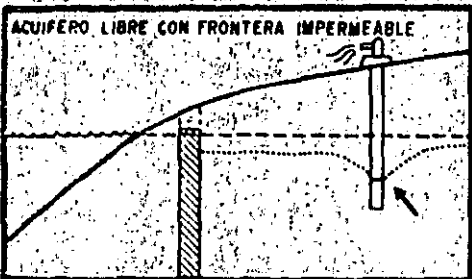
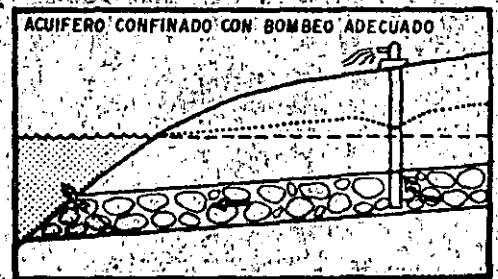
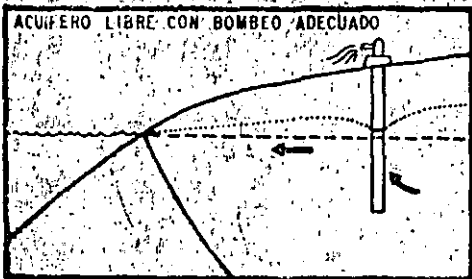
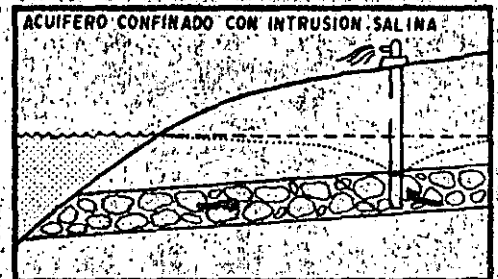
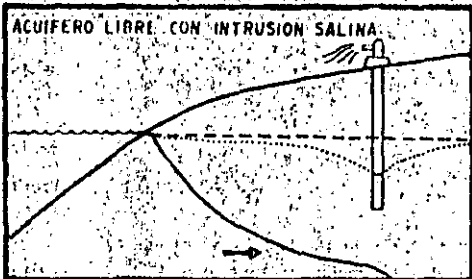
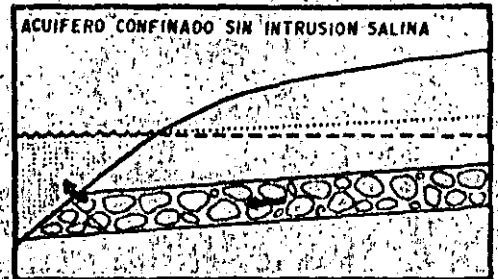
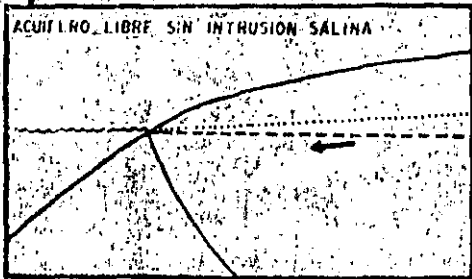


FIG: 2 POSICION DE LA INTERFASE SALINA EN UNA ISLA



DISCREPANCIA ENTRE LA PROFUNDIDAD REAL A LA INTERFASE Y LA CALCULADA POR G.HERZBERG.

FIG - 3



NIVEL PIEZOMETRICO NIVEL DEL MAR - - - - - AGUA DULCE [] AGUA SALADA [] AGUA INYECTADA []



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

HIDROGEOQUIMICA

ING. JUAN MANUEL LESSER I,

ABRIL, 1935

H I D R O G E O Q U I M I C A

Por: Ing. Juan Manuel Lesser I.

I. RESUMEN

La interpretación geoquímica del agua subterránea, se utiliza junto con la geología, hidrología y geofísica, como un auxiliar para conocer y entender, en una forma más completa, el funcionamiento de los acuíferos y la planeación de una mejor y más racional explotación.

Para efectuar la interpretación geoquímica, se toma en cuenta que, el agua que forma los acuíferos, proviene principalmente de la lluvia, donde parte de ésta, al precipitarse sobre las formaciones geológicas, se infiltra y corre a través de ellas. Al circular por el subsuelo, entra en contacto con diversas rocas, disolviendo las sales minerales que las forman y produciendo cambios en su composición. La química del agua dependerá de la solubilidad y composición de las rocas por las que circula y de los factores que afectan la solubilidad, como son: las temperaturas del agua y las rocas, el área de contacto del agua con las formaciones, la velocidad de circulación, la longitud del recorrido, la previa composición química del agua y otros factores.

Por lo tanto, la composición del agua está en íntima relación con el funcionamiento general del acuífero. Es por ello que, a partir de su composición química, se puede obtener la dirección del movimiento del agua subterránea, la localización de las zonas de recarga del acuífero, los tipos de roca a través de las cuales circula, así como algunas características físicas del acuífero y la calidad del agua para usos agrícolas, ganaderos, agropecuarios, potables, turísticos e industriales.

A lo largo de las líneas de costa, en las planicies costeras, el agua de los acuíferos se encuentra en contacto sobre el agua de mar, debido a la diferencia de densidades de éstas. El contacto entre estas dos masas de agua se encuentra en equilibrio y, las modificaciones producidas en las condiciones originales del acuífero, originan cambios en la posición de dicho contacto. Al explotar los acuífe-

ros costeros, se rompe este equilibrio, produciendo una intrusión de agua de mar, dentro del acuífero.

Debido a las diferencias en concentración y composición química, existente entre el agua de mar y el agua dulce, los métodos geoquímicos ayudan a conocer la posición y velocidad de avance de la intrusión salina.

En diferentes laboratorios de la S. R. H., la Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas, ha venido efectuando análisis químicos de muestras de agua, obtenidas tanto en pozos como en norias, galerías filtrantes y manantiales. En estos laboratorios se determinan los sólidos totales disueltos, la conductividad eléctrica, la dureza total y las concentraciones de los iones siguientes: Ca, Mg, Fe, Mn, Na, SO_4 , Cl, HCO_3 , NO_2 y NO_3 , principalmente.

Con los resultados de los análisis, se elaboran configuraciones de los índices más representativos, obteniéndose, a partir de ellas, las zonas de recarga, las cuales coinciden con los lugares donde se encuentran las menores concentraciones de sales. Se obtiene también, la dirección del flujo del agua subterránea, debido a que ésta va disolviendo mayor cantidad de sales conforme avanza. Así, también se pueden determinar las zonas con mayor o menor permeabilidad, ya que éstas afectarán, en mayor o menor grado, la composición y concentración de sales en el agua.

A partir de la composición química del agua, se deduce el tipo de roca que forma el acuífero, así, el agua que circula a través de rocas calizas, tendrá en solución abundante calcio y carbonatos, en contraste con agua que circula a través de rocas yesíferas, la cual tendrá disueltos iones de calcio y sulfatos.

Para obtener la calidad del agua para uso doméstico, se comparan los resultados de los análisis químicos, con los límites máximos permisibles ya establecidos, obteniéndose, rápida y directamente, la clase de agua para este uso.

Con respecto a la clase de agua para riego, se utiliza la clasificación de Wilcox, a partir de la cual y por medio de las concentraciones de sodio, magnesio, calcio y la conductividad eléctrica, se conoce la clase de agua para riego a que pertenece cada muestra analizada, así como las recomen-

daciones relativas al tipo de suelo en que debe usarse, las prácticas del control de la salinidad y los tipos de cultivos más adecuados.

Para la industria, el agua se puede clasificar inicialmente por su dureza. Posteriormente, dependiendo del tipo de industria, el agua deberá cumplir ciertos requisitos establecidos.

II. GENERALIDADES

2.1. EL CICLO HIDROLOGICO

Como es sabido, el agua de lluvia que se precipita sobre los continentes, tiene tres caminos por seguir: 1) evaporarse para formar las nubes; 2) escurrir por la superficie del suelo formando arroyos y ríos que finalmente vierten sus aguas al mar y; 3) infiltrarse en el subsuelo para formar acuíferos. Esta agua infiltrada, posteriormente es drenada por corrientes superficiales o aflora en forma de manantiales para evaporarse y seguir su camino hacia el mar.

2.2. BALANCE DEL AGUA DENTRO DEL CICLO HIDROLOGICO

Del 100% del agua que se evapora, para incorporarse a la atmósfera en forma de nubes, el 86% proviene del mar y el 14% restante, de los continentes. Del 86% que se evapora en los océanos, el 78% se precipita en el mar y el 8% en los continentes. (Fig. 1). El otro 14% de evaporación, se precipita sobre los continentes, haciendo un total de 22% de precipitación sobre éstos. De este 22%, se evapora el 14%, escurre hacia el mar en forma de corrientes superficiales el 7%, y el 1% restante se infiltra en el subsuelo y en forma de agua subterránea, es incorporada al mar.

El agua subterránea que forma los acuíferos proviene principalmente de la lluvia, donde parte de ésta al precipitarse sobre las formaciones geológicas, se infiltra y corre a través de ellas. El agua infiltrada, en ocasiones, pasa por zonas cercanas a cámaras magmáticas o puede permanecer atrapada entre sedimentos en forma de agua fósil.

Al circular por el subsuelo, entra en contacto con diversas formaciones geológicas, disolviendo las sales minerales que forman las rocas y produciendo cambios en su composición. Por lo tanto, la composición química del agua dependerá de

C I C L O H I D R O L O G I C O

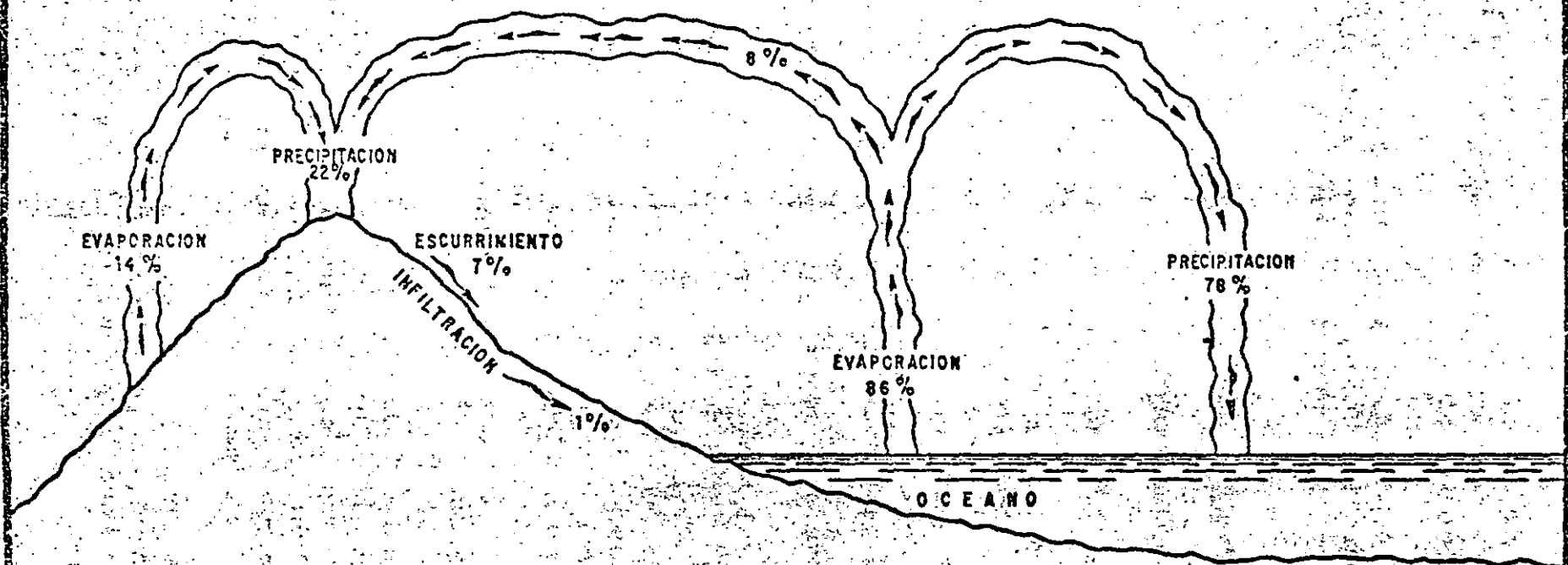


FIG.- 1

4

la solubilidad y composición de las rocas por las que circula y de los factores que afecten la solubilidad, como son: las temperaturas del agua y las rocas; el área de contacto del agua con las formaciones, la velocidad de circulación, la longitud del recorrido, la previa composición química del agua y otros factores.

2.3. QUÍMICA DEL AGUA DEL CICLO HIDROLOGICO

a) Composición del agua de lluvia.- Al precipitarse hacia la corteza terrestre, arrastra diferentes materiales finos, que se encuentran en suspensión en la atmósfera y que, en muchos casos, son transportados por el viento.

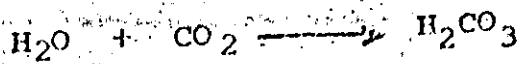
La composición química general del agua de lluvia, según Garrels y Mackenzie (1971), es la siguiente: (Figs. 2 y 3)

Na	1.98 ppm	Ca	0.09	HCO ₃	0.12
K	0.30	Cl	3.79		
Mg	0.27	SO ₄	0.58		

La concentración de elementos disueltos en la lluvia en diferentes lugares, es variable: por ejemplo, el contenido de cloro y sodio, en la precipitación que se lleva a cabo en algunas zonas costeras, es mayor de 2 y 1 ppm respectivamente, mientras que en los continentes es menor de 0.3 y 0.2 ppm, respectivamente.

Debido a la baja concentración de sales en el agua de lluvia, ésta se considera como "agua pura" y las variantes existentes entre la composición y concentración de un lugar a otro, no son de importancia en la interpretación hidrogeoquímica, salvo lugares excepcionales, donde corrientes de aire levantan una gran cantidad de partículas que posteriormente son arrastradas por la lluvia.

Al precipitarse, las moléculas de agua incorporan bióxidos de carbono de la atmósfera, formando ácido carbónico como se ilustra en la siguiente reacción.



CICLO HIDROLOGICO Y COMPOSICION MEDIA DEL AGUA DE LLUVIA, RIOS Y OCEANOS

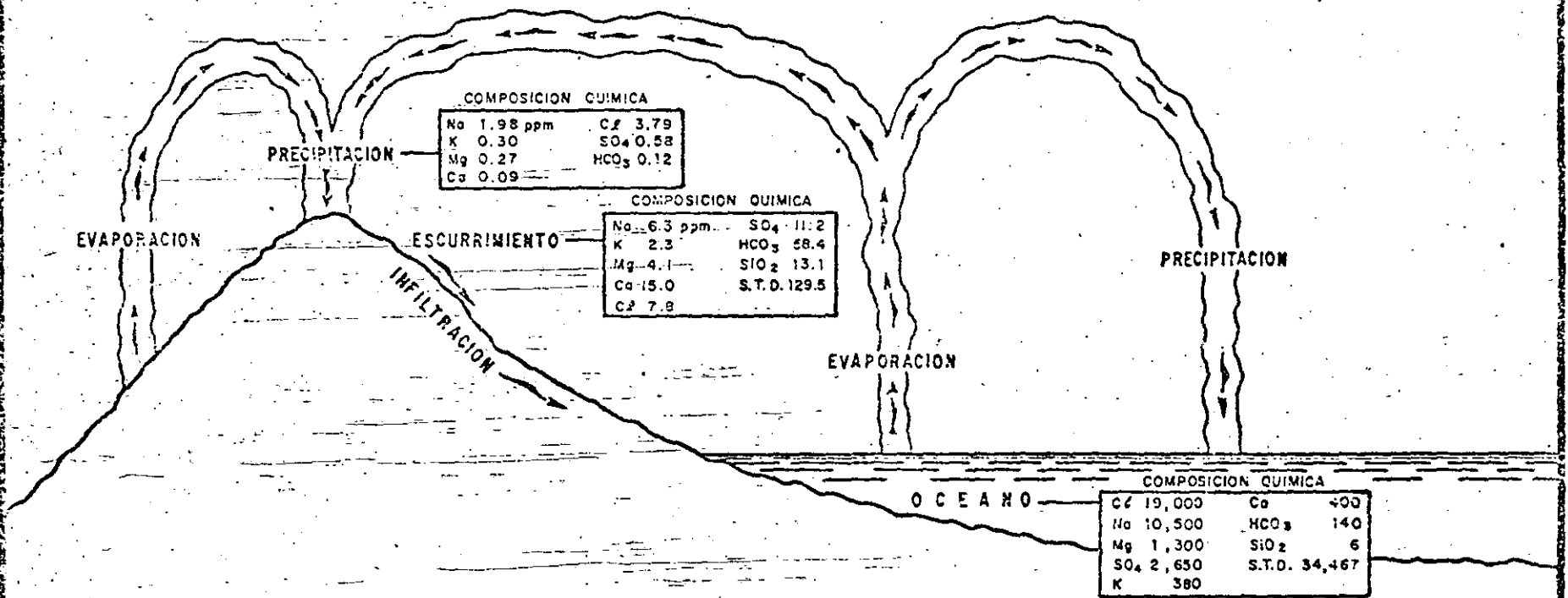


FIG 2

ILUSTRACION SOBRE LA COMPOSICION QUIMICA DEL AGUA EN DIVERSAS CIRCUNSTANCIAS

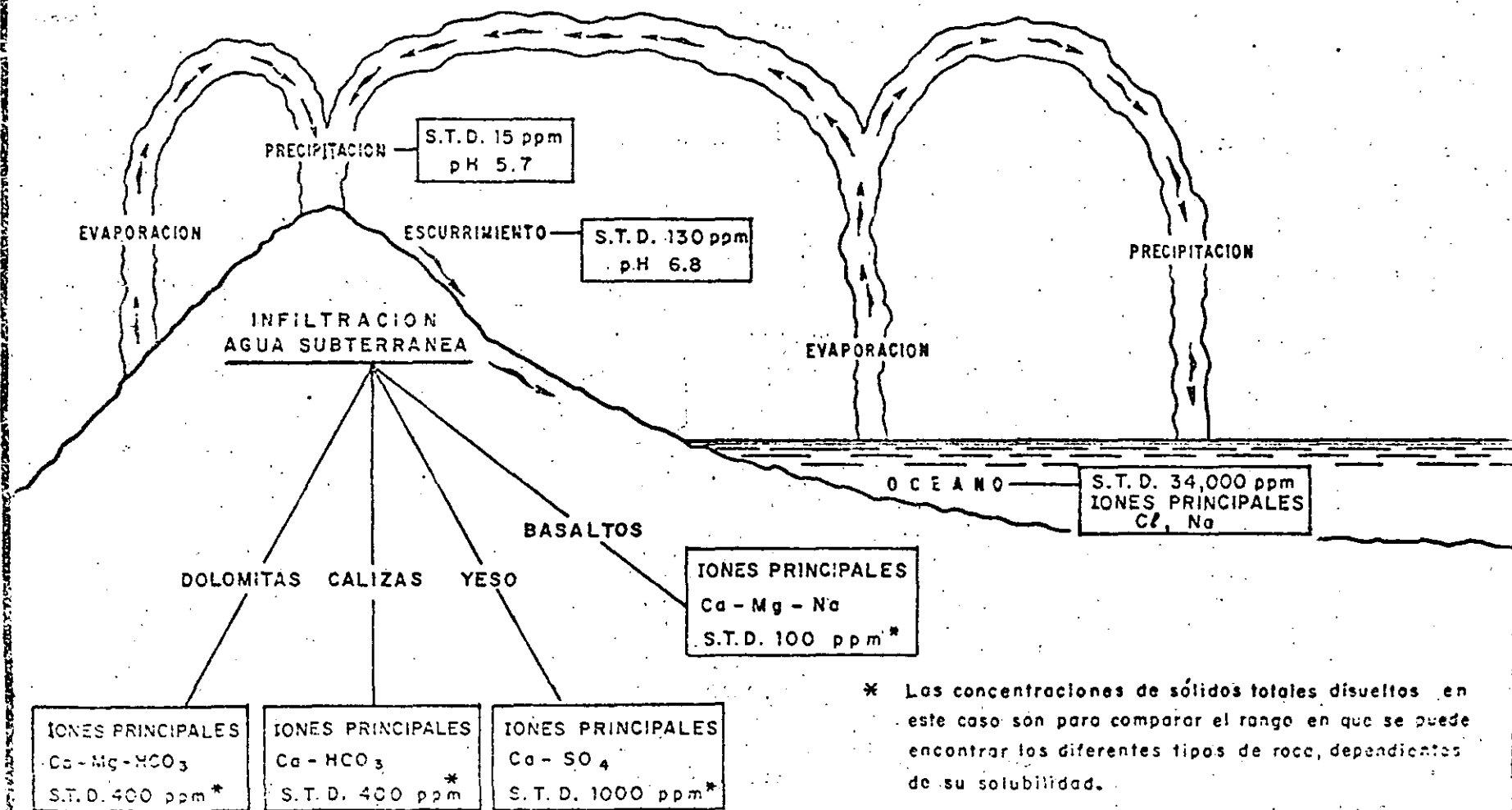


FIG - 3

Este ácido, tiene un gran poder de disolución y el principal agente de ataque del agua sobre las rocas.

- b) Composición del agua de ríos.- Las corrientes superficiales, que en la mayoría de los casos son la causa inmediata de la lluvia, tienen contacto con los materiales que forman los cauces, así como con los fragmentos de roca transportados por la corriente.

Al contacto con dichos materiales, el agua los ataca y disuelve, llegando a tener una composición de pendiente del tipo de materiales con los que tiene contacto.

La composición promedio del agua de ríos, según Livingstone (1963), es la siguiente:

Cl	7.8 ppm	Ca	15.0	Al	0.01
Na	6.3	HCO ₃	58.4	S.T.D.	129.5
Mg	4.1	SiO ₂	13.1		
SO ₄	11.2	NO ₃	1.0		
K	2.3	Fe ⁺⁺	0.67		

- c) Composición del agua de mar.- Los océanos constituyen los mayores depósitos de agua en el mundo, y se caracterizan por tener una gran cantidad de sales disueltas. Estas sales son producto de la erosión química efectuada por el agua durante el ciclo hidrológico, desde la formación de la tierra, hasta nuestra época.

