

del 8 de junio al 12 1981

- 1 Ing Jorge Alzado Ortuno
Presidente
Asociacion Geohidrologica Mexicana
Morelos o 98 Int 203
Mexico 6 D F
535 78 07

- 2 Ing Anselmo Ordaz Ayala
Subjefe del Departamento de Exploracion
Direccion de Geohidrologia y de Zonas Aridas
S A R H
Dr Atl No 6-1 Piso
Mexico 4 D F
535 08 17 y 392 70 80

- 3 Ing Jose Antonio Trujillo Candelaria
Jefe del Departamento de Exploracion
Direccion de Geohidrologia y Zonas Aridas
S A R H
Dr Atl No 6-1 Piso
Mexico 4 D F
535 08 17

- 4 Ing Luis Enrique Lar Trujillo
Superintendente General de Nuevas Tecnicas
Gerencia de Exploracion
Subdireccion de Exploracion Petrolera
P E M E X
Marina Nacional No 329 6 Pto Edificio 1810
Mexico 17 D F
531 63 08

- 5 Ing Juan Manuel Lesser Illades
Administrador Unico
Lesser y Asociados
Av Cuauhtemoc No 799 Despacho 6
Col Narvaite
Mexico 12 D F
543 3/ 40

- 6 Ing Luis Jesus Zarate
Subjefe del Departamento de Equipo de
Bombeo y Electromecanica
S A R H
Vallarta No 1 9 Piso
Mexico 1 D F
592 05 60

7)

1

1

1

1

(1
r
c

1 1 1

1 1 1

1

1

1

1

1
c

1 1

1

1

1 1 1

1

1

1

1

1 1

1

1 1 1

1 1

- 7 Ing Raymond Vignaud Combas
Gerente General
Investigaciones Tecnicas del Subsuelo S A
Margaritas No 143 Casa 2
Col Florida
México 20 D F
534 26 19
- 8 Ing Leandro Montes Larios
Jefe de la Oficina de Diseño de Instalaciones Electricas
Departamento de Equipos de Bombeo y Electromecánica
S A R H
Vallarta No 1 9 Piso Despacho 908 A
México 1 D F
592 03 25
- 9 Ing Gilberto León Martínez
Jefe del Departamento de Equipos de Bombeo y Electromecánica
S A R H
Vallarta No 1 9 Piso Despacho 908 A
Mexico 1 D F
535 45 13
- 10 Ing Jose Maria Bolívar del Valle
Gerente General
Construcciones Horizonte
Calle de San Juan de Dios Nos 134 y 136
Col Hipulco
Mexico 22 D F
594 70 63
- 11 Ing Heriberto J Hernandez Sánchez
Jefe de Proyecto
Ingenieros Civiles y Geólogos Asociados
Atlixco No 63
Col Condesa
México 11 D F
553 53 47 y 553 52 66
- 12 Ing José Luis Sánchez Lázcano (Coordinador)
Director General
La Olmeca S A
Culliacón 123-7 Piso
Mexico 11 D F
584 48 53
- 13 Ing Rafael Alvaro Jimenez Granados
Asesor Técnico
Subdirección de Construcción de Obras Hidraulicas
e Ingeniería Agrícola para el Desarrollo Rural
S A R H
P de la Reforma No 69-7 Piso
Mexico 1 D F
535 29 97

1. 2. 3.

4. 5. 6.

7.

8.

9.

14 Ing Rafael Martínez García
Coordinador de Fluidos de Perforación
Superintendencia General de Operacion Marina
Gerencia de Perforación
P E M E X
Tonala No 6-1 Piso
México 7 D F
53350 33 y 533 56 19

15 Dr Tyler Jass
National Water Well Association
500 West Wilson Brige Road
Worthington Ohio
U S A 430 85

16 Ing Alejandro Castillo Lopez
Coordinador de Obras de Perforacion de Pozos
Desarrollo de Recursos Naturales
Mineria 145 Entrada B 3 Piso
Mexico 18 D F
516 04 60 Ext 166

17 Ing Juan Jose Rocha Rangel
Gerente General
Rocha y Asociados S A
Retorno Miguel Lanza No 42
Col Periodistas
México 10 D F
557 30 85

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA 1981

Fecha	Tema	Horario	Profesor
Junio 8	Introducción	9 a 9 30 a m	Ing Jorge Alvarado Ortuño
	Petrografía	9 30 a 10 30 a m	Ing Anselmo Ordaz Ayala
	Localización	10 30 a 12 30 p m	Ing Jorga A trujillo
	Geología y Geohidrología		Candelaria
	Formaciones Acuíferas		
	Aluviones		
	Basaltos		
	Calizas		
	Otros		
	Prospección Geohidrológica		
Junio 8	Fotointerpretación	12 30 a 13 30 h	Ing Jorge A Trujillo Candelaria
	Geofísica	13 30 a 14 30 h	Ing Raymond Vignaud Combas
	Comida	14 30 a 15 30 h	
	Geofísica	15 30 a 17 30 h	Ing Raymond Vignaud Combas
	Registros Eléctricos	17 30 a 18 30 h	Ing Luis Lara Trujillo
	Trazadores	18 30 a 20 h	Ing Juan Manuel Lesser Illades
Junio 9	Técnicas de Perforación		
	Perforabilidad de las rocas	9 a 10 a m	Ing José Luis Sanchez Lazcano
	Percusión simple Pescas	10 a 12 h	Ing Rafael Jiménez Grandados
	Sistema rotativo Circulación directa Pescas	12 a 14 h	Ing Rafael Jiménez Grandados

Fecha	Tema	Horario	Profesor
Junio 9	Comida	14 a 1 h	
	Lodos de perforacion	15 a 16 30 h	Ing Rafael Martínez García
	Perforacion neumatica Perforación con martillos Aire Aire y espumantes	16 30 a 18 h	Ing Alejandro Castillo Lopez
	Circulacion inversa	18 a 19 h	Ing Alejandro Castillo López
Junio 10	Evaluacion		
	Pruebas de bombeo Transmisibilidad Almacenamiento Cuantificación Explotacion	9 a 11 30 a m	Ing Humberto Hernández Sánchez
	Interface e intrusion salina Geoquimica	11 30 14 h	Ing Juan Manuel Lesser Illades
	Comida	14 a 15 h	
	Control y Operacion de los Aprovechamientos Sistemas de Control Formas de control Banco Nacional de Informacion Geohidrologia	15 a 18 h	Ing Jorge Alvarado Ortuño
Junio 11	Diseno y Seleccion de Equipos de Bombeo Tipos de bombas Centrifugas Turbina vertical cabezales	9 a 11 30 a m	Ing Luis Matus
	Tipos de motores Subestaciones Arrancadores	11 30 a 14 h	Ing Leandro Montes Larios

Fecha	Tema	Horario	Profesor
Junio 11	Comida	14 a 15 h	
	Diseño y Terminación de Pozos Finalidad del pozo Lavado inicial Ademes Filtros de grava Verticalidad Tapones de fondo Canastas Centradores y otros aditamentos Cementaciones	15 a 19 h	Ing. José María Bolívar del Valle
Junio 12	Tratamiento Desarrollo y Rehabilitación Limpieza Sifoneo Tratamiento con aire Pistoneo Hielo seco y nitrógeno Tratamiento con ácidos	9 a 11 a m	Ing. Juan José Rocha Rangel
	Aforos Sistemas de aforo Interpretación Eficiencia	11 a 13 h	Ing. Gilberto León Martínez
	Comida	13 a 14 h	
	Flujo de agua a través de medios porosos Contaminación del agua subterránea Uso combinado de agua superficial y subterránea	14 a 18 h	Dr. Tyler Jass
	Mesa Redonda	18 a 19 h	Pleno de Profesores



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA UNAM**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

GEOLOGIA Y GEOHIDROLOGIA

Expositor Ing Jorge A Trujillo Candelaria

Junio 1981

1

2

3

-

-

4

Obse ones amplias for as

Por t p r t e las no m t y or r d os de ampo

e nd spe sable notar observac one g t os e vest gac one sab m na

t cavac one po os nor g l as et as optac nes co eg

st n los onos def ndo su pos an y l oc on par su or r loc n

on cuerpo superf l e de ag a y fondos de lles o uencas Es ne ar o

ad m f ar su caso l ont bucon de l m t ac on que d las

og subit neas por l mont im t nc me t de l g nos os cor e

t p p lm t og l b t q so t na su aud l d t j Todo lo

a t for d b f mar p t d omp l t ac on nd spe sabl de nformac en e

sade studa g oh d l g co

Sond o y p plar tar os

Como f nel dad d t d g h d l g l d yas concl

s ne se det m nan end tone favorable par l pr enc d agua subtr

neas pueden ya programarse y d se farse t rminos gene l su lumb a-

m to med nt plorac one o optac one ad uedas ya se sonde s

av tone ar as g l as o socer ne b l amas su l y am de l las

se p os plar tar os o de xpl t o

E l selec y am nd c d l apl c d las p

e d ml t d p for t p d m q p for d s par f t r l -

es com nel poy t y d se h d su t m l g h d log d be o l

ary star el tant d l s ad t to t o-me q se tiene d ponl

bl s actualme te e te ampo al servci de l l g e

DI ha se l an debe adaptarse las or t r t l de las ro

es perforar t s de penetr los nive l sperados de agua los oc Ter

y y dentro d llos tomand ue t su propiedad s relat os on la l to

log g ados d ampos dad cem t ac on t e b l d d re permeab l

dad e st c o la penetr t l l ando g t ro sobre las men f sta-

c one e nd as de l prof ml dad pos bl me t prod foras que pued al

canzarse el subuelo Hay que c nsid or edemas qu d has l l pue

de var or al preve que los a u t as se su tapa de pl oc on o d xpl t

on puede se del t po libre conf nado y por t t t su t e arges h-

drot llo qu ocas ne puede producir arte onismo brotante

El p me objet o de la Geohid olog e onte xpus t que -

es s f t s l e plorac puede resumirse n propos tos benef cas ce-

mo f f on d r b sc nd y d ub ndo nue es areas par explotac on de

agua subterr neas suscept b l de arroll par zonas donde ste re so p d

ut l arse Me co amo l eme to p ad t l o m chas s nd sp ab l per-

o l l l zac on d p oye las agrpecuar os de abastec m tos urb no ru

l o d onest cas

Regl l d A T

Con l f n de acondi onar mayores facilid de s l o

lo g h d o l g me on o l Subd l l on de Geoh drolog y de Zonas

A d de l SARH t ne form lad una g nel ac on de or Te as e l po

tanta d los q tan b jo xpl t o com de quell nue as ar es bajo

plorac on con pos b l d d se cons d od e los nue os programas de este

nd l e que su l uc on deben abarc mayores ten no d l territorio no

e anal e donde no se cuent on otras fue tes de eg como elemento par

1

2

3

4

Inc m t d ll

Et g on l z on m p nd l s g t s tipos de c
fero que puede ser f ad d cue d l p l p l dale f s g
f y ge log c que prese t el pl n g log d d t R p bl a en exa--
m de gran on

A Te os Al se Re t y C t ar

A ? Form ne de Ed d T

A T os e Formac ne l

A T Form one l d t f l t l d t
p d om l da E j N l l ca

A T l l edlm t mar d l C etac o

A T en las C l T r far de l P Inaula de Yuc tan

Par t nde l t m p f od p t xp l c n a u a x

sujo y permitir l oc lar c y d d l g o c p t o s l d o s
no l l ob l ual los as t t t g p g t s p e T d su
t m p e m t formarl qu l t m sob g l on d oc T se
pue to per t a d spo an d l Coord l on l prese t p q
l na de on p e t n e t forme part d los op t q se t grad los
part part

E l oc an d l P t l A T

El segund g on ab t d la G oh d fag do l Hid

ge log l d c n t f c a e anas y e p obadas am oc T os las d spo

l b l l d ad de los p t n e l prod tar novabl s de aguas se p e able

los lm e am to sub t on e as Para lograrlo es necesario det m nar l j

m t la m g tude de l arg que be d chos l m a c e n a m e t o s T a m b e
m nd l l e d el las p of nd d a s am pl l t u d e n y d t n e
m t p t p l m r r de l a l on d los p m e as perforac one d
p od el que p y e t Et son nd s p e s a b l para que de ellas se obt n
g l observ sob las configurac one d los v l t t o y de bem-
beo los T os am l l m a c m p r e i n d b l p o r d e l l su comport
m t y f n o m t p l o t y a p o v e h a m l t o i n l e l y d d e
a r l l f t u

B l Hid olog

Les p m e s t e p d l s l e l o c de l mag

tud de los recargos que l m t o n c T s o f i g u r a d a s a u n
e t u d o c a n l e n t e r v n c o n i n d i s p e n s a b l d e l a H d l o g m e d a n t e l a p l i c _
o n d e l C i e l H d r l o g c o n v t g n d y a d a p t n d b l a n c e d e f o
n a m e t o a c o r d e a n l a s c a r a c t e r i s t i c a s f l o g o f e a s g e l o g i c a s y l m o t o l
g a s d e u n a u e n c u t r a p a r l l s n e c e a r i a f a r l c o n b u e n
a r t e o y m u h e s f o r m a t m a t e c o n d n d o l a a b n d t e e a s a
l f o r m a n q u e p u e d a b t n e s o s o b r e l t m n o s y f a c t o r q l t r v i n e n
l a c a c l d l l c l h d o l o g o a m o s o l u m e n d p r e p t a c o n d e l l
l s a p t s p n l u m e n d d e a g u a d e r r m n t o s u p e r f i l y f n a l
m s o l m e n e d l l t o c a r p r e s e t g m a y o r d e l l t o c a r m i n y o
a c c u p u e s p a r s u l o r a c i o n e n e c e a r i t o m a r e n t a m c h o s a s p e c t o s e n l _
b l c o l a t r a l d e l h d l o g y l g o l o g i q u e s o l o p u e d a n s e l e l o d a s
p r a c t a m e t e f o r m a t m a t v a

De Acuíferos

ACUÍFEROS REGIONALES El Territorio Nacional presenta un conjunto de características geológicas y geomorfológicas que permiten la explotación y aprovechamiento de sus aguas subterráneas. En el estudio de los depósitos de la Sierra Madre Occidental y las cuencas de edad más joven del Páramo de Yucala y sus afluentes, ya se ha estudiado el tipo de acuíferos que existen en las cuencas de alta montaña del país.

La explotación de los acuíferos en las cuencas de la Sierra Madre Occidental y las cuencas de la parte norte del desierto del Mar de Cortés y las Sierras de Oaxaca y Chiapas, en su mayor parte, se exceptúan las cuencas de las cuencas de más de 2000 metros sobre el nivel del mar. En las cuencas de menor elevación, el tipo de acuíferos que se encuentran es posible proponer programas de desarrollo que permitan el uso de las cuencas de las cuencas del país.

Objetivo principal de la explotación de los acuíferos regionales es proporcionar agua potable a las poblaciones que se establecieron a partir de 1973. La explotación de los acuíferos en las cuencas de la Sierra Madre Occidental y las Sierras de Oaxaca y Chiapas, en su mayor parte, se exceptúan las cuencas de las cuencas de más de 2000 metros sobre el nivel del mar. En las cuencas de menor elevación, el tipo de acuíferos que se encuentran es posible proponer programas de desarrollo que permitan el uso de las cuencas de las cuencas del país.

La explotación de los acuíferos en las cuencas de la Sierra Madre Occidental y las Sierras de Oaxaca y Chiapas, en su mayor parte, se exceptúan las cuencas de las cuencas de más de 2000 metros sobre el nivel del mar. En las cuencas de menor elevación, el tipo de acuíferos que se encuentran es posible proponer programas de desarrollo que permitan el uso de las cuencas de las cuencas del país.

La extensión de este tipo de acuíferos que muchas veces están distribuidos en las cuencas de las cuencas de la Sierra Madre Occidental y las Sierras de Oaxaca y Chiapas, en su mayor parte, se exceptúan las cuencas de las cuencas de más de 2000 metros sobre el nivel del mar. En las cuencas de menor elevación, el tipo de acuíferos que se encuentran es posible proponer programas de desarrollo que permitan el uso de las cuencas de las cuencas del país.

Se ha logrado desarrollar también programas de explotación y aprovechamiento de los acuíferos en las cuencas de la Sierra Madre Occidental y las Sierras de Oaxaca y Chiapas, en su mayor parte, se exceptúan las cuencas de las cuencas de más de 2000 metros sobre el nivel del mar. En las cuencas de menor elevación, el tipo de acuíferos que se encuentran es posible proponer programas de desarrollo que permitan el uso de las cuencas de las cuencas del país.

Los acuíferos logrados de la explotación de los acuíferos en las cuencas de la Sierra Madre Occidental y las Sierras de Oaxaca y Chiapas, en su mayor parte, se exceptúan las cuencas de las cuencas de más de 2000 metros sobre el nivel del mar. En las cuencas de menor elevación, el tipo de acuíferos que se encuentran es posible proponer programas de desarrollo que permitan el uso de las cuencas de las cuencas del país.



ACUÍFEROS REGIONALES En Calizas

Están en el país cubriendo grandes extensiones y amplias áreas calcáreas como las formadas del Suroeste de la Sierra Madre Occidental y Sureste de Chiapas. Las calizas de este tipo se depositaron en forma de capas de peso hasta 1000 metros de espesor, formando parte de las calizas de tipo de conchales y de plegamiento de la Sierra Madre Occidental como la Llanura de las Calizas del periodo Cretácico.

La explotación de estas rocas que se ha demostrado que se puede hacer a través de la perforación de pozos y con perforación que hasta puede llegar a 2000 metros de profundidad. El bombeo son los mismos como pozos de conchales.

También se ya se conocen las fallas de agua potable y otros lugares como Ocampo, Matamoros y San Ildefonso Coahuila, El Ciego La Ascension y Tanquecillos en la parte sur del Noroeste de Tlaxcala en Tlaxcala.

Río Verde y El Huizache en San Luis Potosí, Veracruz, Hidalgo, Oaxaca, Chiapas y Morelos. En esta zona de calizas cretácicas se han encontrado cubiertas por depósitos de tipo de conchales y de plegamiento de la Sierra Madre Occidental como la Llanura de las Calizas del periodo Cretácico. Los costos de explotación son de 300 dólares por metro cuadrado.

La Perforación de Yatán está formada por una sucesión de pozos calcáreos de gran mano de obra desde el Cretácico hasta el Terciario.

En el último periodo la geología de la zona se ha estudiado en la zona de Los Cipréses a Yucatán y en el área de explotación de Matamoros y Potosí, Yucatán, Campeche y Atlixco. Obteniendo datos de Roo y Edzná y Champotón y Champotón.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA UNAM**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

HIDROGEOLOGIA

**Posibilidades acuíferas en sedimentos continentales
Terciarios de la Republica Mexicana**

Ing. Jorge A. Trujillo Candelaria

Junio 1981

POSIBILIDADES ACUIFERAS EN SEDIMENTOS
CONTINENTALES RECIENTES DE LA
REPUBLICA MEXICANA

R E S U M E N

Actualmente la principal producción de agua subterránea del País se obtiene de acuíferos en sedimentos clásicos 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 clásico continentales del Altiplano y del Noreste del País fueron depositados durante el Terciario en cuencas lacustres y aluviales en épocas de gran actividad volcánica y tectónica.

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

ING. JORGE A. TRUJILLO CALDEFAÑA

UNIVERSIDAD ACUÍFERAS EN SEDIMENTOS CONTINENTALES TERCIO
DIPLOMA REPUBLICA MEXICANA

Ing. Jorge Antonio Trujillo Candelaria

INTRODUCCIÓN

En México 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 a nivel del total se obtiene de lo primero

Los sedimentos clásticos continentales están constituido esencialmente por gravas arenas y arcillas, con diferentes grados de selección y compactación

Hasta hace poco tiempo a las unidades litológicas formadas por esos elementos clásticos se les denominaba simplemente aluviales y se consideraban de edad Cuaternario

Recientes investigaciones efectuadas en la Dirección de Geología y de Zonas Áridas de la S. A. R. H. han demostrado

que la mayor parte de las unidades litológicas clásticas del Altiplano y del Noroeste del País son en realidad de edad terciaria depositados en cuencas lacustres y aluviales en épocas de gran actividad volcánica y tectónica.

Para dar una idea de la formación de las cuencas en que se depositaron los clásticos continentales durante el Periodo Terciario enseguida se presenta una interpretación sintetizada de la Geología Histórica de México desde el Cretácico hasta nuestros días.

CRONOLOGIA HISTÓRICA -

Periodo Cretácico -

El Periodo Cretácico tuvo una duración de 10 millones de años (Fig. 1) durante ese tiempo gran parte de lo que es territorio mexicano estuvo ocupado por mares permaneciendo emergida parcialmente algunas áreas que en la actualidad forman la Sierra Madre Occidental la Península de Baja California en aquel tiempo unida longitudinalmente al Continente y la Sierra Madre del Sur (Fig. 2) El resto del País se encontraba sumergido en mares de diferentes profundidades en los que se depositaron sedimentos predominantemente calcáreos que alcanzaron espesores de miles de metros

Cerca del final del Cretácico grandes movimientos de la corteza terrestre de la Orogenia Laramide provocaron que los fondos marinos se plegaran iniciándose la formación de la Sierra Madre Oriental

Periodo Terciario -

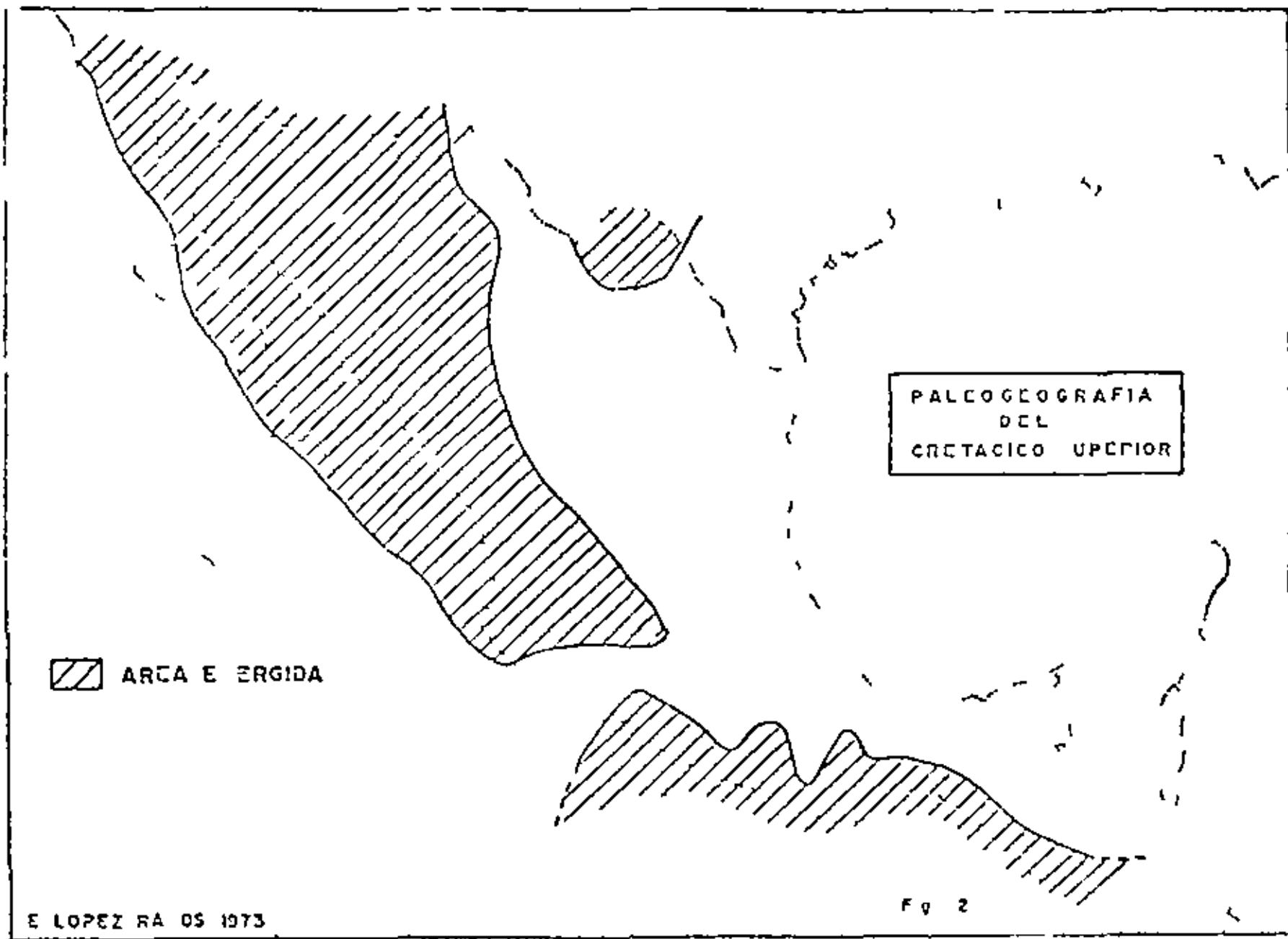
Terminado el Periodo Cretácico hace unos 70 millones de años se inició el Periodo Terciario el cual se divide en cinco épocas que son de más antigua a más joven Paleoceno (10) Eoceno (20) Oligoceno (5) Mioceno (15) Plioceno (9) Los números entre paréntesis indican su duración en millones de años

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	140
	JURASICO	SUPERIOR	
		MEDIO	
		INFERIOR	180
	TRIASICO	SUPERIOR	
		MEDIO	
		INFERIOR	250

QUILKIN ET GEOLOGICAL TIME SCALE COLLECTED FROM THE LITHOLOGY MODIFIED

FIG 1



E LOPEZ RA OS 1973

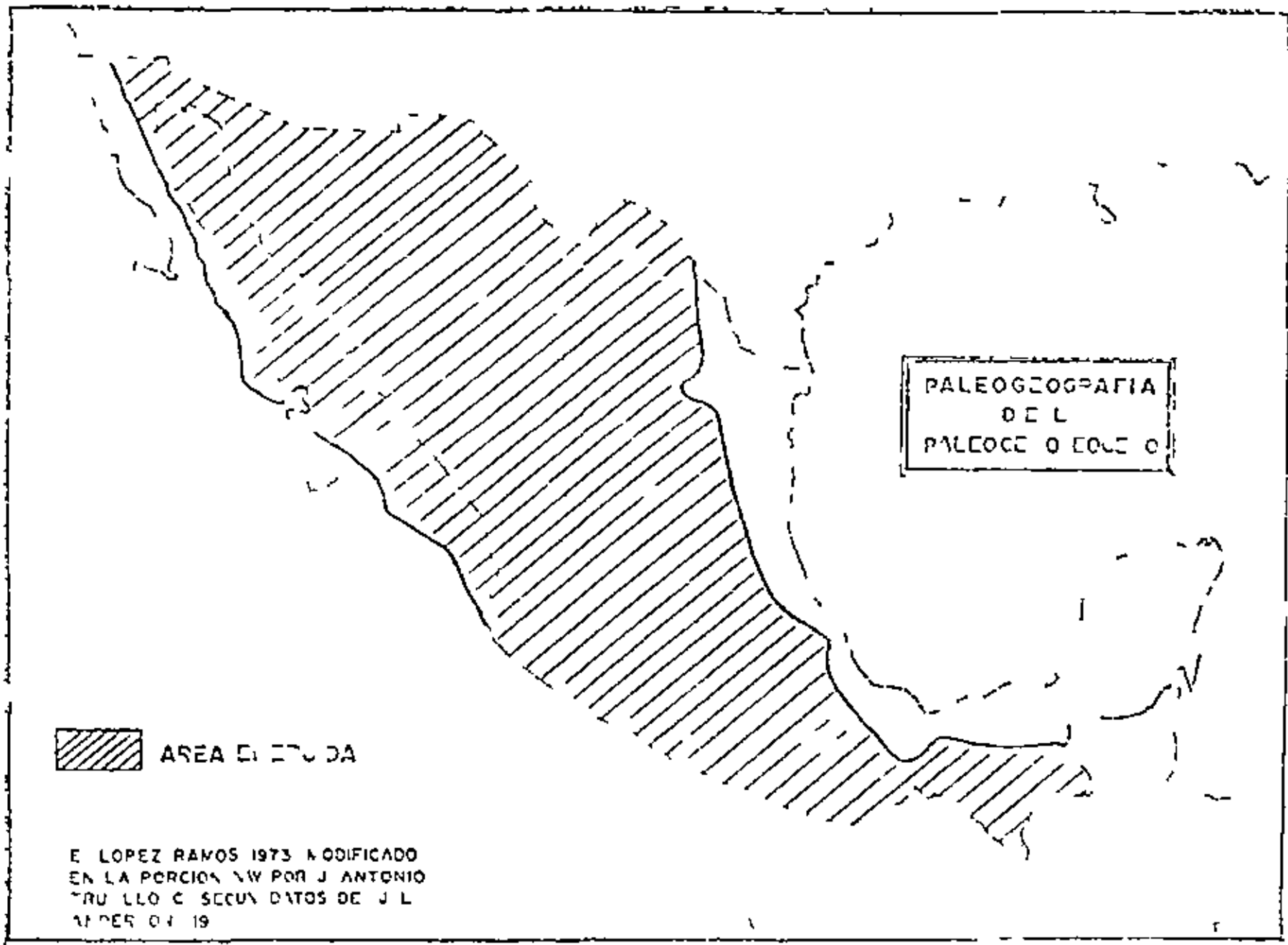
F 9 2

Al comenzar el Periodo Terciario durante el Eoceno Medio 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 sierra 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 esta cuenca se depositaron en condiciones aluviales y lacustres grandes volúmenes de sedimentos clásticos de tipo - - Mala se 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)