Originalmente, los océanos se formaron por condensación de vapor de agua, la cual se acumuló en las partes bajas de la tierra. Se inició el ciclo hidrológico y esta agua empezó a disolver los minerales que formaban las rocas, conduciendo las sales, producto de erosión química, hacia las cuencas oceánicas. Continuó el ciclo hidrológico y con él, el aumento de sales en el agua de mar.

La composición química del agua de mar, de acuerdo con Goldberg (1957), es:

Cl	19,000 ppm	Ca	400
Na	10,500	HCO ₃	140
Mg	1,300	SiO ₂	6
SO ₄	2,650	S.T.D.	34,467
K	380		

d) Composición del agua subterránea.- La composición química del agua subterránea dependerá del tipo de roca, a través de la cual circula y de otros muchos factores complejos. (Fig. 3).

Así, tenemos que un agua que circula a través de rocas calizas, tendrá principalmente iones de calcio, carbonatos y bicarbonatos. Si circula por yesos y anhidritas, tendrá una gran cantidad de sólidos disueltos, debido a la fácil disolución de estas rocas, predominando la presencia de iones de calcio y sulfatos. El agua que circula a través de basaltos, tendrá pocos sólidos disueltos, debido a que esta roca es de difícil disolución; además, tendrá aproximadamente, la misma cantidad de calcio, magnesio y sodio.

En las figuras 4 y 5 se muestra la composición química de algunas rocas y minerales comunes.

III. METODO DE TRABAJO EN LA INTERPRETACION HIDROGEOQUIMICA

Para llevar a cabo una interpretación hidrogeoquímica, se procede de la siguiente manera (Fig. 6):

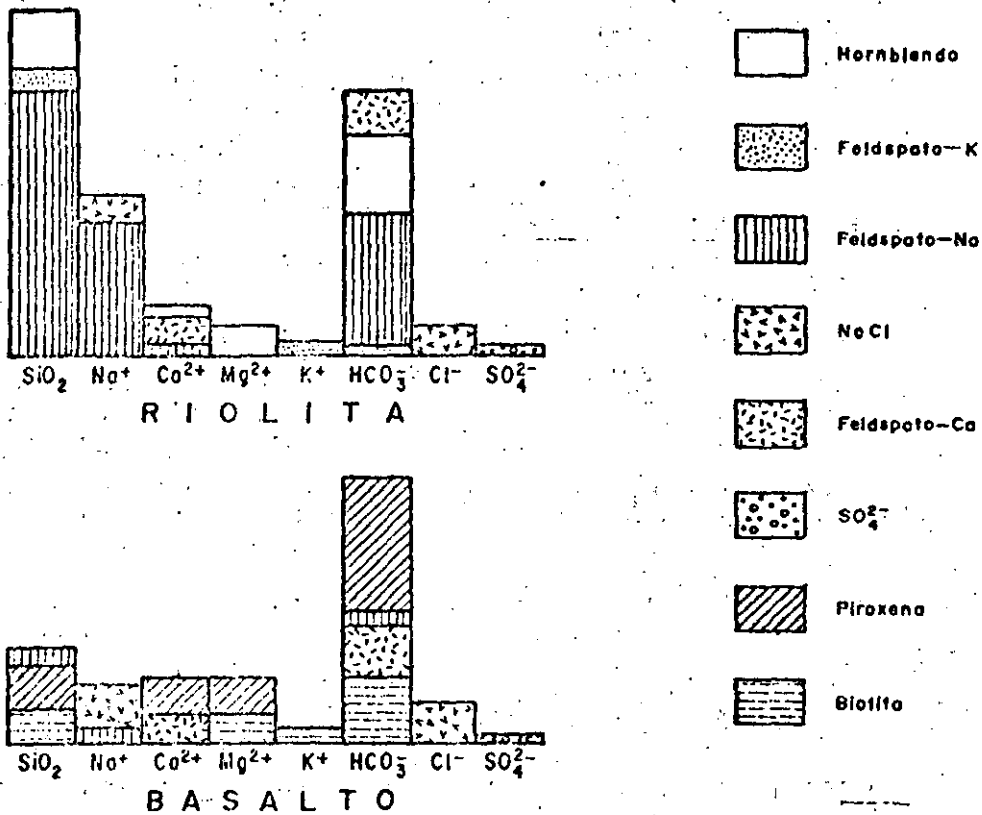
3.1. SELECCION Y MUESTREO DEL AGUA SUBTERRANEA

Se efectúa una selección de aprovechamientos, tomando en cuenta una distribución espacial, que dependerá de las circunstancias, así como el tipo de aprovechamiento ya sea pozo, noria, manantial, galería, etc., ya que en ocasiones, los diferentes tipos de aprovechamientos, corresponden a sistemas acuíferos diferentes.

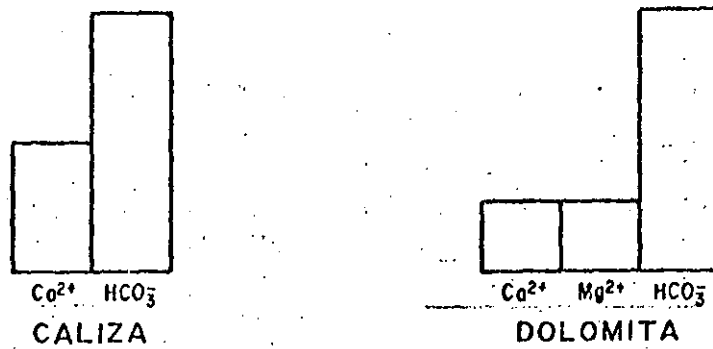
El muestreo se debe efectuar usando frascos de polietileno de un litro de capacidad, con doble tapa. Los frascos deben llenarse totalmente para evitar la gasificación de algunos componentes que podría provocar reacciones químicas y alterar la composición de la muestra que es representativa de enormes volúmenes de agua.

Al obtener la muestra en el campo, se deben tomar datos relativos a la localización y características del aprovechamiento, así como la temperatura ambiente, la temperatura del agua al momento del muestreo, el pH y la resistividad

COMPOSICION QUIMICA DEL AGUA SUBTERRANEA QUE CIRCULA POR DIFERENTES ROCAS

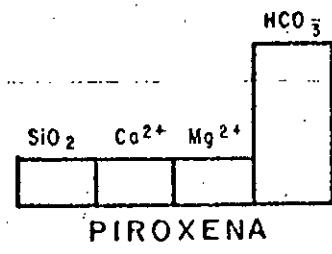
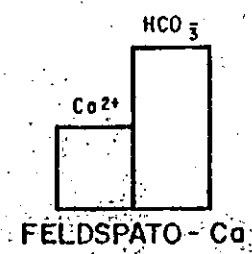
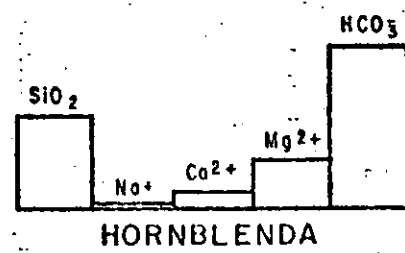
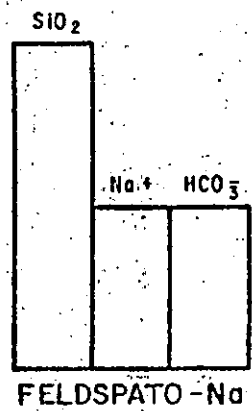
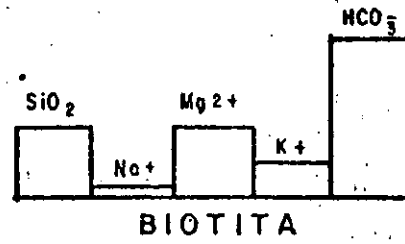
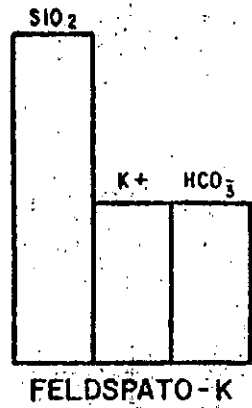


RECONSTRUCCION EN HISTOGRAMAS DE LA COMPOSICION DEL AGUA DE RIOLITAS Y BASALTOS



HISTOGRAMAS MOSTRANDO LA COMPOSICION DEL AGUA DE CALIZAS Y DOLOMITAS

COMPOSICION QUIMICA DE ALGUNOS MINERALES



DIAGRAMAS DE BARRAS QUE MUESTRAN LA COMPOSICION DE ALGUNOS MINERALES CONSTITUYENTES DE LAS ROCAS IGNEAS

INTERPRETACION GEOQUIMICA

METODO DE TRABAJO

SELECCION Y MUESTREO DEL AGUA SUBTERRANEA

ANALISIS FISICO - QUIMICOS

ELABORACION DE PLANOS, Y DIAGRAMAS E INTERPRETACION DE LOS MISMOS

- SELECCION POR POZOS, NORIAS, GALERIAS FILTRANTES Y MANANTIALES.
- MEDICION DE pH Y TEMPERATURA DEL AGUA EN EL CAMPO.
- OBTENCION DE LA MUESTRA DE AGUA EN BOTELLA DE POLIETILENO DE UN LITRO DE CAPACIDAD.

DETERMINACION DE CALCIO, MAGNESIO, SODIO, POTASIO, BICARBONATO, CLORURO, SULFATO, SOLIDOS TOTALES DISUELTOS, ETC.

TABLA RESUMEN CONFIGURACIONES DIAGRAMAS-TRIANGULARES ETC.

15

eléctrica del agua.

3.2. ANALISIS FISICO-QUIMICOS

Una vez obtenidas las muestras, se remiten al laboratorio - en donde se efectúan los análisis fisicoquímicos, determinándose las concentraciones de los principales cationes (Ca, Mg, Na, K), aniones (HCO_3 , Cl, SO_4) los sólidos totales disueltos y, dependiendo del tipo de terreno, su sugiere la - determinación de otros índices, por ejemplo, para un terreno con trazas de termalismo, sería conveniente la determinación de litio y boro, así para otros casos, se requeriría - determinar FeO , MnO , SiO_2 , F, etc. (Fig. 18)

SOLIDOS TOTALES DISUELTOS.- Los sólidos totales disueltos representan el residuo que queda al evaporar cierta cantidad del agua. No son representativas de la suma de las concentraciones de los diferentes elementos analizados, ya que, durante la evaporación en el laboratorio, los sólidos volátiles se pierden y los bicarbonatos se convierten en carbonatos. También quedan retenidas cierta cantidad de agua de cristalización que no alcanza a evaporarse. Por lo tanto, el valor de los sólidos totales disueltos, sólo proporciona un índice del ataque del agua sobre las formaciones geológicas y de la solubilidad y facilidad de remoción de las sales del subsuelo.

3.3. UNIDADES USADAS PARA REPORTAR LOS ANALISIS QUIMICOS

Las unidades más comunes, en las que se reportan los análisis químicos efectuados a muestras de agua, son: partes -- por millón y miliequivalentes por litro.

Las "partes por millón", son unidades de peso por peso, que equivale a un miligramo de soluto, por un kilogramo de solución. La unidad de peso por volumen, se tiene al asumir -- que un litro de solución, pesa un kilogramo; entonces, tenemos que una "parte por millón", es igual a un "miligramo -- por litro".

Debido a que las unidades anteriores están dadas en peso, - no hay equivalencia entre iones de diferente especie, o sea, que no se pueden mezclar, debido a que tienen diferente peso molecular y carga eléctrica. Por lo tanto, para relacionar diferentes iones en fórmulas químicas o para efectuar - correlaciones entre ellos, se utilizan unidades equivalentes.

La unidad más usada es el "miliequivalente por litro", la cual se obtiene multiplicando los "miligramos por litro", por $\frac{C}{PA}$; donde "C" es la carga del ion y "PA" es el peso atómico.

Otra unidad conocida y usada en Química, es "moles por litro", siendo una mole, el peso atómico de una substancia en gramos.

Las abreviaciones usadas en las unidades mencionadas, son las siguientes:

ppm	partes por millón.
mg/l	miligramos por litro.
me/l	miliequivalentes por litro.
mol/l	moles por litro.

3.4. ELABORACION DE TABLAS, PLANOS Y DIAGRAMAS E INTERPRETACION DE LOS MISMOS

- a) Tablas resumen.- Para controlar y tener una idea en conjunto de la composición, concentración y calidad del agua, se recomienda elaborar tablas en las cuales se resume toda la información obtenida. En la Fig. 16 se muestra un ejemplo.
- b) Configuraciones.- Con el objeto de tener una distribución espacial de la calidad del agua y con ella determinar cualitativamente las zonas de recarga, la dirección del flujo del agua subterránea, así como tener idea de algunas propiedades físicas del acuífero, se elaboran configuraciones de las determinaciones efectuadas.

Con el objeto de ilustrar este punto, en las Figs. 7 y 8 se muestran las configuraciones de sólidos totales disueltos y conductividad eléctrica, para los Valles de Aldama y Samalayucan, Chih.

En el plano de curvas isovalores de sólidos totales disueltos de Aldama, se observa que las zonas con menores concentraciones se encuentran en el extremo noreste de la ciudad de Chihuahua y en el flanco este de la Sierra de La Gloria, coincidiendo

do éstas con las zonas de recarga del acuífero, donde el agua de lluvia se infiltra.

Las concentraciones aumentan de la ciudad de Chihuahua hacia la de Aldama, indicando que el agua subterránea fluye en dicha dirección al ir disolviendo sales conforme avanza.

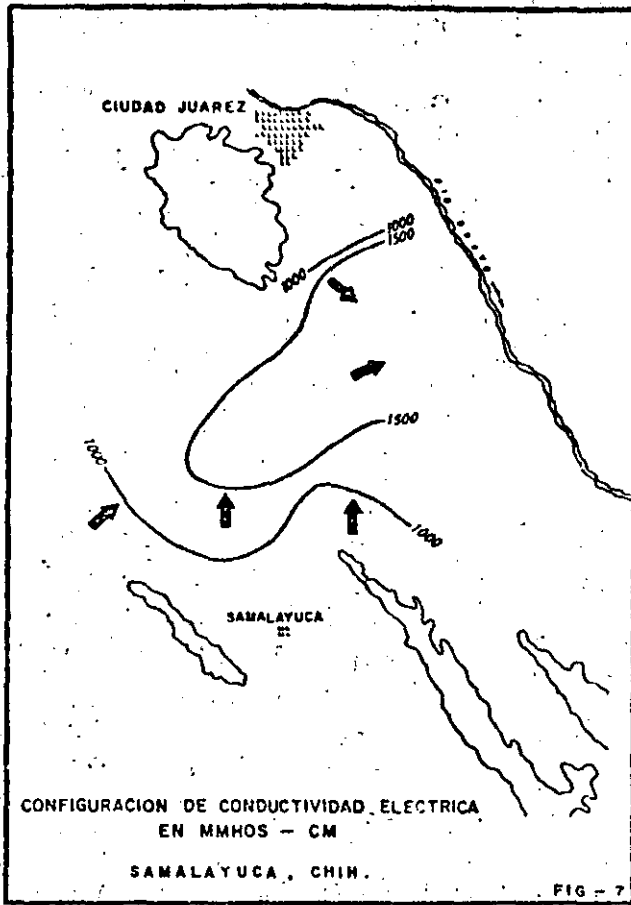
Las concentraciones aumentan de la Sierra de La Gloria, hacia el noreste y después hacia el sureste, a lo largo del río Chuiscar, mostrando que la dirección del agua subterránea es hacia el sureste.

En la configuración de conductividades del área Samalayuca-Juárez, (Fig. 8) se observa la curva 1000 al pie de la Sierra de Juárez y de 1500 hacia el sureste de ella. Esta distribución, indica que la Sierra de Juárez corresponde a una zona de recarga, donde el agua de lluvia se infiltra y fluye hacia el sureste. Observaciones similares se hacen en Samalayuca, donde se deduce un flujo de agua de sur a norte y noreste, uniéndose con el de la Sierra de Juárez, para continuar hacia el Río Bravo.

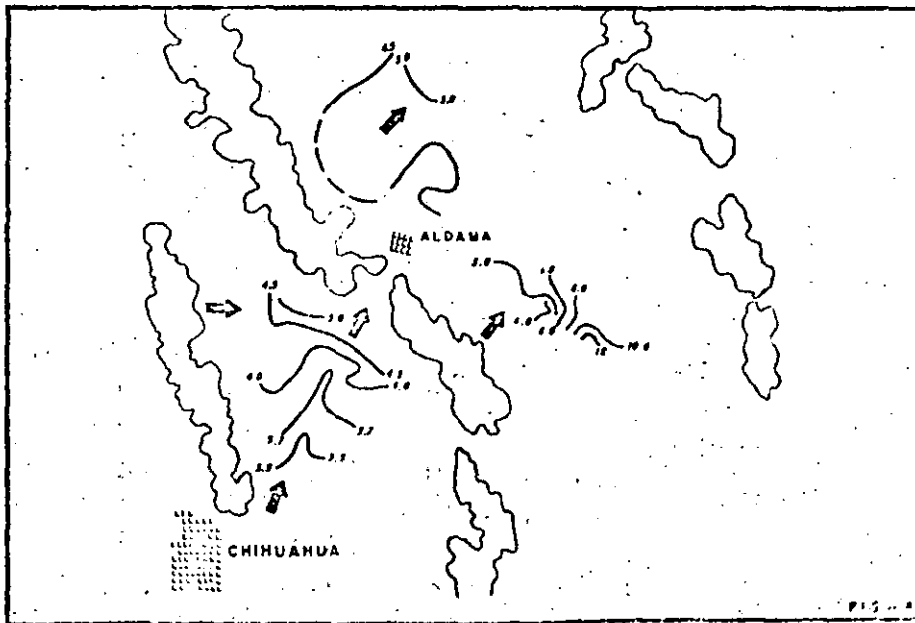
Por lo tanto, de estas configuraciones se obtiene, entre otras cosas, la zona de alimentación del acuífero y dirección del flujo, el cual coincide con el encontrado por métodos piezométricos.

En la Fig. 9 se muestra un corte geológico ilustrativo, que relaciona la zona de recarga y la dirección del movimiento del agua subterránea, con la concentración y composición química del agua.

- c) Diagramas triangulares. - Con el objeto de obtener, en forma rápida e ilustrativa, los diferentes tipos o familias de agua, de acuerdo al catión y anión predominante, se forman diagramas triangulares, como el que se muestra en la Fig. 10. En el triángulo de la izquierda de este diagrama se grafican, en porcentaje de me/l, los principales cationes y, en el triángulo de la derecha, también en las mismas unidades, los principales aniones. En los vértices de estos triángulos se definen aguas cálcicas, magnesianas, bicarbonatadas, etc., si las muestras se encuentran localizadas en los vértices con los por-



CONFIGURACION DE SOLIDOS TOTALES EN ME/L; CHIHUAHUA-ALDAMA, CHIH.



ZONA DE RECARGA

ILUSTRACION QUE MUESTRA LA RELACION ENTRE LA ZONA DE RECARGA Y LA DIRECCION DEL MOVIMIENTO DEL AGUA SUBTERRANEA, CON LA CONCENTRACION Y COMPOSICION QUIMICA DEL AGUA

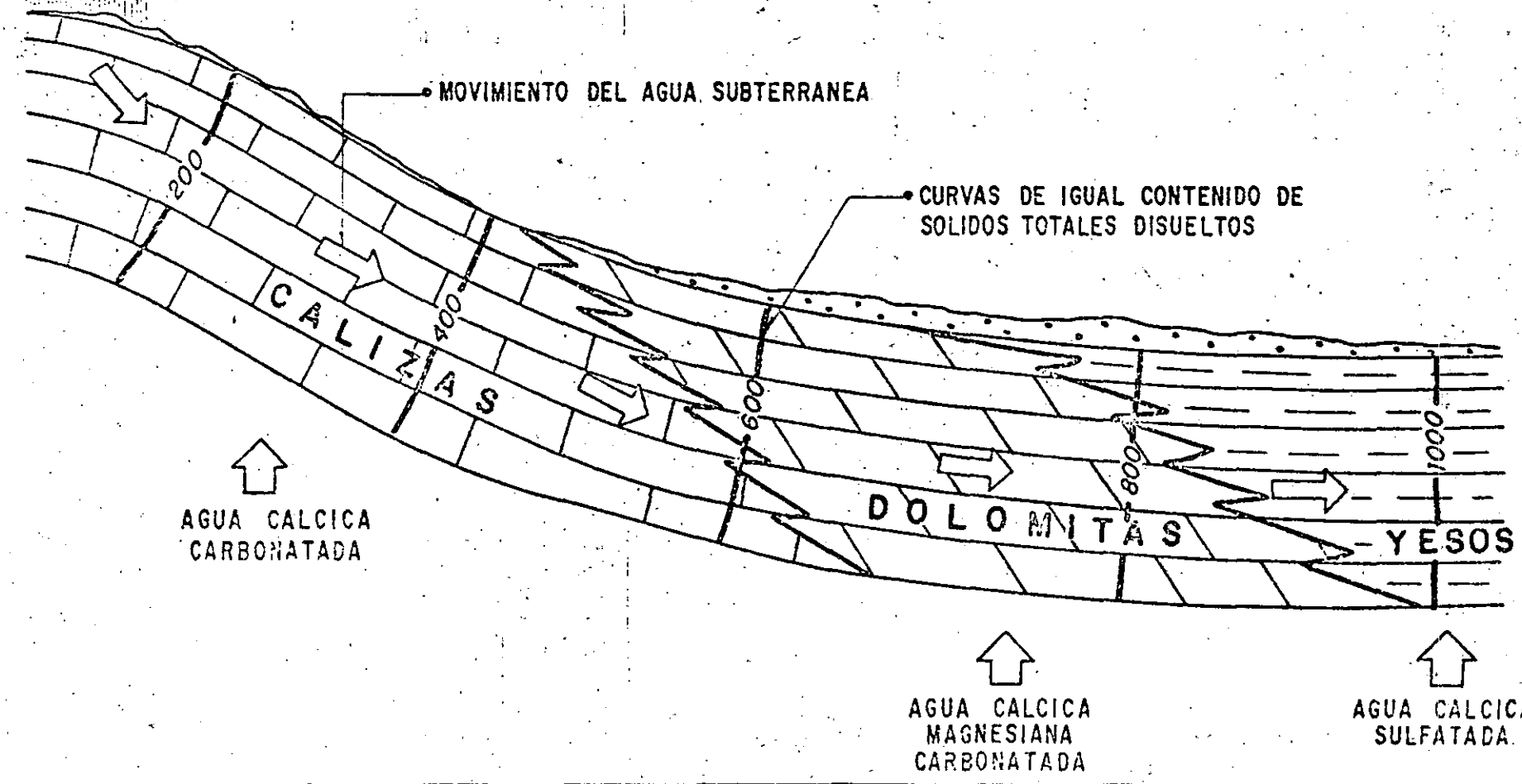
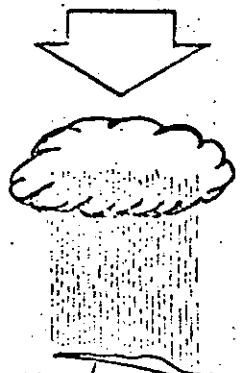


DIAGRAMA TRIANGULAR

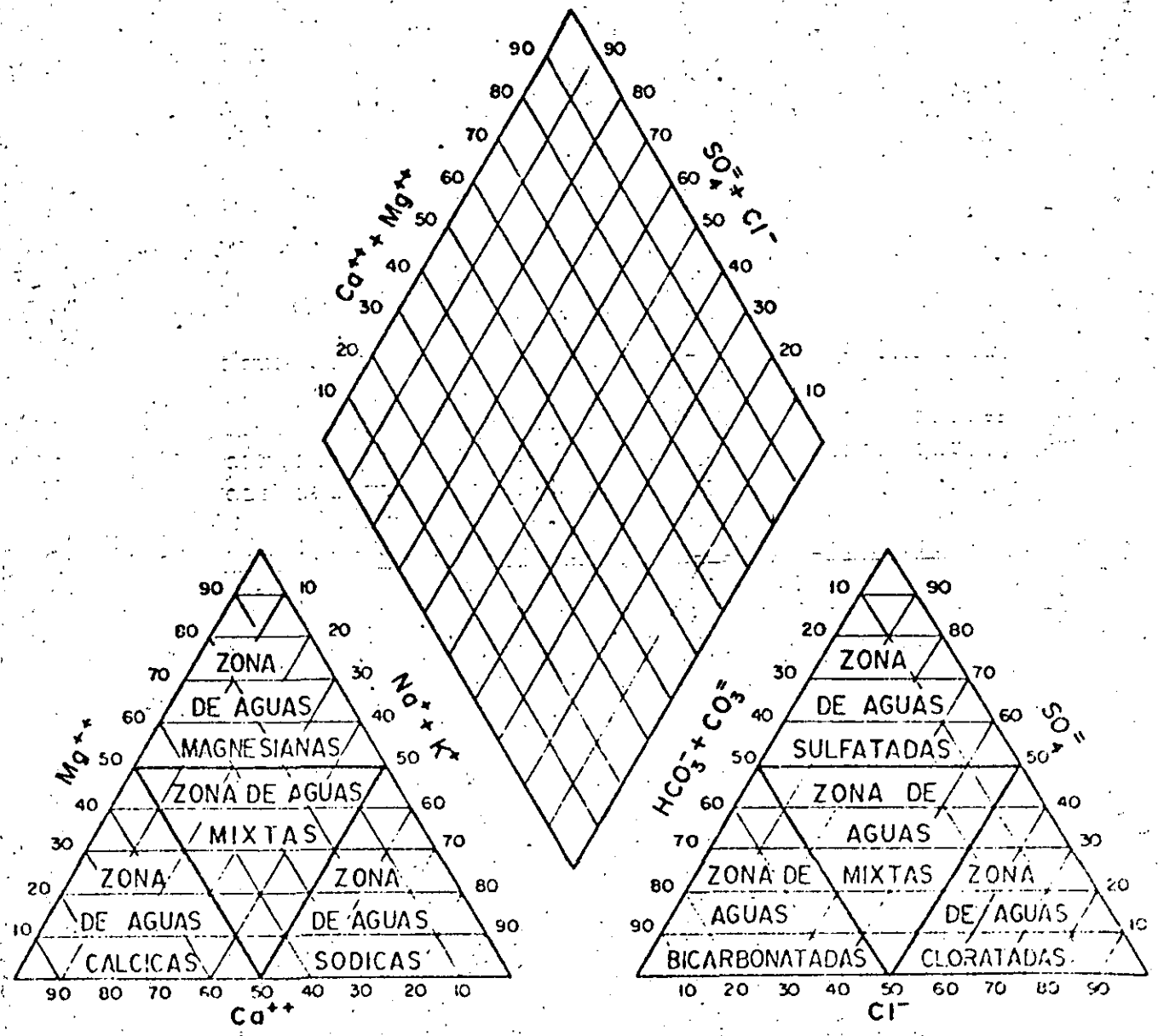


FIG. - 10

19

centajes mayores al 50% de calcio, magnesio, bicarbonato, etc., respectivamente. Se define como agua mixta, la que se grafica al centro del triángulo, por no existir un ion que predomine.

En la Fig. 11 se muestra un diagrama triangular, en el cual se graficaron muestras de agua del Valle de Tecmán-Manzanillo, Col., observándose la existencia de agua de tipo sódico-clorurada, mixta-mixta y cálcico-bicarbonatada.

El tipo o familia de agua, se vacía sobre un plano delimitando zonas con agua de diferente composición. En la Fig. 12 se muestra el plano correspondiente al diagrama triangular de la zona de Tecmán-Manzanillo, en el cual se delimitaron las zonas correspondientes a las familias de agua ya mencionadas. El agua sódico-clorurada, es consecuencia directa de contaminación del acuífero, con agua de mar. El agua mixta-mixta, es una mezcla de aguas de diferentes tipos y en la cual no predomina ningún ion en especial. El agua cálcico-bicarbonatada, es el producto de la disolución de rocas calizas por el agua.

- d) Resistividades y sólidos totales disueltos. - La resistividad es una medida indirecta de los sólidos totales disueltos (S.T.D.) que contiene el agua, ya que sus valores son inversamente proporcionales a éstos últimos. Tomando en cuenta esta característica, se forma una gráfica (Fig. 13) con la cual, se pueden calcular resistividades a partir de sólidos totales disueltos, o viceversa. Los sólidos totales disueltos calculados, en algunos casos, nos ayudan a complementar la información de configuraciones de una forma rápida y económica. Las resistividades calculadas, se pueden utilizar para hacer correlaciones con geofísica

En la Fig. 17, se muestra un ejemplo de la relación entre resistividad y S.T.D., el cual corresponde al área de Sonoyta, Son. En ella se encontró que, en ciertos lugares, el agua subterránea tenía concentraciones de S.T.D., muy altas y se encontraba rodeado por pozos con agua de mejor calidad. Se efectuaron sondeos geofísicos de resisti-

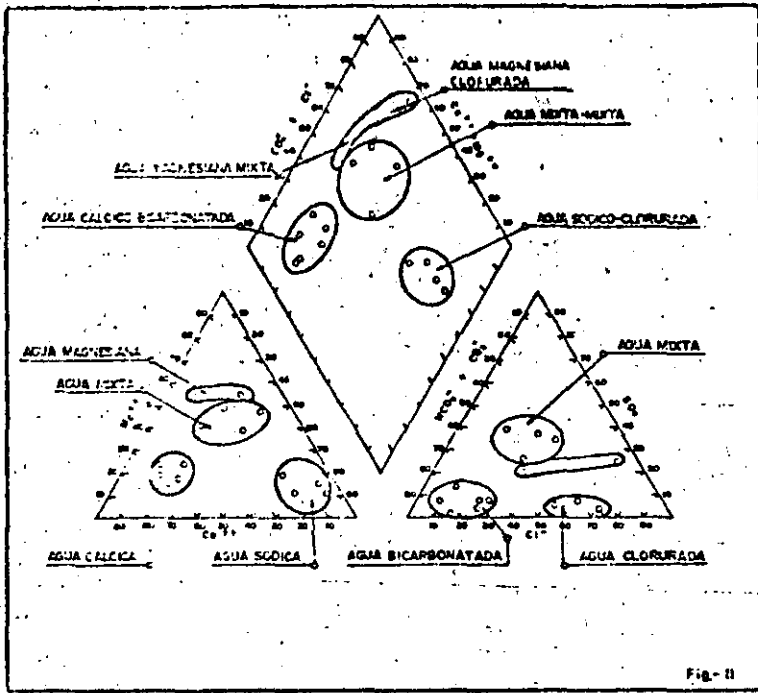


Fig-11

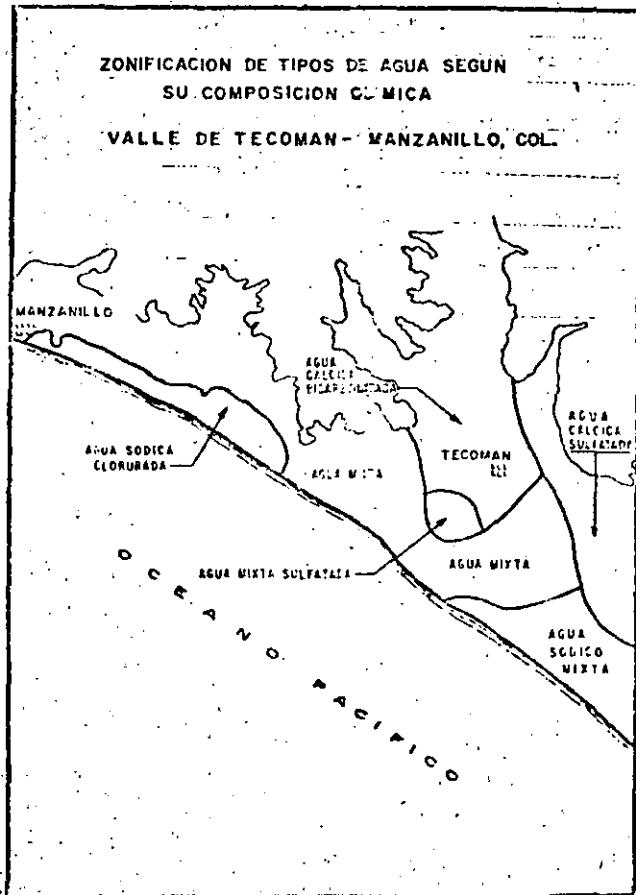


Fig 12

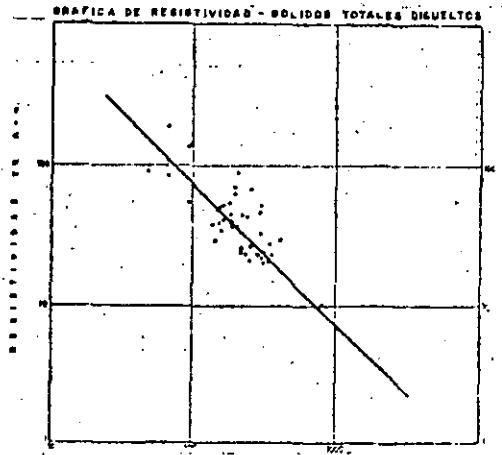


FIG 13

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS
ZONA IXTLERA DEL ESTADO DE ZACATECAS

MUESTRA	DENOMINACION	C.E. (mm)	RAS	PES. (kg)	FECHA	LUGAR	TOTAL (ppm)	S		Ca		Mg		Na		K		CO ₂		SO ₂		Cl		NO ₂	NO ₃	PO ₄	LI	SiO ₂	FeO	CLASE (CMSC)	NH ₄	PH	FAMILIA DE AGUA (DIAGRAMA TR-AM)	FAMILIA DE AGUA (CLASIF. COATEC)	T (ppm)		
								ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%													ppm	%
1-1 SAN JOSE		2430	4.12	1151			932	1.01	2.320	0	324	13.17	42	3.45	289	12.37	11.2	0.79	308	3.0	118	24.52	180	2.71	0.13	85	0.48	1.40	21	21.93	37	22.5	0.0	Sulfato - calcio - magnesio - sodio - bicarbonato	0.8		
1-2 SAN JOSE		6480	7.48	1343			153	1.170	5.212	0	775	22.68	68	7.10	820	32.27	10.8	0.28	181	2.64	2060	42.49	701	12.72	0.18	335	0.94	1.70	16	23.17	-3	3.9	7.1	Sulfato - calcio - magnesio - sodio - bicarbonato	2.7		
1-3 SAN JOSE		2106	13.25	4.748			72	1.940	1.49	0	20.4	1.9	0.54	7	0.58	412	12.92	9.2	0.24	244	4.03	479	8.34	165	4.62	0.08	13	1.70	0.60	23	-9.01	1	1.3	8.0	Sulfato - calcio - magnesio - sodio - bicarbonato	0.4	
1-4 SAN JOSE		24262	42.02	0.083			422	1.30	5.584	98.0	120	7.49	250	21.08	3430	58.76	158.0	3.99	817	15.39	4400	55.77	2442	40.74	0.15	7	2.30	11.00	29	3.04	3	2.7	1.6	Sulfato - calcio - magnesio - sodio - bicarbonato	1.0		
1-5 SAN JOSE		2932	33.12	0.814			931	5.20	99.77	16.8	281	14.02	53	4.94	2700	17.45	105.0	2.83	248	4.34	5230	50.73	102	28.00	0.20	100	0.92	7.60	33	9.78	3	1.7	7.6	Sulfato - calcio - magnesio - sodio - bicarbonato	7.0		
1-6 SAN JOSE		2450	0.76	4.115			1672	2.04	3.084	14.4	536	29.74	44	3.45	15	0.83	12.8	0.53	193	3.20	1325	31.70	34	0.97	0.06	12	1.40	2.20	44	42.76	3	2.1	7.3	Sulfato - calcio - magnesio - sodio - bicarbonato	1.2		
1-7 SAN JOSE		1110	3.11	8.625			351	0.70	1.008	14.4	111	5.34	13	1.08	130	5.66	7.4	0.19	139	2.28	352	7.33	82	2.45	0.04	3	0.40	0.90	14	15.08	3	2.1	7.3	Sulfato - calcio - magnesio - sodio - bicarbonato	0.8		
1-8 SAN JOSE		875	0.26	11.420			353	0.18	840	12.0	127	5.34	20	1.63	12	0.52	3.8	0.09	758	4.25	163	3.44	18	0.52	0.03	1	0.40	0.40	23	18.49	3	2.8	7.3	Sulfato - calcio - magnesio - sodio - bicarbonato	0.6		
1-9 SAN JOSE		705	0.28	4.184			517	0.21	556	14.4	123	6.14	2	0.16	12	0.52	1.2	0.03	203	3.34	131	2.73	23	0.65	0.05	19	1.00	0.30	31	18.72	3	1.2	7.3	Sulfato - calcio - magnesio - sodio - bicarbonato	0.1		
2-1 SAN JOSE		845					50		406																												
2-2 SAN JOSE		625					170		398	18	702	5.09	19	1.59																							
2-3 SAN JOSE		1180					370		823	24	224	11.16	43	3.40																							
2-4 SAN JOSE		1525					370		941	0	218	10.75	48	3.99																							
2-5 SAN JOSE		1070					360		741	0	183	9.22	83	5.22																							
2-6 SAN JOSE		1754					630		1303	18	548	17.27	107	8.79																							
2-7 SAN JOSE		1115					450		1105	36	262	14.07	43	3.27																							
2-8 SAN JOSE		1000					330		629	0	216	10.75	29	2.30																							
2-9 SAN JOSE		454					125		281	0	76	3.79	14	1.20																							
2-10 SAN JOSE		749					180		523	66	98	4.79	29	2.38																							
2-11 SAN JOSE		1282					480		32	30	268	13.37	73	6.00																							
2-12 SAN JOSE		1277					1040		226	0	242	27.09	63	13.45																							
2-13 SAN JOSE		2322					1840		1833	0	210	40.39	83	5.22																							
2-14 SAN JOSE		794					240		452	74	160	6.38	24	2.00																							
2-15 SAN JOSE		932					400		86	0	264	15.17	34	2.74																							
2-16 SAN JOSE		1782					240		22	121	6.03	22	1.80																								
2-17 SAN JOSE		2041					1940		2329		135	6.73	54	4.43																							
2-18 SAN JOSE		12500					1840		1987		573	18.81	29	2.40																							
2-19 SAN JOSE		1551					1350		1551		258	12.72	100	6.85																							
2-20 SAN JOSE		15720					2310		5875		334	18.15	71	6.85																							
2-21 SAN JOSE		18220					15340		4200		442	29.09	110	9.81																							
2-22 SAN JOSE		1531					617		1100		170	9.47	53	2.66																							

FIG.-16

12

DETERMINACION DE MANTOS DE AGUA SALOBRE SEPULTADOS, POR MEDIO DE GEOFISICA E HIDROGEOQUIMICA

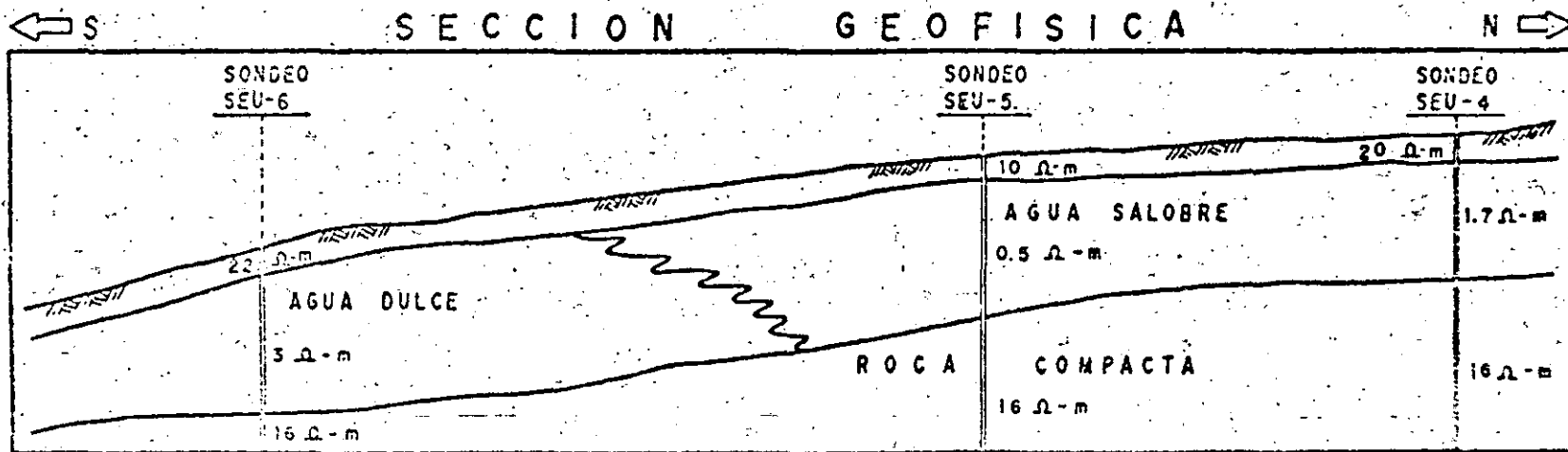
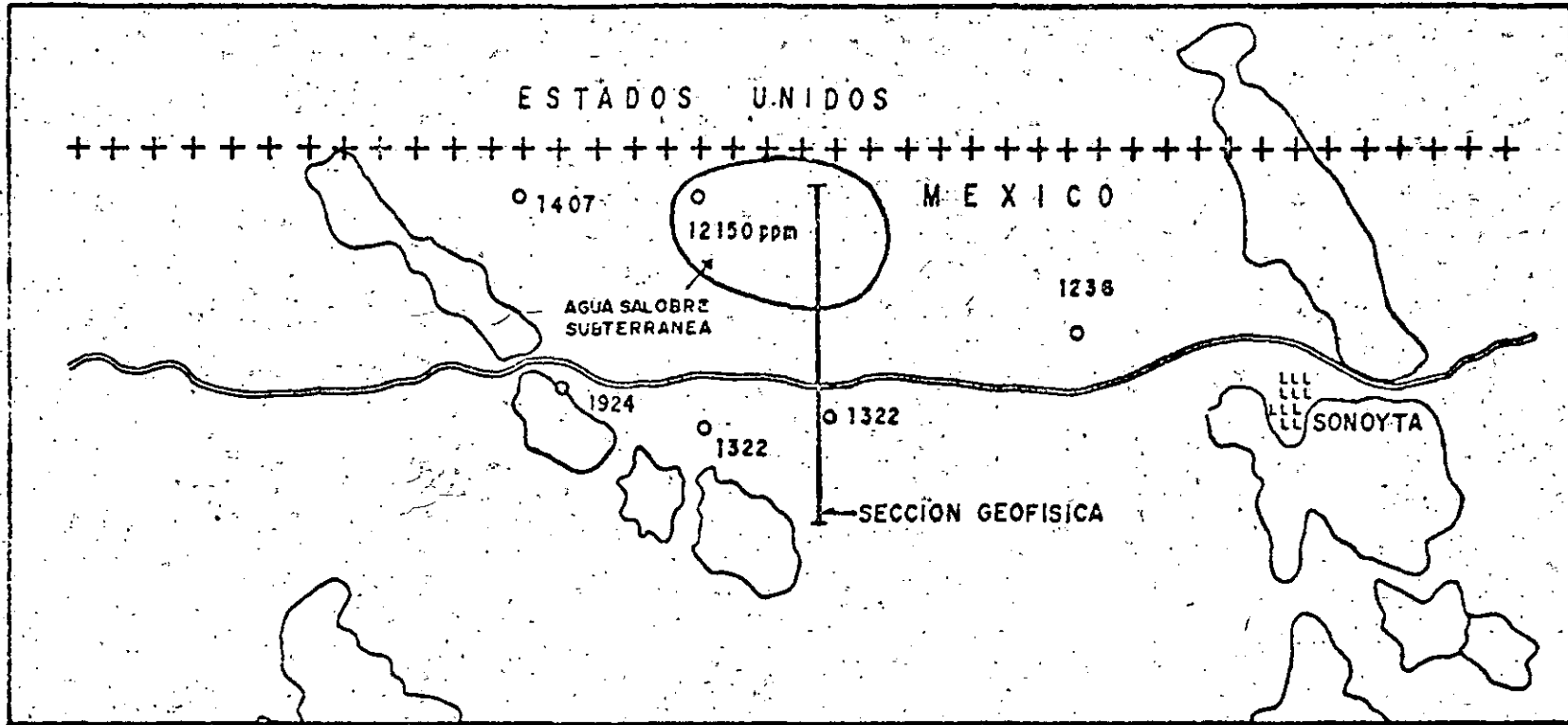


FIG-17

vidad, los cuales, al ser interpretados, mostraron la existencia de lentes localizados de muy baja resistividad, los cuales corresponden a agua salobre atrapada entre los sedimentos.