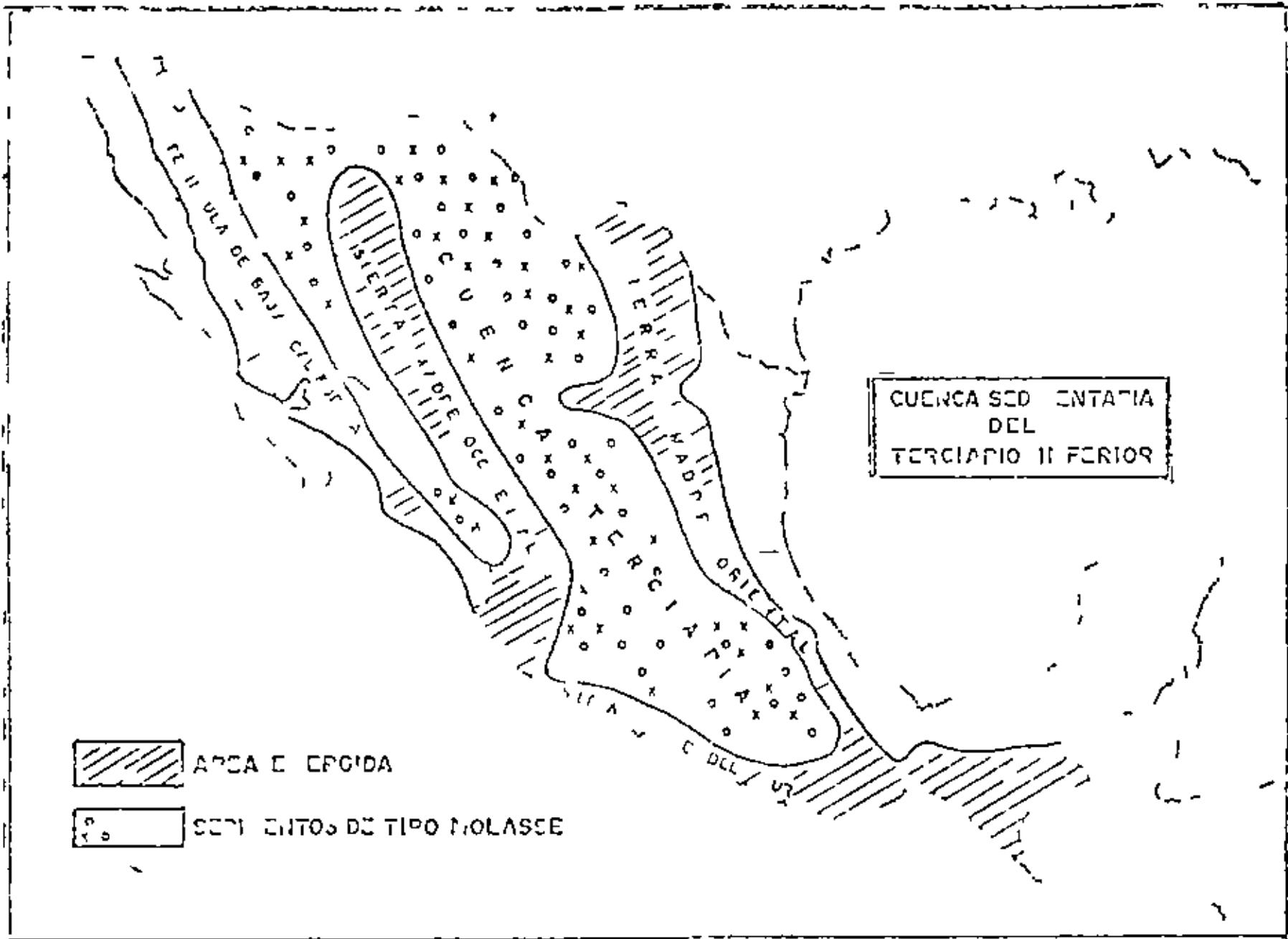
En el Oligoceno continuó el vulcanismo al Sureste de la Península de Yucatán en especial y al Noroeste de la Península



PALEOGEOGRAFIA
DEL
PALEOCENO EOCENO

 AREA DE ESTUDIO

E. LOPEZ RAMOS 1973 MODIFICADO
EN LA PORCION NW POR J. ANTONIO
TRULLO C. SEGUN DATOS DE J. L.
ALPES DE 1973



CUENCA SEDIMENTARIA
DEL
TERCIAARIO INFERIOR

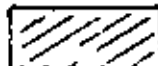
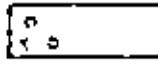
-  AREA E EFGIDA
-  SEDIMENTOS DE TIPO MOLASSE

FIG 6



Durante el Mioceno y Plioceno existió gran actividad volcánica en ese tiempo a lo largo de la Sierra Madre Occidental y formación de grandes acumulaciones de lavas efusivas predominantemente andesíticas 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 Jalisco, en el Océano Pacífico a las cercanías de el Puerto de Veracruz en el Golfo de México se vio afectada por un movimiento de placas tectónicas, el cual dio lugar a la formación de profundos grabens 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 propicio el bloqueo de Jenes dando lugar a la formación de extensas zonas lacustres en las que se depositaron enormes cantidades de sedimentos clásticos constituidos por gravas arenas y arcillas derivados principalmente de lavas volcánicas provenientes de la erosión de las montañas circunvecinas. En estas zonas lacustres se presentaron ocasionalmente conchales que facilitaron la deposición de yesos y calizas

Intervalo de estabilidad permitieron el desarrollo de vida acuática predominando los diatomeas cuyo resto fosilífero microscópico ha ayudado a determinar la edad y el medio ambiente de deposición

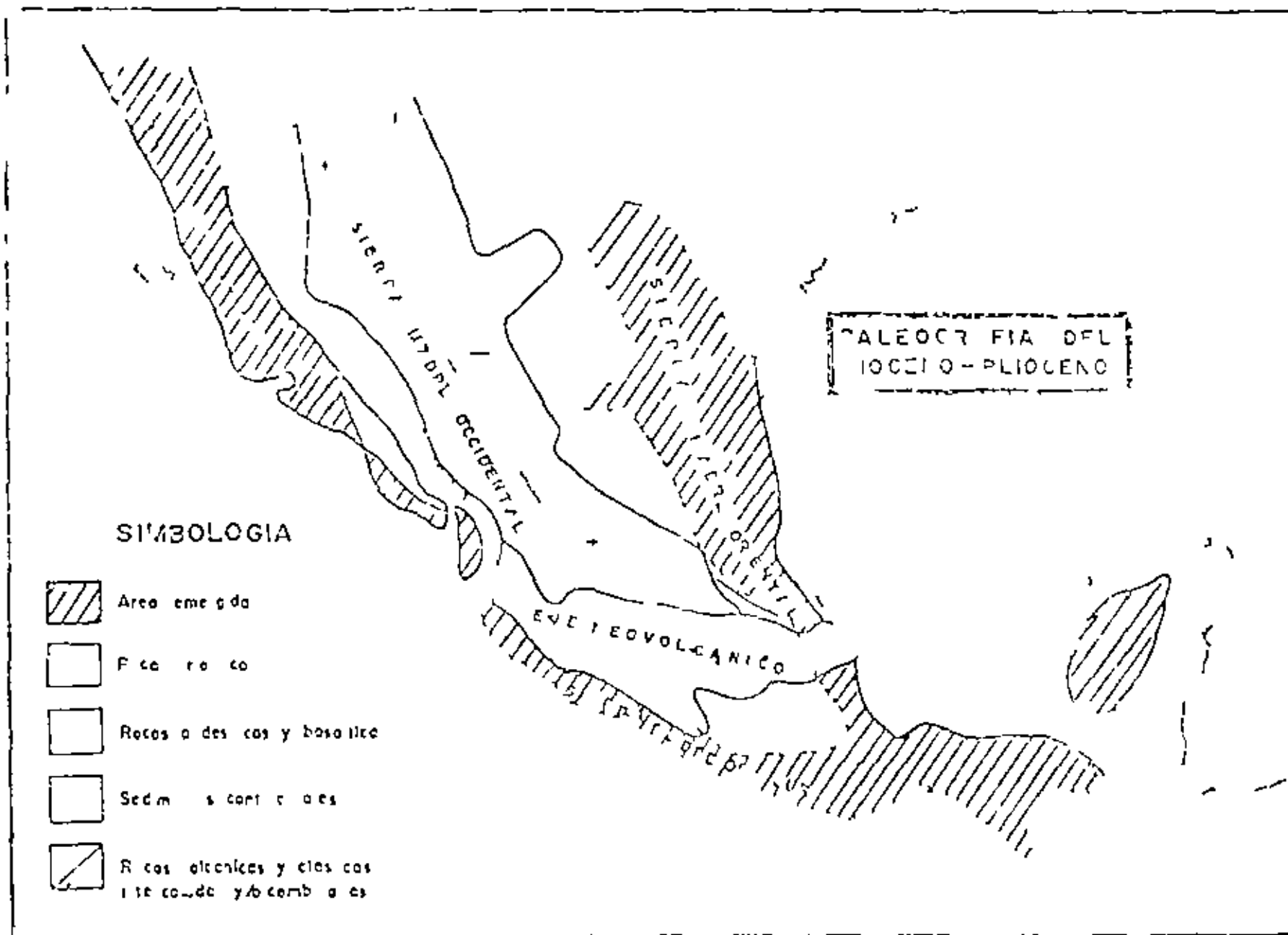


Fig 5

El vulcanismo y la erosión se presentan simultáneamente en esta época por lo que sus productos se encuentran en los cerros y en ocasiones mezclados formando rocas volcánicas de composición compleja.

La gran cueca que al principio del Terciario debió presentar un relieve demasiado abrupto al final de mismo presenta 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 msnm.

Periodo Cuaternario -

Al iniciarse el Periodo Cuaternario hace aproximadamente 1 millón de años los ríos del Pacífico y el Golfo iniciaron el drenado del Altiplano desapareciendo paulatinamente los lagos y sometiendo a toda la zona a un proceso de intensa erosión que persiste en nuestros días el cual es promovido 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 Perú se caracteriza más por la erosión que por el depósito se considera que el espesor de los depósitos de esta edad es muy reducido.

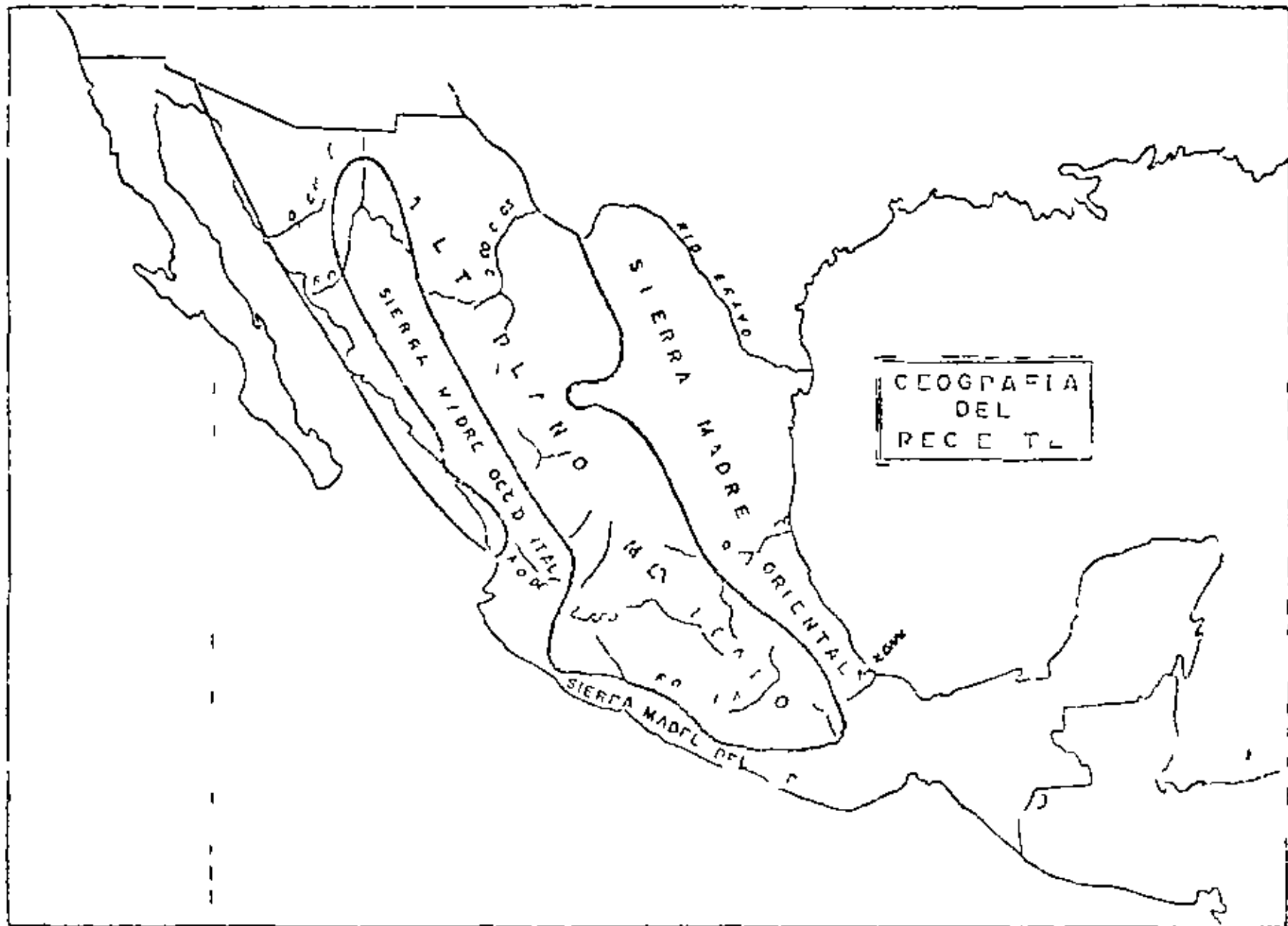
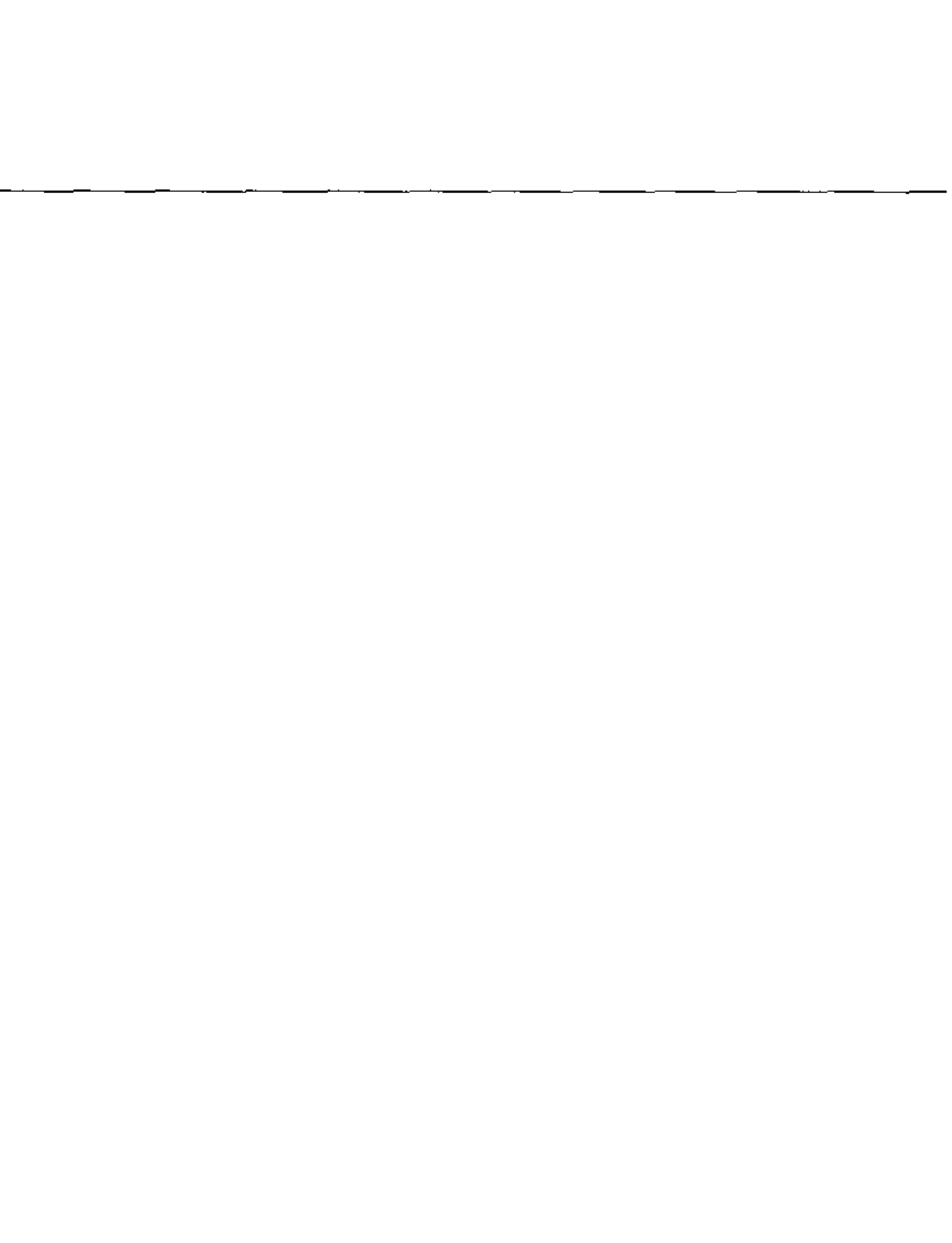


Fig 6

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



E_S_T_R_A_T_I_G_R_A_F_I_A

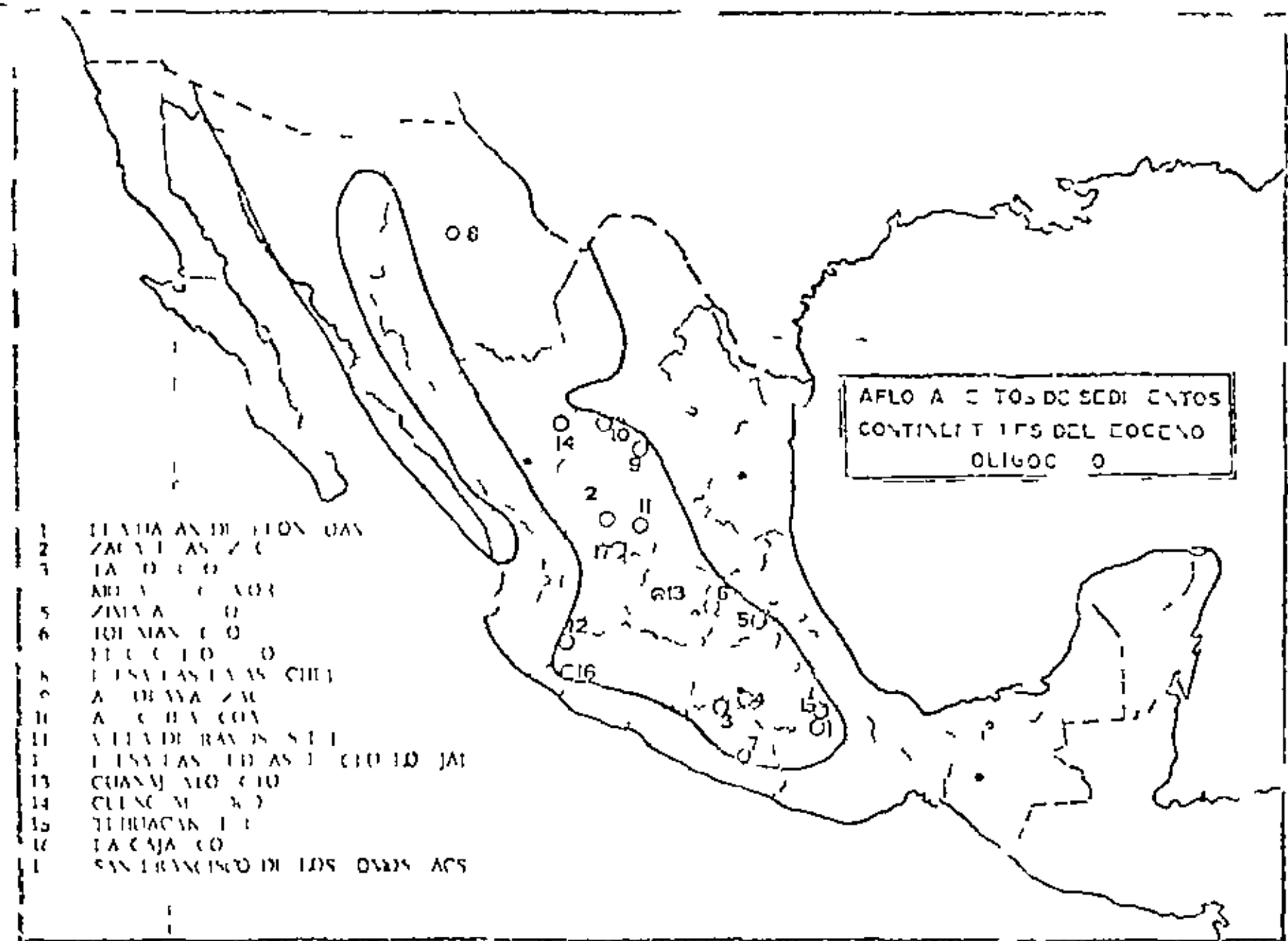
Se describe la columna estratigráfica del Tercer Continente de la base hasta la cima

Conglomerado Rojos (Eoceno Oligoceno) -

Descansando discordantemente sobre rocas cristalinas 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. Dependiendo algunos de ellos según la región de que se trate emplazados en una matriz arcillosa o arcilloarenosa de color generalmente rojo por lo que por lo común se les conoce como Conglomerados Rojos (Fig. 7)

Intercalados con los conglomerados se encuentran en capas de lutita, arcillas, calizas lacustres, yeso y tobas de composición volcánica y no volcánica.

Normalmente se presentan en estratos bien de espesor con celdado fuertes afectado por fallas y fracturas siendo por lo común muy raras las diques.



AFLO A C TOS DE SEDI ENTOS
CONTINENTALES DEL EOCENO
OLI GOC O

- 1 TIERRA ANTIQUONA
- 2 ZACATECAS
- 3 TAMPICO
- 4 ARIAR
- 5 ZIMERA
- 6 TOLMAN
- 7 TUCUCO
- 8 ESCALANTAN
- 9 ADEVAZAC
- 10 ACHACON
- 11 VILLARREAL
- 12 ESCALANTAN
- 13 CUANAJU
- 14 CUENCA
- 15 TITHUACAN
- 16 TACAJA
- 17 SAN FRANCISCO DE LOS OSOS

Los siguientes autores han estudiado algunas formaciones de este tipo

G P SALAS 1919 FORMACION HUAJAPAN en OAX

J D EDWARDS 1956 CONGLOMERADOS ROJOS en ZACAJUCAS GUANAJUATO Y TLAVERCOS

C FRIES JR 1960 GRUPO BALSAS en MORILLAS Y GUERRERO

K BRYAN 1948 GRUPO EL MORRO en HIDALGO Y MEXICO

ROGERS et al 1961 FORMACION AHUICHILA en COAHUILA ZACATECAS Y DURANGO

Su espesor es muy variable aun en cortas distancias

J D Edwards 1956 mediciones de 2 000 mts 418 mts y 475 mts en Cuajahuatl Zatecas y Tlaxco respectivamente

No ha sido facil de determinar la edad de los Conglomerados Rojos debido a su escasez de fosiles sin embargo en base a restos del esqueleto de un pequeño roedor colectado por C Fries Jr 1952 en Cuajahuatl se le dio edad Eoceno Oligoceno la que se ha ido corroborando por otros medios como se vera mas adelante

•

do de los Conglomerados Rojos como el Tionco de Riohacha de La Interoceánica y el Acapulco (Cra. 25 kms) al Sur de Chilpancingo el cual se le determinó por métodos radioactivos una edad de 39 ± 5 millones de años antes del presente (Z. de Cserna 1974), lo que equivale al Eoceno Superior.

En el Estado de Morelos el Tionco de Granaditza de 10 kms al Sureste de Cuautla intrusiona 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 al Oligoceno Superior (Z. de Cserna 1974).

ROCAS VOLCÁNICAS (OLIGOCENO) -

Intercaladas hacia la cima de los Conglomerados Rojos y cubiertas por los mismos se observan en toda el área unidades volcánicas de tipo andesítico. Algunas de estas unidades ya han sido estudiadas como la Tionca de Tizapala (C. L. Ries 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 Circon y resultó 30 ± 10 millones de años antes del presente (H. W. Jaffe et al. 1958) lo que equivale al Oligoceno Superior avanzando la edad Eoceno Oligoceno de los Conglomerados Rojos subyacentes.

Otros afloramientos de este tipo son

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

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

Formación Vizcarrá (S. Enciso de la Vega 1968)

Descansa sobre la Formación Ahuichila en el área de Cuencame Dgo. y consiste de tobis ríolíticos 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 de cerca como formaciones e incluso frecuentemente se les ha confundido con unidades recientes

En seguida se presenta una relación de formaciones
consideradas de esta edad

- FORMACION JARANGO (K Bryn 1948) Clástico y volcánico basáltico, andesítico aflora en el D. I. Mex e Hidalgo por estudios de diatomeas Plioceno Medio y Plioceno Superior (J Jiménez R 1977)
- FORMACION TIPOZILIAN (C Fries Jr 1950) Clástica y volcánica andesítica aflora en Ldo de Morelos Edad por posición estratigráfica Mioceno Inferior
- FORMACION CULNAVACA (C Fries Jr 1950) Clástico y volcánica andesítica Aflora en el Ldo de Morelos Edad por diatomeas Plioceno Superior (segun J Jiménez R 1977)
- LOBA 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-Alo- 1963) Conglomerados de caliza y de lavas volcánicas aflora en el Ldo de Durango Edad por posición estratigráfica Plioceno Superior Pleistoceno
- FORMACION CHIH PANCIN GO (Ordóñez-Bose 1899) Clástica lacustre aflora en el Ldo de Guerrero (Z de Czerma 1965) le da edad Plioceno y la correlaciona con la formación Cuicnavaca
- 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 Cuicamé Dgo Edad por posición estratigráfica Plioceno Superior
- FORMACION SANTO DOMINGO (J Carrillo Brivo 1971) Clásticos lacustres y fluviales aflora en S. L. P. Edad por diatomeas Plioceno superior (segun J Jiménez R 1977)

La tabla 1 muestra la distribución de edades de unidades sedimentarias lacustres del Altiplano. Se han practicado análisis palinológicos a base de diatomeas. Algunos de los resultados se muestran en la Tabla N. 1.

PERIODO CUATRICARIO

Se considera que los sedimentos depositados durante este período en el Altiplano son en general de poco espesor, dado que el frento se encuentra en una etapa de muy reciente formación.

En el Valle de México aflora la Llanura Becerra constituida por sedimentos lacustres (ver Fries 1955) el límite Sur del Valle lo constituyen rocas basálticas de la Cuenca Chichimilzin (C. Fries Jr. 1960).

CONDICIONES TECTONICAS

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

RELACION CRONOESTRATIGRAFICA Y SALA EN
DIATOMEAS

COTA	LOCALIDAD	UNIDAD	EPOCA
1	LA PLAYA DE CUICUILAN	TERCIARIO LACUSTRE	PLIOCENO MEDIO
3	CERRILLO PRETERA DEL CENTRO TULAHUAC	FORMACION ATOTONILCO	PLIOCENO MEDIO
5	BUENOS CAPELERA HUI CHUAMILCO TULAHUAC	FORMACION TARANGO	PLIOCENO SUPERIOR
9	MICHTELCO JALISCO	FORMACION CHAPALA	PLIOCENO MED SUP
12	LA PLAYA MANUEL EL ALDO CIO	TERCIARIO LACUSTRE	PLIOCENO MED-SUP
13	LA PLAYA, ZACATECAS	TERCIARIO LACUSTRE	PLIOCENO MEDIO
16	LA PLAYA DE LA ACQUISICION, EL DOLO	FORMACION CUERNAVACA	PLIOCENO SUPERIOR
18	LA PLAYA DE VILLA DEL SIEMPRE	FORMACION SOTO LICO	PLIOCENO SUPERIOR

ELABORADO POR J. JIMENEZ E. 1977

durante el Mioceno y Plioceno el intenso vulcanismo y el fallamiento produjeron el bloqueo de corrientes y a la formación de formas tectónicas como cerros y encañonamientos y profundas zonas lacustres y valles aluviales donde se depositaron grandes volúmenes de sedimentos. En El Bolson de El Hueco en el área de Ciudad Juárez los sedimentos lacustres y fluviales del Grupo Santa Fe 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.

La explotación del Valle de México hace años se perfora con fines de explotación de agua el Pozo Texcoco N-1 en terrenos del antiguo lago. La profundidad del pozo fue 2065 metros habiendo atravesado una secuencia formada por lavas volcánicas y sedimentarias encontrando en el fondo yesos y conglomerados del Grupo Salinas.

En lo que va del Holoceno Cuaternario la erosión es el agente que más ha contribuido en la configuración de las estructuras del área en estudio. Salvo a lo largo del Eje Neovolcánico donde se han presentado grandes emisiones volcánicas como la de El Parícutin en el año de 1943 en el Estado de Michoacán.

CONCLUSIONES

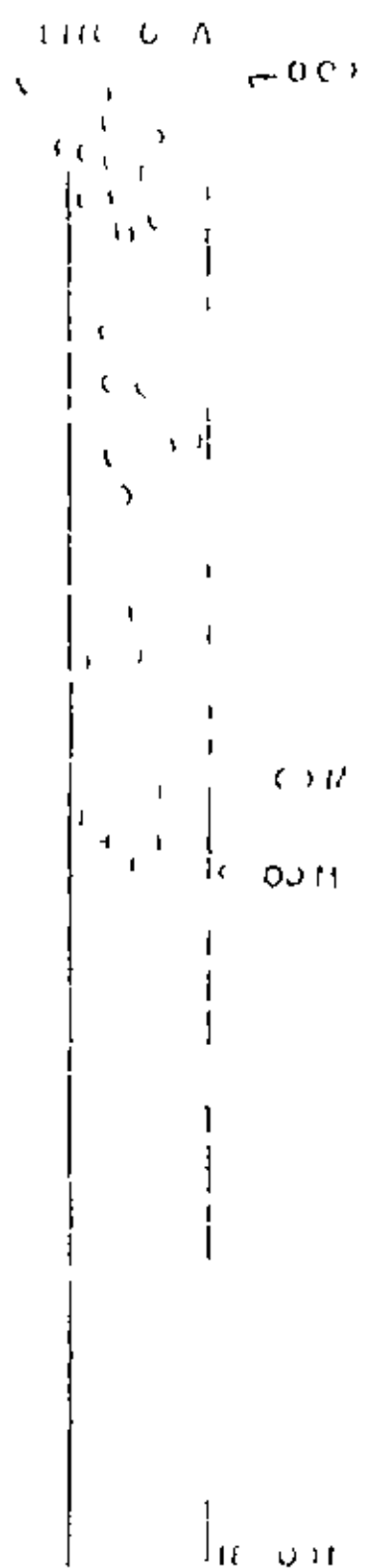
El estudio de las posibilidades acuíferas de los sedimentos continentales terciarios se desahó en el autor en el año de 1973. Para ello los resultados de un pozo perforado por la Dirección de Geología y Minería en el Estado de San Luis Potosí en la porción Noroccidental del Estado (Cerro de San Mateo). En este pozo la producción acuífera importante se encuentra al interior de una capa de lava riolítica que cubre un depósito de gravas y arenas de gran tamaño. Una revisión de campo comprobó que en un lugar relativamente cercano a él existía una secuencia geológica semejante a la cortada en el pozo.

Dada la gran variedad de lavas riolíticas y andesíticas del área son considerados de edad terciaria los lavas que se les tomó como Horizontes Índice. Las lavas que se les tomó como Horizontes Índice se consideran de edad terciaria a más antigua.

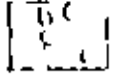
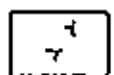
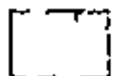
En el gran depósito de sedimentos continentales que cubren el área no se presenta ya sea porque se erosionó o porque no se depositó en este lugar su identificación como sedimentos terciarios es difícil por su semejanza con sedimentos recientes. Siendo necesario un estudio más detallado.