Existen otros tipos de clasificación y representación de análisis químicos, como las de Chase Palmer, Shoeller, Souline, Wilcox, etc.

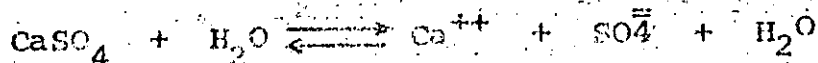
IV. GRADO DE SATURACION DEL AGUA CON RESPECTO A LOS MINERALES MAS COMUNES.

Cuando algunas muestras presentaron altas concentraciones de sólidos totales, se procede a hacer un análisis del grado de saturación del agua con respecto a los minerales más comunes; yeso $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, Calcita CaCO_3 , dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$.

4.1. METODOLOGIA

Para obtener el grado de saturación de una sal en el agua, se obtiene la constante de actividad iónica (K_{ai}) y se compara con la constante de equilibrio (K_e). Para valores de (K_{ai}) mayores que (K_e), la muestra se encuentra sobresaturada y para valores de (K_{ai}) menores que (K_e), la muestra no se encuentra sobresaturada.

En el caso del yeso, este se disocia según la siguiente reacción:



Aplicando la ley de Acción de Masas, obtenemos que la constante de actividad iónica es igual a las actividades de los productos entre los reactantes, o sea:

$$K_{ai} = \frac{[\text{Ca}^{++}] [\text{SO}_4^{--}] [\text{2H}_2\text{O}]}{[\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}]}$$

Donde los paréntesis indican la actividad iónica del ion -- que en encierran.

La actividad de los compuestos, es igual a 1.- por lo tanto:

$$K_{ai} = [Ca^{++}] [SO_4^{--}] \text{ --- --- --- (1)}$$

De manera similar para la calcita se tiene:

$$CaCO_3 = Ca^{++} + CO_3^{--}$$

$$K_{ai} = [Ca^{++}] [CO_3^{--}] \text{ --- --- --- (2)}$$

Debido a que los análisis no reportan carbonato, (CO_3^{--}), se utilizó la determinación de bicarbonato (HCO_3^-), sustituyendo la fórmula (2) de la siguiente manera:

$$HCO_3^- \rightleftharpoons CO_3^{--} + H^+$$

$$K_{ai} = \frac{[CO_3^{--}] [H^+]}{[HCO_3^-]} = 10^{-10.33}$$

Despejando:

$$[CO_3^{--}] = \frac{[HCO_3^-] \cdot 10^{-10.33}}{[H^+]}$$

Sustituyendo en la ecuación (2):

$$K_{ai} = \frac{[Ca^{++}] [HCO_3^-] 10^{-10.33}}{[H^+]} \text{ --- --- (3)}$$

Las actividades iónicas se obtienen multiplicando el coeficiente de actividad iónica (γ) de cada elemento, por la concentración en moles por litro (M).

O sea:

$$[Ca^{++}] = \gamma_{Ca} \cdot M_{Ca}$$

$$[SO_4^{--}] = \gamma_{SO_4} \cdot M_{SO_4}$$

$$[HCO_3^-] = \gamma_{HCO_3} \cdot M_{HCO_3}$$

Las concentraciones en moles por litro (M) se obtienen dividiendo las partes por millón reportadas en los análisis químicos por el peso atómico. El coeficiente de actividad iónica (γ) se calculó mediante la fórmula de Debye-Huckel:

$$\log \gamma_i = \frac{-A Z_i^2 \sqrt{I}}{1 - B a_i \sqrt{I}}$$

Donde Z es la carga del ion; A y B son constantes dependientes de la temperatura (en nuestro caso a 25°C, A = 0.5085 y B = 0.3281 x 10⁸; (Klots, 1950); a_i es una constante relacionada con el tamaño y carga del ion (HEM, 1970) I es la fuerza iónica calculada por la fórmula:

$$I = \frac{1}{2} (M \cdot Z^2)$$

Donde M es la concentración de cada ion en moles por litro.

La constante de actividad iónica (K_a), así obtenida, se compara con la constante de equilibrio (K_e), para encontrar el grado de saturación del agua con respecto a yeso y calcita.

Los valores de K_e son: (Garrel y Chist, 1965):

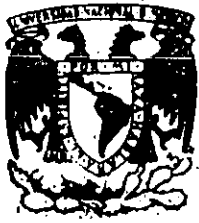
$$K_e \text{ (calcita)} = 10^{-8.34}$$

$$K_e \text{ (yeso)} = 10^{-4.61}$$

De manera similar, se procede para el cálculo de las constantes de otros minerales.

Ya obtenido el grado de saturación, se delimitan, sobre planos, las áreas sobresaturadas, a partir de las cuales, se deduce la dirección del movimiento del agua subterránea y se explica el comportamiento químico del agua.

En las zonas en donde el agua se encuentra sobresaturada de alguna sal, es de esperarse la precipitación de dicho compuesto y consecuentemente, la incrustación en bombas, tuberías, calderas y demás material que tenga contacto con esta agua. Mientras que las áreas en donde el agua no se encuentre saturada de sales, ésta continuará disolviendo y aumentando su concentración iónica.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

EL USO Y LA APLICACION DE TRAZADORES PARA AGUA SUBTERRANEA

ING. JUAN MANUEL LESSER I.

ABRIL, 1985

EL USO Y LA APLICACION DE TRAZADORES
DE AGUA SUBTERRANEA

Por: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES

R E S U M E N

La técnica sobre la aplicación de trazadores en agua subterránea, se ha venido desarrollando con nuevas metodologías en los últimos 25 años. Los principales trazadores utilizados son fluoriceinas, sales, esporas e isótopos. Las fluoriceinas son uno de los trazadores más económicos y fáciles de utilizar. Su aplicación se ha incrementado al introducir en el proceso de detección, el espectrofluorómetro y la concentración por medio de carbón activado. Las esporas, son el trazador más nuevo que existe, el cual ha probado ser de gran utilidad. Otro tipo de trazadores de agua subterránea, son los isótopos deuterio, oxígeno 18, tritio y carbono 14, cuya técnica y aplicación es cada día mayor.

I N T R O D U C C I O N

En determinadas ocasiones es de esencial importancia el conocer con exactitud si existe conexión entre dos puntos de un acuífero. Para ello se han llevado a cabo, desde el siglo pasado, experimentos consistentes en mezclar, en el agua de un aprovechamiento subterráneo localizado, aguas arriba, una sal o un tinte, el cual puede ser reconocido en otro aprovechamiento localizado a cierta distancia aguas abajo, determinando así, la posible conexión entre dichos puntos. A esta técnica se le conoce como trazadores de agua subterránea.

Este método, se ha aplicado principalmente en rocas fracturadas, donde el tiempo de tránsito es corto, y en distancias hasta de 40 km (Zotl, 1970). En menor proporción, se ha llevado a cabo en medios granulares, ya que por una parte la velocidad de flujo es relativamente pequeña y por otra, la arcilla produce absorción e intercambio iónico, por lo cual la aplicación en este medio debe ser en distancias cortas.

Los puntos de inyección más comunes, son ríos subterráneos localizados dentro de cavernas y los principales puntos de muestreo son manantiales. Con algunas limitaciones los puntos de inyección y muestreo de trazadores pueden ser también pozos, norias,

galerías filtrantes, drenes, lagos y presas.

En algunas ocasiones, se ha utilizado esta técnica para determinar si el agua de manantiales, ríos o drenes, corresponden a filtraciones de una presa o lago.

Un buen trazador, debe de reunir las características siguientes: Debe ser no tóxico; soluble en agua, identificable en pequeñas concentraciones; resistente a cambios químicos; tener poca o nula capacidad de intercambio iónico; no ser absorbido o retenido por suelo o rocas; su determinación debe ser mediante análisis sencillos y su aplicación económica.

Los principales trazadores son fluoriceinas, sales esporas e isótopos.

FLUORICEINAS

Son sustancias que tienen la propiedad de emitir luz fluorescente. La longitud de onda de esta luz, varía de una sustancia a otra, propiedad que se utiliza para identificarlas. Las sustancias más comunes utilizadas como trazadores son: Uranina, Eosina, Amidorhodamina G extra, Rhodamina FB y Tinopal CBS-X. A continuación se describen las características de cada una de estas sustancias.

URANINA.- Es la de mayor aplicación. Consiste en una fluoriceina de sodio que presenta un color naranja en soluciones concentra

das (mas de 1 ppm), que cambia a verde-amarillento al ser diluida. La intensidad de fluorescencia depende del pH. En la figura 1, se muestra la relación entre el pH y la intensidad de fluorescencia de la uranina. En aguas muy ácidas, pierde su fluorescencia pero este proceso es reversible, pudiendo recobrarla al añadir un compuesto básico, como KOH ó NH₃. Esta propiedad puede utilizarse para identificar el trazador.

El poder de la uranina, puede disminuir por medio de procesos fotoquímicos como la luz ultravioleta, por agentes oxidantes como el cloro y el ozono y en algunos casos por procesos biológicos.

Es visible en concentraciones mayores de 0.01 ppm. Antiguamente se utilizaban lámparas de luz ultravioleta para identificarla cuando se encontraba en concentraciones bajas. Actualmente las concentraciones entre 1×10^{-2} y 2×10^{-6} ppm son medidas con espectrofluorómetro.

La intensidad máxima de fluorescencia se detecta a una longitud de onda de 515×10^{-9} m. A mayor o menor longitud de onda la intensidad disminuye en forma simétrica (figura 2) y la forma de la curva distingue a la uranina de otra fluorocina. Para concentraciones menores a 2×10^{-6} ppm, se utiliza carbón activado (W.B. WHITE, 1967, F. BAVER, 1972) el cual se coloca en el agua durante un tiempo que varía de un día a semanas, donde la uranina es absorbida y concentrada de 50 a 500 veces por el car-

bón y su concentración medida posteriormente. 4

Para extraer la uranina del carbón, se le agrega a éste - algunas gotas de una de las siguientes preparaciones:

- a) Una parte de alcohol etílico al 95% y una parte de - hidróxido de potasio diluído al 15% en agua destilada.
- b) Ocho partes de N-N Dimetilformadín (DMF), dos partes de agua destilada y una gota de NH_3 .

Por último, la uranina es resistente a la absorción por - arcillas y su uso no es tóxico para el hombre o animales.

EOSINA.- Presenta una fluorescencia naranja-rosa, cuya máxima - intensidad se detecta a una longitud de onda de 535×10^{-9} m.

Cuando se presentan valores mayores de 0.01 ppm, es visi- ble al ojo humano. Entre 0.01 y 50×10^{-6} ppm, puede detectarse con espectrofluorómetro. Concentraciones menores se concentran con carbón activado del cual puede extraerse añadiendo una subs- tancia compuesta por ocho partes de N-N Dimetilformadín (DMF) y - dos de agua destilada.

Al utilizarse junto con rhodamina FB o uranina, se produ- cen interferencias por lo que su aplicación conjunta es limitada.

AMINORHODAMINA G EXTRA.- Conocida anteriormente como sulforhoda

mina G extra, presenta una fluorescencia naranja-rosa en soluciones concentradas, que cambia a verde al ser diluida. Su mayor intensidad se presenta a una longitud de onda de 554×10^{-9} m. Es visible en concentraciones mayores de 0.01 ppm y con espectrofluorómetro pueden detectarse hasta 6×10^{-3} ppm. Valores menores pueden concentrarse por medio de carbón activado, del cual puede ser extraída la fluoriceína, por medio de una solución de ocho partes de N-N Dimetilformadín (DMF) y dos de agua destilada.

Esta fluoriceína presenta inconvenientes, ya que es difícil de disolver y fácilmente absorbida por arcillas. En presencia de uranina, rhodamina FB o eosina, se producen interferencias.

RHODAMINA FB. - Presenta un color púrpura y fluorescencia roja. Su mayor intensidad se detecta a una longitud de onda de 578×10^{-9} m. Es visible al ojo humano en concentraciones mayores de 0.01 ppm. Con espectrofluorómetro se detectan hasta 10×10^{-3} ppm. Valores menores pueden ser concentrados por medio de carbón activado del cual se extrae por medio de una de las soluciones siguientes:

- a) Cinco partes de propanol y 5 partes de hidróxido de amonio.
- b) Ocho partes de N-N dimetilformadín (DMF) y dos de agua destilada.

La rhodamina FB, presenta interferencias al combinarse

con uranina, eosina o aminorhodamina G extra. Es tóxica cuando se inhala en soluciones concentradas. Por otra parte, en presencia de arcillas es altamente absorbida.

THOPAL CBS-X.- Presenta un color verde con fluorescencia azul. Su mayor intensidad se determina a una longitud de onda de 430×10^{-9} m. Es visible solamente en concentraciones mayores de 1 ppm. Con espectrofluorómetro se pueden detectar hasta 440×10^{-3} ppm. Valores menores son concentrados por medio de carbón activado del cual la fluoriceina puede extraerse agregando unas gotas de una solución que contenga ocho partes de N-N dimetilformidin (DMF) y dos de agua destilada. Este producto, es absorbido por arcillas.

EJEMPLO SOBRE LA APLICACION DE FLUORICEINA

Con el propósito de ilustrar su aplicación, a continuación se presentan los resultados obtenidos en un experimento llevado a cabo en una región cárstica.

Se propuso conocer la conexión entre el agua de un río que se infiltraba dentro de una dolina y dos manantiales situados a 5 kilómetros de la primera. Para ello, se inyectaron 3 kg de uranina en el agua de la dolina y se obtuvieron muestras de agua cada dos horas en los manantiales "H" y "S".

En el manantial "S", no se detectó uranina, por lo que

se concluye que este no tiene conexión con la zona de recarga donde se inyectó el trazador.

En el manantial "H", se empezó a detectar uranina 56 horas después de la inyección, y la concentración del trazador fue aumentando hasta llegar a 32 mg/m³, según muestra en la figura 3.

Tomando en cuenta el tiempo requerido por el trazador para circular entre los puntos de inyección y muestreo, y la distancia entre ellos, se obtuvo la velocidad mínima de circulación, la cual fue de 3.7 km/día.

Otro ejemplo ilustrativo de la aplicación de trazadores, ahora en acuíferos granulares someros es el siguiente:

En un valle aluvial que presenta un acuífero freático a 3 m de profundidad, se perforaron 9 pozos a 3" de diámetro y 5 m de profundidad, distribuidos en la forma como se ilustra en la figura No. 4.

En el pozo central, se inyectó uranina y se obtuvieron muestras de agua en el resto de los pozos, cada 20 minutos.

Después de 3 horas 20 minutos de la inyección, se detectó uranina solamente en los pozos 4 y 5; de donde se puede obtener que el agua subterránea fluye en dirección Sureste, a una velocidad de 1.5 m/hr.

Este método es utilizado en zonas sin información y su aplicación queda limitada por la profundidad a que se encuentre el nivel estático, ya que mientras mayor es ésta, mayor es el costo de los pozos de muestreo e inyección.

S A L E S

Las sales son el trazador artificial de agua subterránea más antiguo que se conoce se haya aplicado con éxito. Los productos utilizados más comunes son, sal de cloruro de sodio y sal de cloruro de potasio.

La sal es disuelta en agua y posteriormente incorporada al acuífero. Una de las desventajas que presenta este método, es que requiere que en la zona de inyección el caudal de agua que entre al acuífero sea grande. Por otra parte se necesita una gran cantidad de sales en cada experimento.

En zonas cársticas, para distancias entre 3 y 5 km se requiere inyectar un mínimo de 500 kg de sal (Zotl, 1975). La cantidad más grande que se ha llegado a inyectar en un experimento de trazadores, fue de 50 toneladas de NaCl, (W. Kass. en H. Batsche et. al., 1970), donde después de 4 días, se encontró en uno de los manantiales de observación un incremento de cloruro de solo 39 ppm.

Los grandes volúmenes de trazador requeridos mediante en

9

te método, hacen que su uso sea limitado. La ventaja consiste en que pueden efectuarse determinaciones cuantitativas.

EJEMPLO SOBRE LA APLICACION DE SALES

Durante los trabajos realizados para conocer la posible conexión entre el agua de un río que se infiltraba en una dolina y dos manantiales localizados a 5 kilómetros de ésta, como se mencionó en párrafos anteriores, se inyectaron 600 kg de cloruro de sodio y 400 kg de cloruro de potasio.

Posteriormente se obtuvieron muestras de agua con intervalos de dos horas cada una, tanto en el manantial "H" como en el "S", las cuales se analizaron químicamente determinándose el contenido de cloruros, sodio y potasio.

Al igual que en los resultados obtenidos para la fluorescencia (párrafos anteriores), en el manantial "S", no se detectó incremento alguno en su contenido salino, por lo cual se concluyó que este manantial no tiene conexión con el agua de infiltración de la dolina.

Por lo que se refiere al manantial "H", los resultados de los análisis se graficaron en la figura 5, donde se observa que 56 horas después de la inyección de las sales, se detectó un incremento en los iones determinados, ratificando la comunicación entre la dolina y el manantial.

Considerando el tiempo que tardó en aparecer el trazador en el manantial y la distancia entre éste y la dolina, se obtuvo la velocidad de flujo del agua de este acuífero.

Por otra parte, con estos resultados y los de los análisis químicos y volúmenes aforados, es factible determinar el volumen mínimo de agua almacenado, así como el conocer en que proporción el agua del manantial, proviene de la que se infiltra en la dolina.

E S P O R A S

Las esporas utilizadas como trazadores corresponden al tipo *Lycopodium Clavatum*. Tienen un diámetro de 30-55 micras y un color amarillo pálido (1 micra = 10^{-4} cm).

Su forma es similar a la de un triángulo isóseles con los dos convexos. Sus orillas forman cadenas de semicírculos cóncavos (figura 6). Están cubiertas por una fina membrana insoluble por lo que al ser incorporadas al agua son transportadas en suspensión. No se sedimentan y tienen la propiedad de no ser absorbidas o intercambiadas con el suelo o rocas.

En el año de 1953, A. Mayr, trató de emplear las esporas como trazador debido a las propiedades que presentan pero su identificación resultó problemática. J. Zotl y V. Maurin, idearon teñir las esporas de diferentes colores para facilitar su

11 94

identificación lo cual resultó exitoso. De esta manera pueden mezclarse en agua, esporas de diferentes colores y posteriormente detectarse en cierta zona de muestreo identificándose, por el color, con cuales sitios tiene conexión.

El muestreo de esporas se lleva a cabo instalando redes para plancton las cuales se pueden dejar por tiempo indefinido en el lugar de muestreo. Al preparar la muestra para observarla en el microscopio, se ha visto que se obtienen resultados satisfactorios, si se lleva a cabo lo siguiente:

A las muestras de campo se le agregan 3 gotas de hidróxido de potasio al 10%, 3 gotas de formol al 35% y una pizca de urea; posteriormente se calienta en baño de María por tres minutos. Se centrifuga y el sedimento se concentra en un tubo al que se le agrega una gota de ácido etílico. Se coloca una pequeña parte de la preparación en una lámina delgada para su análisis al microscopio.

I S Ó T O P O S

Los principales isótopos utilizados como trazadores en agua subterránea, se dividen en estables (Deuterio y Oxígeno 18) y radioactivos (Tritio y Carbono 14). A continuación se describen sus principales características.

DEUTERIO Y OXIGENO 18. - Son identificados con las siglas D y ¹⁸O. Se encuentran en el agua de mar en promedio de 320 y

2 000 ppm respectivamente. Sus concentraciones son representadas mediante las relaciones D/H y $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ y expresadas en unidades δ como sigue:

$$\delta D = \frac{(D/H)_{\text{MUESTRA}} - (D/H)_{\text{SMOW}}}{(D/H)_{\text{SMOW}}} \times 1000$$

La evaporación produce un fraccionamiento isotópico y en el agua de lluvia de zonas con climas moderados es lineal y en la proporción siguiente:

$$\delta D = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$$

El fraccionamiento isotópico, está en relación con la temperatura y altitud.

Tomando en cuenta los procesos y propiedades de estos isótopos, es posible diferenciar agua superficial sujeta a evaporación, de agua de lluvia, o de agua infiltrada a diferentes alturas.

TRITIO. - Tiene una vida media de 12.26 años. Antes del año de 1953, cuando se efectuaron las primeras pruebas con bombas atómicas, el agua de lluvia, contenía entre 5 y 10 unidades de tritio (U.T.). Como resultado de dichas explosiones, el contenido de tritio en la atmósfera se incrementó llegando a medirse hasta 800 U.T. en algunos lugares. La concentración de este isótopo en el agua, varía con la latitud y los cambios estacionales.

Tomando en cuenta lo anterior se puede decir que el agua con contenidos bajos de tritio, menores de 1 U.T. corresponde a agua infiltrada hace más de 50 años. Si tiene concentraciones entre 10 y 20 U.T. indica que el agua es de lluvia o reciente infiltración y si tiene más de 20 U.T. corresponde a agua con entre 10 y 50 años de infiltrada.

CARBONO 14.- Este isótopo junto con los mencionados anteriormente, son los de mayor aplicación de hidrología y tiene una vida media de 5730 años. El carbono 14 contenido en el agua, empieza a desintegrarse al incorporarse al acuífero, por lo cual al medir su contenido en algún punto, es posible determinar el tiempo que ha permanecido en el acuífero. Pueden detectarse edades hasta de 30,000 años.

La edad del agua por medio del carbono 14, se complementa con la del tritio, debido a los diferentes rangos que abarcan. Cuando la concentración de tritio es menor de 2 U.T. o sea infiltrada antes de 1954, se dice que es negativa y para valores mayores, o sea posteriores a 1954 se dice que es positiva. Respecto al carbono 14, si se detecta alguna concentración, significa que el agua tiene menos de 30,000 años y se dice ser positiva, pero si no se detecta entonces tiene más de 30,000 años y es negativa.

Combinando a estos isótopos, tenemos que si ambos son positivos el agua es posterior a 1954; si son negativos es que tie

ne más de 30,000 años y si el tritio es negativo y el carbono 14 positivo, el agua se infiltró entre 1954 y hace 20,000 años.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los trazadores de agua subterránea más comunes son: fluoriceinas, sales, esporas e isótopos.

Este método es de mayor aplicación, en rocas fracturadas, donde el tiempo de tránsito es corto. En medios granulares, ya que por una parte la velocidad de flujo es relativamente pequeña y por otra, la arcilla producen absorción e intercambio iónico, se utiliza para distancias cortas.

Dentro de las fluoriceinas, la que ha reportado mejores resultados es la uranina. Su utilización permite determinar, principalmente, la conexión entre dos puntos de un acuífero pero es también posible, conocer velocidades y direcciones del flujo de agua subterránea.

El uso de sales es restringido debido a la gran cantidad de trazador que se necesita utilizar en cada experimento. Es recomendable para distancias cortas.

Las esporas son el trazador más nuevo que se haya aplicado con éxito. Su manejo es sencilló, económico y puede utilizarse para distancias hasta de 40 kilómetros.

Por las características que presentan el deuterio y el oxígeno 18, es factible a partir de su determinación, diferenciar aguas superficiales sujetas a evaporación, de agua de lluvia o de agua infiltrada a diferentes alturas.

Los isótopos tritio y carbono 14, son utilizados para datar el agua, abarcando un rango de prácticamente cero a 30,000 años.

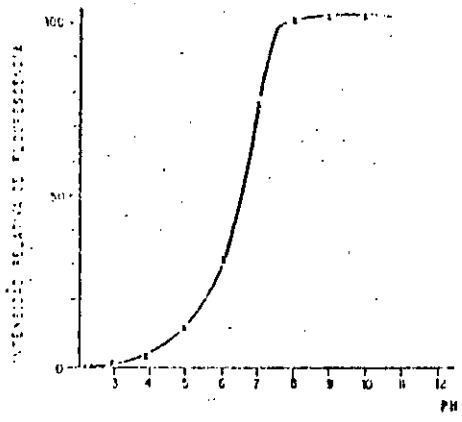


FIGURA 1

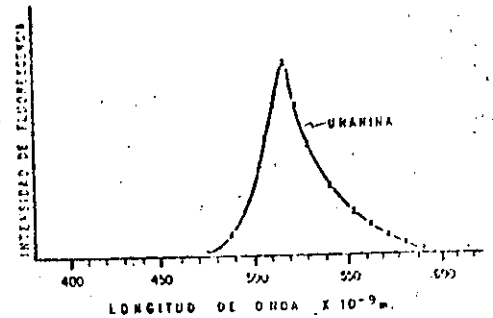


FIGURA 2

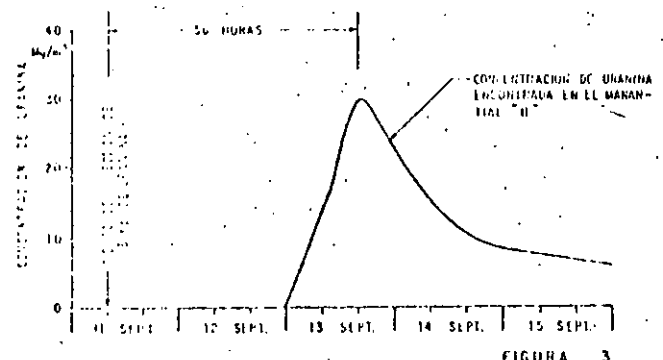


FIGURA 3

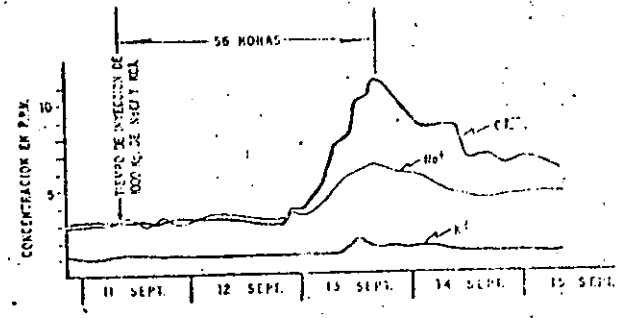
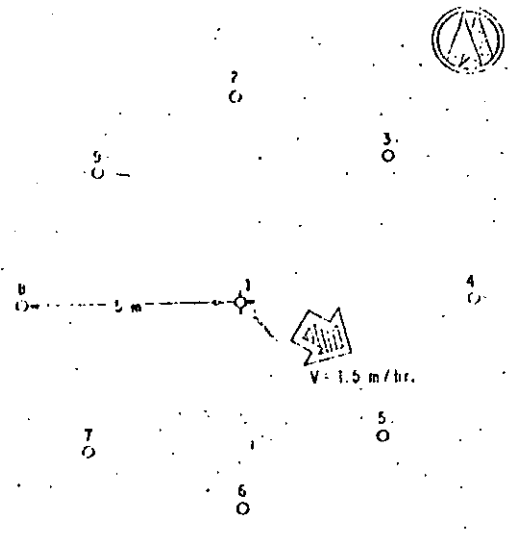


FIGURA 5



$v = \frac{4}{1}$
 $d = 5$ metros
 $t = 180$ minutos

EXPLICACION

- ▲ POZO DE INYECCION
- POZOS DE MUESTREO.
- ➔ DIRECCION Y VELOCIDAD DEL FLUJO DEL AGUA EN EL CANAL DE ALIVIO POR CADA UNO DE LOS POZOS



FIG. 6

FIGURA No. 4

17

REFERENCIAS

Akin, G.W. and J. V. Largerwerff, 1965. "Calcium Carbonate - Equilibria in Solutions Open to the Air.- I.- The solubility of Calcite in Relation to Ionic Strength". Geochim. et Cosm. Acta. 29 (4), 343-352.

Akin, G.W. and J. V. Largerwerff, 1965. "Calcium Carbonate - Equilibria in Solution Open to the Air. II.- Enhanced Solubility of Calcium Carbonate in the Presence of Magnesium and Sulfate" Geochim et Cosm. Acta. 29 (4), 353-360.

Back, William and B. Hanshaw, 1970. "Comparison of the Chemical Hydrogeology of the Carbonate Peninsulas of Florida and - Yucatan". Jour. of Hyd., Vol. X-4.

Back, William, 1961. "Calcium Carbonate Saturation in Ground Water, From Routine Analyses. "U.S.G.S., W.S.P." 1535-D.

Back, W. and B. Hanshaw, "Chemical Geohydrology"

Back W. and J. Zotl., 1975, "Application of Geochemical Principles, Isotopic Methodology and Artificial Tracers to Karst Hydrology".

Banks, H.O., and Richter, R.C., 1953, "Sea-Water intrusion -- into Ground-Water Basins Bordering the California Coast and Island Bays". American Geophysical Union Transactions, Vol. 34, - No. 4 pp. 575-582.

Banks, H.O., Richter, R.C. y Harder, J., 1957, "Sea Water Intrusion in California", American Water Works Association, Vol. 49, No. 1 pp. 71-88.

Bruington, A.E., y Seares, F.D., 1965, "Operating a Sea Water Barrier Project", American Society of Civil Engineers, Journal of the Irrigation and Drainage Division, Vol. 91, No. IRI.

Bruington, A.E. Drescher, W.J. y Sherwood, C.B. 1969, "saltwater Intrusion in the United States"., American Society of Civil Engineers Proceedings, Journal of the Hydraulics Division, Paper 6788, HY 5, pp. 1651-1669.

California Department of Water Resources, 1957, "Report by -- Los Angeles Country Flood Control District on Investigational Work for Prevention and Control of Sea Water Intrusion West -- Coast Basin Experimental Project, Los Angeles County", Boletín No. 63 Apendice B.

- California Department of Water Resources, 1958, "Sea Water Intrusion in California", Boletín No. 63.
- California Department of Water Resources, 1960, "An Investigation of Some Problems In Preventing Sea-Water Intrusion By --- Creating a Fresh-Water Barrier", No. 63 Apendice D.
- California Department of Water Resources, 1970, "Oxnard Basin Experimental Extraction Type Barrier", Boletín 147-6.
- Cooper Hilton H., U.S., Geological Survey, Water Supply Paper 1613 C.
- Castany, G., 1963. "Traité Pratique Des Eaux Souterraines".
- Dansgaard W., 1964, "Stable Isotopes in Hydrology" Tellus 16, 436-468.
- Davis, S.N. and Dewiest, 1971. "Hidrogeología".
- Dechant, M., 1967 "Die Färbung der Lycopodiumspores" Steir - Beitr. Z. Hydrogeologie, 18/19, 241-247.
- Dechant M., 1977, "The Dyeing of Lycopodium-Sopres" Notes of The Ground Water Tracing Techniques Course" Graz, Austria.
- Fairbridge, R.W. "Encyclopedia of Geochemistry and Environmental Science".
- Garrels and Chirst, 1965. "Solution, Minerals and Equilibria".
- Garrels and Mackenzie, 1971. "Evolution of the Sedimentary - Rocks".
- Gonfiantini, R., 1971 "Notes on Isotope Hydrology" International Atomic Energy Agency. Vienna, Austria.
- Hem, John. "Calculation and Use of Ion Activity" U.S.G.S. - W.S.P.
- Hem, John, 1971. "Study and Interpretation of The Chemical - Characteristics of Natural Water". G.S.W.S.P. 1473.
- Institute for Karsresearch SAZU. "Underground" Yugoslavia.
- Krauskopf, K.B., 1967. "Introduction to Geochemistry".
- Klein, H., 1965, "Salt Water Intrusion Can be Controlled", - Florida Board of Conservation, Division of Geology.
- Payne R.B., 1975 "Isotope Hydrology" International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.

Piper, A.M., 1944. "A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyses". Am. Geophys. Union Trans.

Richter, Raymond C., 1972 "Ground Water Course", Chapter 2, California Department of Water Resources.

Stumm, W. and J. Morgan, 1970. "Aquatic Chemistry". an Introduction. Emphatizing Chemical Equilibria in Natural Waters.

Suelos Salinos y Sódicos, 1954 Manual de Agricultura No. 60 - Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de America.

Todd, David K, 1959, Ground Water Hydrology, John Wiley and Sons, pp 177.

Water Quality Criteria, 1972, Report of the National Technical Advisory Comitee to the Secretary of the Interior.

White, W.B., 1967, "Modifications of Fluorescein Dye Ground Water Tracing Techniques". Steir. Beitr. Z. Hydrogeologie, 18/19 151-158.

Wittwen R., Waser H. and Matthe, B., 1971, "Essai de Fixation de la Sulforhodamine B et de la Sulforhodamine G. Extra sur Charbon Actif". Act. 4e Congr. Suisse Speleol. Neuchatel, 1971, 78-83.

Zott J. G., 1965, "Carst Hydrological investigations for the Construction of the Diessbach Reservoir".



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

PERFORACION NEUMATICA

ING. JOSE PONCE DEL TORO

ABRIL, 1985

I VENTAJAS, INCONVENIENTES Y CONDICIONES DE EMPLEO DE LA PERFORACION CON AIRE

¿Por qué perforar con aire?. Es la cuestión a proponerse antes de estudiar esta nueva técnica de perforación. Para responderla, citaremos las ventajas esenciales de la perforación con aire, confrontándolas con algunos inconvenientes que se presentan.

1. Ventajas de la perforación con aire.

Con relación a la perforación tradicional con lodo, la perforación con aire, presenta las ventajas siguientes:

- a) Mayor velocidad de penetración, debido a la liberación de los esfuerzos soportados por las formaciones atravesadas. Las formaciones son sometidas a los esfuerzos impuestos por el peso de las formaciones subyacentes. La liberación de los mismos, aumenta la tendencia de la roca a expansionarse y facilita la penetración de la broca.
- b) Aumento de la duración de las brocas, velocidades de penetración, siendo mas grandes que con lodo, los pesos aplicados sobre las broca, son más débiles y ésta tiene una duración superior. La limpieza de la broca es mejor que con lodo, dado los caudales empleados en perforación con aire. Se obtiene pues, un desgaste menor de la broca.

Estas dos ventajas se traducen en avances diarios mucho más elevados (3 - 4 veces más que con lodo), y en consecuencia, el precio del metro perforado es menor.

Entre otras ventajas, citaremos:

- Subida mucho más rápida de cuttings, (velocidad de subida en el anular, del orden de 1000 m/min.)
- No colmatación de las formaciones productoras.
- Índice muy neto señalado rápidamente en superficie, dada la gran velocidad de subida por el anular,

2. Inconvenientes de la perforación con aire.

Al lado de múltiples ventajas, la perforación con aire, presenta los siguientes inconvenientes:

- a) No control de las venidas de fluido: agua, petróleo o gas.
- b) No control de las paredes del pozo.
- c) Crecimiento del peligro de incendio. (consignas de seguridad mayores).

3. Condiciones de empleo de la perforación con aire.

Teniendo en cuenta los inconvenientes anteriores, la aplicación de la perforación con aire, queda ligada a un conocimiento geológico profundo de los terrenos atravesados.

II MATERIAL Y EQUIPO

Generalidades

Los aparatos equipados estrictamente para la perforación con aire, son excepción. En la mayoría de los casos, se utilizan aparatos - rotary normales, constituyendo los equipos especiales, una instalación completa.

1. Equipos de superficie.

1.1 Bateria de compresores.

Tienen la doble misión de asegurar durante la perforación:

- 1) La circulación de aire necesario para la subida de cuttings.
- 2) El vaciado del pozo lleno de agua.

Cada una de estas funciones, exige características diferentes. En particular, es importante disponer de una precisión elevada para vaciar el pozo, mientras que una precisión mucho más débil, es suficiente para asegurar la circulación de aire.

La práctica de la perforación con aire, muestra que en la casi -
totalidad de los casos, la subida de cuttings, es posible con una
presión máxima de 25 bars y que el vaciado de un pozo profundo,
puede realizarse en periodos suficientemente cortos, disponiendo
de una presión del orden de 100 bars.

En el origen, los perforadores, utilizaban compresores de traba-
jos públicos, a la presión máxima de 10 bars. Rapidamente, se --
comprobó que esta presión era insuficiente. Montajes bastante com-
plicados, han sido realizados, instalando compresores en serie, -
los constructores, estudiaron equipos adaptados a este nuevo pro-
blema y los principales interesados en esta cuestión, son GARDNER-
DENVER e INGERSOLL RAND.

Los compresores se montan sobre "skid" y no necesitan más que la
acometida de una llegada de combustible y una salida de aire com-
primido.

Para los compresores GARDNER-DENVER, tenemos las siguientes carac-
terísticas.

a) Dimensiones

- Longitud 7m
- Anchura 2,45m
- Altura 2,60m

b) Peso

- De 10 a 12 t. aproximadamente, según el tipo.

c) Caudales y presiones

Modelo WEN

Cuatro cilindros baja presión, escariado 10 1/4" (260,3 mm)
 Dos cilindros alta presión, escariado 7" (177,8 mm)
 Montados en W, siendo la carrera de 6" (152,4 mm)
 A la velocidad de reglaje de 1000 r.p.m., el caudal teóri-
 co de WEN es del orden de 24 m³/min.

Modelo WEK

Cuatro cilindros baja presión, escariado 7 3/4" (196,8 mm)
 Dos cilindros alta presión escariado 5" (127 mm)

4

Montados en W, siendo la carrera de 6" (154,4 mm.)

A la velocidad de reglaje de 1000 r.p.m., el caudal teórico del WEK es del orden de 12 m³/min.

La regulación de los grupos, es automática. El motor está provisto de un regulador a velocidad constante, reglado a 1800 r.p.m. Por otra parte un regulador de presión, permite escoger una presión máxima de marcha de 10 (150 psi.), 17 (250 psi.), o 24 bars (350 psi.). Este dispositivo, es sobre todo un dispositivo de seguridad, destinado a proteger el material en caso de atasco de la línea de descarga.

d) Sistema de refrigeración

Se compone de :

- Un radiador para el motor y el compresor.
- Un radiador para el circuito del aire, que comprende un serpentín de enfriamiento entre las dos etapas de compresión y otro serpentín a la salida de la segunda etapa, para suministrar aire comprimido a menos de 20° C. por encima de la temperatura ambiente, con objeto de -- proteger las válvulas, el flexible de inyección y la cabeza de inyección.

1.2 Boosters (sobrepresiones)

Son compresores horizontales con una sola etapa y a doble efecto. Para el booster tipo RLD de GARDNER-DENVER, las características en dimensiones y peso son similares a las de los compresores WEN y WEK. Escariado 6" 1/2 y carrera 11".

- Presión máxima de aspiración 25 bars (correspondiente a la presión máxima de descarga de los compresores).
- Presión máxima de descarga 100 bars.

La refrigeración del motor por una parte, del booster y -- del circuito del aire, por otra, es realizada por dos radiadores. La temperatura del aire descargado, no sobrepasa la temperatura ambiente en más de 20° C.

Un booster puede absorber el caudal de dos compresores WEN, para una descarga de 50 bars (700 psi.), y el caudal de un compresor WEN, aún más. La potencia requerida es de 184 kw, (250 ch.), para 25 bars a la aspiración y 100 bars a la des

carga.

1.3 Unidad de inyección.

Utilizada para vaciar el pozo y para la perforación con agente espumante, (de lo que hablaremos más adelante.).

Este grupo, están en general, constituido por un conjunto sobre skid, comprendiendo:

- Una bomba con pistón sumergido, (100 bars. 75 l./min.),
- Una balsa con dos compartimentos, sirviendo para la preparación de la mezcla espumante.

1.4 Montaje sobre las sondas.

La batería de compresores, se instala fuera del perímetro de seguridad. Los grupos, se sitúan uno al lado del otro, dejando el paso del operador. El colector de descarga, generalmente en 3", se posa en suelo al lado de los compresores.

El enlace entre la salida de aire, se realiza por un chiksan de 3". Este enlace, comprende por cada compresor, una válvula antiretorno y una compuerta.

El booster, se monta en derivación por dos tuberías de 3" con una válvula cada una. Esta disposición, permite descargar, - bien con el compresor solo, o con los compresores más el booster.

1.5 Tubería y manifolds de superficie.

Hemos visto precedentemente, de que manera, los compresores y el booster, eran empalmados al colector de descarga. Se encuentran sobre esta línea, varios picados, permitiendo:

- a) Recibir la inyección de la bomba de inyección.
- b) Recibir la inyección de productos sólidos (bajo forma pulverulenta.)
- c) Montar un orificio calibrado de medida de caudal.

La canalización de aire, une la descarga principal del aparato al manifold de descarga, por encima de la válvula de seccionamiento que permite aislar las bombas de lodo.

6

Dos líneas de descompresión son picadas a este nivel, una para descomprimir las varillas, y otra para descomprimir el conducto de descarga. Estas líneas van a parar generalmente a la tubería de evacuación de cuttings.

Flexible de inyección: Son utilizados dos flexibles, normales.

Cabeza de inyección: A causa del aire, necesitan un engrase más frecuente.

1.6 Aparatos de control

- a) La presión, es siempre controlada por un manómetro fijado junto al conducto de descarga, y por otro fijado junto al sondista, al lado del Martín-Decker.
- b) El registro de la presión es útil, en perforación, en terreno seco, e indispensable en terreno acuífero, para regular convenientemente la inyección de agente espumante.
- c) El registro de una presión diferencial, permite el cálculo del caudal de aire, se utiliza con este fin - un registrador del tipo Foxboro.

1.7 Cabeza de pozo

La disposición de los obturadores, es la misma que se utiliza en perforación con lodo. Al ser necesaria una estanqueidad sobre la Kelly, se utiliza un obturador rotativo, situado sobre la cabeza de pozo.

La firmeza de la sarta del obturador rotativo, está subordinada a un engrase continuo, sin el cual, aparecería fugas - después de algunas decenas de horas, y que sería rápidamente importantes.

1.8 Tubería de evacuación

Esta tubería, tiene por fin, el conducir, lejos, por razones de seguridad y limpieza, los cuttings de perforación, que salen en forma de una nube de polvo y eventualmente, los gases que puedan expulsar las formaciones.

7

Su diámetro, es en general de 7" y su longitud de más de 50 m.

Se encuentran sobre este conducto:

- a) Picados de los conductos de descompresión de varillas y del conducto de descarga.
- b) Un dispositivo de toma de muestras de cuttings, constituido por un ciclón en derivación sobre el conducto.
- c) Un dispositivo de toma de muestra de aire, ligado a un detector de gas.
- d) La extremidad del lado del bourbier, es equipada de un dispositivo de riego, constituido en general por dos picadas de 2", situadas aproximadamente a 7 u 8 metros de la salida, en las cuales descarga una bomba centrífuga, cuyo caudal es aproximadamente de 600 l/min.
- e) Una antorcha encendida, permanentemente.

1.9 Conducto de barrido

El conducto de barrido, liga las bombas de los compresores con el conducto de evacuación, su fin es el demantener una circulación de aire en el conducto de evacuación mientras se añade la varilla. La unión con el conducto de evacuación será realizada, de tal manera, que el trozo no barrido sea puesto a depresión.

1.10 Stock de lodo

Por razones de seguridad, siendo necesario el paso a lodo, se recomienda prever sobre el campo, un stock de lodo, cuyo volumen corresponda a 1,5 veces el volumen del pozo vacío.

2. Material de fondo

2.1 Tren de varillas.

Las varillas y los lastrabarrenas utilizados en perforación con aire, son los mismos que en perforación con lodo. Sin embargo, se introducen dos válvulas en la sarta:

- a) La primera válvula, situada encima de la barrena, para evitar el retorno al interior de la sarta de los cuttings. después de la descompresión de las varillas y el retor

no eventual del gas.

- b) Una segunda válvula, situada lo más arriba posible, para evitar la descompresión de la totalidad de las varillas al añadir una nueva.