Como resultado de la revisión gran número de corales litológicos que se les tomó como Horizontes Índice se les tomó como Horizontes Índice. Los lavas que se les tomó como Horizontes Índice se consideran de edad terciaria a más antigua. Los lavas que se les tomó como Horizontes Índice se consideran de edad terciaria a más antigua. Los lavas que se les tomó como Horizontes Índice se consideran de edad terciaria a más antigua.

POZO SAN ANTONIO, ZAC



LEGENDA

-  CONGLOMERADO
-  SOLA MOLICA
-  GRUVA Y AREIA

NIVEL CATICO ----- 151 M

NIVEL DINAMICO ----- 200 M

CAUDAL ----- 100 LPS

AGUA FREIA

Y todo esto se fue desarrollando y luego en los últimos años de este modo el área de estudio fue creciendo hasta abarcar todo el Altiplano y todo el territorio del País.

TERMALISMO

Conforme se ha ido desarrollando el estudio de los acuíferos en su totalidad en los territorios se ha podido observar que en un gran porcentaje de los puntos ya mencionados estudiados el agua presenta termalismo sobre todo cuando dichos sedimentos están relacionados con rocas ácidas como las tobas y riolitas lo cual es muy frecuente en nuestro País.

Este termalismo tiene algunas características especiales.

a) - Generalmente el agua no tiene temperatura arriba de los 12°C.

b) - El termalismo es de tipo regional o sea que en algunas zonas se encuentran a varios cientos de Km² como es el caso del Valle de San Juan, Jota y Jaral de Berrio, Gto.

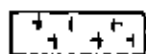
c) - El agua que reportan es generalmente moderada y de buena calidad.



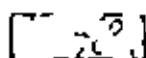
POZO CRISOSTOMOS

EJIDO DE CRISOSTOMOS
 MUNICIPIO DE SIENEGAS
 ESTADO AGUASCALIENTES
 CLAVE PAB-39

SI NOLOGIA



TOBA RIOLITICA



ARENA Y GRAVA

N E 5 9 5 M

N D 6 3 0 M

CAUDAL 3 5 LPS

TEMPERATURA 30 C

37100

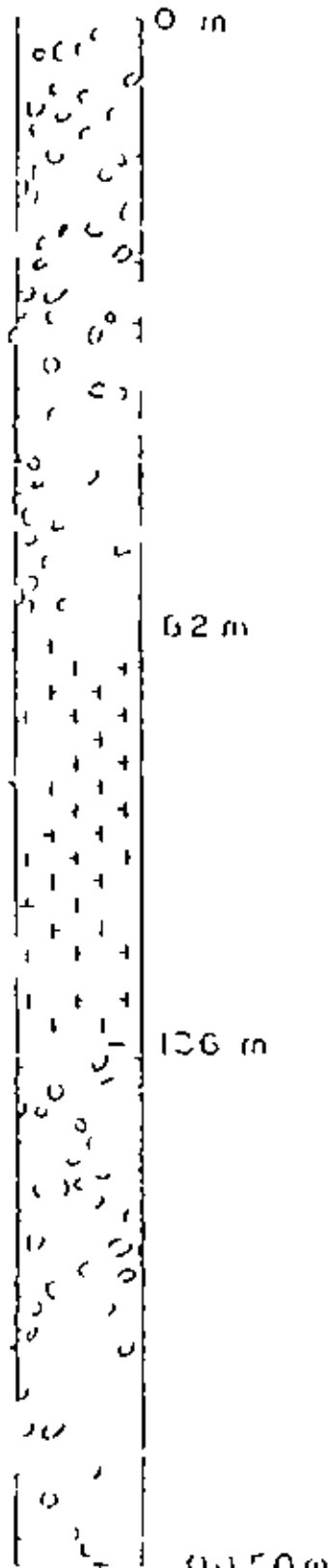
33 175

EXPLOMIN 3

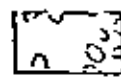
24

MARAVILLAS MPIO DE NORIA DE ANGELES ZAC

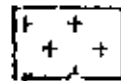
LITOLOGIA



SIMBOLOGIA



Grava y arena



Toba riolitica

N F = 27 41 m

N D = 70 07 m

Q = 81 75 Lps

AGUA TTRMAL

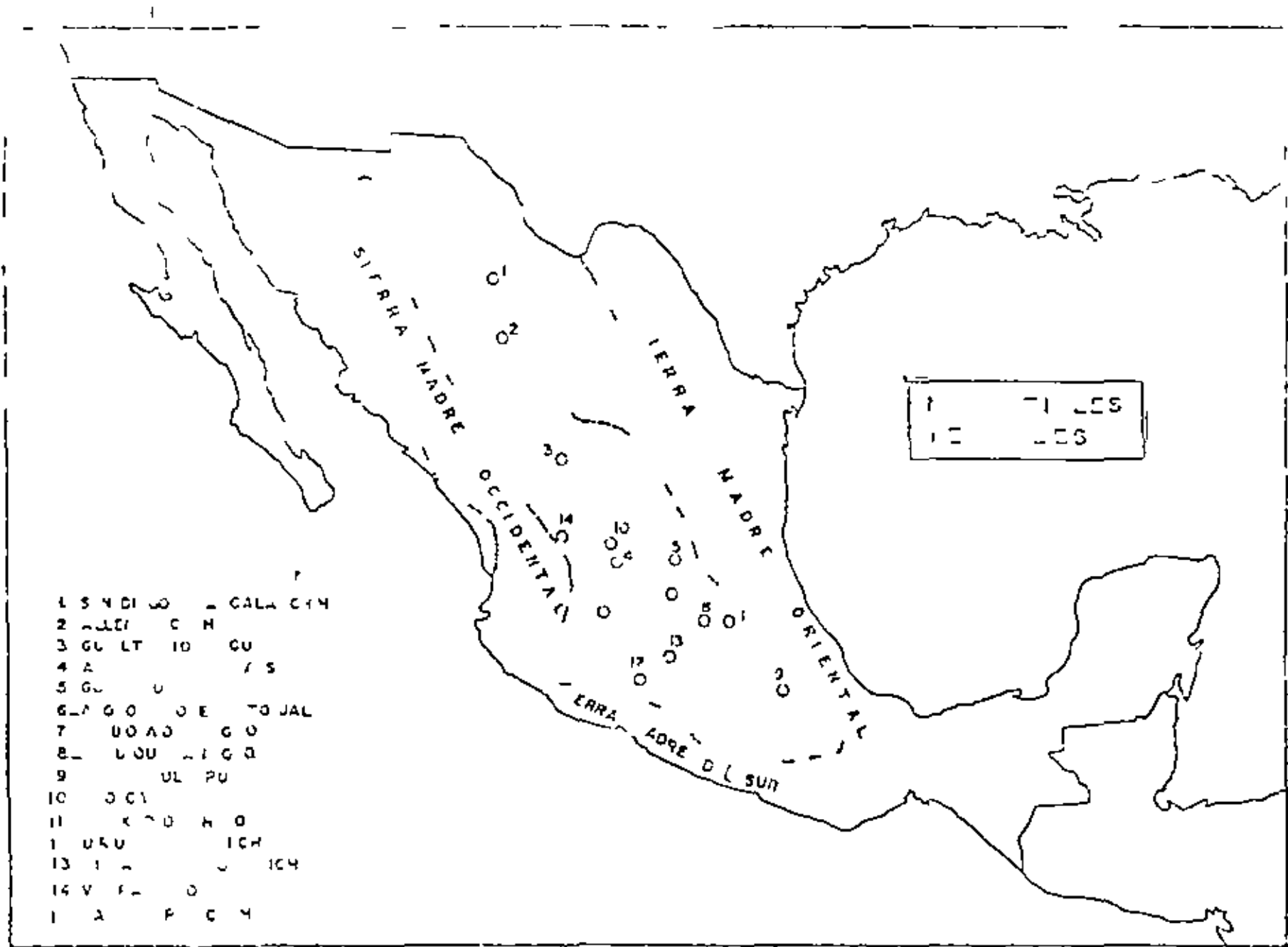


FIG II

Se considera que el agua adquiere calor al estar en contacto con rocas calientes o yacimientos que contienen minerales en descomposición.

Este tipo de termalismo relacionado con sedimentos y rocas se divide de acuerdo al origen del calor por cámaras magmáticas y/o enes de tipo b) y se conoce como sigue 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 Ixtlan de los Hervores en el Estado de Tlaxcala.

CONCLUSIÓN -

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 Estado de Tlaxcala se encuentra en sedimentos clásticos continentales de edad terciaria.

b) El tipo de relieve en el interior y en las montañas de la zona de estudio, así como la presencia de fallas y fracturas, o incluso de impermeables y que a veces se encuentran en algunos lugares de la zona de estudio, en especial en las unidades de los cuencos por el istmo continental permanente. Estas unidades de pleistoceno reciente existen en las partes del País antes desechada por estar muy por debajo del nivel de los techos volcánicos impermeables. (Fig. 9 y 10)

c) Los límites fisiográficos de una cuenca si están formados por rocas volcánicas impermeables no necesariamente serán los límites hidrológicos de la cuenca, pues puede existir una infiltración subterránea de agua a través de afloramientos clásticos subyacentes.

d) Una gran proporción de pozos y manantiales en esta zona de estudio se encuentran en el tipo II y este término es la asociación principal de tipo clástico.

e) Algunas unidades de sedimentos terciarios continentales son impermeables que pueden actuar como confinas.

A la vez, por el tipo de presencia de nuevo con el geólogo-geólogo a la vez en el tipo II de la zona de estudio y Zona Arriba de la Secretaría de Recursos Naturales, ha sido necesario su apoyo para el estudio de las unidades de la zona de estudio.

México, D.F. - Enero de 1978



INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL

BIBLIOGRAFIA

- De la Cruz, J. 1953 Los Suitos Complejos y Fosiles de la Alta Sierra de la Mexico en relacion a los cambios climaticos. Bol. Soc. Geol. Mexicana XIII (1a Parte)
- Chulze, C. 1953 Conglomerados Terciarios Continentales en Comarca Ingenua de Durango y Coahuila y sus Relaciones con Fenomenos Igneos Geomorfologicos y Climatologicos. Bol. N. 30 del Instituto Nacional de Investigacion de Recursos Minerales
- De la Cruz, J. 1955-56 - Congreso Geologico Internacional XX Sesion Mexico Excursion C-9 y C-12 Hoja N. 7
- De la Cruz, J. 1956 Estudio Sobre Algunos de los Conglomerados Rojos del Terciario Inferior del Centro de Mexico. XX Congreso Geologico Internacional
- De la Cruz, J. 1956 Boqueteo Geologico de las partes Central y Occidental del Estado de Morelos y sus contiguas de Guerrero Mexico Cong. Geol. Intern. XX Sesion Mexico 1956 Libro de Carta de la Excursion C-9
- De la Cruz, J. 1956 Tertiary Geologic History of the Rocky Mountains in Montana U.S.A. XX Congreso Geologico Internacional Mexico
- De la Cruz, J. 1957 - Boqueteo Geologico de la Region entre Mexico D.F. y Acapulco Gro. - Bol. N. 5 y 6 del Volumen IX de la Asoc. Mexicana de Geologos Perforeros
- De la Cruz, J. 1963 Hoja Cuencame 13 R-1 (7) Instituto de Geologia UNAM
- Villalba, C. 1969 - El Probable Gran Acuífalo Taboada - Cogorron. Hoja Tecnico N. 22 del Inst. de Geologia y Metalurgia Universidad Autonoma de San Luis Potosi
- De la Cruz, J. 1969 Some Key to the Geology of Northern Chihuahua. Cuadernos - Twentieth Field Conference The Border Region Chihuahua and the U.S.A. New Mexico Geological Society
- Villalba, C. 1969 Hoja Ciudad Juarez 13 R-1 (3) Instituto de Geologia UNAM
- Dietz, Robert S. y Hillenbrand, C. 1970 La D. Integracion de la Panora. Seleccion

- Wright, H. L. 1927 - *Plateau and Basin* - Continental and Tectonics of the
 Great Salt Lakes de Scientific American
- Wright, H. L. 1967 - *A Seismic and Gravity Profile Across The Huccho Basin*
 Texas U.S.G.S. Paper 575-D Bibliografía editada por Tom Cl... 1967
- Zona Central 1969 - *Cumulativo Occurrence of the El Paso Area in Its
 Tectonic Context* - New Mexico Geological Society twenty
 Field Conference
- Zona Central 1969 - *Geología del Suroeste del Estado de Hidalgo y del
 Estado de México* - Boletín N° 3 y 4 del Volumen XIII de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros
- Zona Central 1969 - *Bequejo Geológico de la cuenca sedimentaria de Oaxaca*
 Boletín N° 2 del Volumen I de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros
- Zona Central 1961 - *Comentario sobre la tectónica de México* - Boletín
 N° 9 y 10 del Volumen XIV de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros
- Zona Central 1961 - *Orogénesis Plio-Terciarias en México* - Boletín N° 1 y 2 del
 Volumen XIV de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros
- Zona Central 1961 - *El Eje de Anáhuac* - Mooser 1961 - *Focos Tectónicos en la
 República Mexicana* - Boletín N° 7 y 8 del Volumen XVI de
 la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros
- Zona Central 1961 - *Minerales de azufre en la
 precipitación sedimentológica de las Capas Rojas de la Formación Yantuitlan, Oaxaca* - Boletín N° 7-12 del Volumen
 XXIII de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros
- Zona Central 1961 - *Estratigrafía del arco Bernal Jalisco - Estado de Oaxaca*
 Boletín N° 5 y 6 del Volumen VIII de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros
- Zona Central 1965 - *Geología del Mioceno de Tepic y la Cuenca Cenozoica de Veracruz* - Boletín N° 7-12 del Volumen XVII de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros
- Zona Central 1974 - *Geología General de México* - Edición Especial
- Zona Central 1974 - *Roques sedimentarios* - Editorial Universitaria de Buenos Aires

Richard H. Price 1955 - Geología Italiana Editorial Omega

Don J. Anderson 1971 - Deriva Continental y Secuencia de las Secciones de Scientific American



DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA UNAM

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

LOCALIZACION DE SITIOS PARA
PERFORACION

Expositor Ing Raymond Vignaud Combas

Junio 1981

I INTRODUCCION

I 1 El Agua Subterránea y la Geología

El presente curso de perforación de pozos para agua que está realizando el Centro de Educación Continua de la Universidad Nacional Autónoma de México en colaboración con la Sociedad Geológica Mexicana A. C. incluye dentro del temario un capítulo que se refiere a la localización de sitios para perforar

Esto resulta muy interesante si se considera que para el aprovechamiento óptimo de las aguas subterráneas se requiere de la participación de diferentes disciplinas y tecnologías relacionadas con la exploración perforación explotación aprovechamiento y uso de los acuíferos subterráneos

En el caso de la perforación de pozos para agua una de las cuestiones que se plantean es el de fijar o el de elegir el sitio para perforar y la profundidad que éstas deben tener a fin de no encontrarse con eventualidades y gastos innecesarios que eleven los costos de un proyecto relacionado al aprovechamiento de las aguas subterráneas Para poder decidir sobre estos puntos tan importantes conviene recordar lo que es el agua subterránea y su relación con las ciencias geológicas

El agua subterránea es uno de los recursos indispensables para la vida de una comunidad porque su aprovechamiento como agua potable o para fines agropecuarios o industriales así como su conocimiento en potencialidad permite planear el desarrollo social y económico de una región o de un país Pero también es necesario advertir que el agua subterránea no es un recurso ilimitado por lo que su preservación y uso óptimo debe ser controlado de la misma manera que ocurre con otros recursos naturales

En un país como el nuestro que tiene predominio árido y semi árido y donde el agua superficial es escasa el subsuelo constituye la única fuente que puede proporcionar agua en forma permanente de aquí que sea un recurso básico para el desarrollo del territorio nacional

El agua subterránea también reviste gran importancia no solo en zonas áridas y semiáridas sino en aquellas regiones que tienen una precipitación alta y donde se generan grandes ríos caso particular el sureste de México y algunas zonas costeras del país

En efecto el aprovechamiento de estos ríos requieren de grandes inversiones para ejecutar obras de almacenamiento y una infraestructura hidráulica muy costosa para la conducción de los recursos hidráulicos en cambio el aprovechamiento del agua subterránea ofrece la ventaja de diferir la inversión inicial requerida para conseguir el suministro necesario e decir con pocos recursos poner prácticamente de inmediato en marcha la producción de una zona

El agua subterránea también tiene la ventaja de su permanencia en los almacenamientos subterráneos mayor distribución espacial y menor exposición a la contaminación por lo que se le prefiere en los usos doméstico e industrial además de que se puede utilizar en forma combinada con el agua superficial cuando esta no alcanza para irrigar una mayor superficie de terreno

Pero así como el agua subterránea ofrece muchas ventajas en contraposición resulta que los almacenamientos subterráneos no son ilimitados y la renovación del agua que contiene ocurre en forma lenta por lo que su explotación debe ser controlada a efecto de no crear un déficit entre el volumen renovable y el volumen requerido y producir desequilibrios ocasionados por la sobreexplotación

Aunque a veces se justifica una explotación a costa del almacenamiento de los acuíferos es necesario conocer sus características y su potencialidad para no causar daños irreparables tales como incremento de los costos de bombeo disminución del rendimiento de las captaciones hundimientos de terrenos formación de grietas intrusión salina que cuando el agua es utilizada para riego trae la consiguiente contaminación de suelos y el abandono de instalaciones productivas

Estos problemas de sobreexplotación y otros ocasionados por la concentración de las explotaciones o la contaminación que ocurre en terrenos altamente permeables o de aquellos de naturaleza arcillosa que tienen agua con niveles someros que propician inundaciones y terrenos de escasa potencialidad y con niveles profundos son derivados de condiciones climáticas pero principalmente de las características que presentan las diferentes provincias geológicas De ahí la enorme importancia que tiene el conocer las condiciones geohidrológicas de una región en donde se pretende explotar agua subterránea e incluso de aquellas que ya se encuentran en explotación

Lo que se busca entonces es determinar las características de la calidad y estructura del subsuelo y la distribución espacial en las diferentes formaciones geológicas en forma tridimensional por donde se recarga, circula y acumula el agua de los almacenamientos subterráneos.

1.2 Geología e Hidrogeología

La Geología como ciencia de la tierra se ha desarrollado siempre como el estudio cualitativo de los procesos que ocurren en la corteza terrestre por ser una ciencia natural que se ocupa de las transformaciones de todo lo que ocurre en y sobre la superficie terrestre no puede estar desprovista de importancia práctica en cuanto a sus aplicaciones con relación al desarrollo de la humanidad.

De este modo se han desarrollado en base a la geología diversas aplicaciones prácticas en relación con la exploración de recursos naturales así como a la obtención de datos geológicos para la planeación y proyectos de obras de infraestructura. Ello ha permitido en la práctica de la geología la implantación de diversas disciplinas que se conocen como Geología Petrolera, Geología Minera, Geotermia, Hidrogeología e Ingeniería Geológica.

Las necesidades de conocer y aprovechar mejor nuestros recursos naturales así como el desarrollo que han tenido los procedimientos para las investigaciones de estas áreas han creado verdaderas especialidades y en el caso del agua del subsuelo que es atendida por la geohidrología constituye la disciplina que estudia las leyes relativas a la existencia y movimiento de las aguas subterráneas.

Para su estudio la geohidrología se basa principalmente de la Geología porque presupone que son los factores geológicos los que condicionan su existencia y también se auxilia de la hidráulica, matemáticas, geoquímica, geofísica, mecánica de suelos, probabilidad y estadística, hidrología superficial y subterránea, técnicas isotópicas y perforación de pozos.

Es de uso común utilizar el término Geohidrología para señalar aspectos más amplios del agua subterránea y la Hidrogeología como el estudio del agua subterránea con mayor atención énfasis en los aspectos geológicos, químicos y de circulación.

II GEOLOGIA DEL AGUA SUBTERRANEA

La Geología que se aplica en la hidrogeología no es una disciplina pura y abstracta sino que es una geología que tiene que ver con las características de la calidad de las formaciones y la estructura del subsuelo por donde se alimentan circulan y acumulan las aguas de los almacenamientos subterráneos y por ese hecho es del dominio común llamar a esta disciplina como Geología del Agua Subterránea

La Geología del Agua Subterránea tiene por objeto esencialmente establecer el marco o modelo conceptual hidrogeológico que sirve de base para la interpretación de otras tecnologías que intervienen en las distintas etapas de los estudios geohidrológicos como son La prospección la evaluación y el manejo del agua subterránea

Como la mayoría de los terrenos no son homogéneos sino que por distintas causas presentan variaciones laterales y en profundidad ello determina que la circulación y acumulación de agua ocurra bajo diferentes condiciones según la distribución espacial que presentan los materiales en la superficie y en el subsuelo

Para comprender esto es necesario analizar los procesos geológicos que han intervenido en la genesis de las rocas y los suelos los cuales han dado lugar a las diferentes formas de terreno que se conocen

II 1 Procesos Geológicos

Los procesos geológicos son un conjunto de agentes de tipo físico y químico que determinan y modifican la forma superficial de la tierra mediante una dinámica interna y externa cuya energía proviene tanto del interior de la tierra (energía radioactiva) como del exterior (energía solar)

La geodinámica interna incluye procesos de tipo plutónico volcánico orgánico y epeirogenico que dan lugar a los relieves del terreno como macizos intrusivos montañas y mesetas volcánicas y formación de montañas de bloques o plegadas

La geodinámica externa interviene en los procesos de intemperismo remoción por gravedad erosión acumulación y deposición de sedimentos acompañados de procesos diagenéticos. Estos procesos son los más notables porque ocurren sobre la superficie terrestre y además porque la mayoría de los paisajes actuales como la formación de redes hidrográficas valles y llanuras son resultados de procesos geológicos evidentes incluso en periodos cortos de tiempo

Aunque en los trabajos de búsqueda de agua subterránea en general se engloban todos los conocimientos sobre los procesos geológicos esencialmente interesa analizar la geomorfología la calidad de los materiales y estructura geológica

II 2 Geomorfología

En el análisis de la geomorfología se trata de interpretar las formas del terreno variaciones de las pendientes del relieve y las características del drenaje superficial

Existe una gran variedad de formas del terreno que es conveniente agruparlas de acuerdo con su origen y estructura interpretándolas en provincias geológicas para facilitar su estudio ya que es muy frecuente observar cierta relación de las formas montañosas con las divisiones climáticas incluso de un continente a otro Las variaciones del relieve en montañas lomeríos y llanuras determinan la presencia o ausencia de cobertura intemperada y ésta a su vez es un factor muy importante en el escurrimiento superficial o en la retención del agua de lluvia

Un factor que determina la configuración de las formas del terreno es el drenaje superficial cuyos arreglos y densidad permiten definir zonas que ofrecen escurrimiento o infiltración además de aquellas zonas que ocupadas por ríos lagos pantanos y manantiales nos indican de la influencia que tienen en la recarga de los acuíferos

Existen muchos arreglos del drenaje que indican características que tiene relación con las condiciones geohidrológicas por ejemplo Los drenajes de textura abierta se relacionan con materiales permeables mas 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

La uniformidad del drenaje manifiesta también cierta homogeneidad en la constitución de los terrenos y susceptibilidad a erosionarse en cambio las zonas no integradas o con ausencia de drenaje puede deberse a la presencia de aluviones granulares o de rocas permeables por fracturación o por cavidades de disolución

Siempre conviene agrupar las características similares de los terrenos formando modelos que ayuden a establecer criterios que por analogías permitan estudiar zonas que carecen de información Una clasificación útil y práctica de las formas de los terrenos es la de Von Engelmann porque permite sistema

tizar una variedad de formas en relación a la calidad y estructura de los terreros agrupándolas en cinco clases y 19 unidades estructurales

CLASIFICACION GEOMORFOLOGICA DE VON ENCELN

I CLASES DE ESTRUCTURAS SIMPLES

A Unidades geomórficas de materiales no consolidados o debilmente consolidados que tienen en lo g reral una estructura hori orial o simple que está bien def ni da 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 igneo Los materiales como en el caso A se encuentran agrupados uniformemente y con una estruc tura 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 calcá rea con una estructura simple debido a la homogenei dad del material

- 12 Carst
- 13 Isla o barrera de coral

II CLASES DE ESTRUCTURA DESORDENADAS

D Unidades geomórficas plegadas o falladas que se for maron 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

E 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

De esta clasificación son las tres primeras o sea las que están relacionadas con clases de estructuras simples las que normalmente tienen interés acuífero justamente por que se acercan más a la homogeneidad y porque o son materiales no cohesivos o materiales rígidos pero fracturados

II 3 Calidad de los materiales

Por definición los materiales que componen la corteza terrestre son rocas. Las rocas comprenden las formaciones geológicas que componen el suelo y el subsuelo igualmente comprenden los fluidos que impregnan a estas formaciones (agua gas petróleo). Existe una variedad muy grande de materiales rocosos que se clasifican en base a su origen textura composición mineralógica y modo de ocurrencia y materiales sueltos que se clasifican tomando en consideración su granulometría plasticidad y contenido de agua.

En geohidrología las variaciones en la calidad de los materiales influyen en la permeabilidad y en su porosidad y consecuentemente influyen en el flujo y almacenamiento del agua subterránea.

Desde el punto de vista del origen las rocas se clasifican en ígneas sedimentarias y metamórficas. En la tabla se señala esta clasificación subdividiéndose en varios grupos. En la tabla 2 se presenta la clasificación de las rocas ígneas intrusivas y extrusivas con su composición mineralógica así como la naturaleza de los piroclásticos y vidrios volcánicos. En la tabla 3 se han reunido a todas las rocas sedimentarias en función de su origen mecánico químico y orgánico y en la tabla 4 se registra una clasificación de rocas metamórficas.

Los materiales que constituyen la corteza terrestre para fines de clasificación en las perforaciones se muestran de tres maneras diferentes: suelo fragmento de roca y roca.

El término suelo se aplica a todas aquellas partículas de material menores de 7.6 cm (3"). Fragmento de Roca se aplica a todas aquellas mayores de 7.6 cm pero que no forman un macizo rocoso sino que los elementos sólidos están ligados entre sí por material suelto (suelo). El término roca se usa para cuando se tienen formaciones rocosas rígidas o altamente cohesivas.

TABLA 1

CLASIFICACION DE ROCAS

DIVISIONES	SUB-DIVISIONES	GRUPO	SIMBOLO
ROCAS	IGNEAS	EXTRUSIVAS	R_{ie}
		INTRUSIVAS	R_{ii}
	SEDIMENTARIAS	CLASTICAS	R_{sc}
		QUIMICAS	R_{sq}
		ORGANICAS	R_{so}
	METAMORFICAS	NO FOLIADAS	R_{mn}
		FOLIADAS	R_{mf}

TABLA 2

COMPOSICION Y CLASIFICACION DE ROCAS IGNEAS			
ROCAS	PRINCIPALES MINERALES QUE FORMAN LAS ROCAS	ROCAS	
EXTRUSIVAS (Grano fino o porfirítico)		INTRUSIVAS (Grano grueso)	
RIOLITA	CUARZO SiO_2	GRANITO	ROCAS CLARAS ROCAS OSCURAS **
TRAQUITA		FELDESPATO POTASICO (Ortoclasa) $KAlSi_3O_8$	
ANDESITA	FELDESPATO SODICO CALCICO (Plagioclasas) $CaAl_2Si_2O_8$ $NaAlSi_3O_8$	DIORITA	
DACITA		GRANODIORITA	
BASALTO	Silicatos Ferromagnesianos Micas MB Hornblenda Piroxena Olivino	GABRO	
AUGITITA		PIROXENITA	
LIMBURGITA		PERIDOTITA	

ORIGEN	NATURALEZA	R O C A		
ERUPCIONES TRANQUILAS	VITREA	OBSIDIANA		
		PERLITA		
		PIEDRA POMEZ*		
		RETINITA (Piedra Pez)		
ERUPCIONES EXPLOSIVAS	PIROCLASTICA (FRAGMENTOS)	PIEDRA POMEZ		
		BLOQUES		
		BOMBAS		
		Sueltas	Consolidadas	} AGLOMERADO
		GRAVAS	BRECHAS	
		LAPILLI	TOBAS	
		ARENAS	ARENISCAS	
CENIZAS	TOBAS			
POLVOS	TOBAS			

* Incluida aqui solo por ser vitrea
 ** Rocas basicas

TABLA 3

ROCAS SEDIMENTARIAS			
ORIGEN	AGENTE TRANSPORTADOR	SEDIMENTO SUELTOS	SEDIMENTO CONSOLIDADO
MECANICO	AGUA	GRAVA (ARISTAS REDONDEADAS) GRAVA (ARISTAS AGUDAS) ARENA LIMO ARCILLA	CONGLOMERADO BRECHA ARENISCA LIMOLITA ARGILITA
	VIENTO	MEDANOS LOESS	ARENISCA
	HIELO	GRAVAS ANGULOSAS ARENA LIMO ARCILLA	TILITA
	GRAVEDAD	GRAVA ANGULOSA	BRECHA DE TALUD

ORIGEN	NATURALEZA	SEDIMENTO CONSOLIDADO
QUIMICO	CALCAREA	CALIZA DOLOMITA ARAGONITA TRAVERTINO MARCA
	CALCAREA ARCILLOSA	
	SILICOSA	PEDERNAL GEYSERITA
ORGANICO	SALINA	EVAPORITAS SAL GEMA YESO BORAX TEQUESQUITE CRISTALILLO
	CALCAREA	CALIZA CORAL COQUINA CRETA (SASCAB)
	SILICOSA	DIATOMITA (TIZAR)
ORGANICO	CARBONOSA	TURBA LIGNITO HULLA ANTRACITA



TABLA 4

ROCAS METAMORFICAS	
ROCA ORIGINAL	PRODUCTO METAMORFICO
ARENISCA	CUARCITA
CALIZA	MARMOL
LUTITA	PIZARRA
BASICAS	ESQUISTOS, SERPENTINA, ETC.
GRANITO, DIORITA Y CONGLOMERADO	GNEISS



Las propiedades de las rocas cambian lateralmente y en profundidad así en profundidad las rocas tienden a ser más compactas y una roca en superficie que se sustrae de la compresión puede constituirse en una roca que cambia sus características originales, sin embargo, como no siempre se tienen macisos homogéneos, principalmente en las rocas sedimentarias, se hace necesario conocer la superposición de las diferentes formaciones a través de la estratigrafía para definir su distribución geográfica y correlación.

En México se han determinado las secuencias estratigráficas en diferentes provincias geológicas; ello ha permitido conocer la posición que tienen algunos acuíferos principalmente en rocas calcáreas. En la Tabla 5 se muestra la tabla estratigráfica del estado de Nuevo León, donde formaciones del cretácico: Cuesta del Cura, Aurora y Cupido han sido detectadas con acuíferos importantes.

II.4.- Estructura Geológica.