Estas dos válvulas se sitúan, en cajas especialmente fabricadas para almacenarlas, por una parte en el portatricono, por otra, en un manguito de la misma rosca que los tool-joints - de las varillas.

2.2 Martillos neumáticos

Fuera de los serios problemas de desviación, que estudiaremos más tarde, se puede utilizar un martillo colocado directamente sobre la barrena. Este útil que combina eficazmente la acción de percusión y la acción rotary, permite conservar una penetración más importante con peso reducido.

- a) Puesta en obra del martillo.

Este útil puede ser puesto en obra, inmediatamente, sobre todo campo, perforando con aire.

- b) Volumen de aire necesario.

El caudal de aire necesario para su funcionamiento, no es superior al caudal necesario para la perforación con aire convencional. Está equipado de un by-pass, que -- permite el paso del exceso de aire no necesario en su funcionamiento.

- c) Presión

La puesta en obra del martillo, no implica un aumento de presión en cabeza, importante.

- d) Peso sobre la barrena.

Un cierto peso, debe ser aplicado para poner el martillo en posición cerrada y permitirle funcionar.

2.3 Barrenas

Se han fabricado barrenas especiales para la perforación con aire, pero en la práctica, las convencionales, dan excelentes resultados.

En general, se utilizan brocas de tipo duro, (se obtienen excelentes resultados con barrenas de pastilla).

Las barrenas son convencionales, pues en la perforación con aire, el efecto de jet, es muy reducido por la débil masa - específica del aire, incluso bajo presión.

Los triconos tipo percusión, deben obligatoriamente ser utilizados al rotary percusión. Un tricono, tipo percusión es el que ha sido reforzado, para resistir los choques del martillo. El refuerzo consiste en completar las soldaduras de los tres brazos del tricono, las soldaduras de los brazos de los triconos convencionales, utilizados al rotary percusión, rompen en un tiempo, bastante corto.

Actualmente, este refuerzo permite alcanzar un duración de los triconos de aproximadamente treinta horas.

Señalaremos que actualmente, los triconos tipo R 67, permiten perforar un media de 170 m. en 25 horas, en el Flysch - cretácico de Aquitania.

Útiles-diamante: Ensayos de laboratorio, han mostrado la posibilidad de utilizarlos en perforación con aire. Los resultados obtenidos en el campo, no han confirmado los resultados del laboratorio.

III PRACTICA DE LA PERFORACION CON AIRE

Vamos a estudiar la perforación con aire seco, siendo las técnicas derivadas de la perforación con aire, en terreno acuifero, - objeto de un estudio particular.

1. Programa de perforación

Con el fin de asegurar el éxito de la aplicación de esta técnica, recordaremos que es indispensable conocer perfectamente los terrenos que deberán ser atravesados. Esta es la razón por la cual la perforación con aire, ha conocido un desarrollo importante en pozos de explotación y de desarrollo de estructuras geológicas bien definidas. Generalmente, las informaciones geológicas son suficientemente precisas para localizar las zonas acuíferas susceptibles de ser atravesadas. Los programas de perforación y entubación, se establecen en función de estas zonas.

2. Preparación del pozo

2.1 Vaciado del pozo

El vaciado del pozo, es necesario para eliminar el lodo, a fin de pasar a la perforación con aire. Al final de una fase perforada con lodo, (después de entubar), la columna está llena de lodo, se reemplaza este lodo por agua, lo que permite recuperar el lodo y tener una columna de densidad inferior, cuatro métodos pueden ser utilizados:

a) Vaciado en directo

No puede utilizarse más que cuando la profundidad del pozo, es compatible de los boosters (100 bars).

b) Vaciado por palieres

Disponiendo de una presión máxima del orden de 100 -- bars, podemos vaciar un primer palier de 1000 m. los palieres siguientes, serán ligeramente inferiores a -- 1000 m. y dependen del anular casing y varillas; ej.: Para un casing de 9⁵/₈" , 36 lbs/pies y D.P. de 5" , -- los otros palieres, serán de 900 m.

c) Vaciado por tapones sucesivos.

Se hacen tapones de aire adicionado de agente espumante, a la presión máxima de los boosters, se descarga rápidamente este tapón con agua, con la ayuda de la bomba de descarga.

Cuando este tapón sube por el anular, se detiene y la presión de descarga, (a caudal constante), baja, aprovechándose para constituir un segundo tapón. Se continúa hasta la obtención de presiones de descarga, compatible con la instalación de aire.

d) Vaciado continuo

Este método, consiste en inyectar agua, aire y agente espumante de manera continua. Se regulan entonces, los caudales de inyección de aire y agua, de manera a obtener un presión en cabeza máxima compatible con la del booster. Cuando el aire pasa por el anular, esta presión en cabeza disminuye, manteniéndola reduciendo el caudal de agua.

11

A partir de un cierto momento, no pudiendo reducir más el caudal de agua, la presión en cabeza, decrece rápidamente, se corta entonces la inyección de agua y se bombea el máximo de aire disponible.

De estos métodos, retenemos el último, que da actualmente los mejores resultados. Aunque sea más delicado que los precedentes, permite vaciar el pozo, en tiempos muy reducidos, por ejemplo, actualmente, se vacía con este método, 3000 m. de casings 9 5/8" en 3 h.

2.2 Secado del pozo

Secado de la columna

El secado de las paredes del pozo o de la tubería, es absolutamente indispensable. Un pozo mal secado, puede comprometer la subida de cuttings y provocar el atasco de D.P. El secado se efectúa por circulación de aire y se acelera por los medios siguientes:

- Introducción de agentes espumantes, no diluidos, -- (20 a 25 litros), a fin de evacuar mejor el agua.
- Calentamiento del aire por by-pass, de la última etapa de compresión, (este método ha sido ensayado, pero necesita precauciones del lado tecnológico, en lo que concierne al mantenimiento de los equipos siguientes: flexible de inyección, junta cliksan).
- Compresión del aire en el pozo hasta 21 bars, (cerrando los BOP), y descompresión brutal. Esta operación favorece la separación y expulsión de la película de agua de la columna.

Reperforación del cemento

Cuando ya no se observa ninguna venida de agua en el conducto de evacuación, se efectúa la perforación del cemento, conservando la circulación de aire al máximo. Se mejora la evacuación de cuttings, inyectando estearato de calcio durante la perforación del cemento.

Comienzo de la perforación

Después de la perforación del cemento, el caudal de aire, es ajustado al caudal de secado. La perforación de la formación se hace entonces por pequeños paliers, (1 metro aproximadamente). A cada palier, se circula el tiempo necesario para verificar la buena subida y la unificación de los cuttings. Cuando se observa (además de los cuttings), la aparición de polvo en el conducto de evacuación, se considera que el pozo está seco y puede entonces continuarse la perforación con aire.

Resultados

La duración del secado, es muy variable y depende enormemente de la hidrometría del aire ambiente.

Actualmente el tiempo de secado de un 9⁵/₈"', de 3000 metros, varía de 4 a 12 horas en Aquitania.

3. Parámetros de perforación.

3.1 Velocidad de rotación

La velocidad de rotación, en perforación con aire, oscila en general, entre 40 y 65 r.p.m. Estas velocidades de rotación, permiten minimizar los inconvenientes siguientes:

- Reducción de la vida de la broca
- Desgaste rápido, de tool-joints (en terreno abrasivo)
- Peligro de rotura de varillas; (debido a un menor amortiguamiento de vibraciones en el pozo, aumentando los riesgos de rotura, por fatiga).
- Desgaste del obturador rotativo.

Por otra parte, la frecuente utilización de tricónos de pastillas, aboga en favor de una velocidad de rotación de -- 50 r.p.m.

3.2 Peso sobre la broca

El peso sobre el trépano, está condicionado por la desviación, cuyo problema será examinado más adelante.

De una manera general, incluso cuando la tendencia a desviarse de las formaciones, es débil, los pesos sobre la broca son siempre inferiores a los pesos aplicados en perforación con lodo, (12 t. en 8¹/₂" con broca R67 en la cuarcita. Perforación de las formaciones más duras, del Flysch de Aquitania: con lodo 3 t. por pulgada, con aire 1 t. por pulgada, para avances de 3 a 4 veces mayores, con aire, compración - hecha antes y después de la entubación).

3.3 Caudal de aire

El caudal de aire, debe ser suficiente para asegurar una subida correcta de cuttings. El caudal de circulación de aire, es uno de los parámetros más importante de la perforación.

Estudios hechos por M. Angel, nos permite calcular fácilmente el caudal necesario, según las condiciones de la perforación. Los resultados de estos cálculos, son resumidos a continuación:

Q = caudal deseado, expresado en m³/min. standard

Q₀ = caudal inicial, dado en el cuadro

N = constante, dada en el cuadro.

El caudal necesario, se expresa por la fórmula:

$$Q = Q_0 + N H.$$

H = profundidad del pozo en centenas de metro.

DIAMETRO DEL POZO	DIAMETRO DE VARILLAS	Q ₀ m ³ /min	N			
			VELOCIDAD DE PERFORACION EN (m/h)			
			0	10	20	30
17" 1/2	6" 5/8	180	0.80	1.23	1.66	2.08
	5" 1/2	125	0.75	1.18	1.60	2.00
	4" 1/2	130	0.73	1.16	1.56	1.94
12" 1/4	6" 5/8	48	0.58	0.92	1.22	1.50
	5" 1/2	54	0.54	0.85	1.12	1.37
	4" 1/2	59	0.52	0.78	1.04	1.28
8" 3/4	5"	23	0.46	0.68	0.88	1.05
	4" 1/2	25	0.43	0.64	0.82	1.00
	3" 1/2	29	0.38	0.56	0.73	0.88

Ejemplo:

D. pozo 8" 3/4 ; D. P. 5" profundidad 2.400 m.

Avance 10 m/h.

$$Q = Q_0 + N.H. \quad Q = 23 ; N = 0,68 ; H = 24$$

$$Q = 23 + 0,68 \cdot 24 = 39 \text{ m}^3/\text{min.}$$

La observación de estos caudales, da en la práctica excelentes resultados.

La vigilancia de la presión y de los retornos al conducto de evacuación de ripios, informa al operador de perforación con aire sobre las condiciones y limpieza del pozo, (utilización del registrador presión-caudal).

3.4 Desviación

La constante que en perforación con aire, da la tendencia a la desviación en un mismo tipo de formación, es más importante que en perforación con lodo. La liberación de los esfuerzos en perforación con aire, aumenta el fenómeno de anisotropía. El método general para luchar contra la desviación puede ser:

Reducción del peso sobre la broca y perforación rotary-percusión, cuando el peso sobre la broca no permite obtener un avance económico.

Sin embargo en las formaciones con una fuerte tendencia a desviarse, parece que la utilización de la técnica pendular con peso mínimo sobre la broca, no resuelve el problema.

En este caso, es preferible utilizar ensamblajes muy rígidos a la base, (las-trabarrenas cuadrados o ensamblaje tipo círculo, Reed), para reducir lo más posible el gradiente de la subida en desviación.

3.5 Instrumentación

Las operaciones de instrumentación, son posibles en perforación con aire, sin mayores dificultades: pesca, fresado, --backoff, etc.

3.6 Llenado del pozo con lodo

Durante la perforación con aire, las paredes del pozo han sido descomprimidas y en consecuencia, fragilizadas. Es aconsejable, tener un lodo lo menos agresivo posible, a fin de limitar la formación de curvas y, en consecuencia, el tiempo de estabilización del pozo.

Salvo en el caso de formaciones muy compactas, el pozo debe ser llenado con un lodo de viscosidad elevada, ($VH > 70$), y

10
un débil filtrado, para evitar una difícil continuación del pozo.

En Aquitania, la S.N.P.A., utiliza un lodo de cal, cuyo fenómeno de solidificación permite mantener la estabilización de las paredes por efecto de "cementación".

a) Práctica del llenado con lodo

Para débiles, "descubiertas", y formaciones compactas puede ser puesto bajo lodo por llenado de la columna técnica.

En otros casos, (descubiertas, sensibles o importantes), es preferible no "lavar" la descubierta. En -- Aquitania, el método seguido es el siguiente:

- Descenso de varillas nuevas, al fondo
- Llenado por paliers de 300 m. hasta el zapato de la columna
- Fin de llenado.

b) Control del pozo antes de continuar la perforación.

Después de llenado, con una sarta ligera (broca + 2 DC standard), es controlado el pozo.

En la descubierta, el descenso se efectúa por paliers de 300 m. A cada uno de éstos, les es efectuada una circulación para homogeneizar el lodo y limpiar el pozo.

c) Continuación de la perforación

En la medida que sea posible, dado que durante la perforación con aire, la tendencia a la desviación es bastante grande, y dada la diferencia del ángulo de equilibrio en perforación con aire y perforación con lodo, es imperativo continuar la perforación con una sarta más estabilizada para evitar un dog-log importante.

4. Control geológico de la perforación

4.1 Observación de los ripios

La toma de muestras se hace con ayuda de un dispositivo conectado en derivación sobre el conducto de evacuación, la circulación de aire presenta para el geólogo ventajas apreciables:

- rápida subida de ripios
- recuperación sistemática
- no contaminación de los ripios, que son así perfectamente representativos de la formación

4.2. Toma de testigos

La toma de testigos se hace con el material utilizado convenientemente.

Ejemplo: Sondeo Gronan nº 1 para D.E.A. en 1.964

Corona Christensen 6^{3/4} - fresa 5^{19/32} - diamante.

- Testigo nº 1: 13,10 m, recuperados 8 m, duración 3 horas; anhidrita masiva.

Parámetros: 4/5 T.-60 r.p.m.

Presión: 17 bars

- Testigo nº 2: 17,20 m, recuperados 11,50 m, duración 3 horas, mismo terreno y mismos parámetros.

- Testigo nº 3: 18 m, recuperados 7,50 m, duración 2 horas 15 minutos.

Parámetros: 4/9 T.-65/120 r.p.m.

Presión: 17 bars

- Testigo nº 4: 9,30 m, recuperados 4 m, duración 2 horas 15 minutos

Parámetros: los mismos.

4.3 Diagraffias eléctricas

Debido a la ausencia de lodo en el pozo, sólo pueden ser efectuadas las siguientes operaciones:

- Calibre

- Desviación

- Inductolog
- Gamma Ray - neutrón

4.4 Detección de venidas de fluidos de formación

Las venidas de fluido son inmediatamente detectadas dado que el sondeo está siempre en condiciones de test continuo:

- a) Venidas de gas: Una venida de gas es inmediatamente detectada, de una parte por el detector conectado permanentemente sobre el conducto de evacuación, de otra parte por la inflamación de la mezcla gaseosa (según la importancia) a la salida de este conducto.
- b) Venida de agua o petróleo: La aparición de agua o petróleo se traduce en una desaparición de polvo acompañada de un aumento en la presión de circulación. Al no poder ser evacuados los rípios, es necesario detener la perforación para procurar, o bien secar el pozo, colmatar esta avenidas o continuar la perforación con agentes espumantes y así poder realizar la evacuación continua de rípios.

5. Perforación con aire en zonas fluyentes

Estas zonas se reconocen por los siguientes índices:

- Disminución del volumen de rípios evacuados.
- Aumento de la presión de aire.
- Crecimiento del grosor de los rípios.
- Aumento del par de rotación en la perforación.

En general, se nota una aglomeración de rípios a la menor venida de agua (lo que no es cierto para determinado tipo de formación).

Existen dos maneras de impedir la aglomeración de rípios:

- 1) Dejar éstos insensibles al agua, gracias a un producto que crea alrededor de cada partícula una envoltura estanca (se suele emplear estearato cálcico)
- 2) Absorber el agua de las formaciones con ayuda de productos absorbentes.

19

La introducción de estos productos en el circuito puede realizarse con ayuda de la bomba de inyección de productos sólidos.

IV TECNICAS DERIVADAS DE LA PERFORACION CON AIRE

1. Perforación de zonas acuíferas

Una de las razones más frecuentes de detención de la perforación con aire seco es el atravesar zonas acuíferas. Diferentes técnicas permiten el poder continuar con éxito la perforación de estas zonas.

Según la importancia de estas zonas y la naturaleza litológica de las formaciones, existen varias técnicas que pueden ser utilizadas.

1.1 Perforación con agentes espumantes

Denominada todavía Air Foam, Air Mist, Foam Drilling, Mist Drilling o Water Misting en los E.E.U.U., según las regiones.

Se emprende la perforación con agentes espumantes cuando el caudal de los terrenos acuíferos es muy importante para poder considerar la inyección de productos anti-balling rentable.

Una venida de agua importante se manifiesta por:

- Aumento de la presión de aire en cabeza.
- Desaparición de rípios pulverulentos en el recuperador de éstos.
- Una aparición de agua a la salida del conducto de evacuación.
- Una variación de la velocidad de perforación (debido probablemente a una menor limpieza de la broca).

La perforación con aire se continúa adicionando agentes espumantes para evacuar el agua en forma de espuma.

a) Selección del agente espumante.

Debe ser un agente espumante no iónico que no sea sen

sible a la contaminación por el cloruro sódico, el sulfato de calcio, o el petróleo.

Se añade a este agente espumante un inhibidor de corrosión; en efecto, mientras que con el aire seco la corrosión de varillas y ripios no es de temer, con el aire húmedo la corrosión puede ser intensa. Parece que esta acción es más importante cuanto mayor es la presión de circulación.

En la mayoría de los casos, se añade cal al agente de dilución, para mantener un ph del orden de 10,5 a la salida del pozo.

Existen varias clases de inhibidores de corrosión que son solubles en el agua y no influyen sobre la solubilidad de la espuma.

b) Instalación necesaria.

La instalación es la misma que en perforación con aire seco: compresores, boosters, etc. La diferencia esencial con el aire seco es la utilización de manera continua de la bomba de inyección de agentes espumantes (presente en el campo de perforación con aire seco, para el vaciado del pozo). Además la presión de circulación necesita a veces la utilización de boosters para continuar la perforación.

c) Realización de la perforación con agentes espumantes.

La perforación con agentes espumantes se efectúa igual que con aire seco, vigilando el operador la presión de aire y la salida del conducto de evacuación:

- Presión: Un aumento de la presión de descarga con el caudal de aire constante, es debido al aumento del caudal de la formación. Se puede remediar este aumento:

- . Aumentando el caudal de aire.
- . Aumentando el porcentaje de inyección.

- Conducto de evacuación: La desaparición de la espuma

a la salida, indica:

- . Una inestabilidad de la espuma debida a un cambio.
- . Una ineficacia del agente tensoactivo en presencia del líquido de la formación. Es preciso utilizar en este caso un agente espumante adaptado al líquido a evacuar.

d) Continuación de la perforación.

Después de cada detención de la perforación y en particular, después de cada cambio de broca, se plantea el problema del vaciado del pozo. Este último puede hacerse de diferentes maneras según la altura del líquido en el pozo.

- Inyección de aire y agente espumante por los compresores para una altura compatible con la presión de descarga de los compresores.
- Inyección de aire y agente espumante utilizando los boosters para una mayor altura del líquido.
- Por el procedimiento "Air lift". En el caso en que la altura del líquido es incompatible con la presión máxima de descarga de los boosters.

e) Límites de aplicación de la perforación con agentes espumantes.

No es el problema técnico de la evacuación del agua lo que limita el campo de aplicación de la perforación con agentes espumantes. Con una potencia de compresión suficiente, se puede evacuar hasta 100 m³ - hora de agua de las formaciones. Este tipo de perforación está limitado por:

- 1) La estabilidad de las paredes del pozo.
- 2) La rentabilidad de una puesta en aplicación.

f) Estabilidad del pozo.

En terrenos compactos y bien consolidados (calizas, areniscas, dolomías) la continuidad de la perforación no presenta ningún riesgo. En cambio el atrave

24

En terrenos sensibles al agua (margas y arcillas) presenta dificultades por el deterioro más o menos rápido de las paredes del pozo.

En consecuencia, y para evitar una difícil continuación con lodo, se aconseja pasar inmediatamente al lodo a menos que el periodo antes de la colocación de la próxima tubería sea corto. En este último caso, se puede considerar el continuar la perforación con agente espumante o mejor con mud-misting, siempre que la venida de agua no sea muy importante ($< \pm 3 \text{ m}^3/\text{hora}$).

2. Mud-misting

2.1 Introducción

Acabamos de decir que el mud-misting era una solución al problema de perforación de las formaciones sensibles al agua.

Consiste en una inyección de aire y una pequeña cantidad de lodo adicionado de agentes espumantes al objeto de evitar una importante avenida de agua a las paredes del pozo.

2.2 Equipo necesario

El equipo es el mismo que en perforación con agentes espumantes, siendo completado con el equipo del sondco, a saber, balsas de lodo y bomba de misting.

2.3 Lodo

La composición del lodo es la siguiente:

1 m^3 de agua: 30-35 Kg. de bentonita
3 Kg. de carbonato sódico
2-3 Kg. de C.M.C.

Si el pozo produce aceite o un destilante es preferible utilizar la mezcla siguiente, que nos da una espuma relativamente estable:

1 m^3 de agua: 3-6 Kg. de bentonita (si la formación es muy sensible al agua)
0,7-3 Kg. de Cypen
0,7-1,5 Kg. de Dispac

23

Después de la experiencia, el lodo ligero, debería tener una viscosidad Marsh, entre 32 y 38 segundos. El lodo puede ser muy ligero si las venidas de fluido, son mínimas. Si estas venidas son importantes o, si el pozo está en mal estado, es preferible aumentar la viscosidad hasta 38 - 40 segundos.

Hemos señalado que esta viscosidad no debería, sin embargo, sobrepasar 40 segundos.

2.4 Caudal de inyección

Es del mismo orden que el del Mist Drilling y depende de la importancia de las venidas de fluido.

2.5 Elección de la mezcla agente espumante-lodo

En condiciones normales, esta mezcla puede estar entre 0,25 y 0,50 %. En caso de producción de aceite, esta mezcla se eleva hasta 0,75 a 1%.

Conclusión:

Esta técnica, interesante, en los casos de venida de agua no muy importantes, no ha sido todavía desarrollada en Europa, pero ha tenido un cierto éxito en U.S.A.

Como regla general, parece que la práctica del Mud-misting, consiste en perforar lo más rápidamente posible y entubar desde el fin de la fase.

(Cf. Technical Memo nº 114 de Dresser Magcobar.)

3. Agua y lodo aireado

3.1 Introducción

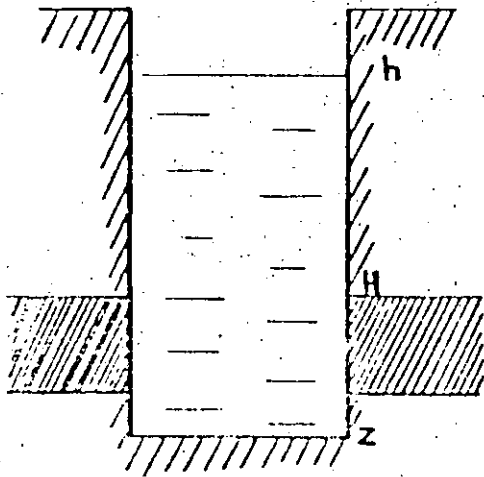
La perforación con agua o lodo aireado, aporta una solución interesante a los problemas de pérdidas totales, a la recuperación de ripios o al restablecimiento de la circulación.

La elección entre agua o lodo, depende de las formaciones -- atravesadas.

El principio de la perforación por aireación, consiste en -
inyectar agua o lodo, (con los caudales calculados en per-
foración clásica) y aire comprimido, de manera que se obten-
ga en el anular, una emulsión tal que la nueva presión en -
las zonas de pérdidas equilibre la presión de dichas zonas.

3.2 Cálculo de la mezcla aire/lodo necesario.

Para dar cuenta de la severidad de las pérdidas, es indis-
pensable, conocer el nivel hidrostático del agua o del lo-
do en los pozos y la cota de esta zona de pérdida. El cono-
cimiento de estos niveles nos da la presión de estas zonas.



Sea h el nivel estático del lodo
en el pozo; H la cota de las zo-
nas de pérdida y d la densidad -
del lodo, deseamos obtener una -
densidad aparente

$$d' = \frac{H - h}{H} \cdot d$$

Siendo n la relación aire/lodo -
en condiciones standars, en m^3/m^3
un cálculo teórico nos da:

$$n = \frac{h \cdot d}{24 \log \left(1 + \frac{H \cdot d'}{10} \right)}$$

Esta relación, es teórica y se pueden despreciar las pérdidas
de carga en el anular teniendo en cuenta, las pérdidas de des-
lizamiento del aire en el lodo. Tomamos en general, un rendi-
miento para esta operación del orden del 30%.

3.3 Práctica de la perforación con lodo aireado

1.- Equipo necesario

El cálculo de la relación aire/lodo, teniendo en cuenta -
el rendimiento, nos fija el número de compresores que de-
bemos poner.

Las presiones de circulación elevadas, necesitan de la -
misma manera, presiones superiores.

25

Se encuentra también, la bomba de inyección de agentes espumantes, (esta inyección aumenta el rendimiento de la operación).

Un obturador rotativo, (además de la cabeza de pozo clásica), está unido a un separador aire/lodo, colocado en general, sobre los tamices vibratorios.

Dos válvulas del mismo tipo que las utilizadas en perforación con aire seco, son indispensables en la sarta. La primera, de muelle, sobre el útil, la segunda, de postigo lo más cerca posible de la junta de la kelly.

Jet-sub:

Con el fin de regularizar, la vuelta de la circulación en ciertos casos, (relación aire/lodo elevada, formación en el anular de tapones sucesivos de aire y de lodo), se incorpora un jet-sub.

Este jet-sub, es un racor, taladrado por un orificio de aproximadamente 1/4 de pulgada.

La posición de este jet-sub en la sarta, es muy delicada; solo la experiencia, puede permitir una buena utilización de este instrumento. La experiencia de Intairdril en Libia, está a favor de la posición del jet-sub, por debajo del nivel estático del fluido en 300 m.

Una solución nueva que se desarrolla en EEUU, consiste en inyectar el aire y el lodo separadamente, en el pozo, gracias a un tren de varillas dobles. Este procedimiento es, por otra parte, utilizado desde hace varios años, en las perforaciones de poca profundidad, (es el procedimiento Con-Cor).

Recientes artículos de la prensa petrolífera, hablan de perforaciones de más de 3.500 m., utilizando este procedimiento. Esta solución parece ideal para resolver todos los problemas de pérdidas de circulación, desgraciadamente, necesita de inversiones suplementarias, como son:

- Un tren de varillas dobles, cuya largura depende del nivel estático en el pozo.
- Una varilla de entrenamiento doble.
- Una cabeza de inyección doble.

Esta solución, presenta la ventaja de no tener en cuenta la cota de las zonas con pérdidas.

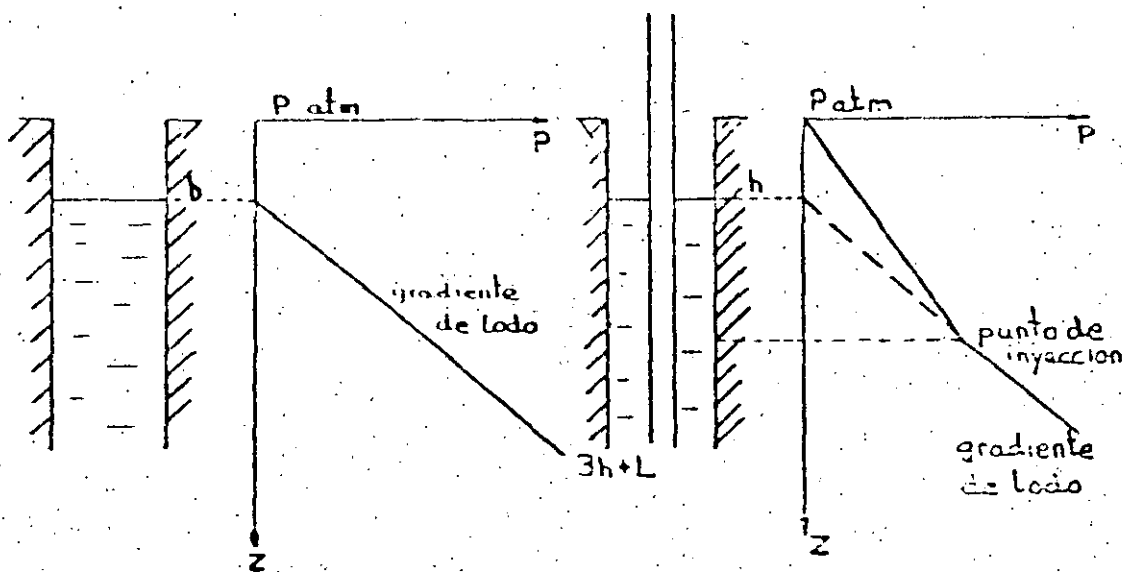
Volvemos a tomar los esquemas del pozo y las curvas de presión de fluido en el pozo.

Llamemos h al nivel estático del fluido en el pozo.

Inyectando aire a la cota $3h$, obtenemos una inmersión de $66'$, Un cálculo simple, nos da las condiciones de presión y caudal, exigidas por los compresores de aire.

Después de la aireación, obtenemos la curva de presión de la figura. La aireación, será calculada de manera que se obtenga la vuelta de la circulación.

Más allá del punto de inyección de aire, las curvas de presión, están confusas.



Si L es la longitud perforable por tricono, bastará entubar a la cota $3h + L$ y desplazar el punto de inyección de aire a cada cambio de tricono, para evitar las molestias de erosión probables, debidas a las grandes velocidades de la emulsión.

La perforación se parece a una perforación ordinaria con lodo, no siendo utilizado el aire más que para restablecer la circulación, (sin aire en el tricono ni en el descubierto).

2.- Conducción de la perforación

Una vez establecido el régimen, el caudal de aire se regula en función de las balsas, de manera que no haya ni ganancia ni pérdida.

- Introducción de una varilla

La introducción de una varilla, debe ser lo más rápida posible, en efecto, la aireación del anular no se para bruscamente en el momento de la parada de la circulación.

Se corta el aire y se continúa bombeando el lodo, de manera que se expulse de las varillas, el aire comprimido entre la junta a desenroscar y la válvula superior. La unión de varillas es idéntica a la practicada en la perforación convencional.

- Reanudación de la perforación

Se pone en marcha, primero la bomba de perforación, después la de inyección con aire.

- Cambio de tricono

Ante la maniobra de cambio de tricono, es aconsejable bombear el lodo en las varillas, afin de expulsar el aire comprimido del interior del tren de varillas.

3.- Problemas de la corrosión

Los problemas de la corrosión, se resuelven utilizando diferentes tipos de inhibidores. En la mayoría de los casos,

es suficiente con añadir añ agua, cal (o simplemente cemen-
to), con objeto de mantener un ph superior a 10.

En el caso de lodo aireado, se utiliza más a menudo, una -
mezcla fosfato-cromato o un inhibidor diatómico.

Nota: La utilización del útil jet, puede ser conservada en
ciertos casos. Para ello, es preciso que la presión de cir-
culación, sea compatible con la presión máxima disponible.
El rendimiento de la aireación, es por otra parte, mejorado
en este caso.

4.- Conclusión

La perforación con agua aireada, tiene grandes éxitos en
Libia y en España, (problema de aprovisionamiento de agua
delicada).

Siendo cada problema un caso especial, la decisión de per-
forar con agua aireada, necesita un estudio exhaustivo de
las condiciones del pozo.

Pensamos que el procedimiento del tren de varillas doble,
debe desarrollarse, pues representa la solución ideal al
problema de las pérdidas de circulación.

V PERFORACION CON ESPUMA COMPACTA (STIFF FOAM)

1. Introducción

En este procedimiento, el fluido de circulación, es una espu-
ma estable, que permite la evacuación de los ripios y la no
sedimentación de éstos, en el momento de paradas de circula-
ción.

2. Aplicaciones

La utilización de este procedimiento, aporta una solución --
económica a los problemas siguientes:

- a) Pozos de diámetro grueso, para los cuales no son lo
bastante buenos los aparatos de perforación conven-
cional, (caudal de circulación insuficiente) y que
exigiría en perforación con aire seco, instalaciones

demasiado grandes, ejemplo: cantidad de aire necesaria en 24" al stiff-foam, 15 m³/min. aproximadamente.

- b) Perforación de las formaciones no consolidadas: arenas, gravas, conglomerados, etc.
- c) Perforación de terrenos sensibles al agua.
- d) Perforación de zonas con fuertes pérdidas de circulación, dónde se ejerce una presión hidrostática mínima.
- e) Perforación de zonas de producción a base de presión (sin contaminación). Se evita todo riesgo de combustión en el pozo.

3. Puesta en obra

3.1 Mezcla lodo-agente espumante

El lodo tiene la composición siguiente:

- Para 1 m³: - Bentonita 25 - 30 kg.
- Carbonato sódico 3 kg.
- C.M.C. HV 11,5 kg

El porcentaje de agente espumante, varía de 0,5 a 1% de volumen de lodo.

3.2 Caudal de inyección.

Este caudal es variable, siguiendo el pozo. La experiencia muestra, que los pozos de 6" y 8 1/2", no es posible descender más abajo de 20 l./min. En 24" se obtienen excelentes resultados con 70 l./min.

3.3. Cantidad de aire a inyectar

La cantidad de aire a inyectar, debe ser tal, que se obtenga una velocidad teórica de subida en el anular de 30 - 60 m./min. Es del orden de:

- 11 a 15 m³/min. en 26"
- 7 a 8 " en 15"
- 1 a 1,5 " en 6"

Con un caudal de aire demasiado elevado, se formará en el pozo

zo un régimen turbulento, que destruirá la capacidad de transporte de los ripios en la espuma. El caudal de aire debe ser regulado de tal forma que se obtenga a la salida del pozo, un recorrido continuo de espuma.

3.4 Equipo

a) Compresor:

Características dadas por el caudal de inyección de aire necesario; los problemas de avenidas de agua, durante las paradas determinan la presión de los compresores.

Ejemplo: CIFAIR, utiliza para las perforaciones en 24" a los 150 m. aproximadamente, un compresor WEN de 24 m³/min. teóricos, (24 bars). El caudal es regulable y la presión de circulación, varía de 4 a 6 bars.

b) Bomba de inyección:

De caudal máximo 150 l./min. Subida sobre skid, con dos depósitos de 2 m³. La mezcla agentes espumantes-lodo, - (preparado en las balsas de las sondas), se realiza en estos depósitos.

c) Obturador rotativo:

O stripper fixe, siguiendo los diámetros de los pozos.

d) Conducto de evacuación:

De la espuma y de los ripios hasta el bourbier.

3.5 Avenidas de agua

Las avenidas de agua, son descubiertas por el cambio de consistencia de la espuma. Para volver al sistema precedente, es necesario:

- Aumentar la concentración de jabón de la solución
- Regular el caudal de aire.

3.6 Conclusión.

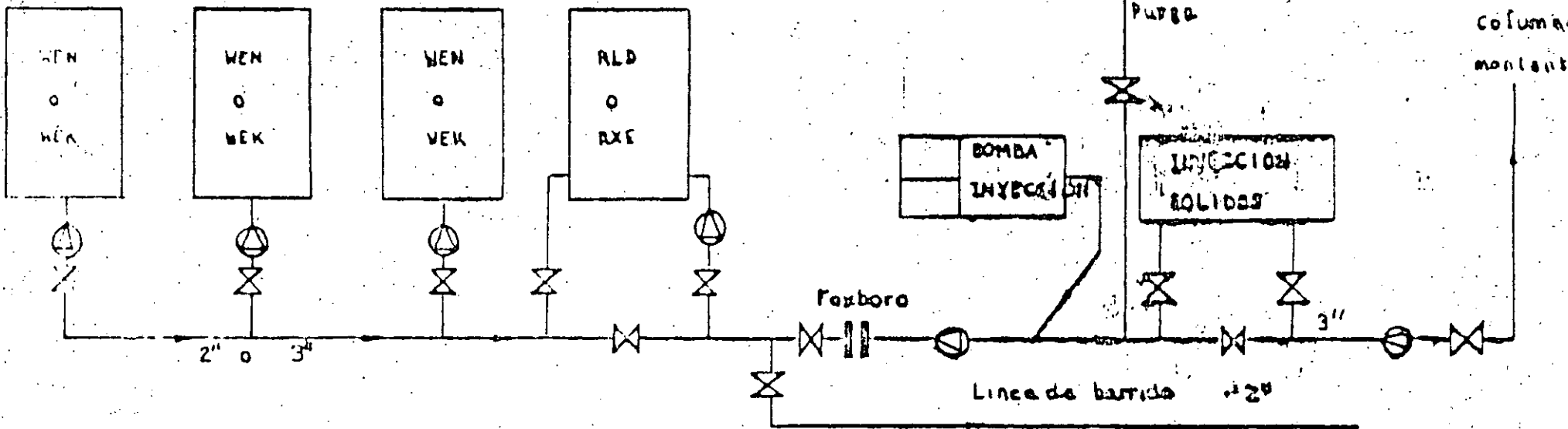
Las aplicaciones del Stiff Foam, son simple y poco costosas.

El procedimiento es seguro. Facilita una interpretación geológica.

Esta técnica aumenta el campo de actividades de la perforación con aire, dando una solución concisa y económica, a los siguientes problemas:

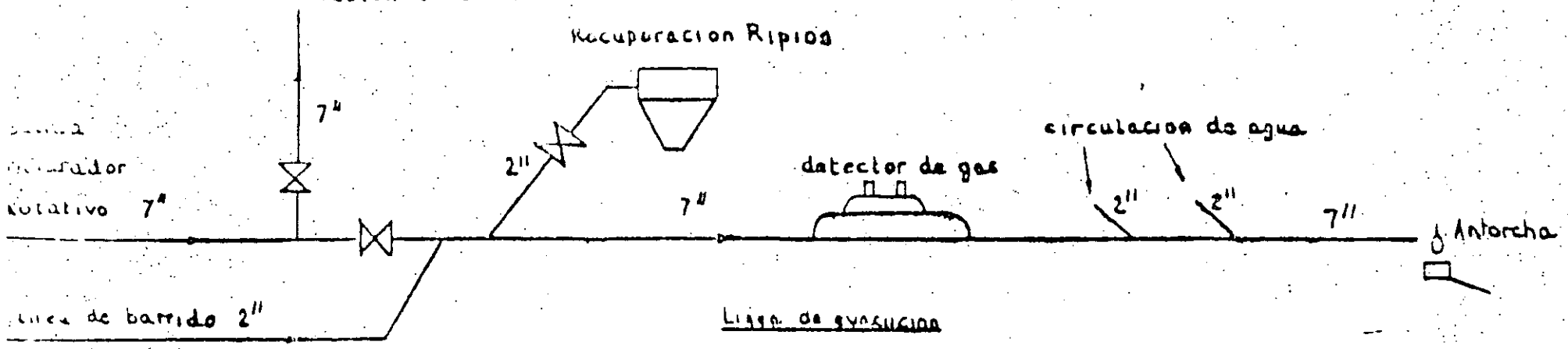
- De perforación con diámetro grande
- De perforación de formaciones no consolidadas
- De perforación de formaciones sensibles al agua
- De perforación de zonas con pérdidas totales.

Compresores



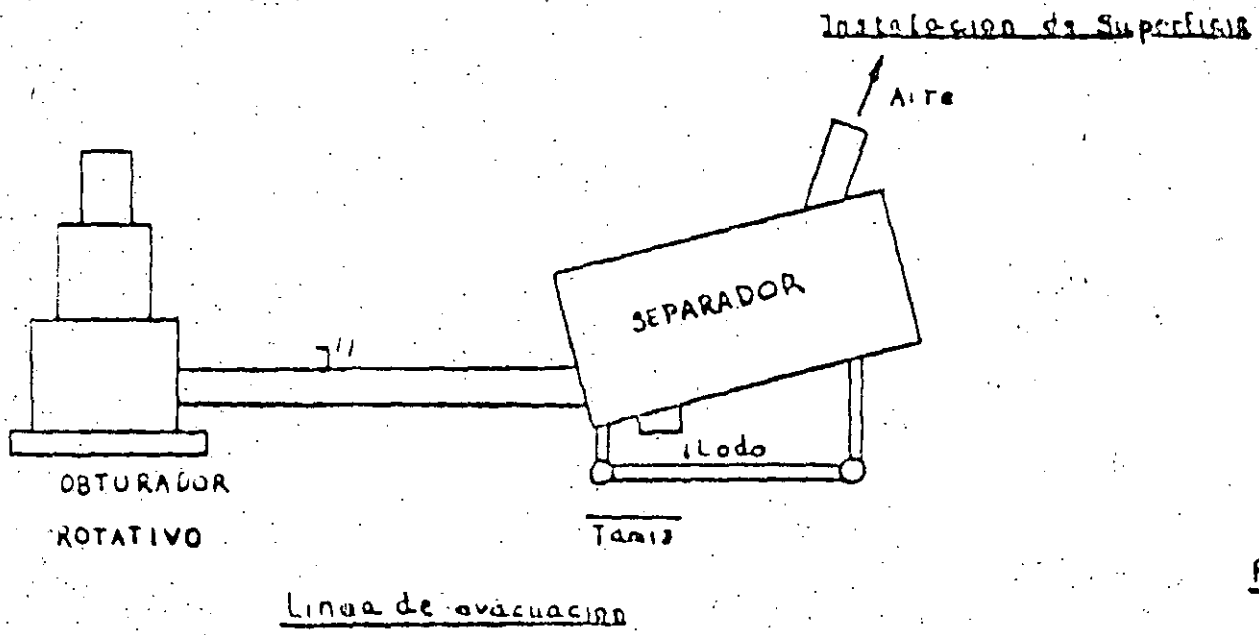
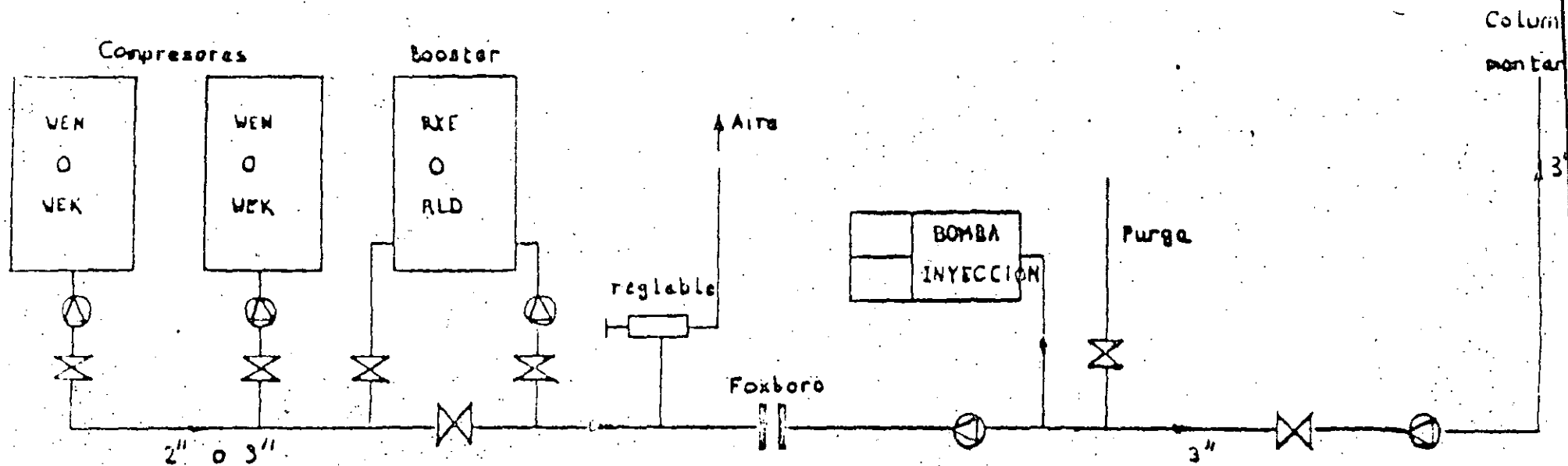
Retorno a recuperacion en balsa