El análisis de la estructura geológica se hace fundamentalmente para definir el grado de fracturación, posición, estratificación y potencia de las formaciones, características que permiten conocer el comportamiento geohidrológico de los terrenos.

Las provincias geológicas presentan una variedad muy grande de estructuras que a veces se observan en la superficie con rasgos morfológicos determinados y otras veces están enmarcadas o poco definidas por una cobertura intemperizada o por efecto de la erosión. Las estructuras más comunes que se presentan son:

Rocas estratificadas:	Sedimentos y rocas volcánicas
Rocas solubles:	Calizas y yesos
Rocas alteradas:	Por fracturación, metamórfico e intemperismo.
Rocas plegadas:	Sedimentarias.
Rocas foliadas:	Metamórficas.
Rocas Masivas:	Macizos rocosos

Las rocas estratificadas tienen una estructura bastante compleja no solo porque están falladas, plegadas y fracturadas, sino porque algunas tienen una disposición de asociaciones alternantes o con cambios de facies laterales de materiales de diferente permeabilidad.

TABLA ESTRATIGRAFICA DEL ESTADO DE NUEVO LEON

ERA	PERIODO	EDAD	FORMACIONES		
CENOZOICO	CUATERNARIO	CUATERNARIO	LISSIE Y ALUVIONES		
	Terciario	MIOCENO	GOLIAD		
			FLEMING		
			OAKVILLE		
		OLIGOCENO	CHATTIANO	ANAHUAC	
			RUPELLIANO	FRIO VICKSBURG	
		EOCENO	PRIABONIANO	JACKSON	
			LUTECIANO	YEGUA COCK-MOUNTAIN	
			YPRESIANO	MT. SELMAN WILCOX-INDIO	
			PALEOCENO	MONTIANO	MIDWAY
		DANIANO		VELASCO	
		CRETACICO	SUPERIOR	MAESTRICHTIANO	DIFUNTA
				CAMPANIANO	MENDEZ
				SANTONIANO	PARRAS
	CONIACIANO			SAN FELIPE	
	TURONIANO			INDIURA	
	CEONOMANIANO			AGUA NUEVA	
	INFERIOR		ALBIANO	CUESTA DEL CURA	
			APTIANO	AURORA LA PERA	
			BARREMIANO	TAMPA, SUP.	
AUTERIVIANO			LA PERA TAMAULIPAS INFERIOR		
MALANGINIANO			CUPIDO		
BERRIASIANO			TARAISES		
TITONIANO			TAMAULIPAS INFERIOR		
JURASICO	SUPERIOR	TITONIANO	LA CASITA		
		BORONIANO	PIMIENTA		
		HAVRIANO	OLVIDO		
		SEQUANIANO	TAMAN		
		ARGOVIANO	ZULOAGA		
	MEDIO	DIVESIANO	LA JOYA (CAPAS ROJAS) MINAS VIEJAS		
		CALOVIANO	SAL *		
		BATONIANO			
		BAJOCIANO			
		INFERIOR			
TRIASICO					
Pz		ESQUISTOS y ROCAS VERDES (Reg. Acombarri)			
PC		GNEISSES ?			

* INCLUYE CALIZAS Y ANHIDRITAS

TABLA 5



Esto mismo sucede con algunos materiales volcánicos de diferente emisión y composición (lavas y tobas) cuyas características de permeabilidad resultan diferentes.

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 problemas en su determinación.

Son muchos los casos en que las rocas presentan condiciones estructurales complicadas aún en las rocas foliadas y masivas. En la práctica las estructuras simples y homogéneas son poco frecuentes, salvo en algunas regiones que no han sido afectadas por procesos tectónicos o que están constituidas por materiales recientes.



III.- HIDROGEOLOGIA. Tomado de Hidrogeología de Davis , Weist 1971.

III.1.- Ciclo Hidrológico

Aunque la hidrogeología se refiere exclusivamente al estudio del agua subterránea, un buen hidrogeólogo debe tener sin embargo una cierta formación en todos los aspectos del ciclo hidrológico del agua, al menos en sus términos más generales, ya que en el fondo las aguas subterráneas no representan más que una parte del ciclo hidrológico total del agua.

Los océanos son los inmensos depósitos de los cuales procede toda el agua del ciclo hidrológico y a los cuales retorna. Esta definición es naturalmente un tanto simplista, pues no todas las partículas de agua recorren el ciclo hidrológico de una manera completa; éste sería por ejemplo, el caso de las partículas de agua que se evaporan sobre la superficie de la tierra y vuelven a la tierra en forma de lluvia, desde donde se evaporan de nuevo, y así indefinidamente, sin llegar nunca a alcanzar el océano. En el caso más completo del ciclo hidrológico del agua, ésta se evapora desde el océano, forma nubes, las cuales son transportadas hacia los continentes donde se condensan y caen en forma de precipitaciones, las cuales, a su vez, son conducidas por medio de los ríos y del flujo subterráneo hasta el océano. Existe una pequeña aportación de agua al ciclo hidrológico que procede de los procesos magmáticos y metamórficos, que no ha sido tenida en cuenta en este esquema; pero existe también en contraposición, una sustracción constante de agua al ciclo hidrológico que pasa a incorporarse a la estructura de los minerales y de los depósitos sedimentarios. Fig. 1

III.1.1.- La precipitación

El vapor de agua contenido en la atmósfera procede de la evaporación sobre la superficie de los continentes y océanos se condensa y precipita por causa, fundamentalmente, de tres fenómenos meteorológicos: 1) La mayor cantidad de agua se precipita a lo largo de los frentes de las masas de aire cálido y húmedo que se desplazan sobre las regiones de masas de aire frío. Este desplazamiento suele aparecer generalmente asociado a los grandes movimientos ciclónicos, que recorren enormes distancias. 2) Durante la estación cálida del año, el aire que se calienta en contacto con la superficie de la tierra tiende a ascender en grandes masas hacia las zonas altas donde existen masas de aire más frío. Este movimiento ascendente de convección puede ser provocado simplemente por la inestabilidad de una masa de aire ligera y cá-

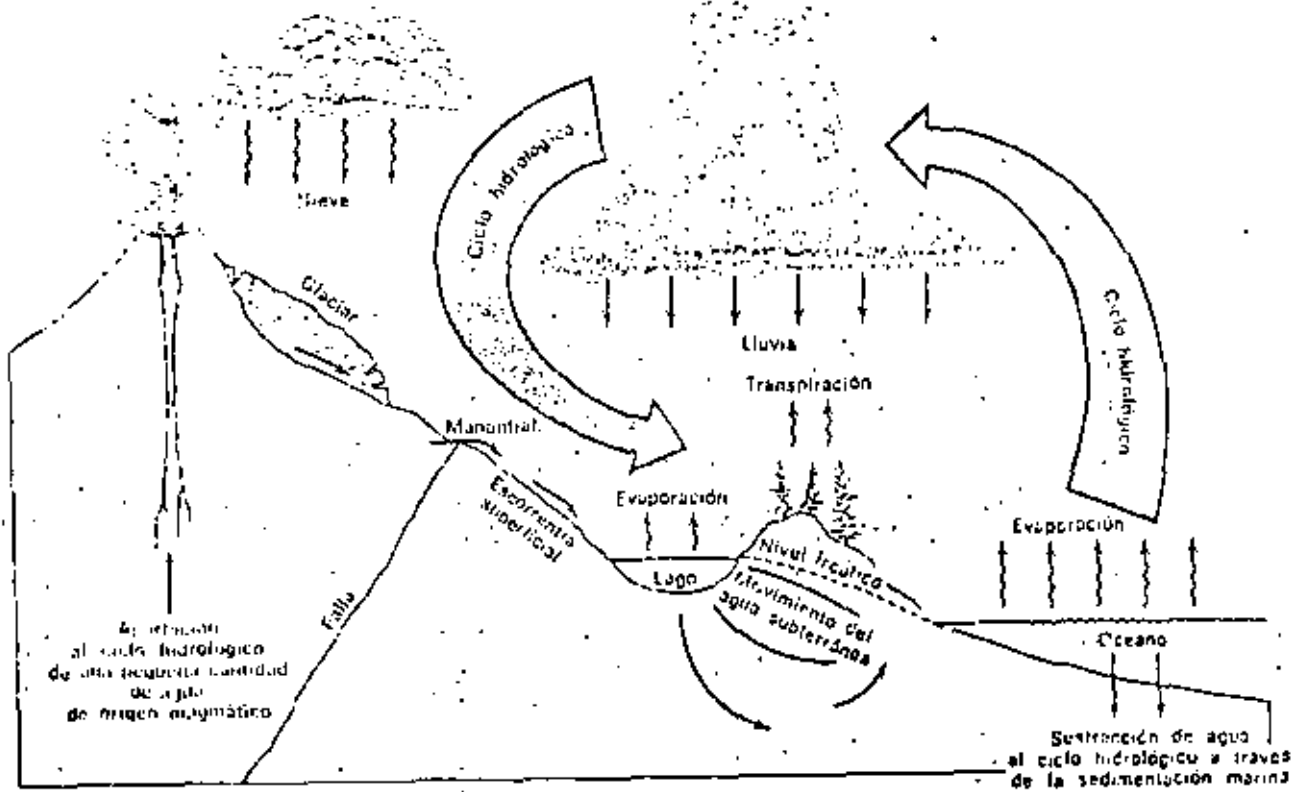


Fig. 1

Fig. 2 — Dibujo esquemático del ciclo de la escurrimiento.

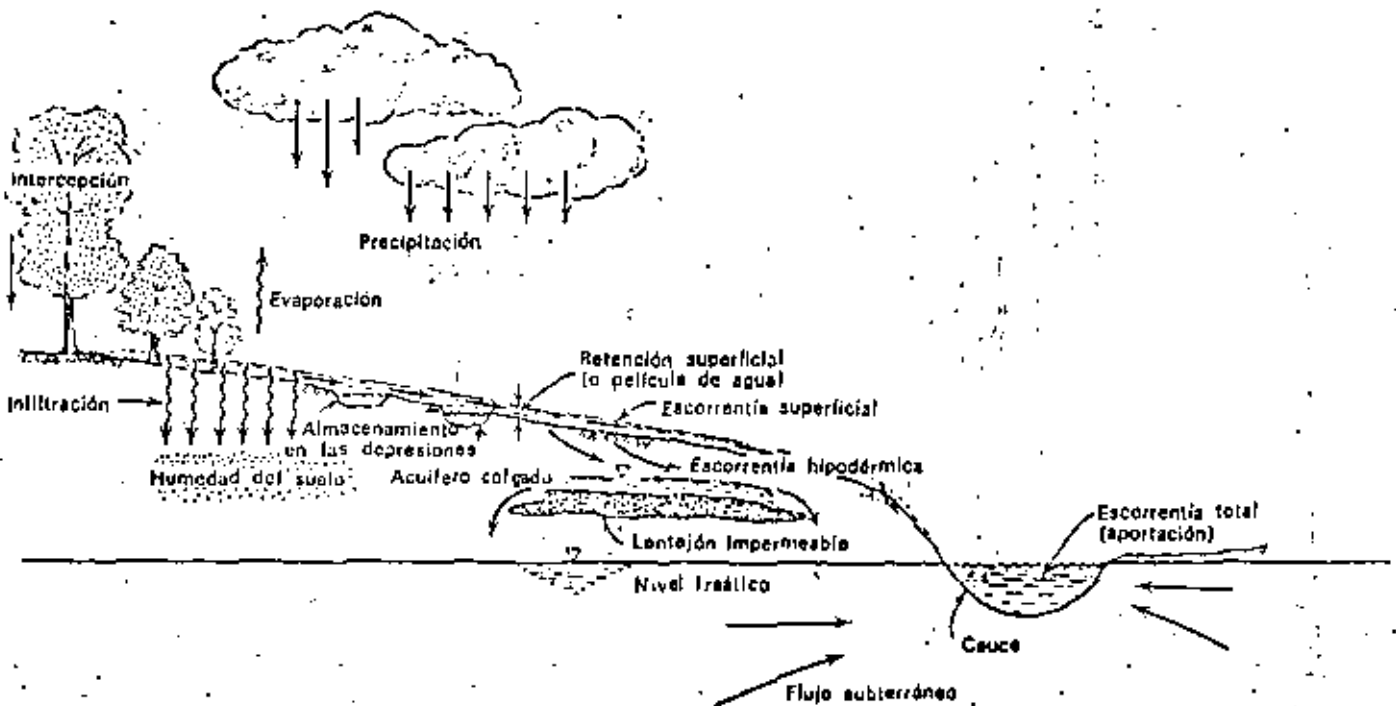


Fig. 2



lida situada por debajo de otra masa de aire más densa fría aunque también puede ser producido por las corrientes de aire que ascienden sobre las barreras montañosas. 3) El tercer tipo de fenómeno es de carácter puramente orográfico; la precipitación, en este caso, se origina por el enfriamiento adiabático de las masas de aire a medida que éstas se desplazan sobre las elevadas barreras montañosas.

III.1.2.- La evapotranspiración

Una gran parte del agua que se precipita sobre la superficie de la tierra vuelve a la atmósfera en forma de vapor a través de la acción combinada de la evaporación, la transpiración y la sublimación, las cuales son, en esencia, tres variantes de un único proceso debido a la acción de la energía solar, que es la que mantiene el ciclo hidrológico en marcha.

La evaporación es el proceso mediante el cual las moléculas de agua de una superficie libre o de un suelo humedecido adquieren, mediante la radiación solar, la energía suficiente para escapar del estado líquido y pasar al estado gaseoso. La sublimación difiere del fenómeno de la evaporación solamente en que las moléculas de agua pasan directamente del estado sólido (nieve o hielo) al estado de vapor, sin pasar por el estado líquido. La transpiración es el proceso mediante el cual las plantas ceden agua a la atmósfera.

En muchas regiones, el volumen total de la evaporación real no puede ser considerado independientemente de la transpiración, de ahí que ambos efectos suelen ser considerados en conjunto bajo el concepto más amplio de evapotranspiración. Los pulmones de los animales también exhalan al aire cierta cantidad de vapor, pero se trata de una cantidad completamente insignificante en comparación con los efectos totales de la evapotranspiración.

III.1.3.- El Escurrimiento.

El término Escurrimiento es generalmente considerado como un sinónimo de aportación de un río; en este sentido representa la suma del escurrimiento superficial y del flujo subterráneo captado por los cauces de los ríos.

La expresión escurrimiento superficial suele referirse al volumen del conjunto de las precipitaciones que caen sobre una cuenca, menos la retención superficial y menos la infiltración (es decir el agua que llega a atravesar la superficie

del suelo). Hay que distinguir claramente entre el significado de infiltración y el de flujo subterráneo. Para la comprensión de la relación que existe entre precipitaciones y escurrimientos de vital importancia en muchos proyectos hidráulicos puede ser particularmente expresiva la representación gráfica del ciclo del escurrimiento.

El escurrimiento superficial es función de la intensidad de la precipitación, de la permeabilidad de la superficie del suelo, de la duración de la precipitación, del tipo de vegetación, de la extensión de la cuenca hidrográfica considerada, de la profundidad del nivel freático y de la pendiente de la superficie del suelo. A pesar de esta complejidad del fenómeno, los hidrólogos tienen unos procedimientos que les permiten realizar una serie de análisis muy significativos sobre la forma de los hidrogramas y, en muchas zonas, pueden incluso llegar a hacer predicciones suficientemente precisas sobre el valor del escurrimiento superficial que se producirá como consecuencia de una gran precipitación de características determinadas.

La aportación de una cuenca se representa comúnmente en forma de hidrograma. El hidrograma es una curva que representa las oscilaciones en función del tiempo del nivel del agua de un río en una sección dada del mismo. En el caso de un río que posea un tiempo de descarga muy largo, los caudales que por él circulan al cabo de un tiempo son el resultado de la acumulación del escurrimiento superficial con la aportación subterránea.

El estudio de los escurrimientos de los ríos como parte del ciclo hidrológico incluye el de la distribución del agua y el de su trayectoria desde que ésta se precipita sobre la tierra hasta que alcanza la red hidrográfica o vuelve directamente a la atmósfera a través de la evapotranspiración. La proporción correspondiente a cada una de las partes entre las que puede distribuirse el volumen total de agua caída durante una precipitación dada, depende tanto de las características y condiciones físicas -naturales o artificiales- de la cuenca como de las características de la propia precipitación.

Al comienzo de una fuerte precipitación, una gran cantidad de agua es interceptada por la vegetación; el agua así almacenada sobre la superficie de la capa vegetal se encuentra muy expuesta al viento y ofrece una enorme área de evaporación, de tal forma que las precipitaciones de corta du



ración y poca intensidad pueden llegar a ser completamente consumidas por la intercepción, por la pequeña cantidad de agua que se infiltra a través del suelo y por el agua que llena los charcos y las pequeñas depresiones de la superficie del suelo.

Para que el agua llegue a infiltrarse, la superficie del suelo debe presentar una serie de condiciones adecuadas. Cuando a lo largo de una precipitación, el poder de intercepción y de almacenamiento en la superficie del suelo han sido ya agotados, y cuando la precipitación es tal que su intensidad excede la capacidad de infiltración del suelo, comienza ya el escurrimiento superficial propiamente dicha (fig. 2). La superficie del suelo se cubre en ese momento con una fina película de agua llamada película de retención superficial. Una vez que el agua que corre sobre la superficie del suelo y alcanza los cauces de la red hidrográfica, comienza a aparecer el escurrimiento superficial en los cauces.

Parte el agua que se infiltra en el suelo continúa fluyendo lateralmente como un flujo hipodérmico, que tiene lugar a pequeñas profundidades debido a la presencia de horizontes relativamente impermeables situados muy cerca de la superficie del suelo, alcanzando de este modo los cauces de la red sin haber sufrido una percolación profunda. Otra parte de esta agua infiltrada percola hacia la zona de saturación de las aguas subterráneas y, eventualmente, alcanza la red hidrográfica para suministrar el caudal de base de los ríos. Existe todavía otra porción del agua infiltrada que no llega a alcanzar el nivel de saturación de las aguas subterráneas y queda retenida en la zona situada por encima del nivel freático de las aguas subterráneas, llamada también zona de saturación incompleta.

III.2.- Movimiento del agua subterránea

III.2.1.- Zona de humedad

La parte subterránea del ciclo hidrológico constituye el principal centro de interés del hidrogeólogo. En el subsuelo, el agua se puede encontrar bajo una amplia gama de condiciones que se extienden desde el agua que circula libremente hasta el agua que se encuentra firmemente fijada en el interior de las estructuras cristalinas. La mayoría de las discusiones clásicas acerca de las aguas subterráneas tienden a hacer fuerte hincapié en la existencia de diversos tipos de agua subterránea, más o menos bien definidos. En la figura 3 mos-



CLASIFICACION DEL AGUA DEL SUBSUELO

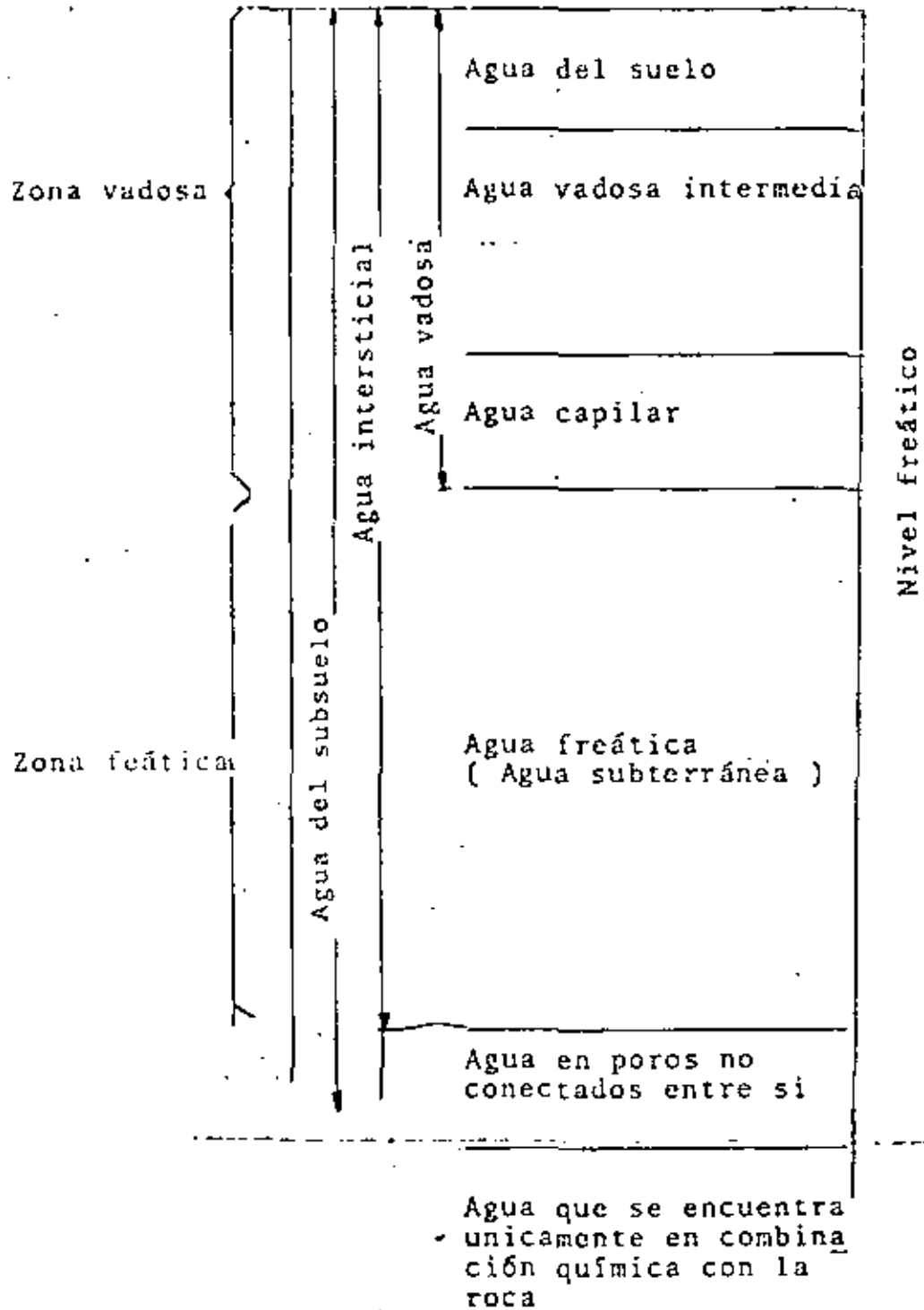
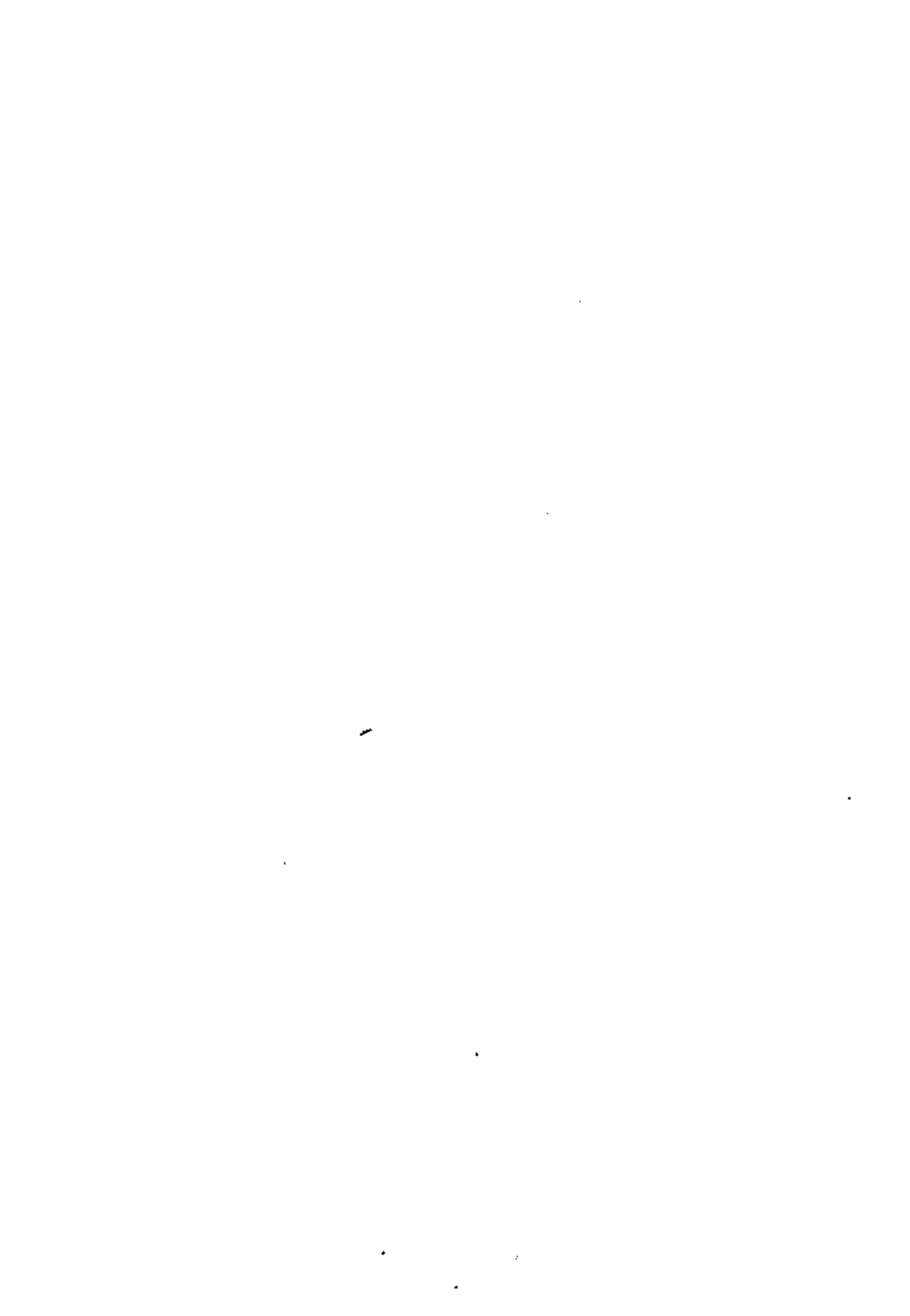


Fig. 3



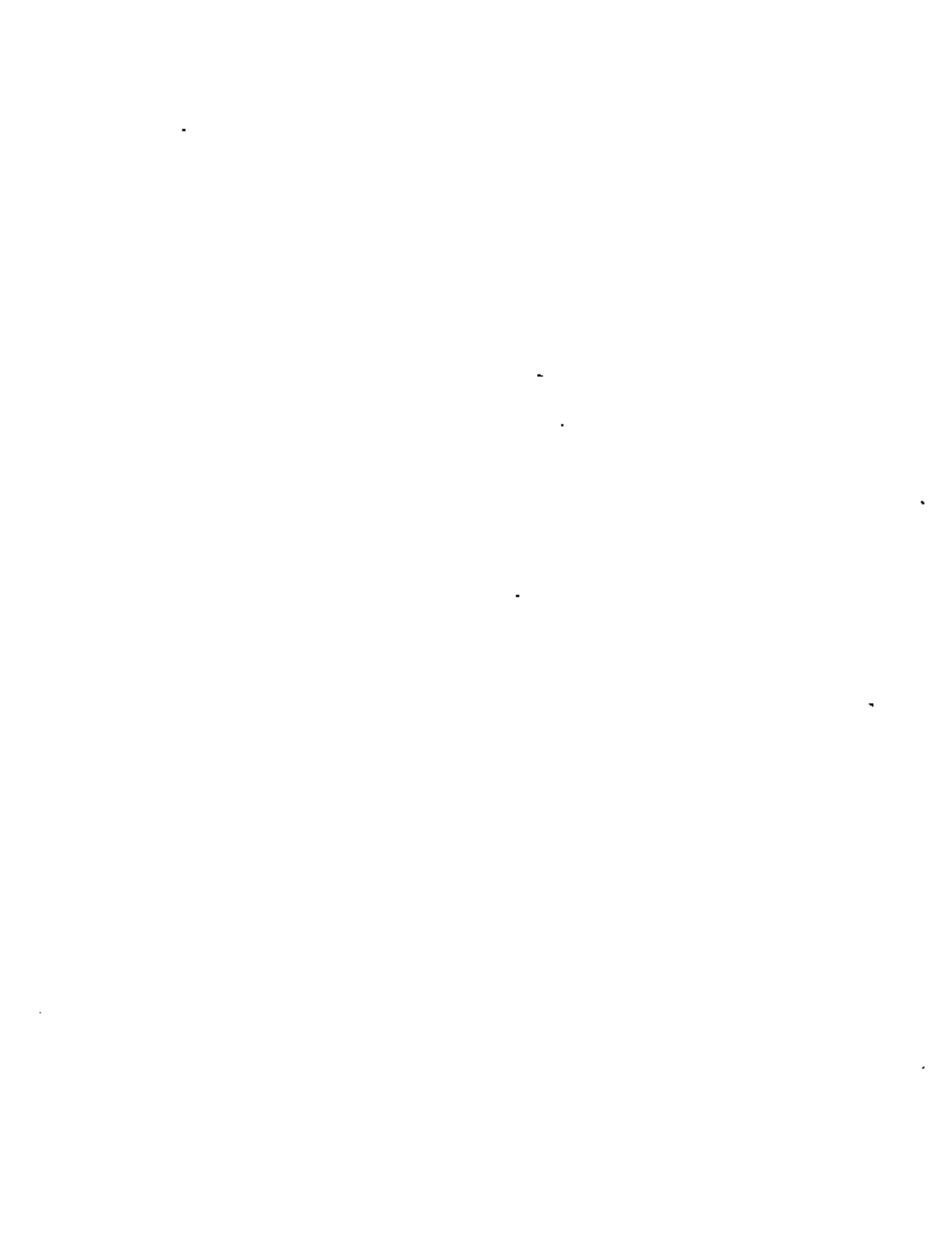
tramos la clasificación de las aguas subterráneas. No existen, sin embargo, límites tajantes entre cada uno de los tipos de agua de estas dos clasificaciones; así por ejemplo, el agua del suelo está diferenciada del agua de las zonas más profundas.

Las fluctuaciones de humedad producidas por el efecto evapotranspirante de las plantas disminuye gradualmente en profundidad; de hecho, en las zonas de bosque normal, sólo algunas raíces llegan a alcanzar profundidades superiores a los diez metros. En las zonas más altas del suelo, hasta una profundidad de unos pocos centímetros, el contenido de humedad varía en función de las fluctuaciones de la temperatura y de la tensión del vapor, causadas por las variaciones de la temperatura del aire y del suelo. En las noches en las que el suelo pierde gran cantidad de calor por efecto de una fuerte radiación, tiene lugar, como consecuencia, una gran condensación de vapor de agua de la atmósfera sobre la superficie del suelo en forma de rocío; este fenómeno puede llegar a humedecer muy considerablemente los tres primeros centímetros del suelo. Durante los días cálidos, el agua es transportada hasta la superficie del suelo por la acción de las fuerzas capilares, desde donde puede ser evaporada a la atmósfera.

III.2.2. - Zona Intermedia

Generalmente existe una zona intermedia que separa la superficie superior de la zona de saturación de la zona de humedad del suelo. Al agua del suelo y a la de la zona intermedia se la suele denominar agua suspendida, o vadosa; esta agua se desplaza únicamente bajo la acción de la fuerza de la gravedad, por lo que también ha sido denominada por algunos autores con el calificativo de agua gravífica o gravitacional. En este libro no se utiliza este término por considerar que casi todos los desplazamientos del agua libre del suelo y del subsuelo están condicionados por la acción de la fuerza de la gravedad.

La zona intermedia puede llegar a no existir en el caso de medios muy húmedos o, por el contrario, puede poseer un espesor superior a los 300 m en el caso de las regiones áridas. Si el material de esta zona es isótropo y existe además una importante recarga de agua, su contenido de humedad estará generalmente comprendido entre un punto próximo a la saturación y un punto próximo al índice de retención específica del material en cuestión. Sin embargo, el terreno natural no suele ser homogéneo, con lo que la recarga se verifica de manera



desigual, no uniforme, de unas zonas a otras. Esto se da particularmente en las regiones áridas, donde las precipitaciones son pocas veces suficientes como para satisfacer la capacidad de almacenamiento del suelo. En estas regiones, la principal recarga tiene lugar a través del lecho de los cauces de los ríos, donde se concentra el escurrimiento directo y donde los depósitos permeables de arenas y gravas suelen ser más abundantes. En muchas regiones, es probable que la zona intermedia nunca haya llegado a estar siquiera mojada.

III.2.3.- Franja Capilar

La zona intermedia, en su parte inferior, acaba donde comienza la llamada franja capilar. La transición entre ambas es más bien frusca en el caso de sedimentos de grano grueso, pero, por el contrario, puede llegar a ser prácticamente imperceptible en los limos y en las arcillas. En el caso de suelos de grano fino, si la recarga es activa, la diferencia del contenido de humedad entre la zona intermedia y la franja capilar puede llegar a ser muy pequeña. La superficie de la franja capilar, vista a gran escala, es irregular y su posición varía constantemente al variar el nivel freático y el caudal de la recarga. La parte superior de la franja capilar contiene numerosas bolsas de aire que pueden constituir un freno al movimiento descendente del agua. En la parte inferior de la franja capilar, el terreno alcanza justamente el punto de saturación total. Las fuerzas físicas que gobiernan el flujo del agua de la parte inferior de la franja capilar son prácticamente idénticas a las fuerzas que rigen el movimiento del agua subterránea en la zona de saturación.

III.2.4.- Superficie Freática.

La zona de aguas subterráneas, o aguas freáticas, está separada de la franja capilar por la superficie freática. La superficie freática es una superficie teórica que viene determinada de manera muy aproximada por el nivel de la superficie del agua en el interior de los pozos que justamente penetran en el interior de la zona de saturación. Si el flujo del agua subterránea es horizontal, los niveles del agua en el interior de los pozos corresponden exactamente a la superficie freática. Sin embargo la presencia de pozos de bombeo distorsiona la forma natural de las superficies equipotenciales y, con ello, el nivel del agua en el interior de los pozos.



Las definiciones más generalizadas de la superficie freática la consideran como la superficie que separa la franja capilar de la zona de saturación, o bien como la superficie definida por los niveles de agua en los pozos que alcanzan un terreno saturado en condiciones de no confinamiento. Una definición más exacta diría que la superficie freática es la superficie saturada de un terreno no confinado sobre la cual la presión hidrostática es igual a la presión atmosférica.

III.2.5. - Zona de Saturación

El agua situada por debajo de la superficie freática es generalmente denominada agua subterránea, y la zona situada por debajo de esta superficie es llamada zona de saturación. Ambos términos suelen ser un tanto confusos a causa de su frecuente interpretación no científica. Frecuentemente el término agua subterránea suele hacer referencia a todo tipo de agua situada por debajo de la superficie del suelo, y el término zona de saturación suelo referirse a todo tipo de material saturado de agua. Por esta razón, proponemos la utilización del término "agua subterránea" como medio muy general de expresar toda el agua situada por debajo de la superficie del suelo. El término "zona de saturación" no es un término tampoco muy exacto, ya que la parte inferior de la franja capilar está también saturada. Teniendo en cuenta que el agua de la parte inferior de la franja capilar emigra casi con la misma velocidad que el agua situada justo por debajo de la superficie freática, no nos parece justificada esta definición de zona de saturación. Un término más aceptable para definir esta zona sería el de zona de agua freática, puesto que con este término se acostumbra designar el agua que puede entrar libremente en los pozos. El agua de la franja capilar no fluye a los pozos que la atraviesan, a no ser que se trate de un pozo de captación que penetre por debajo de la superficie freática y la capte indirectamente.

La zona de agua freática limita en su parte inferior con una zona donde la compacidad del terreno hace que éste contenga muy pocos poros, no conectados entre sí, con lo que el agua no puede emigrar en profundidad.

III.2.6. - Los Acuíferos

Solamente una reducida minoría de zonas freáticas puede suministrar caudales significativos de agua a los pozos que las atraviesan. Las zonas que poseen agua de llaman acuíferos.

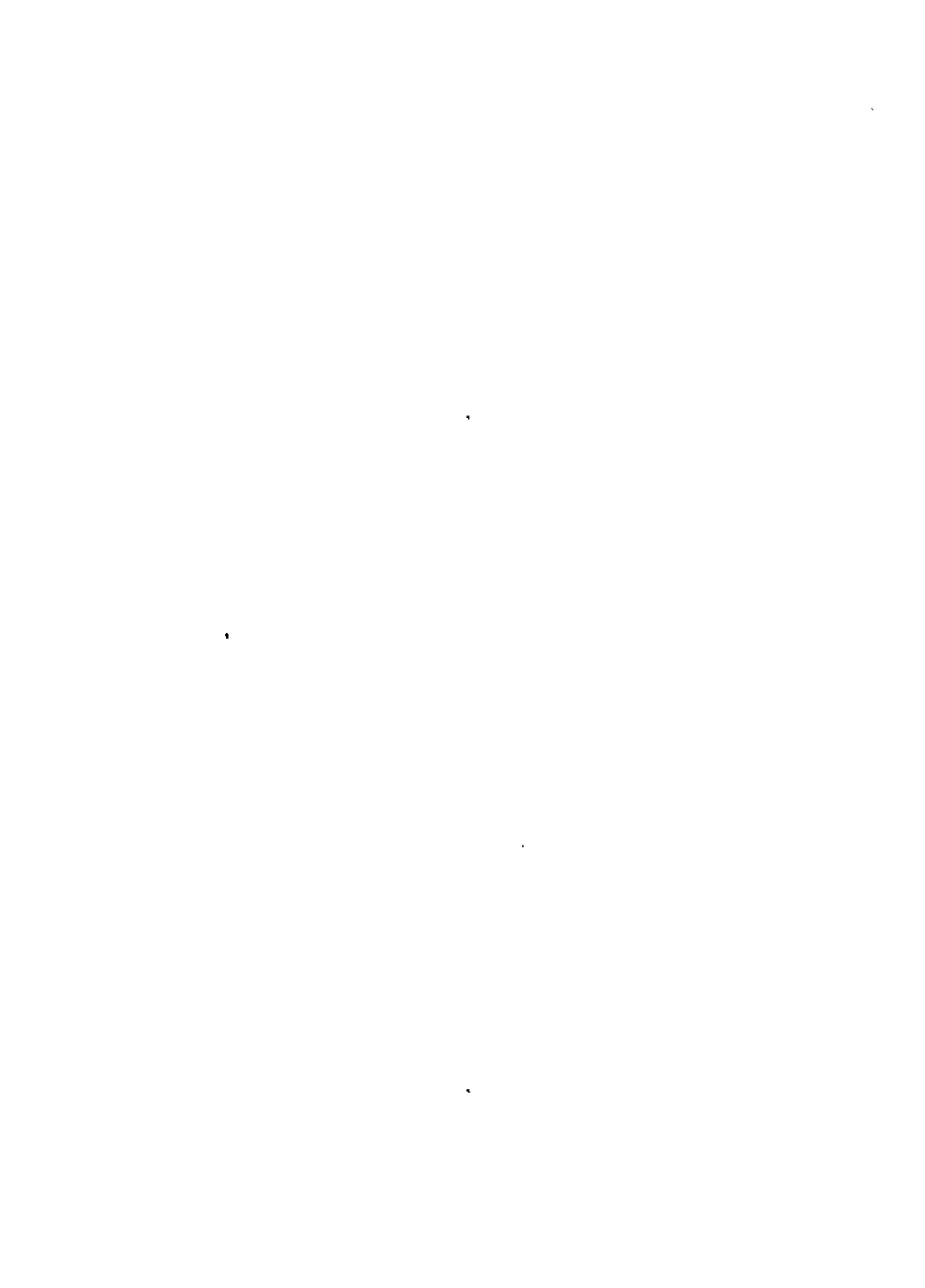
Una roca que ni almacena ni transmite agua se llama acuífugo -término que contrasta, pues con el de acuífero, que se refiere a las formaciones geológicas capaces de almacenar y transmitir agua a los pozos gracias a los espacios porosos que existen en su interior, y con el de acuícludo, que se refiere a las formaciones geológicas que solamente almacenan agua, pero que no la transmiten en cantidades significativas-. El término acuitardo es también utilizado por algunos autores para describir las formaciones geológicas que, aunque almacenan agua y la transmiten en cantidades significativas a escala regional, no son suficientes para abastecer por sí instantáneamente a los pozos.

Los términos precedentes carecen todos de definiciones precisas en lo que respecta a las propiedades físicas mensurables de los terrenos acuíferos; de hecho, se ha dicho con frecuencia que un acuífero de una región deéfrica que pudiese suministrar a un pozo un caudal de 500 litros/día sería clasificado como acuitardo, o incluso como acuícludo, si ese mismo terreno estuviera situado en un valle aluvial colmatado por gravas, las cuales son capaces de suministrar volúmenes de varios miles de metros cúbicos al día. Por esta razón, algunos hidrogeólogos prefieren definir los acuíferos como zonas naturales situadas por debajo de la superficie del suelo que son capaces de suministrar agua en cantidades suficientemente grandes como para ser económicamente explotables.

Los acuíferos pueden estar constituidos por depósitos sedimentarios no consolidados, por rocas plutónicas masivas fracturadas, por estratos de areniscas porosas, por bancos de calizas carstificadas y por otros muchos contextos geológicos diferentes. Aunque se pueden hacer cálculos sumamente útiles partiendo de la hipótesis simplificadora de que los acuíferos son uniformes en su composición, horizontales y tabulares, el hidrogeólogo debe tener siempre presente que existe, sin embargo, una variedad casi infinita de formas y condiciones hidrogeológicas posibles. En los capítulos siguientes se analizan muchas de las posibles condiciones acuíferas que pueden presentar los terrenos geológicos en la naturaleza.

III.- 2.7.- Agua Confinada y no Confinada

El agua de un acuífero que se encuentra en contacto directo con la atmósfera a través de los espacios huecos de un terreno permeable se la denomina agua no confinada. El agua confinada está separada de la atmósfera por un terreno impermeable. La división entre aguas confinadas y no confinadas no tiene solución de continuidad. El término semiconfinado se utiliza para las condiciones intermedias. En muchas zonas, la primera



agua no confinada que se suele encontrar está frecuentemente por encima de la zona general de las aguas freáticas, constituyendo un volumen de agua más o menos aislado cuya posición está impuesta por la estructura y la estratigrafía del terreno; al agua que se encuentra bajo estas condiciones se la denomina agua colgada; su superficie freática recibe el nombre de superficie freática colgada. La distinción tajante entre agua confinada, semiconfinada, no confinada y colgada es generalmente muy difícil de establecer en la naturaleza.

Al agua confinada se le suele denominar también agua artesiana. Esta expresión, sin embargo, fué aplicada al principio exclusivamente para las aguas subterráneas sometidas a una presión hidráulica suficiente como para dar lugar a pozos surgentes. En los últimos años, el término artesiano se ha venido utilizando más o menos como sinónimo de confinado.

III.2.8.- Elementos de un Sistema Artesiano.

El concepto primitivo de flujo artesiano estaba basado en una concepción análoga a la de un depósito estanco alimentado por una fuente de agua con una carga hidrostática situada a una cota superior a la del punto de descarga. La mayoría de los ejemplos de los libros de texto muestran, todavía hoy día, una estructura geológica sinclinal con una fuente de recarga situada por encima del nivel piezométrico del agua en un pozo de descarga, como ejemplo de un sistema acuífero artesiano.

En estos libros se suele ver cómo el nivel piezométrico del acuífero se obtiene uniendo con una línea recta la posición del nivel del agua en la zona de recarga con la posición alcanzada por el nivel del agua en un pozo surgente. En estos ejemplos. El acuífero suele estar confinado por una formación porosa prácticamente impermeable, llamada acuicludo, o por formaciones ligeramente permeables, llamadas acuatardos. Esta imagen estructural clásica, si bien es cierta para una gran parte de los grandes sistemas artesianos, en la naturaleza, sin embargo, las variedades de condiciones hidráulicas de artesianismo son infinitas.

III.2.9.- Origen de la Presión Hidráulica en los Acuíferos Artesianos.

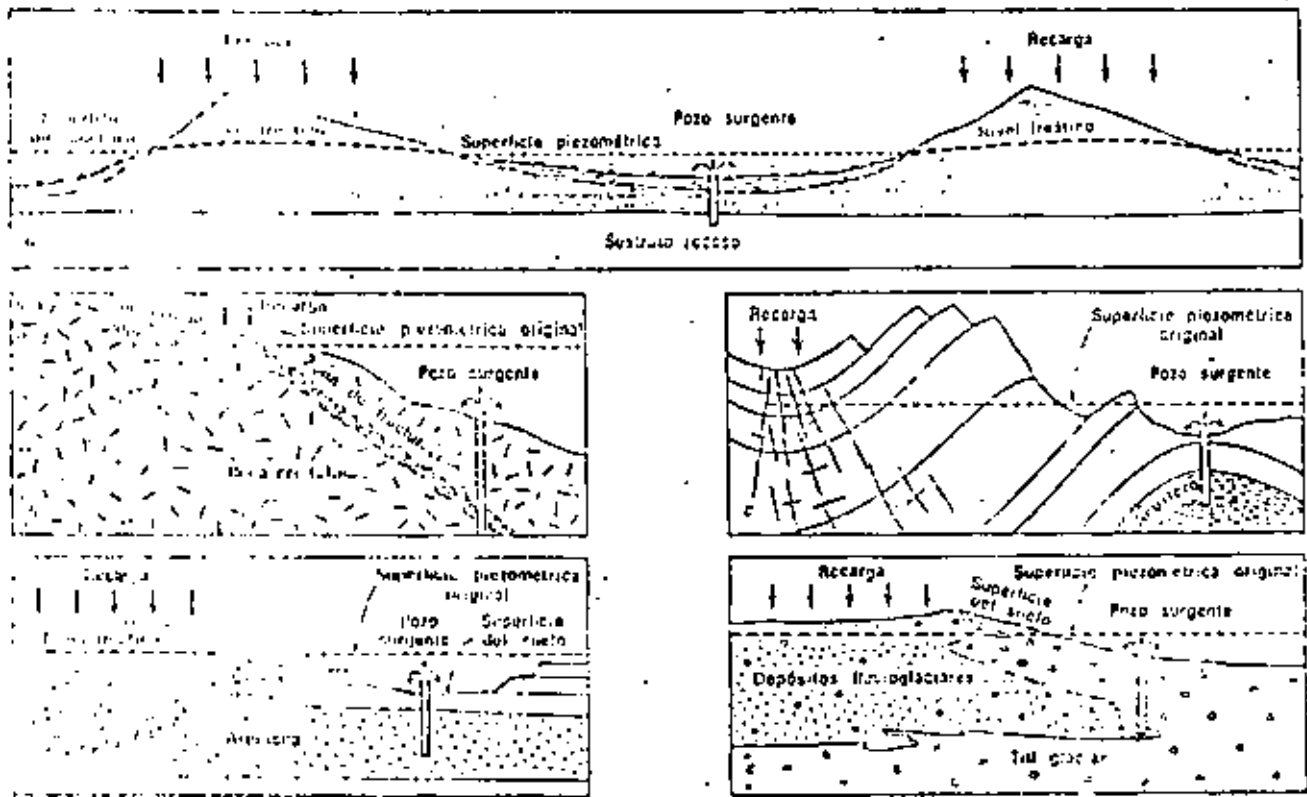
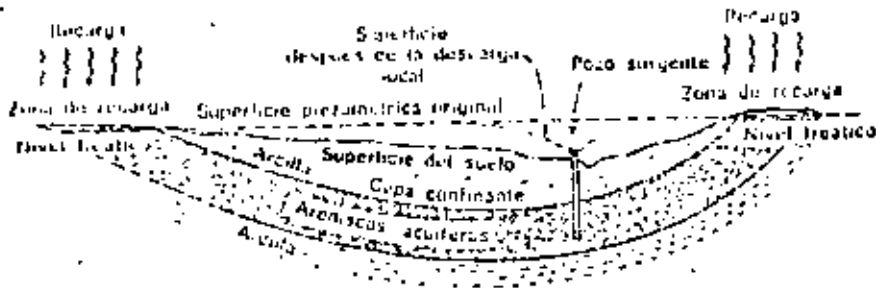
El solo hecho de que la cota del agua sea más elevada en la



zona de recarga que en un punto de descarga de un pozo explica ya que éste pueda llegar a ser surgente. Esta explicación tan simplista sólo suele ser rigurosamente exacta en los casos de acuíferos de extensión local, en rocas consolidadas. Los acuíferos de gran extensión pueden presentar una complejidad notablemente mayor, siendo necesario recurrir a modelos gráficos más complicados para poder explicar satisfactoriamente el conjunto de fenómenos observados en la mayor parte de los grandes sistemas artesianos. fig. 4

Si un sistema artesiano fuera perfectamente rígido y estuviera saturado de un fluido ideal que no tuviera ninguna viscosidad y fuera incomprensible, los efectos de la descarga de un pozo serían observados a través de una caída instantánea del nivel del agua en todos los pozos del acuífero así como en la zona de recarga del sistema. Este fenómeno, sin embargo, no suele observarse en los sistemas artesianos, donde, por lo general, los efectos que producen los bombeos de los pozos son de un orden de magnitud tal que prácticamente quedan limitados a una zona próxima a los pozos bombeados que normalmente no suele ser superior a unos 15 km.

Meinzer fué uno de los primeros geólogos que siguió esta línea de razonamiento hasta llegar a una conclusión lógica. Meinzer observó que el nivel del agua en los pozos del gran sistema artesiano de Nakota, en los Estados Unidos, respondía solamente a los efectos de los bombeos locales; observó también que el volumen del cono de depresión creado por los bombeos era notablemente inferior al del agua bombeada. Los cálculos posteriores de Meinzer pusieron de manifiesto que el agua bombeada en los sistemas acuífero confinados y semiconfinados proviene simultáneamente de tres fuentes principales: 1) Del agua que se desplaza dentro de la formación acuífera hacia la zona de descarga. 2) Del agua que sería expulsada al exterior, a través del pozo, por la compactación del terreno acuífero descargado. 3) De la expansión del volumen de agua comprimida en el acuífero. Concluyó que de estas tres fuentes, la segunda -el agua expulsada al exterior por la compactación del acuífero- era la más importante.



--Pozos artesianos (surgentes) en dunas estabilizadas (a), en rocas cristalinas (b), en rocas sedimentarias completamente plegadas y fracturadas (c), en rocas sedimentarias horizontales (d) y en depósitos glaciares (e).

Fig. 4

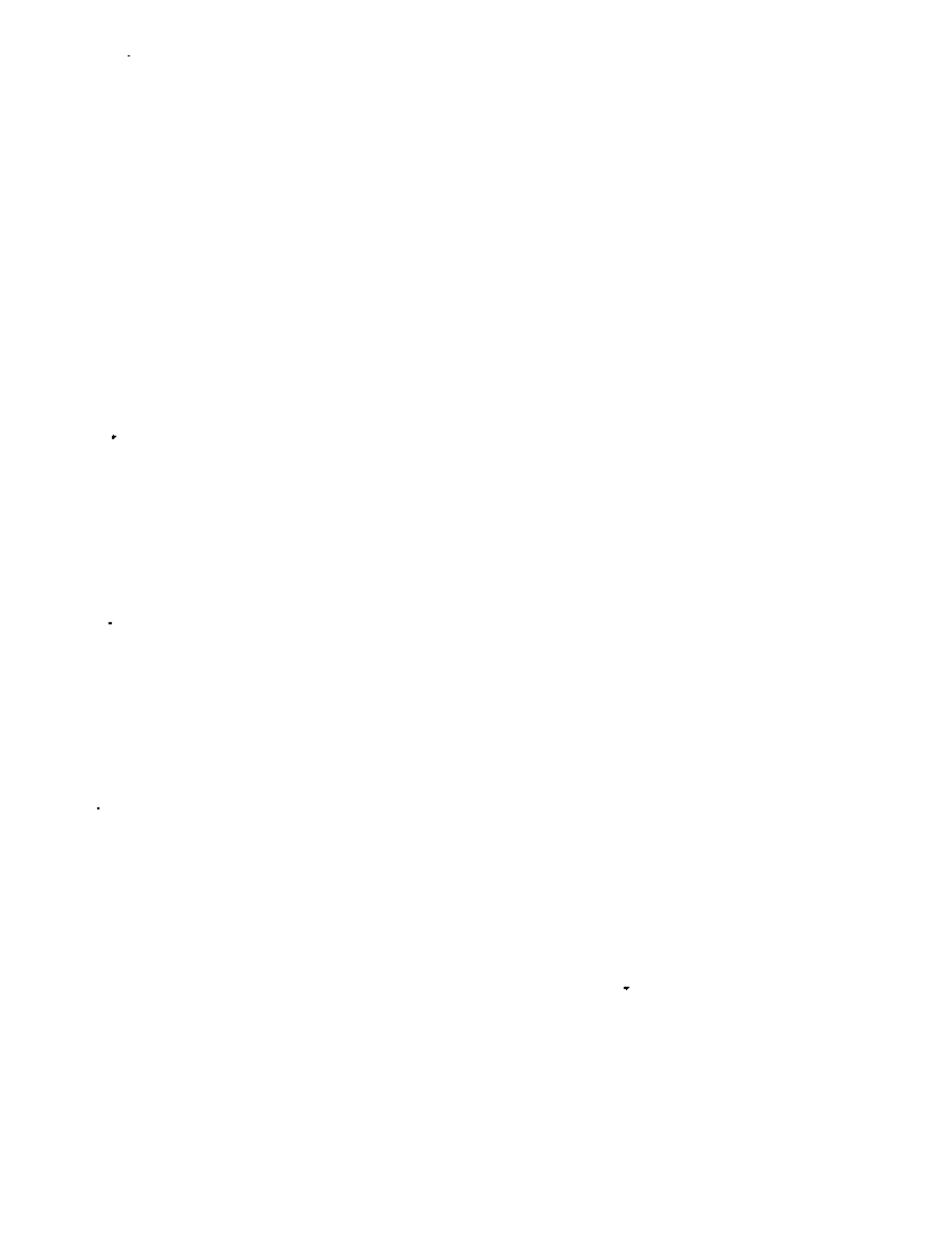
IV.1. - FOTOINTERPRETACION GEOHIDROLOGICA

En nuestro país existen muchas áreas con escasa información geohidrológica, es necesario iniciar los estudios prácticamente desde la prospección o búsqueda del agua subterránea, fijando los sitios para las exploraciones geofísicas o para las perforaciones y posteriormente, en otras etapas, de la investigación de los recursos hidráulicos subterráneos se requiere el establecimiento de 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.

Mucha de la información necesaria para los estudios geohidrológicos 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; la utilización de fotografías aéreas resulta favorable incluso 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. Los criterios de interpretación pueden ser válidos tanto para fotografías aéreas verticales obtenidas con cámaras comerciales como para fotografías espaciales.

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 fotointérprete y del tipo de material fotográfico utilizado.



La técnica de fotointerpretación proporciona información eminentemente de tipo cualitativo mediante el análisis y clasificación de los rasgos que presentan los objetos fotografiados. Con este análisis se trata de establecer todos los tipos de interrelación que existe entre los rasgos y formas que han intervenido en su formación; de esta manera se establecerán diferencias y discontinuidades de los terrenos que luego es necesario rectificar o ratificar en el campo; es por eso que esta actividad de ninguna manera desecha los trabajos de campo, aunque 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).- Características de la fotografía aérea
- b).- La imagen estereoscópica
- c).- Característica de la fotointerpretación

Fotografías Aéreas. - Las fotografías aéreas de eje vertical es una proyección central que registra todos los objetos visibles en la superficie terrestre. Sus características geométricas resultan incorrectas debido al desplazamiento causado por el relieve y por la distorsión de la cámara fotográfica. Existen numerosas características de las fotografías aéreas 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 fué 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; comúnmente 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, deben tenerse presente dos factores que incluyen 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 o espaciales, ya que en una sola fotografía pueden aparecer estructuras geológicas de conjunto, que a una escala mayor, serían registrados sólo parcialmente, por lo que estas estructuras pudieran pasar desapercibidas.

Esterescopía.-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 sólo 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 estereoscopios o anaglifos. Comúnmente en los trabajos de fotointerpretación se utilizan estereos copios de lentes, prismas y espejos.

Características de la fotointerpretación.- La parte más importante de los trabajos de fotointerpretación la constituye el elemento humano, ya que en la mayoría de los casos, la calidad depende fundamentalmente de la experiencia y formación profesional del intérprete; esto y los objetivos que persigue la fotointerpretación determinan el nivel y el alcance del trabajo.

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, hidrológicos y de uso del suelo; para poder conceptualizar a través de fotografías todos los factores que tienen relación con el agua subterránea.

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 geomorfológicas de las zonas fotografiadas.

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

IV.- RESISTIVIDAD ELECTRICA

En la explotación del agua subterránea con frecuencia se plantea la necesidad de ubicar adecuadamente las perforaciones y la profundidad de ellas; esto se puede lograr si se conoce tridimensionalmente la estructura geohidrológica y las discontinuidades que presentan los terrenos.

Investigar la estructura del subsuelo en base a perforaciones resulta demasiado costoso y hacer exploraciones aisladas, sea por sondeos mecánicos o geofísicos, pueden proporcionar información falsa sobre las condiciones del subsuelo, ya que generalmente los terrenos no son homogéneos y presentan variaciones o discontinuidades tanto laterales como en profundidad.

Aunque hay varios procedimientos geofísicos para investigar el subsuelo, tratándose del agua subterránea, el que mayores ventajas tiene es el método de resistividad eléctrica, porque el recíproco de ésta o sea la conductividad eléctrica, esta íntimamente ligada a la naturaleza de los elementos sólidos (conductividad electrónica) y al contenido y calidad del agua que están en los intersticios de las rocas y los suelos (conductividad iónica).

En la práctica, numerosas experiencias han permitido señalar la bondad del método resistivo, aclarando que las medidas resistivas no determinan ni la presencia de agua ni la cantidad de agua disponible, sino que un conjunto de medidas de terminan como es la distribución de la corriente eléctrica en el subsuelo, lo que indudablemente está relacionado con su estructura geohidrológica. La interpretación y calibración posterior de las medidas resistivas con datos de perforaciones permite ver hasta entonces cual es el horizonte o cuerpo que tiene interés acuífero.

La ventaja del método resistivo, calibrado con perforaciones, estriba en que no se tiene una información puntual sino una información tridimensional de toda una cuenca geohidrológica.

Es por eso que la práctica aconseja que se obtenga una cantidad suficiente de medidas para poder registrar con seguridad las variaciones que muestran los terrenos, aún tratándose de definir la ubicación de una perforación, pues un sólo sondeo geofísico puede estar afectado por influencias laterales que distorcionan la realidad.

1.1.2.1.- fundamentos

Existen varios métodos de investigación geofísica -- que se fundan en el estudio de la circulación de la corriente eléctrica a fin de establecer una relación entre la propaga-- ción de la corriente y las características físicas del subsue-- lo.

Esta circulación se produce en forma natural median-- te corrientes telúricas o en forma artificial cuando se intro-- duce una cantidad de corriente conocida, pues todos los mate-- riales facilitan en mayor o menor grado el flujo de la corrien-- te, ya sea a través de los elementos sólidos (conductividad -- electrónica) o por medio de los iones del agua que ocupa los - intersticios de las rocas y los suelos (conductividad iónica).

Una circulación artificial de la corriente es la que se lleva a cabo por el método de resistividad eléctrica, que - consiste en crear un campo de potencial al introducir una co-- rriente continua de intensidad conocida y medir los efectos -- que dicha corriente provoca, es decir medir el valor del poten-- cial o de alguna otra cantidad asociada con este flujo de elec-- trones.

La medición del campo eléctrico se logra mediante -- instrumentos y dispositivos de medidas tetrapolares (2 electro-- dos de corriente y dos de potencial), haciendo sondeos eléctri-- cos verticales o secciones cuya ubicación y arreglo, permite - obtener información sobre la distribución y anomalías de la co-- rriente eléctrica en el subsuelo y por tanto de su estructura.

Para los estudios geohidrológicos este método resul-- ta de gran valor porque la conductividad iónica está relaciona-- da con el volumen de los poros y con la disposición y el volu-- men de los poros reemplazados por agua, lo que significa que - si un terreno es compacto, presentará una elevada resistencia al paso de la corriente eléctrica; en caso contrario, si son - porosos, tendrán baja resistencia la cual disminuye más si los poros contienen agua.

La oposición que muestran los materiales al paso de la corriente es una resistividad aparente que resulta ser una función de la resistencia específica real de los terrenos que afectan la circulación de la corriente; entonces al hacer una investigación por el método de resistividad eléctrica, la base fundamental de ésta es determinar y analizar las resistivida-- des aparentes.

La determinación del valor de la resistividad aparente se obtiene mediante la medida de la diferencia de potencial entre dos puntos del terreno, con relación a la intensidad de la corriente introducida al subsuelo y a un arreglo geométrico de los electrodos de emisión (AB) y recepción (MN) de la corriente eléctrica (Figura 5).