Instalacion de Superficie



PERFORACION CON AIRE SECO - AGENTES ESPUMANTES

32

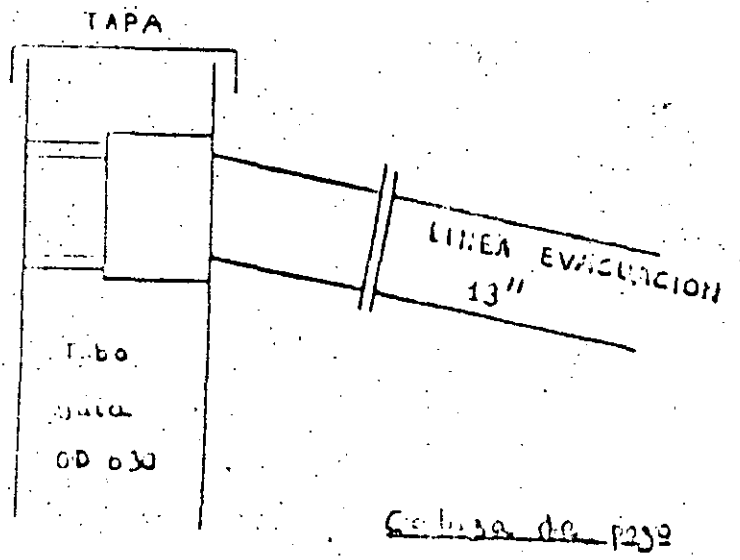
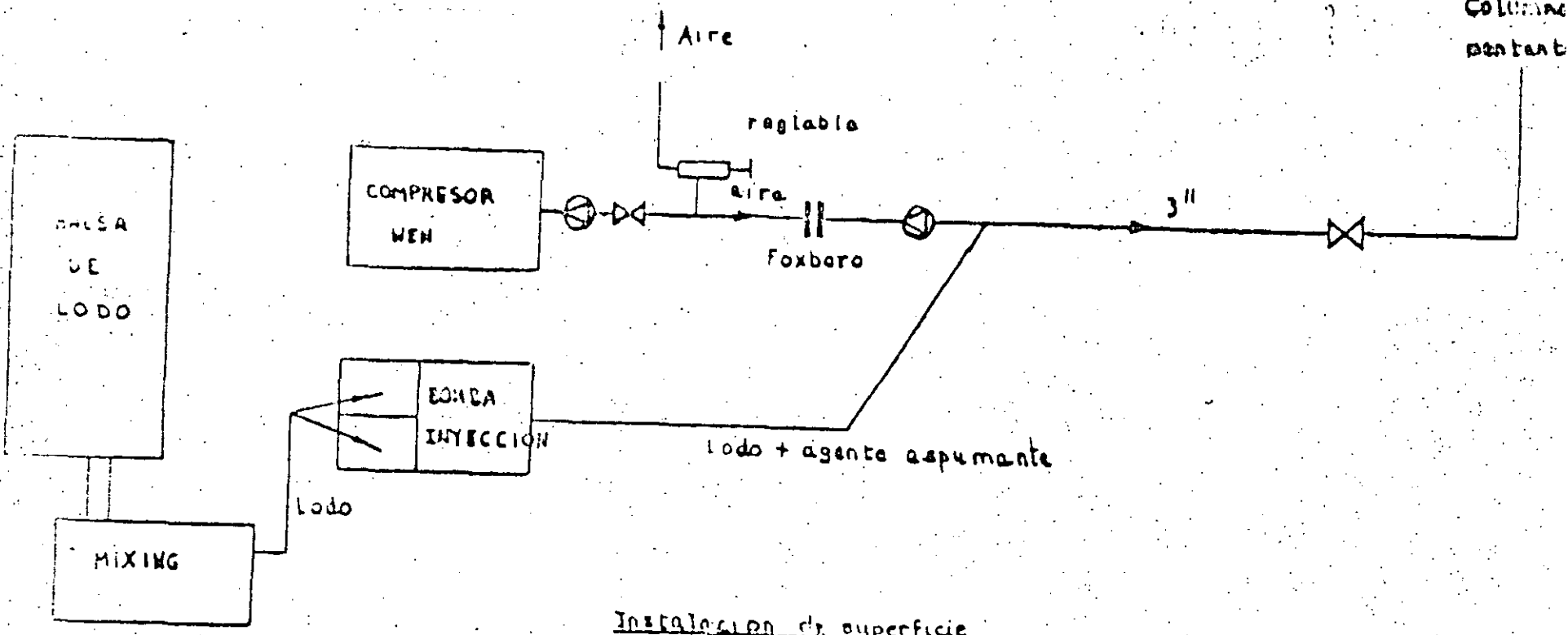


Linha de evacuacion

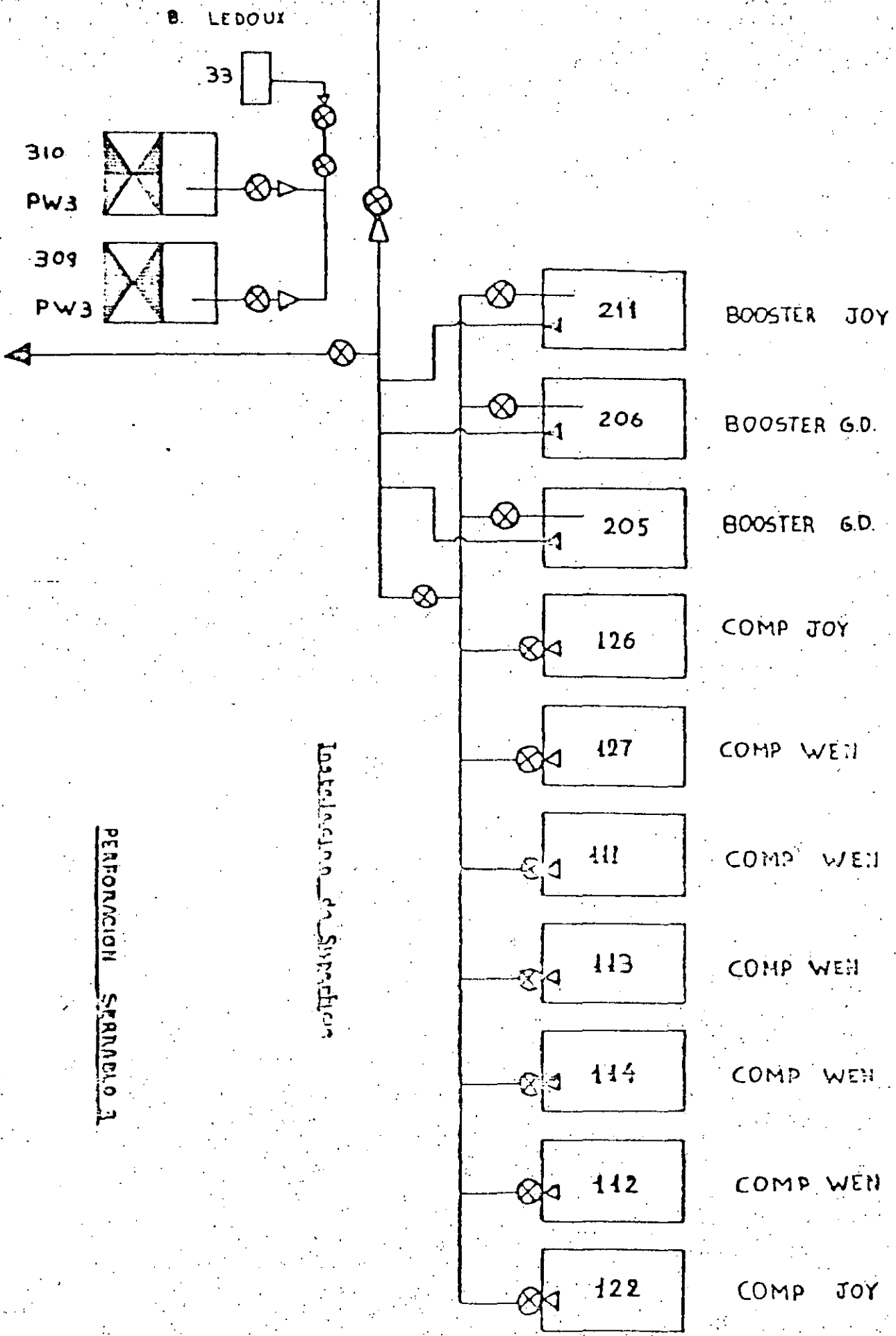
PERFORACION LODO/AGUA AIRLIFT

53

3d



PERFORACION ESPUMA COMPACTA



B. LEDOUX

33

310

PW3

309

PW3

211

BOOSTER JOY

206

BOOSTER G.D.

205

BOOSTER G.D.

126

COMP JOY

127

COMP WEN

111

COMP WEN

113

COMP WEN

114

COMP WEN

112

COMP WEN

122

COMP JOY

PERFORMACION SCENARIO 1

Instalacion de Simplicon

DIRECTORIO DE ALUMNOS DEL CURSO "PERFORACION DE POZOS PARA AGUA" IMPARTIDO EN ESTA DIVISION DEL 22 AL 26 DE ABRIL DEL PRESENTE AÑO.

- 1.- ALVARADO MAGDALENO GUILLERMO
MOTORES BOMBAS Y SERVICIO
GERENTE VENTAS
LAZARO CARDENAS NO. 807
HIDALGO No. 178

- 2.- ARBELAEZ BURAGLIA MARCELO
LEON DE LAS ALDAMAS No. 41
COL. ROMA
06760 MEXICO, D.F.
574-10-57

- 3.- ARCOS DURAN CARLOS
COMPAÑIA DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO
INGENIERO DE SISTEMAS
MELCHOR OCAMPO No. 171.
COL. TLAXPANA
DELEGACION MIGUEL HIDALGO
535-61-20
OREGON No.720
COL. DEL VALLE
DELEGACION BENITO JUAREZ
03100 MEXICO, D.F.
543-32-13

- 4.- BELTRAN CADENA RAMON
SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS
HIDRAULICOS
JEFE DE SECCION DE ANALISTAS
NUEVO LEON No. 210-10o. PISO
COL. HIPODROMO CONDESA
DELEGACION MIGUEL HIDALGO
06120 MEXICO, D.F.
564-73-20
SUR 115 MZ. 63 LT. 19
COL. JUVENTINO ROSAS
DELEGACION IZTACALCO
06700 MEXICO, D.F.
657-95-05

- 5.- BONILLA ALCONDO FAUSTO TOMAS
SISTEMA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO
DE VERACRUZ
JEFE DE OPERACION Y CONSERVACION DE LA
RED DE AGUA POTABLE

- 6.- CASTILLO DIAZ DE LEON JUAN PABLO
PERFORADORA MEXICO
INGENIERO RESIDENTE
AV. INSURGENTES SUR No. 432-7o. PISO
COL. ROMA
06760 MEXICO, D.F.
569-30-81
3er. PRIV. DE JUAN ALVAREZ No. 180
SAN LUIS POTOSI, S. L. P.
4-08-64

7.- CONTRERAS SANDOVAL MIGUEL ANGEL
S. A. R. H.
INGENIERO PROYECTISTA ZONAS DE RIEGO
REFORMA No. 45-10o. PISO
COL. TABACALERA
DELEGACION CUAUHTEMOC
06030 MEXICO, D.F.
592-01-08

PUERTO COATZACOALCOS No. 21
COL. CASAS ALEMAN
DELEGACION GUSTAVO A. MADERO
07580 MEXICO, D.F.
753-84-50

8.- DIAZ LOPEZ CARLOS

9.- ESTUDILLO GUZMAN MIGUEL ANGEL
DIREC. GRAL. CONSTRUC. OPERAC. HIDRAULICA
SUPERVISOR
MATAMOROS No. 40
COL. PEÑON DE LOS BAÑOS
DELEGACION VENUSTIANO CARRANZA

CALLE PRINCIPAL LOTE 4 MZNA. 33
COL. AMPLIACION TLACUITLAPA
DELEGACION ALVARO OBREGON

10.- FLORES IGLESIAS VICTOR M.
PEMEX
SUPERVISOR
L. CARDENAS ESQ. BLVD. MORELOS

P. J. MENDEZ No. 330 OTE

11.- GALLEGOS MAGAÑA NICANOR
PETROLEOS MEXICANOS
INGENIERO AREA SUMINISTRO DE AGUA
B. GRIJALVA No. 332
VILLAHERMOSA, TAB.

TUXTEPEC No. 21
NACAYUCA, TAB.

12.- GOMEZ ALBA HOMERO
SEC. DE LA CONTRALORIA DEL EDO. MORELOS
SUPERVISOR
RAYON No. 6
CUERNAVACA, MOR.
14-36-90

RUBEN DARIO No. 548
COL. CAROLINA
CUERNAVACA, MOR.

13.- GONZALEZ VILLALVASO PEDRO
FAC. DE INGENIERIA, UNAM

14.- GRANADOS NAVIA MARIO
SECRETARIA COMUNICACIONES Y OBRAS PUBLICAS
INGENIERO GEOLOGO
LIBRAMIENTO SUR S/N
MORELIA, MICH.
4-00-71

AV. JUAREZ No. 386
COL. JAUREZ
MORELIA, MICH.

15.- GUASCI SAUNDERS JUAN CARLOS
DIREC. GRAL. CONSTRUC. OPERAC. HIDRAULICA
JEFE OFICIAN DE PROYECTOS EXTERNOS
DE AGUA POTABLE
SAN ANTONIO ABAD No. 231-7o. PISO
COL. OBRERA
DELEGACION CUAUHTEMOC
579-07-01

NICOLAS SAN JUAN No. 1217-101
COL. DEL VALLE
DELEGACION BNEITO JUAREZ
03100 MEXICO, D.F.
575-79-46

16.- HERNANDEZ SOLIS GUSTAVO
I. C. A. CONSTRUCCION PESADA

17.- LOPEZ ANTONIO JORGE
PETROLEOS MEXICANOS
JEFE SECCION ELECTROMECHANICA
JAUREZ Y ESCOBEDO
COMALCALCO, TAB.

MANZANA 14 CASA 10
LAZARO CARDENAS,
COMALCALCO, TAB.

18.- LOPEZ GUERRERO FCO. JOSE
DESARROLLO DE RECURSOS NATURALES
JEFE DE FRENTE
LEGARIA No. 252
COL. PENSIL
DELEGACION MIGUEL HIDALGO
399-69-22

PAMPAS No. 31
COL. STA. CECILIA
DELEGACION COYOACAN
594-75-72

19.- MADRIGAL REYES JOSE LUIS
MADRIGAL Y REYES, S.A.
GERENCIA TECNICA
INSRUGENTES No. 114-308
DELEGACION CUAUHTEMOC
535-65-82

C # 16-403
COL. V. GOMEZ FARIAS
DELEGACION VENUSTIANO CARRANZA
15010 MEXICO, D.F.

20.- MANDUJANO GORDILLO CECILIA CONCEPCION
U. N. A. M.
UNIDAD DE DIFUSION
527-11-49

ALEJANDRIA No. 11-C
COL. CLAVERIA
DELEGACION AZCAPOTZALCO
02000 MEXICO, D.F.
527-11-49

21.- MARQUEZ LOPEZ LEONARDO
ENEP ARAGON
AYUDANTE DE PROFESOR
AV. RANCHO SECO S/N
COL. IMPULSORA
796-04-88

CALLE 10 No. 20
NEZAHUALCOYOTL EDO. DE MEX.
57210 MEXICO
797-50-11

22.- MARTINEZ ALVARADO MA. LETICIA
S. C. T.
INGENIERO GEOLOGO
LIBRAMIENTO SUR S/N
MORELIA, MICH.
4-00-71

PADRE LLOREDA NO. 600
MORELIA, MICH.

23.- MARTINEZ DAVALOS ARTURO
DIREC. SISTEMAS AGUA POTABLE
SUPERVISOR DE PERFORACION
REFORMA No. 77-11o. PISO
COL. SAN RAFAEL
DELEGACION CUAUHTEMOC
546-25-31

REFORMA No. 20-5o. PISO
COL. SAN RAFAEL
DELEGACION CUAUHTEMOC
535-80-85

- 24.- MCKINNEY HERMIDA ANTONIO
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
- 25.- MENDOZA CONTRERAS WALDO
FICCOLA
AUXILIAR DE LA COORDINACION
PLAZA DE LA REPUBLICA No.30=8o. PISO
COL. TABACALERA
566-18-37
PASEO DE LAS GALIAS NO. 291-301
COL. LOMAS ESTRELLA
DELEGACION IZTAPALAPA
09890 MEXICO, D.F.
- 26.- MORALES ESCALANTE RAUL
FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM
JEFE DE DEPTO.
CIRCUITO INTERIOR
CIUDAD UNIVERSITARIA
550-52-15 ext. 3725
ANDADOR 14 EDIF. 14 D-21
COL. ALIANZA POPULAR REVOLUCIONARIA
684-04-59
- 27.- NOLLA SALA LUIS FELIPE
DESARROLLO DE RECURSOS NATURALES
JEFE DE FRENTE
LEGARIA NO. 252
COL. PENSIL
271-11-94
RINCON ATLAMAYA No. 15
COL. ALVARO OBREGON
01760 MEXICO; D.F.
683-52-00
- 28.- OLIVER SALVADOR ERASMO
SEDUE
ESPECIALISTA EN GEOFISICA
VALLARTA No. 5-4o. PISO
COL. JUAREZ
DELEGACION CUAUHTEMOC
546-97-82
TONGO No.51
COL. ATZCAPOTZALCO
02660 MEXICO, D. F.
556-34-33
- 29.- PARTIDA MELENDEZ GILDARDO
PETROLEOS MEXICANOS
ENCARGADO T. MAQS. HERRAMIENTAS
CD. PEMEX TABASCO
CASA 37 COL. EMPL. DE CONFIANZA
CD. PEMEX TABASCO
- 30.- PEREZ MALDONADO JAIME F.
GREGORIO PEREZ, S.A. DE C.V.
GERENTE DE PLANEACION
CALLE 19 No. 909
COL. INDUSTRIAL
MERIDA YUC.
3-03-44
CALLE 25 No. 440
COL. JARDINES DE MERIDA
MERIDA, YUC.
3-03-25
- 31.- PEREZ RICARDEZ ARMANDO SERAFIN
CONSTRUCTORA MONTAJES Y MAQUINARIA
GERENTE SERVICIOS TECNICOS
AMORES No. 714
COL. DEL VALLE
DELEGACION BENITO JUAREZ
03100 MEXICO, D.F.
687-28-88
GTNA. 25-1
COL. ALPES
DELEGACION ALVARO OBREGON
01010 MEXICO, D.F.
651-51-60
- 32.- PRESA PALACIOS TOMAS
DIREC. GRAL. CONSTRUC. OPERAC. HIDRAUL.
JEFE ZONA DISTRIBUCION SIST. NORTE
SAN ANTONIO ABAD NO. 231
AV. CENTENARIO No. 1934-3
COL. ATZACOALCO
DELEGACION GUSTAVO A. MADERO
07040 MEXICO, D.F.

- 33.- RAMOS DIEGO
GOBIERNO DEL ESTADO DE OAXACA
SUPERVISOR JEFE PROGRAMA HIDRAULICO
PALACIO DE GOBIERNO
OAXACA DE JUAREZ
698-34
ANTEQUERA NO. 1
COL. LOPEZ MATEOS
OAXACA DE JUAREZ OAXACA
- 34.- RIVERA SANCHEZ JUAN ALBERTO
S. A. R. H.
PROYECTISTA DE ZONAS DE RIEGO
NEUVO LEON NO. 240-110. PISO
COL. CONDESA
DELEGACION MIGUEL HIDALGO
06170 MEXICO, D.F.
564-73-20
NORTE 1 E No. 4913
DELEGACION GUSTAVO A. MADERO
07770 MEXICO, D.F.
587-15-68
- 35.- SALAS TORRES RAFAEL
S. A. R. H.
RESIDENTE GRAL. DE O.H.I.A.D.R.
CLAVIJERO
XALAPA, VER.
MARGARITA OLIVO LARA No. 5
COL. RAFAEL LUCIA
XALAPA, VER.
542-58
- 36.- TEJERO ANDRADE ANDRES
U. N. A. M.
PROFESOR DE TIEMPO COMPLETO
AV. UNIVERSIDAD No. 2014
COL. ROMERO DE TERREROS
DELEGACION COYOACAN
04350 MEXICO, D.F.
658-42-81
- 37.- TERREROS MARTINEZ PEDRO
DERNA
JEFE DE OBRA
LEGARIA No. 252
COL. PENSIL
399-69-22
GALEANA No. 57-2
XOCHIMILCO
676-79-39
- 38.- TORRES CERDA JOSE LUIS
UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLAS DE HIDALGO
CONSULTOR
CIUDAD UNIVERSITARIA
MORELIA, MICH.
MAZATLAN NO. 1-B
URUAPAN, MICH.
2-29-89
- 39.- TORRES MARTINEZ ANTONIO
DIREC. GRAL. SIST. AGUA POTABLE Y ALC.
JEFE DE OFICINA
PASEO DE LA REFORMA No. 20-50. PISO
COL. CENTRO
DELEGACION CUAUHTEMOC
06000 MEXICO, D.F.
556-01-99
AV I. ZARAGOZA No. 612-111-C-304
COL. 4 ARBOLES
DELEGACION VENUSTIANO CARRANZA
15730 MEXICO, D.F.
- 40.- TURRENT RIQUELME MANUEL
PERFORACIONES Y CONSTRUCCIONES KOBAS, S.A.
GERENTE ADMINISTRATIVO
SAN JERONIMO No. 240-107
COL. SAN ANGEL
VILLA ALVARO OBREGON 01000 MEXICO
PROVIDENCIA No. 1032-207
552-11-44

41.- VALLE SALA MANUEL
I. C. A.
DER NA, S.A.
SUBGERENTE
LEGARIA No. 252
COL. PENSIL
527-30-41

RINCONADA DE ATLAMAYA No. 15
COL. SAN ANGEL
527-30-41

42.- VAZQUEZ SOTO MARIO GILBERTO
CIA. PERFORADORA MEXICO, S.A.
AYTE. ING. RESIDENTE
AV. INSURGENTES SUR No. 432-7o. PISO
574-01-21

VIA MORELOS No. 360
STA. CLARA EDO. DE MEXICO
755-00-92