La fórmula base se determina de la manera siguiente:

Considerando un medio homogéneo e isótropo como el de la figura 6 que tiene una resistividad específica (ρ) en el que se coloca un electrodo en A y si se aplica una corriente de intensidad I y además se trazan dos espesores de radio r y $(r+dr)$ con centro en A se forma un cono de ángulo muy pequeño, la caída de potencial dV , originada por el paso de la corriente en el tronco de cono según la ley de Ohm se escribe:

$$-dV = \rho \frac{dr}{ds} I$$



Fig. 5

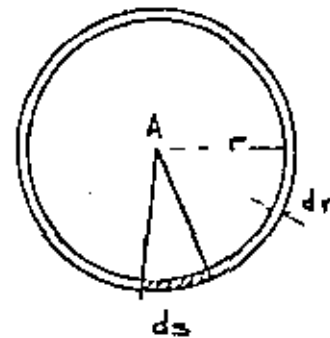


Fig. 6

Para la esfera total de radio r

$$-dV = \rho \frac{dr}{4\pi r^2} I$$

$$V = \frac{\rho I}{4\pi} \frac{1}{r} + cte$$

En el caso de una medición en el cual los electrodos estén situados en la superficie del terreno o sea en un semiespacio in finito entonces:

$$V = \frac{\rho I}{2\pi} \frac{1}{r}$$

En la práctica los métodos más utilizados emplean 4 electrodos. Si se aplica la fórmula anterior a un cuadrípulo cualquiera -- ABN, en la que se tiene un circuito de emisión AB y otro de recepción MN (Fig. 7) los potenciales producidos se sumarán algebraicamente.

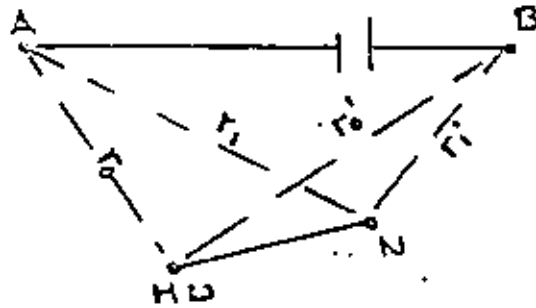


Fig. 7

En este caso el potencial en M y N será

$$V_M = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_0'} \right)$$

$$V_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_1'} \right)$$

$$V_M - V_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_0'} \right) - \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_1'} \right)$$

$$V_M - V_N = \Delta V = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_0'} + \frac{1}{r_1'} \right)$$

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} \left(\frac{2\pi}{\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_0'} + \frac{1}{r_1'}} \right)$$

si llamamos

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_0'} + \frac{1}{r_1'}}$$

entonces

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I}$$

que es la fórmula general de resistividad para cualquier dispositivo cuadrípolar.

En el caso de un terreno cualquiera no isótropo, resulta aparente y la fórmula se expresa:

$$\rho_a = k \frac{V}{I}$$

El concepto de este valor radica en el hecho de que proporciona una medida que es función de la caída de potencial de los terrenos homogéneos y las unidades están expresadas en las dimensiones de una resistencia multiplicada por su longitud o sea en ohmios-metro (Ω/m); los demás factores que intervienen están expresados: (ΔV) en milivoltios e (I) en ----- miliamperes; el valor k es de longitud y depende del arreglo y separación de los electrodos.



1A.2.2.- Dispositivos de Medida

De manera general se puede decir que los métodos tradicionales de medida adoptan un arreglo cuadrípolar con 2 electrodos de emisión y 2 de recepción, en las que las separaciones pueden variar o permanecer constantes según sea el tipo de investigación por efectuar.

Los dispositivos de uso común más importantes son el Schlumberger y el Wenner, de los que se ha derivado una serie de variantes y combinaciones para realizar los trabajos en forma más expedita.

El arreglo Schlumberger es el más ampliamente usado en prospección eléctrica. Para este arreglo los 4 electrodos se colocan a lo largo de una línea recta sobre la superficie del terreno (Fig. No. II.4a), en el mismo orden A, M, N y B, la distancia \overline{AB} suele ser mayor 5 veces a la separación \overline{MN} (AB = 5 MN), en este caso la constante K de un arreglo simétrico AMNB es:

$$K = \pi \left(\frac{\overline{OA}^2}{MN} - \frac{MN}{4} \right)$$

Por ejemplo, si se tiene un arreglo de AB=100 y MN=20, la constante valdrá:

$$K = 3.1416 \left(\frac{50^2}{20} - \frac{20}{4} \right)$$

$$K = 377.0$$

El arreglo Wenner también utiliza 4 electrodos equidistantes que se colocan en la superficie del terreno a lo largo de una línea recta (Fig.No.II.4b), así se tiene que:

$$AM = MN = NB = a$$

y
$$K = 2\pi a$$

en este caso el valor de K depende directamente del valor que tenga \underline{a} ; por ejemplo si $a=30m$, entonces:

$$K = 2\pi \times 30$$

$$K = 2 \times 3.1416 \times 30$$

$$K = 188.5$$

Además de los arreglos electródicos antes mencionados existen una serie de variantes y combinaciones entre las que se cuenta la de Wenner-Lee, que utiliza un electrodo central, que permite comprobar la medición en ambos lados del dispositivo (Fig. No.II.4c); el valor de la resistividad aparente viene dado por la ecuación siguiente:

$$\rho_a = 4\pi a \Delta V_U^P = 4\pi a \frac{\Delta V^N}{I}$$

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I}$$

Los tres arreglos descritos son los más utilizados en la prospección eléctrica aplicada para geohidrología.

1A.2.5.- Trabajo de Campo

Los trabajos de campo consisten esencialmente en un reconocimiento del terreno para fijar los sitios de medición y la operación para obtener las medidas resistivas.

Reconocimiento del Terreno

En los estudios de resistividad eléctrica previamente se requiere realizar un reconocimiento de campo para ubicar adecuadamente los sondeos y los perfiles, mismos que estarán acordados con el objetivo y nivel de la investigación.

Durante este recorrido se debe tomar nota sobre la forma topográfica del terreno, las características de calidad y estructura geológica observable en la superficie, así como los escurrimientos y arreglo de la red hidrográfica. También es necesario obtener información sobre los aprovechamientos hidráulicos superficiales y subterráneos para que sea utilizada y tomada en cuenta tanto en la fijación de los sondeos como en el proceso de interpretación de medidas.

Una manera de auxiliarse en el reconocimiento de campo es mediante la interpretación de fotografías aéreas, porque en ellas se pueden delimitar las variaciones que tienen las rocas y los suelos y hacer un análisis de la estructura geomorfológica. Este procedimiento además de proporcionar una riqueza de información, es rápida y económica y dará una base objetiva para hacer posteriormente una correlación de resultados.

Al registrar todos los elementos que se identifiquen en la superficie del terreno, se estará en posibilidad de decidir sobre los dispositivos de medida, separación de los electrodos, y las diferentes profundidades a que deberá orientarse la investigación.

Operación de Campo



La ejecución de un programa de exploraciones en el campo es parte fundamental dentro del proceso de investigación, ya que de su buena realización depende el resultado final del estudio, por lo que las medidas deberán realizarse correctamente.

El proceso para realizar un programa de investigaciones debe incluir sistemáticamente los siguientes pasos:

- a) Preparación del dispositivo e instalación del equipo.
- b) Obtención de la medida
- c) Comprobación de las medidas y trazo de la curva del sondeo
- d) Observaciones durante la medición y tipo de registro.
- e) Sondeos de prueba y de correlación
- f) Separación de sondeos y promedio de medidas.

a).- Preparación del dispositivo e instalación del equipo.- Una vez seleccionado el punto por investigar, se coloca en dicho sitio una estaca con su número correspondiente, se señala el rumbo del dispositivo de acuerdo con el programa previsto o en su defecto hacia las zonas de mejor acceso para el dispositivo de medida, se proporciona al personal una cuerda de 100 m y se les dan instrucciones sobre las sucesivas posiciones del cuadrípulo AMNB, la cual depende del dispositivo empleado. Las maniobras anteriores deberán realizarse simultáneamente con la instalación del equipo de medida.

b).- Obtención de la medida.- Una vez instalado el equipo y verificado la correcta posición de los electrodos se procede a verificar la calibración del instrumento de medida, este paso deberá realizarse antes de iniciar cada sondeo; posteriormente se efectúa la cancelación de las tensiones parásitas y se procede a realizar las medidas de V e I correspondientes a la primera estación; enseguida, los obreros desplazan los electrodos a las demás posiciones en cada posición deberá compensarse la tensión entre los electrodos M y N y realizar la medición lo más rápidamente posible. Lo anterior se repetirá en cada estación hasta terminar con el sondeo.

La realización de las medidas depende mucho del equipo que se utilice. A continuación se describe una medida para arreglo Schlumberger utilizando un equipo constituido por un potenciómetro y un convertidor de corriente; la parte inicial del proceso es semejante a otros sondeos, se proporciona a los peones una cuerda en donde van marcadas las sucesivas posiciones de los electrodos A y B, ya que los electrodos M y N debe-



rán desplazarse con otra frecuencia, se realiza la instalación del equipo, se conectan los electrodos M y N a los carreres y estos a su vez al potenciómetro, los electrodos de emisión se conectan por medio de sus carreres a la fuente de energía en este caso al convertidor.

Se realiza el ajuste de cero del aparato y se procede a efectuar la compensación de las tensiones parasitas que se encuentran en los electrodos de potencial; tan pronto como se ha efectuado, se cierra el circuito de emisión y se procede a realizar las medidas de V_e e I de la primera estación, después de esto los obreros desplazan los electrodos A y B a las demás estaciones. En cada estación debe compensarse la tensión entre los electrodos M y N y realizar la medición lo más rápidamente posible; después de cada lectura deberán verificarse las tensiones parasitas, si éstas han variado notablemente, se deberá repetir la lectura, una vez que se haya compensado la polarización espontánea.

Quando se está utilizando dispositivo Schlumberger, los valores de V disminuyen rápidamente de estación a estación, cuando el operador prevea que la siguiente lectura va a resultar difícil, se procede a la operación de empalme, es decir, el paso a un valor mayor de MN. Generalmente la distancia $4N = AB/5$.

c).- Comprobación de las medidas y trazo de la curva en el campo.- Se debe ir comprobando la calidad de los resultados por lo que se debe calcular y dibujar la curva de resistividades aparentes que las expresa, si la curva presenta saltos o irregularidades, se repiten las estaciones correspondientes procurando eliminar las causas de la irregularidad; esto es, realizar pruebas de fuga, compensación de tensiones parasitas, correcta colocación de los electrodos, buen estado de cables, calibración del instrumento de medida y tomar nota del material en que se hayan clavado los electrodos. La comprobación de las pruebas de fugas deberá realizarse periódicamente; en tiempo húmedo y terreno cubierto de barro se efectúa varias veces en cada sondeo.

d).- Observaciones durante la medición y tipo de registro. La correcta anotación de las observaciones de campo es uno de los factores que más influyen en la calidad de los resultados finales. Las lecturas de los instrumentos deben ser registrados fielmente, es necesario que el operador anote todos los factores que puedan influir en la medición, como estado y anomalías del equipo, pruebas de fuga, estabilidad de la compensación, estado del tiempo, estado y naturaleza del suelo, accidentes topográficos, caminos, líneas eléctricas, --



etc., que hayan sido atravesadas por los electrodos de corriente. También son muy importantes los datos geológicos, tales como naturaleza del recubrimiento y acarrees, afloramientos próximos, etc.

Las Figuras Nos. 8 y 9 reproducen una hoja para registro de campo para dispositivo Schlumberger y Wenner respectivamente.

e).- Sondeos de prueba y correlación.- Cuando en una zona por investigar se desconocen por completo las resistividades, es conveniente realizar algunos sondeos de prueba, para conocer los rangos de variación de la resistividad así como el número de medidas a realizar por cada sondeo. Si en la zona de estudio o en áreas adyacentes existen perforaciones profundas, es conveniente efectuar en cada pozo sondeos en cruz, es decir investigar el mismo punto con los azimutes del cuadrípolo perpendiculares, lo anterior se realiza para calibración posterior de las medidas con los resultados de la perforación.

f).- Separación de sondeos y promedio de medidas.- Las separaciones más comunes entre centros de cada sondeo es de 400 a 500 m, pero esto depende del detalle que se desee obtener.

El promedio de medidas en la exploración geoelectrica es importante desde el punto de vista económico, pero depende de factores tan esenciales como la práctica y experiencia del personal y de las condiciones imperantes en la zona de estudio, sobre todo hacia las áreas donde se desplazarán los electrodos, ya que una zona poco accesible permite un avance lento del dispositivo MNB. También depende de la longitud final de la línea AB y del desplazamiento entre los centros de cada sondeo.

El rendimiento diario promedio es de 4 sondeos con 22 estaciones cada uno, cuando la separación entre sondeos sea de 500 m y las longitudes de las líneas de emisión queden comprendidas entre 800 y 1,200 m, es decir se deberán realizar entre 80 y 100 medidas de resistividad diarias. Conforme se vaya adquiriendo destreza en la operación del equipo y experiencia deberá aumentar el promedio de medidas diarias.

1A.2.4.- Interpretación

Después de obtener la información de campo y las medidas resistivas se lleva a cabo la interpretación de resultados tanto cualitativa como cuantitativamente; en el primer caso para determinar un esquema de la distribución de la corriente en

RESISTANCE			AZIMUT			S. E.
JA	MN	K	V	I	S	
1						
15						
2						
1						
3	7	126				
5	7	177				
7	7	236				
10	7	300				
10	5	340				
11	5	339				
20	5	2473				
30	5	56.1				
40	5	100.1				
50	5	150.7				
50	10	17.7				
70	5	307.5				
70	20	75.6				
100	20	115.5				
110	20	312				
200	20	627				
210	15	110.0				
240	20	1402				
260	00	207				
400	20	2510				
400	00	612				
300	20	3925				
500	00	175				

Fig. 8 Schulumberger

Proyecto _____

Perfil _____ SEV. Nº _____

e	I (mA)	V (mV)	K	ρ_0
1			6.3	
2			12.5	
3			18.8	
4			25.5	
6			37.5	
8			50.0	
10			62.5	
12			75.0	
16			100.0	
20			125.5	
24			150.0	
32			200.0	
40			250.0	
48			300.0	
56			351.6	
64			402.0	
72			452.0	
80			500.0	
100			628.0	
120			754.0	

Observaciones. —

Fig. 9 Wenner



el subsuelo y en el segundo caso para definir la posición, espesor y profundidad de aquellas zonas que presentan variaciones o anomalías resistivas.

La interpretación normalmente se hace en función de valores de resistividad pero si se tiene información geológica de superficie y del subsuelo, entonces estos datos ayudan a calibrar las medidas y correlacionar conjuntamente la información permitiendo obtener perfiles de resultados con sus características geofísicas y geológicas. A continuación se describen estos procedimientos.

Interpretación Cualitativa

Este tipo de interpretación permite establecer conceptualmente las irregularidades del terreno en función de la distribución de la corriente en el subsuelo; para tal fin se lleva a cabo el procesamiento de los valores resistivos y elaboración de varios tipos de curvas. El procesamiento incluye:

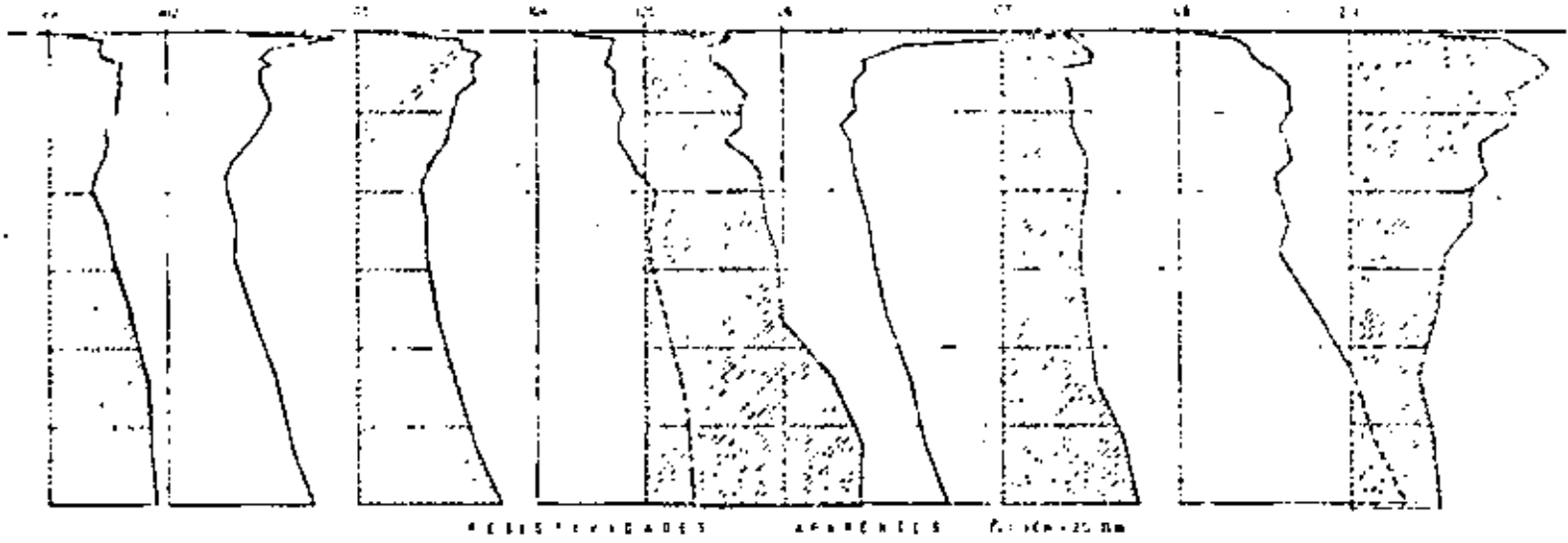
- a).- Verificación de las resistividades aparentes.
- b).- Elaboración de curvas de resistividad aparente-distancia de emisión.
- c).- Elaboración del perfil de curvas de isorresistividad.
- d).- Elaboración del perfil de resistividad aparente-distancia de emisión constante.
- e).- Mapa de isorresistividad aparente con distancia de emisión constante.

a).- Verificación de las resistividades aparentes.- Esta operación consiste en una verificación de los valores de resistividad calculados en el campo y la transferencia de dichos valores en una tabla para obtener un conjunto de todas las medidas según el número de sondeos y separación de los electrodos. Cuando se utilizan arreglos tipo Schlumberger es necesario además realizar correcciones de los valores en los puntos necesarios del sondeo hasta donde se encuentre otro empalme.

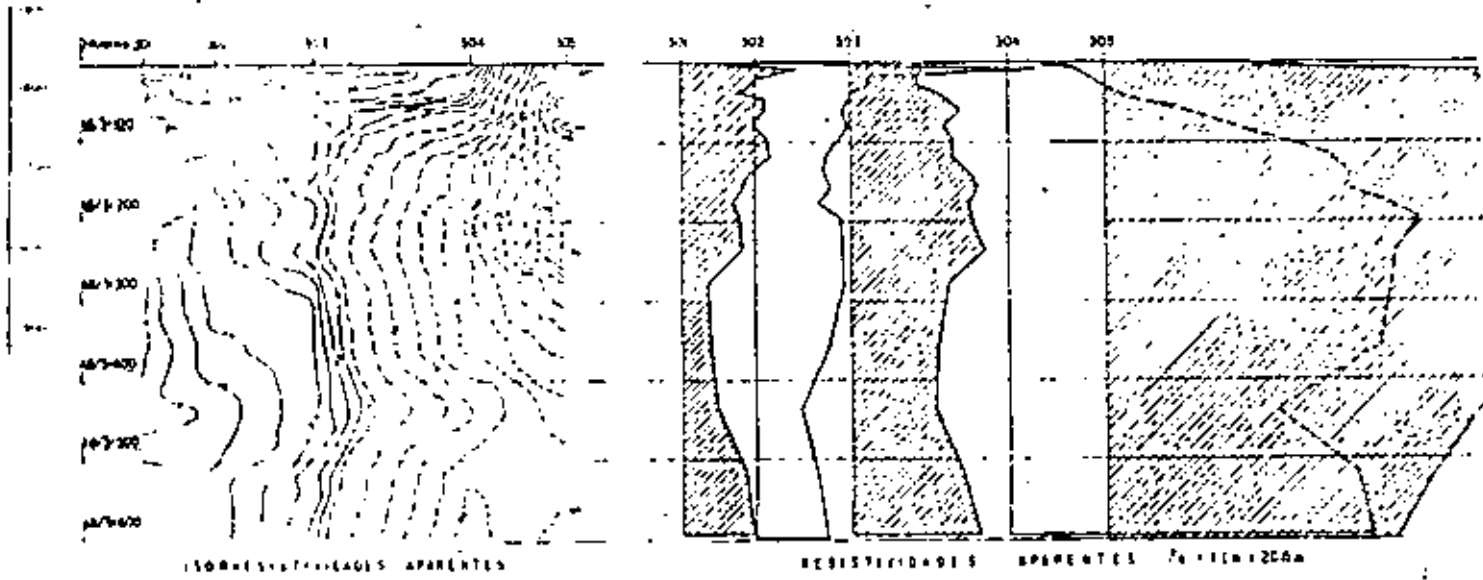
b).- Elaboración de curvas de resistividad aparente-distancia de emisión.- Estas curvas se trazan en coordenadas cartesianas en la cual las ordenadas corresponden a la distancia de emisión y las abscisas a la resistividad aparente. Cada una de estas curvas se ordenan o acomodan a escala bajo una alineación determinada, obteniéndose un esquema de conjunto que permite observar las variaciones de resistividad para cada distancia de emisión y consecuentemente definir la continuidad o discontinuidad de un horizonte. En la Figura No. 10 se ---



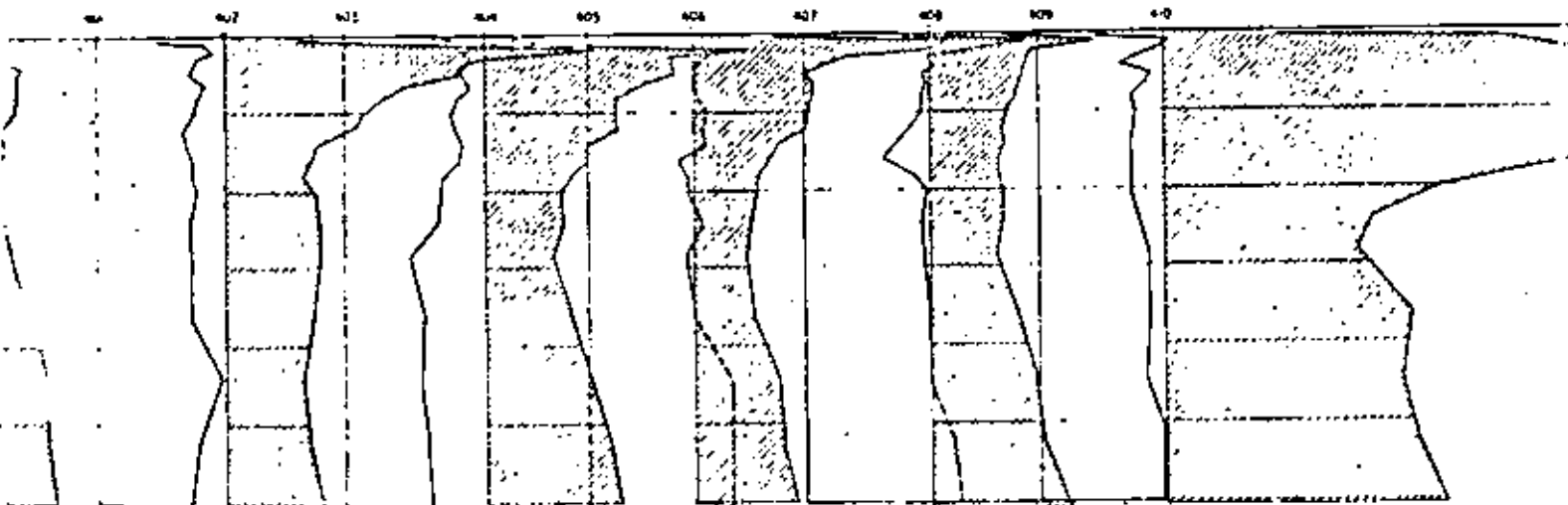
P E R F I L N° 1

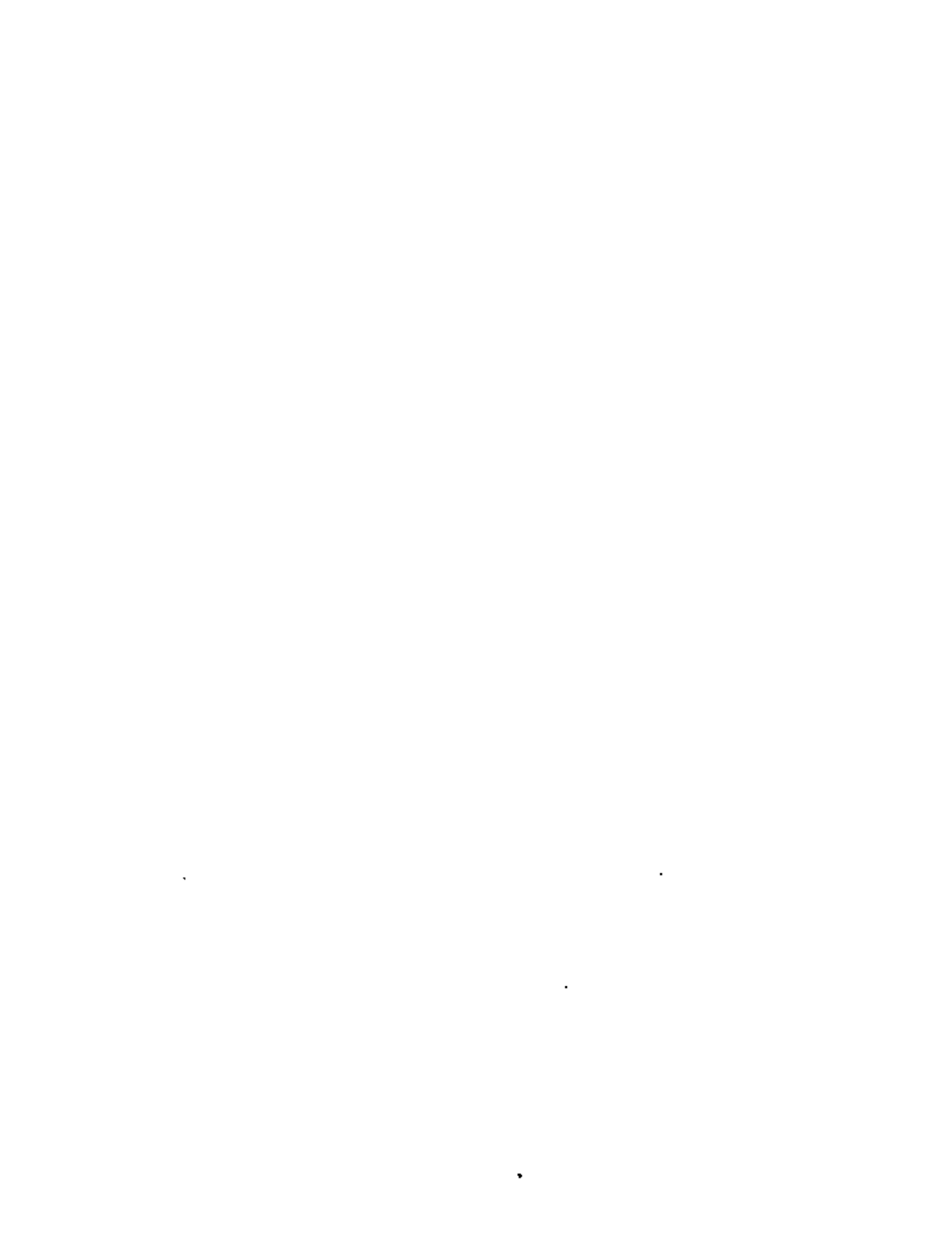


P E R F I L



P E R F I L N° 4





muestra un ejemplo de esta curva, en la cual la escala vertical es de 1:4,000 y en la horizontal 1 cm corresponde a 100 m de la resistividad equivalente a 40 Ω m.

c).- Elaboración del perfil de curvas de isorresistividad. Estas curvas se construyen debajo de un perfil del terreno donde quedan alojados varios sondeos alineados; en este perfil se marcan los valores de resistividades aparentes bajo cada punto de emisión para realizar una configuración de puntos de igual resistividad. Las curvas de isorresistividad permiten mostrar un esquema general de la distribución de la corriente en el subsuelo, proporcionando información sobre zonas con variaciones, discontinuidad o anomalías resistivas, o en su caso zonas homogéneas o continuas que dan una idea de las condiciones estructurales que prevalecen en el terreno investigado. La figura No. 11 muestra un esquema de isorresistividad en la que se observa que se trata de un terreno no homogéneo.

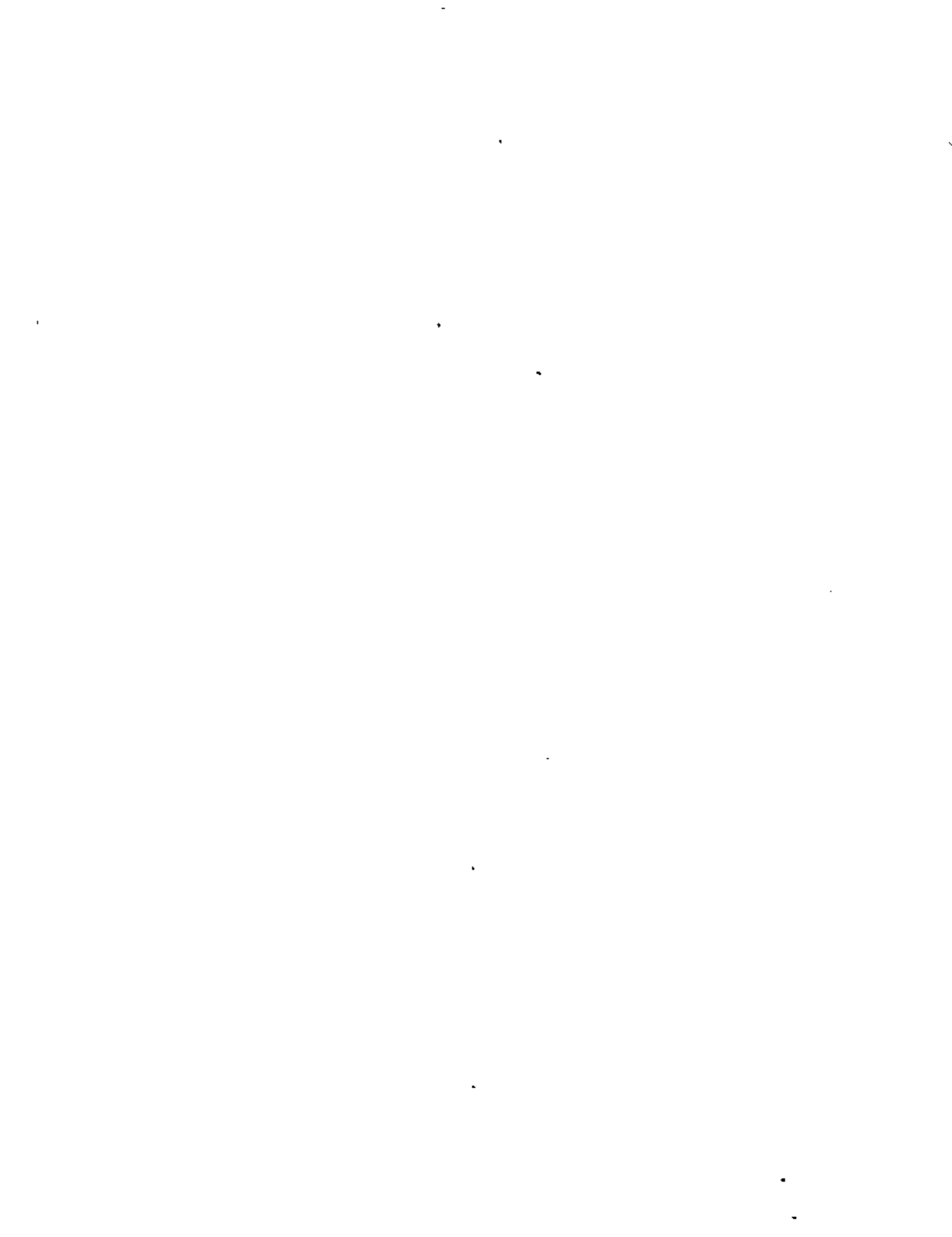
d).- Perfil de resistividad aparente-distancia de emisión constante.- Cuando se trata de definir la continuidad de un horizonte determinado en forma más detallada, se hacen lecturas a una distancia de emisión constante y los puntos de observación también a distancias constantes (Fig. 12).

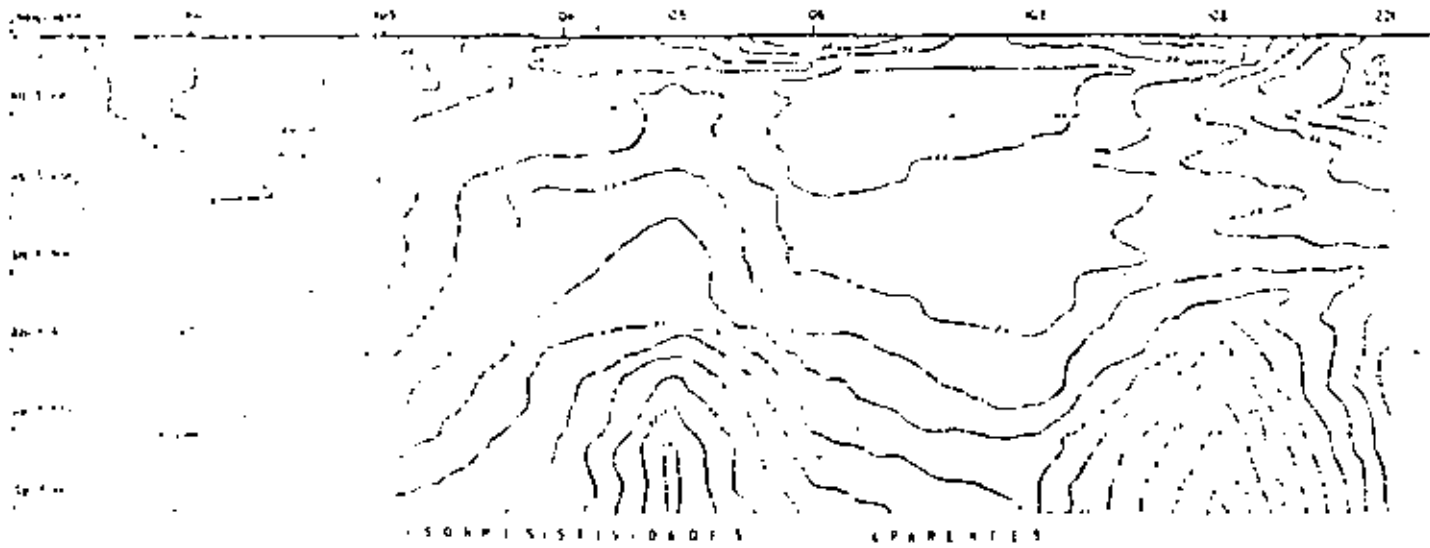
Interpretación Cuantitativa

La interpretación cuantitativa tiene por objeto determinar las resistividades reales del terreno y la posición en el subsuelo de las zonas que muestren interés en el estudio geohidrológico, esto es zonas que presentan cambios de resistividad notables o presencia de anomalías; en zonas donde no existen diferencias notables en las resistividades, el método de resistividad pierde un poco de eficacia. El cálculo de las resistividades reales y la profundidad a la que se encuentran, se puede determinar analíticamente por ello representaría un trabajo muy laborioso, por lo que en la práctica lo más usual es utilizar tablas y curvas maestras previamente calculadas que facilitan la interpretación. El procesamiento en este caso incluye:

- a).- Elaboración de la curva resistividad aparente-distancia de emisión en --- coordenadas logarítmicas.
- b).- Clasificación de las curvas.
- c).- Ajuste de las curvas por medio de -- ábacos.
- d).- Elaboración de perfiles de resultados

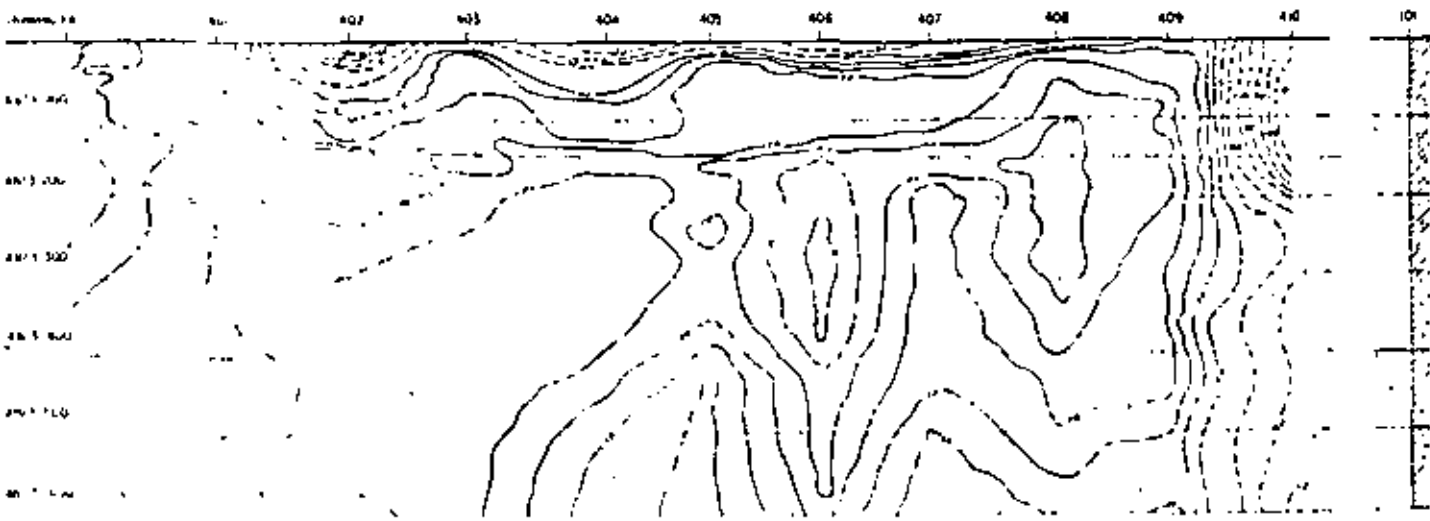
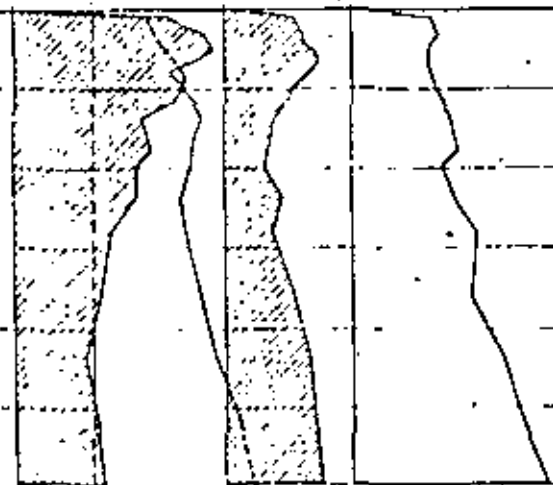
a).- Elaboración de la curva resistividad aparente--- distancia de emisión en coordenada logarítmicas.- Esta curva se construye con los valores resistivos verificados, colocando -- las resistividades aparentes en las ordenadas y la distancia



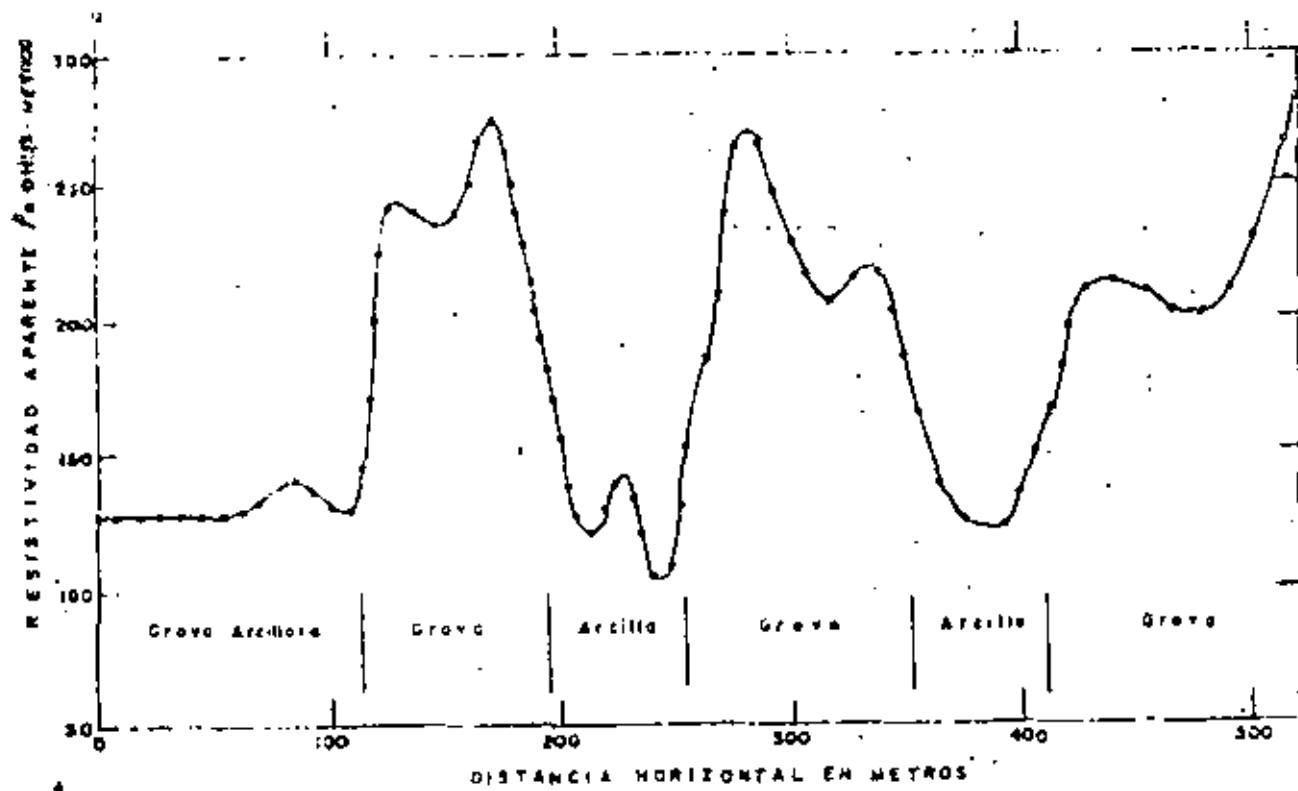


P E R F I L

Nº 2







PERFIL HORIZONTAL E INTERPRETACION SOBRE UN DEPOSITO DE GRAVA USANDO ARREGLO WENNER $a = 9.15$ m

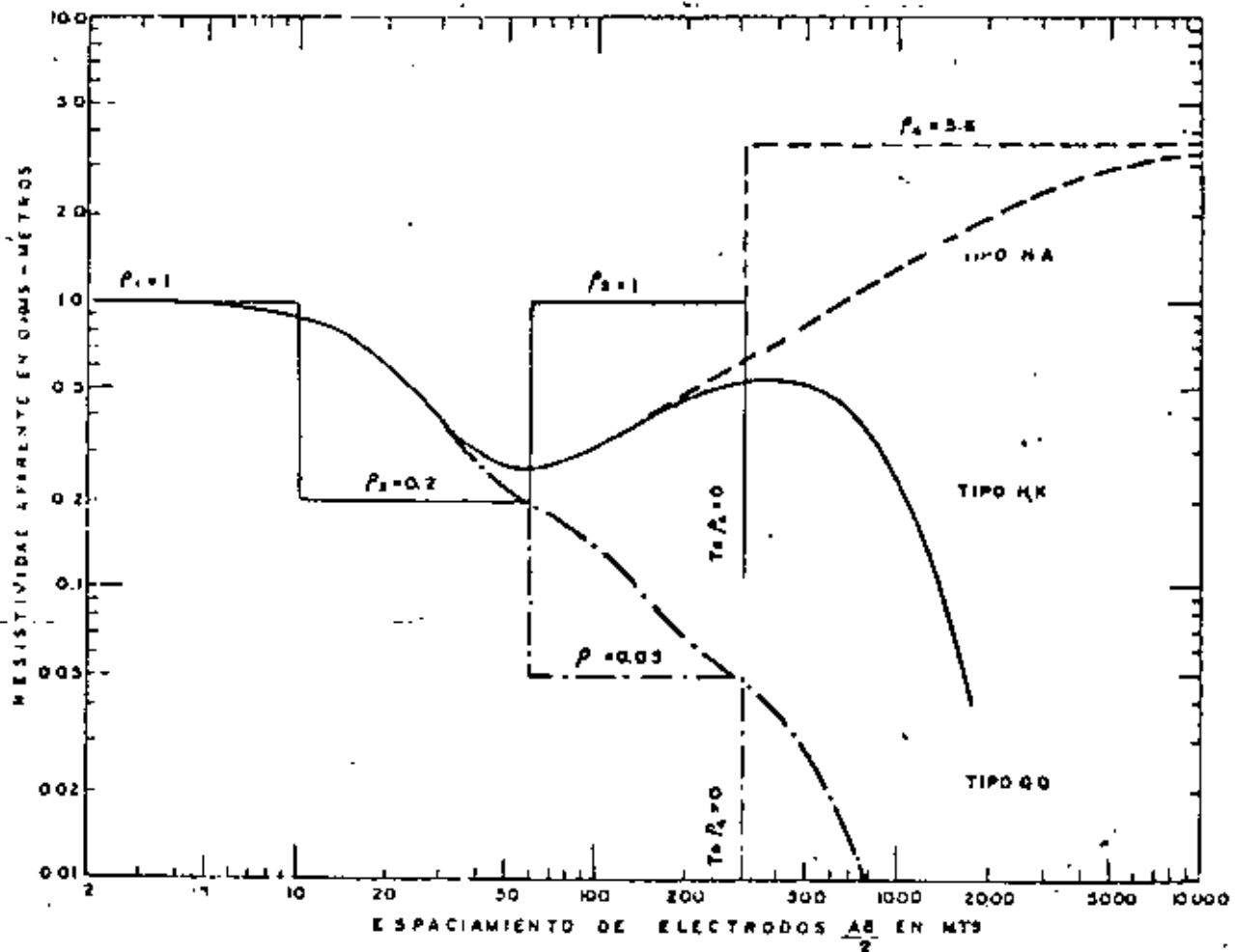
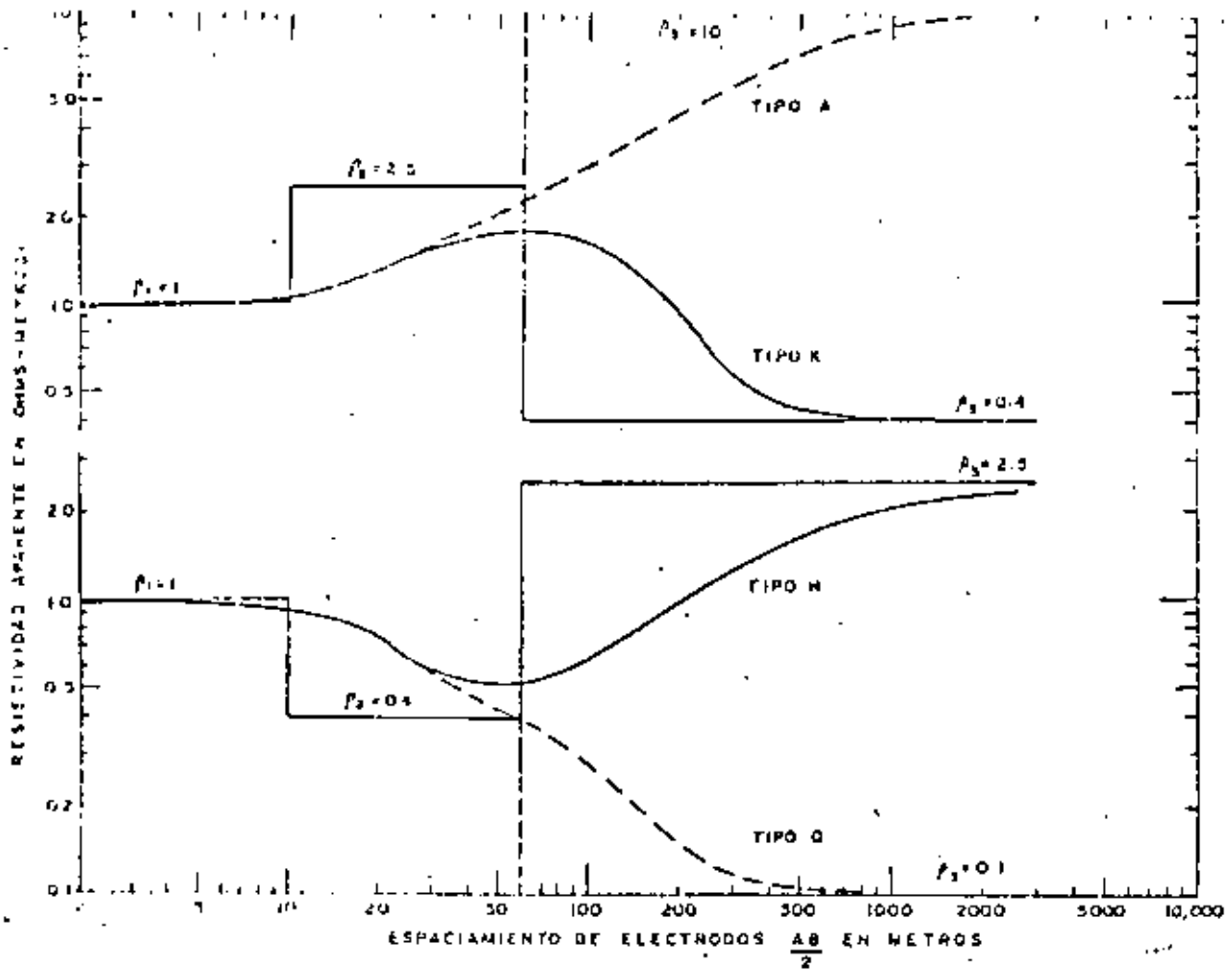
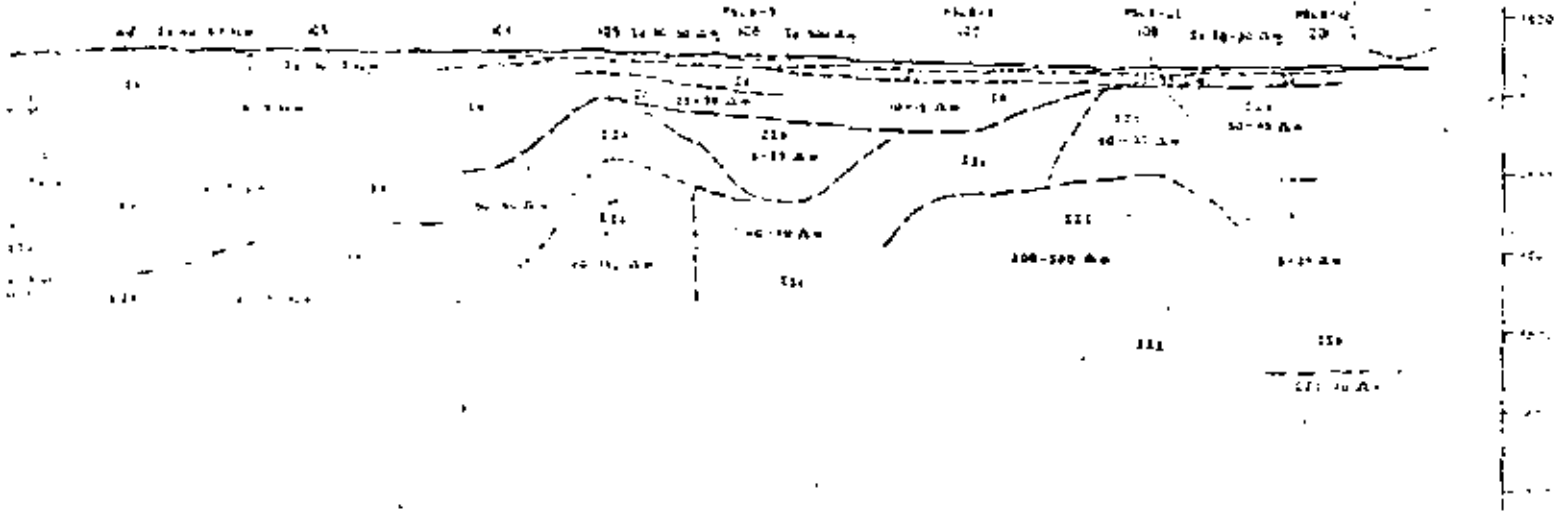
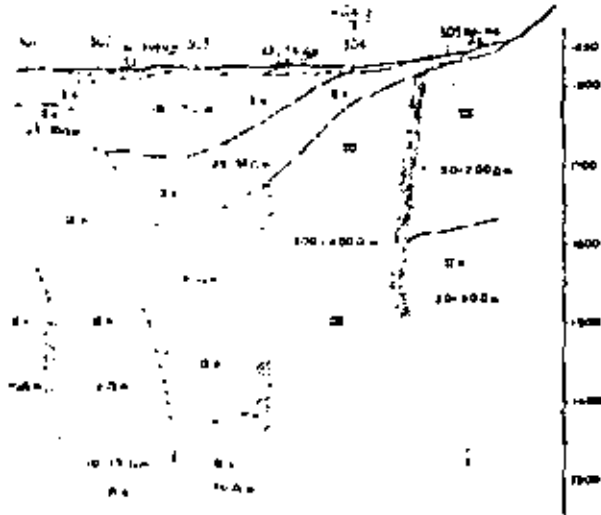


Fig. 13





1° 3



EXPLICACION

ZONA	UNIDAD	VALORES DE RESISTIVIDAD	CORRELACION PROBABIL
SUPERIOR	Ia	0-15, 15-30, 35-50, 50-90, 90-150, 150-200, 200-400, 400-500, 500-1000 Ωm	Litología arenosa arenosa
	Ib	5-10, 10-15, 15-25, 25-30 Ωm	Capas de arena y arcilla
	Ic	5-20, 20-35 Ωm	Capas de arena y arcilla
	Ic	1-2, 2 Ωm	Capas de arena y arcilla
INTERMEDIA	IIa	25-35, 35-50, 50-60, 60 Ωm	Capas de arena y arcilla
	IIb	1-8, 8-15, 15-25, 25-30 Ωm	Capas de arena y arcilla
INFERIOR	III	10-20, 20-100, 100-150 Ωm	Capas de arena y arcilla
	IIIa	100-200, 200-300, 300-400 Ωm	Capas de arena y arcilla

ESCALA HORIZONTAL 1:100,000
 ESCALA VERTICAL 1:10,000

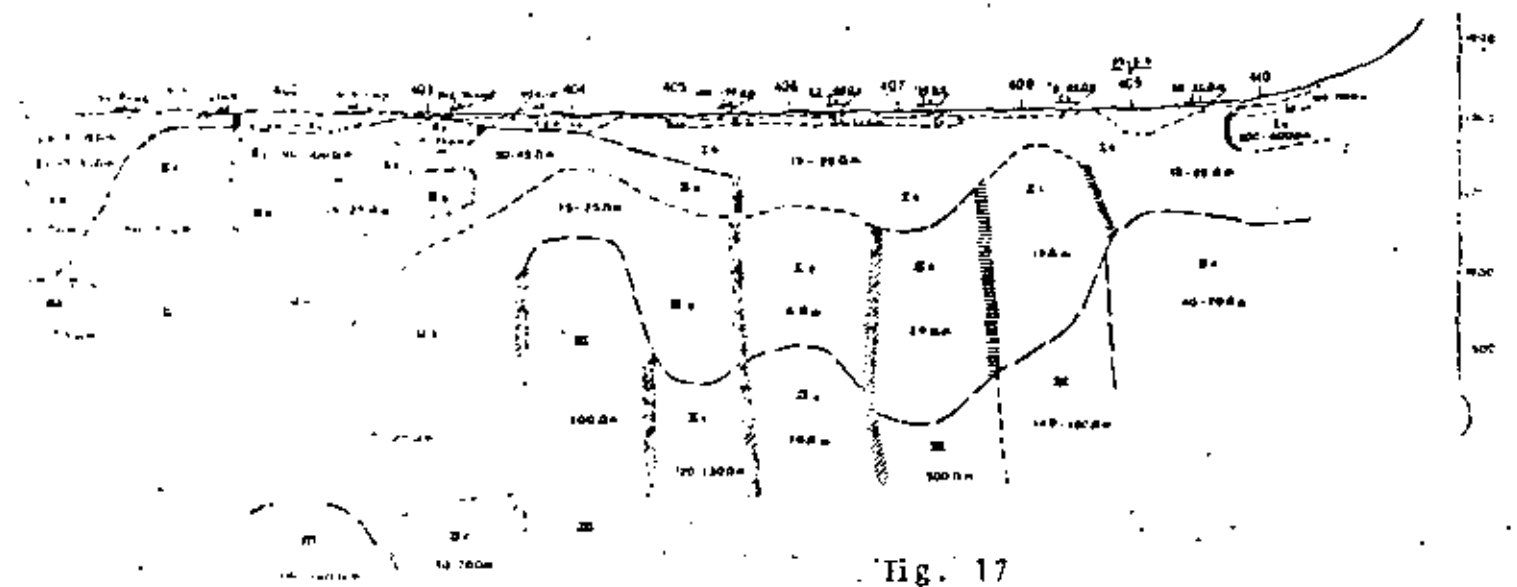


Fig. 17

de emisión AB/2 o AB/3, en las abscisas de un papel logarítmico cuyo formato, generalmente con módulos de 10 cm. debe ser igual al de las curvas maestras

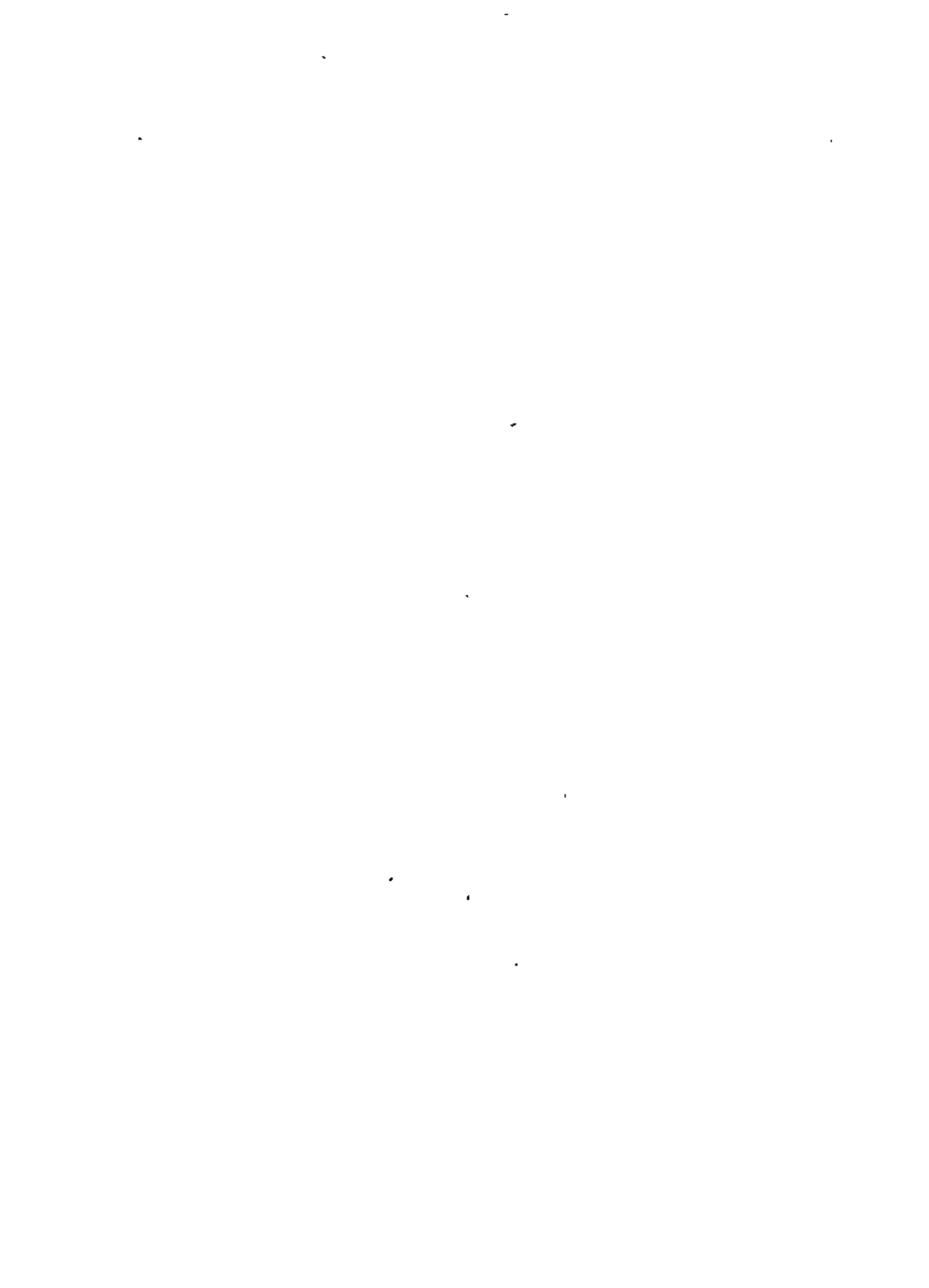
b).- Clasificación de las curvas.- Una vez trazadas todas las curvas de los sondeos, se hace la clasificación de ellas según su forma agrupándolas en familias de tal manera que faciliten su interpretación, identificándose con las curvas maestras.

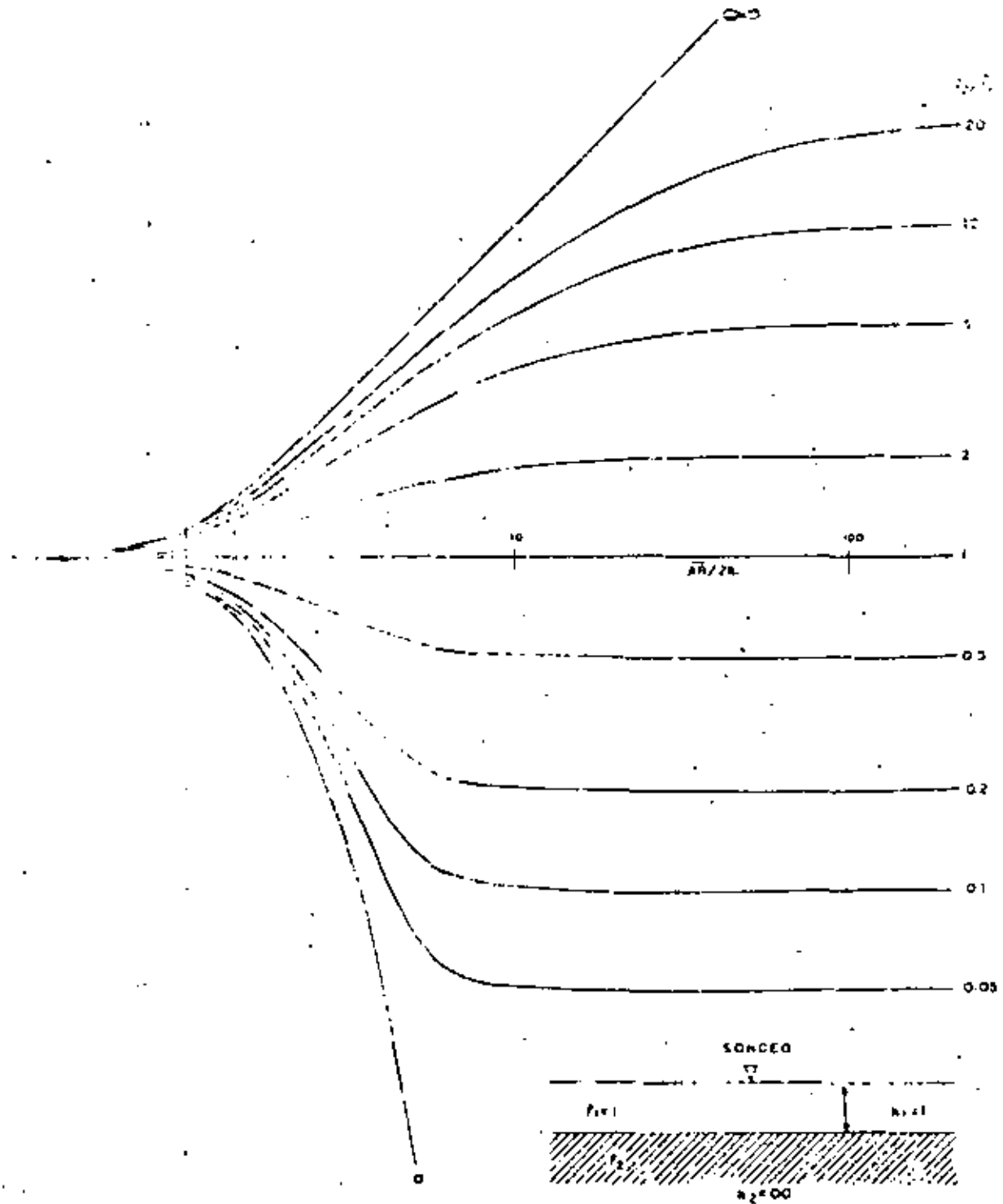
Las curvas maestras son curvas que se han trazado con valores resistivos teóricos en condiciones ideales para cada tipo de estructura del terreno, aunque generalmente se refieren a medios horizontales estratificados. Existen catálogos de curvas según el tipo de dispositivos que se utilicen tanto para Wenner como para Schlumberger, o también se pueden construir para cualquier otro tipo de arreglo.

En la práctica las curvas se clasifican como H, A, K y Q. Según las relaciones que existan entre los diversos rangos de resistividades. Con esta clasificación se pueden hacer todas las combinaciones según la relación de resistividades. La figura No. 13 muestra una curva de cada tipo.

c).- Ajuste de las curvas por medio de ábacos.- Según el tipo de dispositivo utilizado, el ajuste de curvas por medio de ábacos se hace con el fin de obtener las resistividades reales y el cálculo de profundidad. Esto se hace por medio de superposición de la curva obtenida en el campo con la curva teórica del catálogo, utilizando el método del punto auxiliar o cualquier otro método. En las Figuras Nos. 14, 15 y 16 se muestra un conjunto de curvas de 2 capas para un arreglo eléctrico Schlumberger y los diagramas auxiliares tipo H, A, K, Q respectivamente.

d).- Elaboración de perfiles de resultados.- Una vez calculadas las resistividades reales y las profundidades a las que se encuentran, se construye el perfil de resultados, colocando bajo cada sondeo los contactos notables con sus resistividades reales correspondientes que han sido determinados durante el ajuste de curvas. Posteriormente se correlacionan estos valores según una sección determinada, uniendo los grupos de valores semejantes y determinando la continuidad de los horizontes. En caso de que los valores no sean correlacionables esto indicará que en el subsuelo existirá una discontinuidad que puede ser debida a cambios en la naturaleza del material, cambio en la estratigrafía o presencia de algún accidente de tipo tectónico. En todo caso el perfil de resultados presenta una imagen de la estructura del subsuelo basada únicamente en valores de resistividad. La figura No. 17 muestra un esquema de este tipo de información obtenida.





CONJUNTO DE CURVAS MAESTRAS PARA SONDEOS ELECTRICOS DE 2 CAPAS
(Arreglo SCHLUMBERGER)



GRAFICO AUXILIAR (TIPO-A)

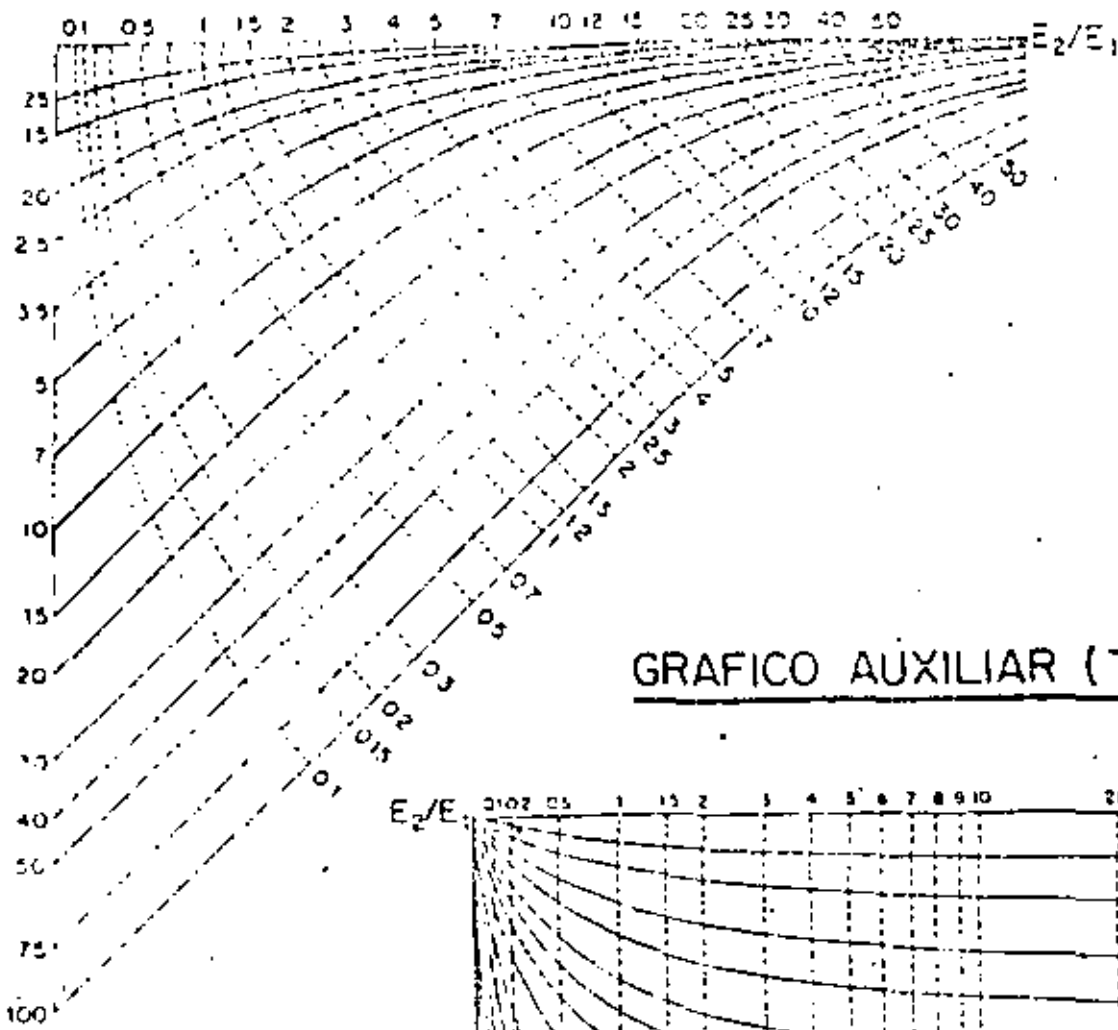


GRAFICO AUXILIAR (TIPO-H)

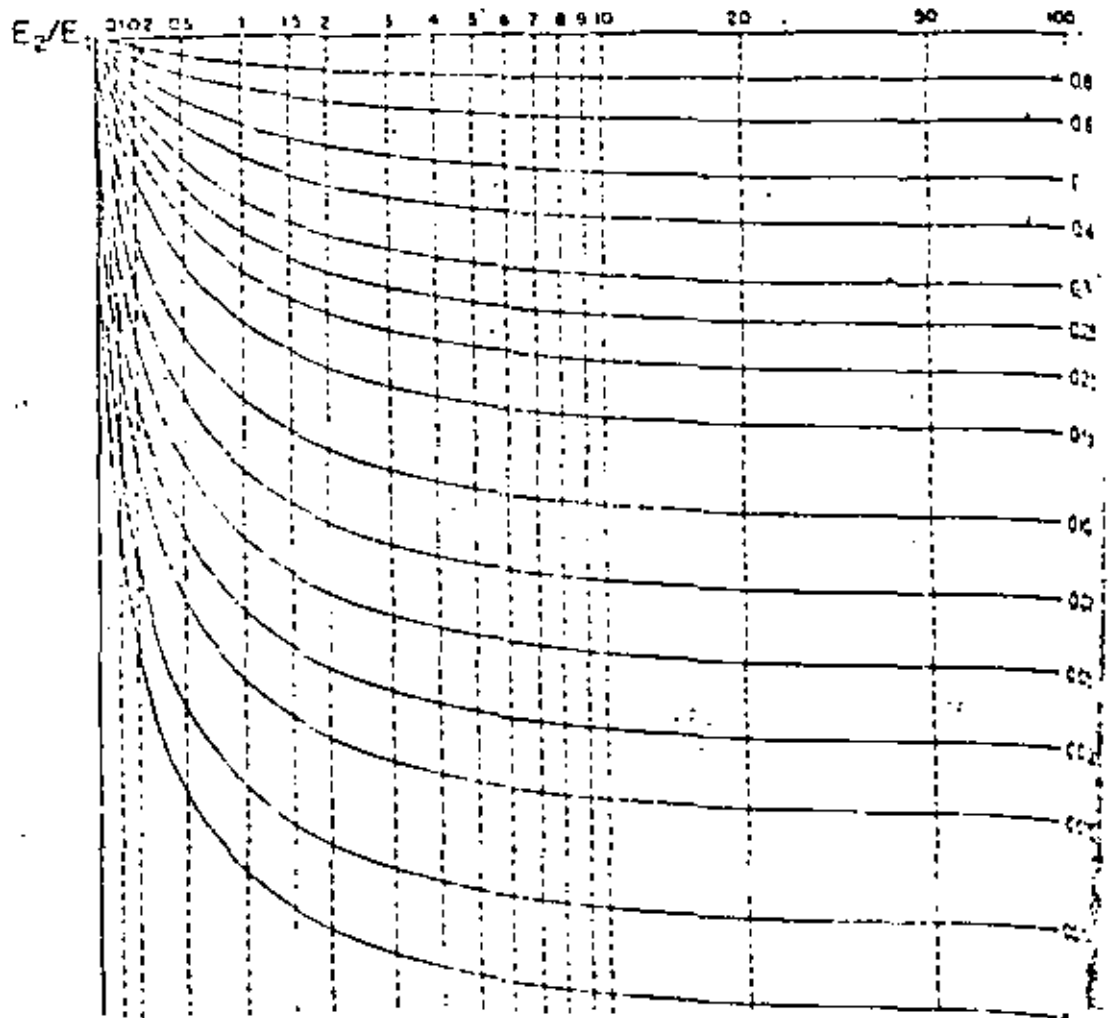


Fig. 15



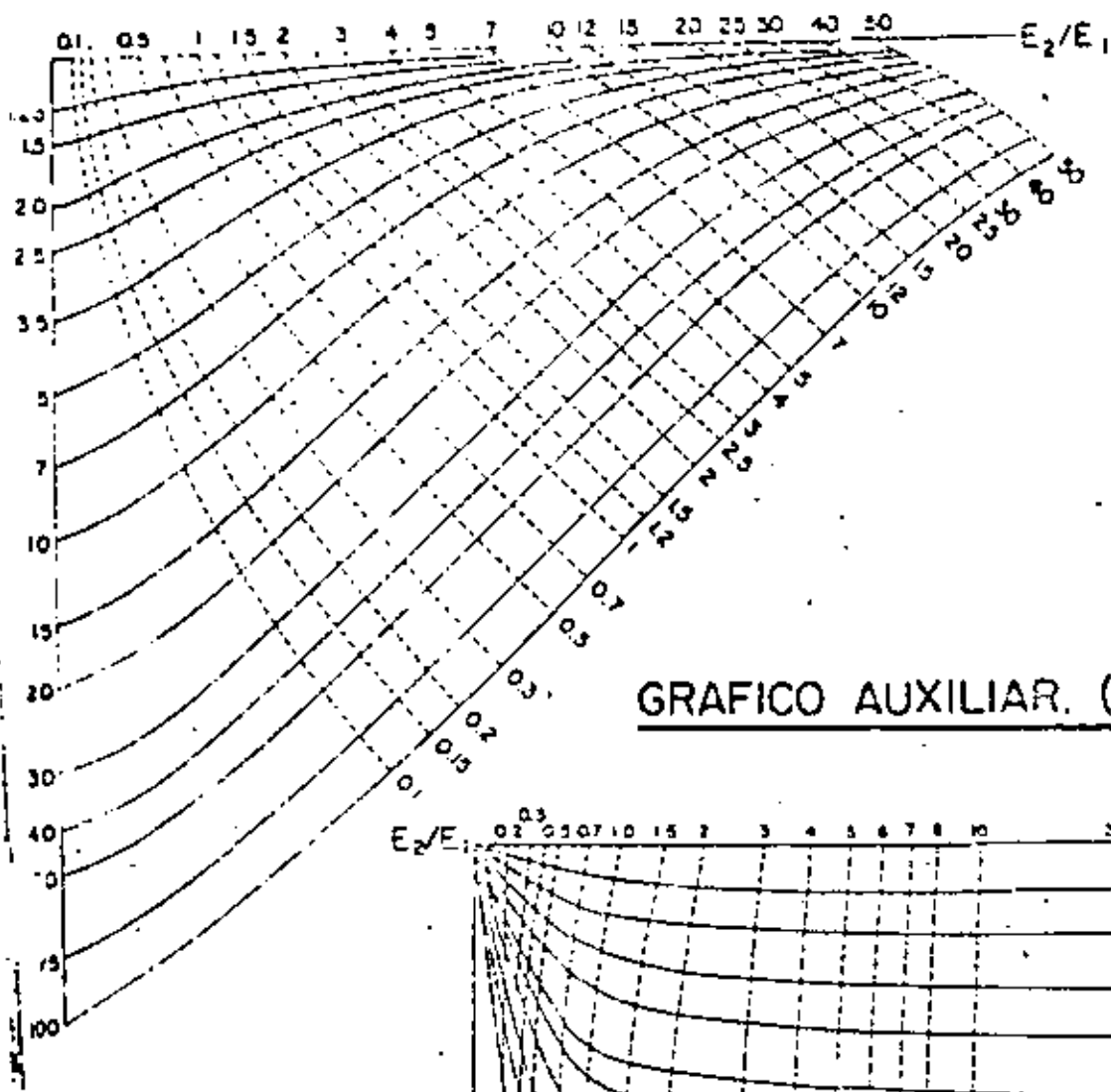


GRAFICO AUXILIAR. (TIPO-Q)

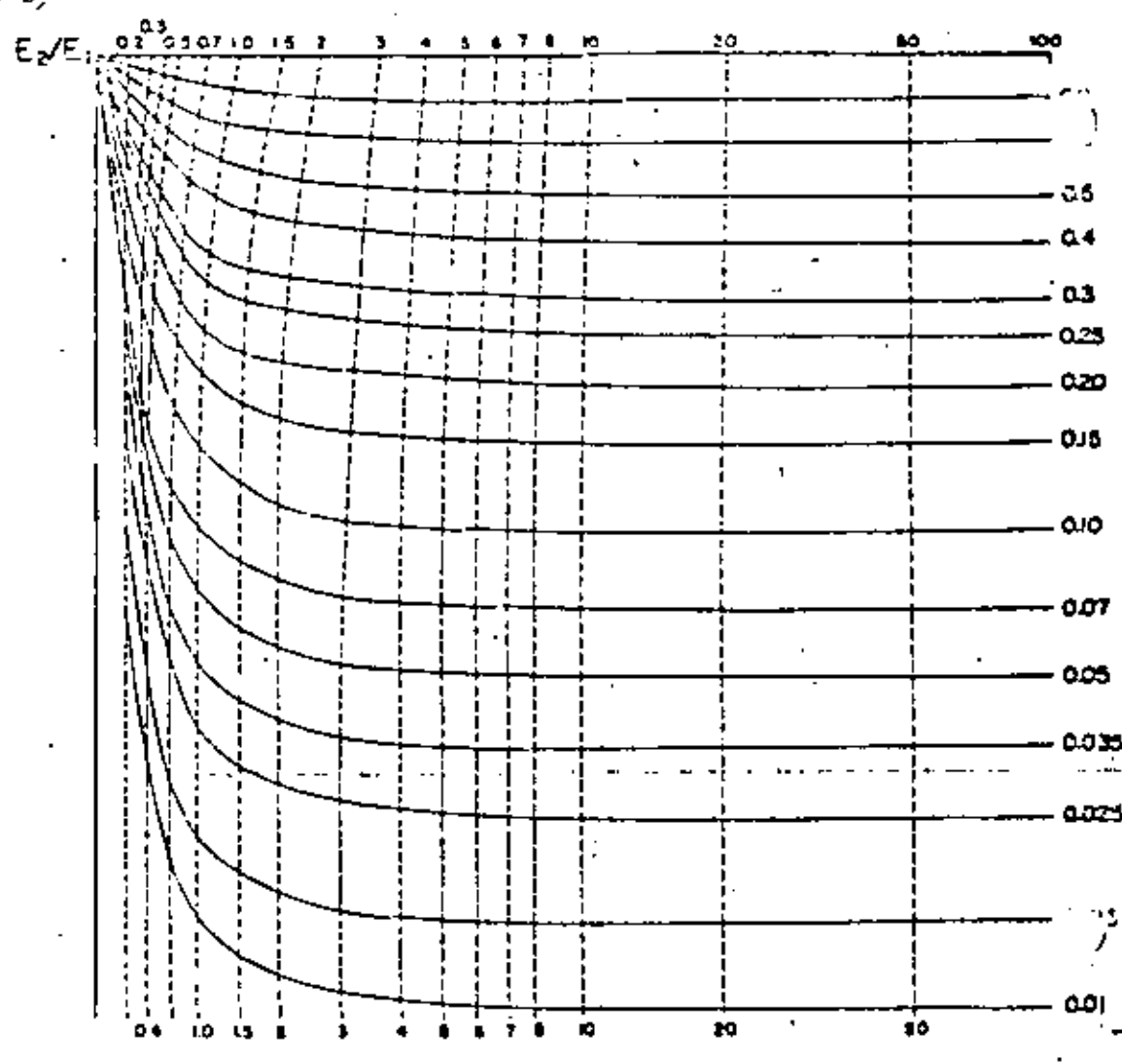
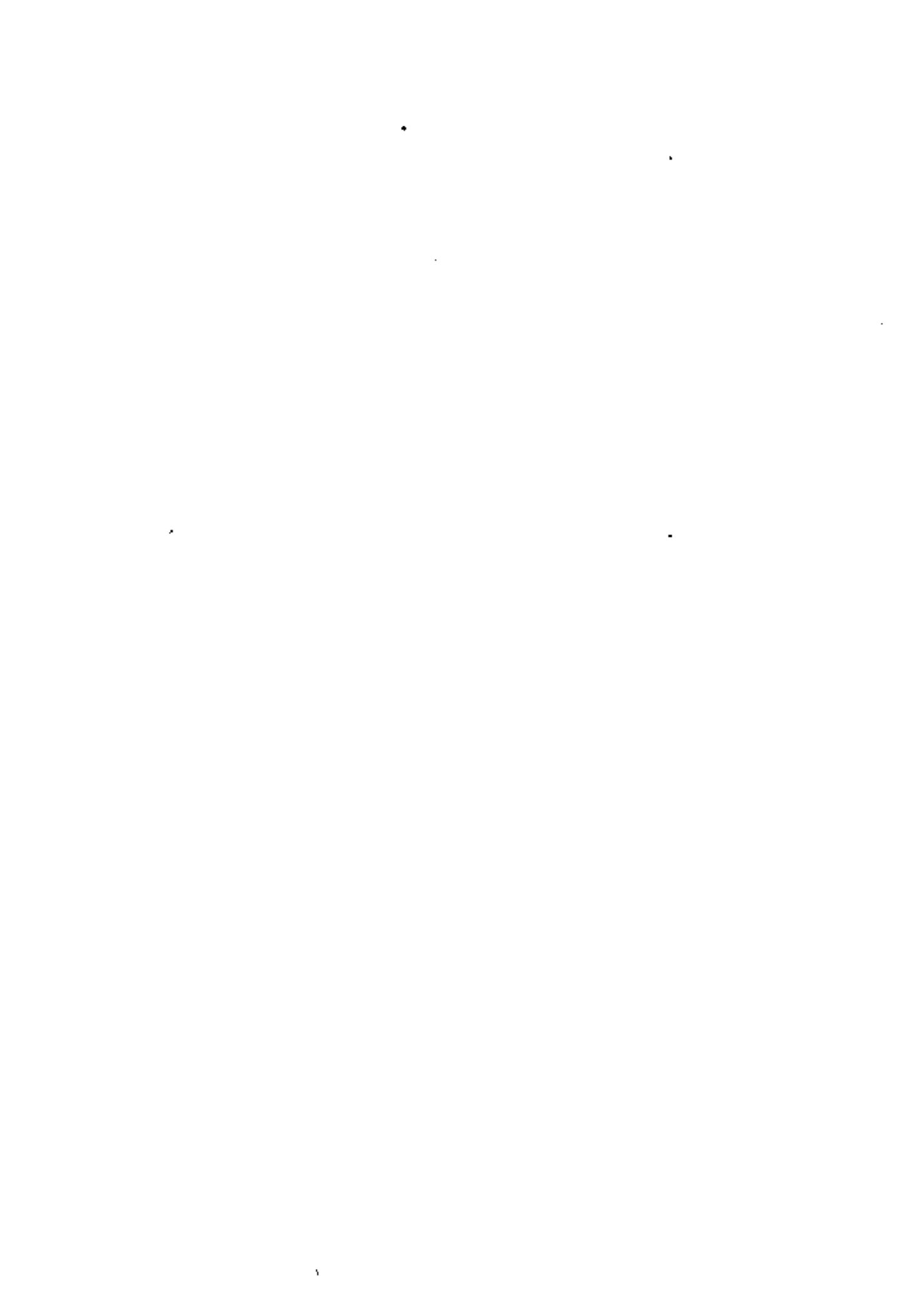


Fig. 16





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

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

REGISTROS ELECTRICOS

Ing. Luis Lara Trujillo

Junio, 1981



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 horizontales, 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 adame ó tubería de revestimiento 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 multicable 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.

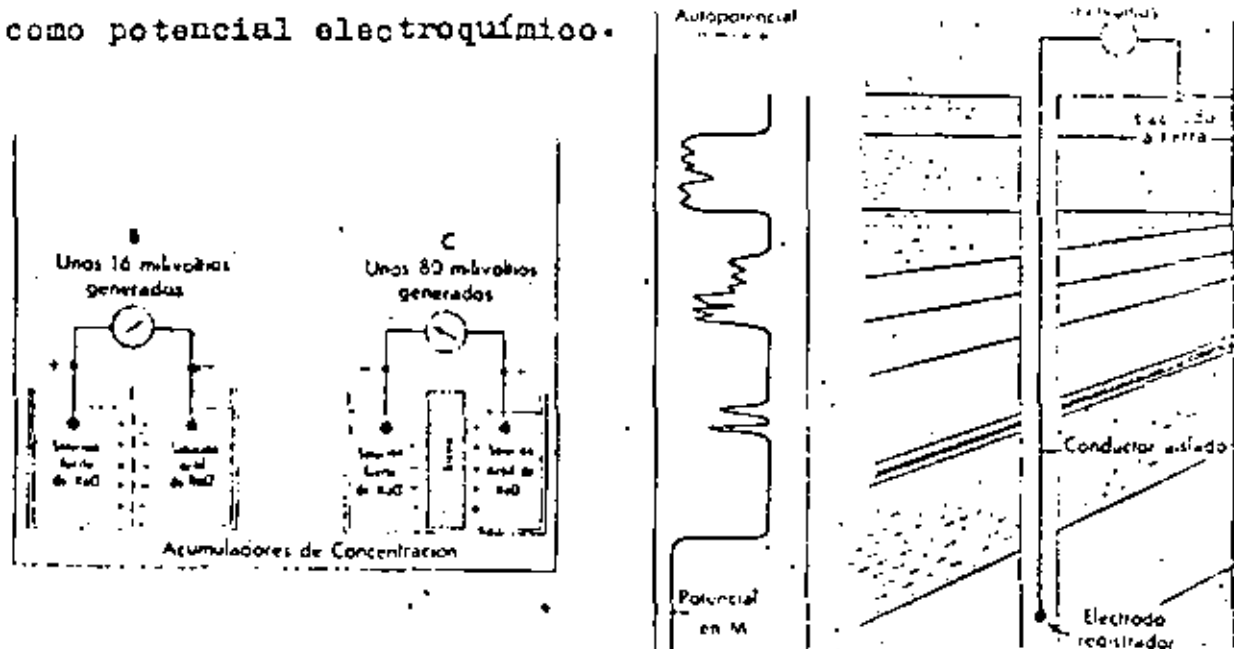
Generalmente la curva del potencial espontáneo permite obtener la siguiente información:

- 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 Nernst 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 los 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 contenido 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:

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

en donde:

- E_o = 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:

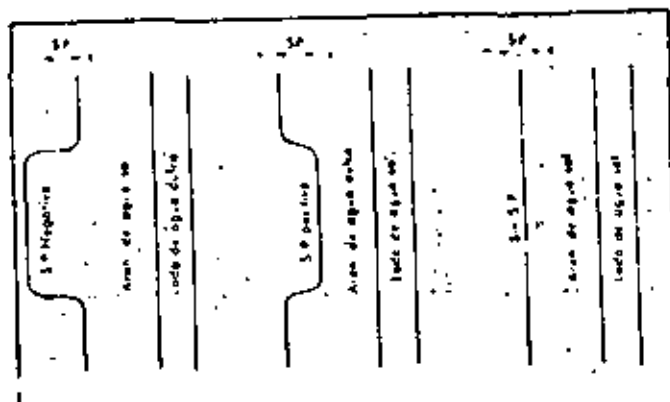
- SP= potencial espontáneo obtenido del registro.
- R_{mf} = resistividad del filtrado del lodo.
- R_w = resistividad del agua intersticial.
- K = coeficiente proporcional a la temperatura abs.

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.



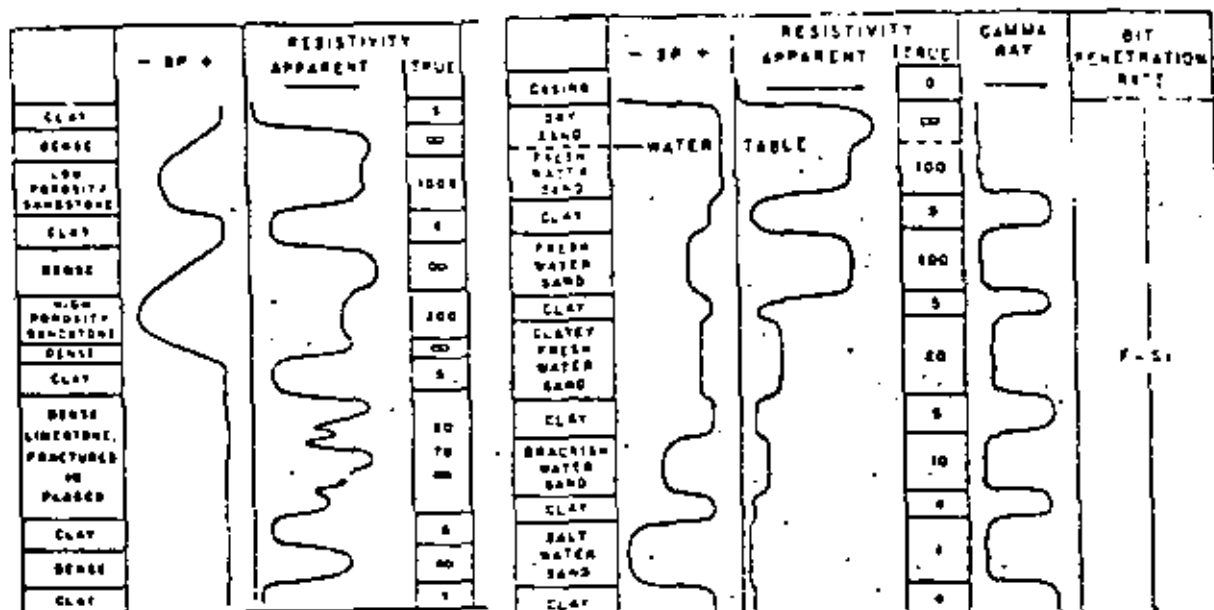
Tomando como referencia, la línea base de lutitas, el potencial espontáneo que es medido en milivolts, puede ser negativo si su deflexión es a la izquierda, positivo si la deflexión es a la derecha de la misma referencia ó bien nó dar ningún valor relativo.

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, empacados 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 no puede por sí sola ser interpretada.

Cuando 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.

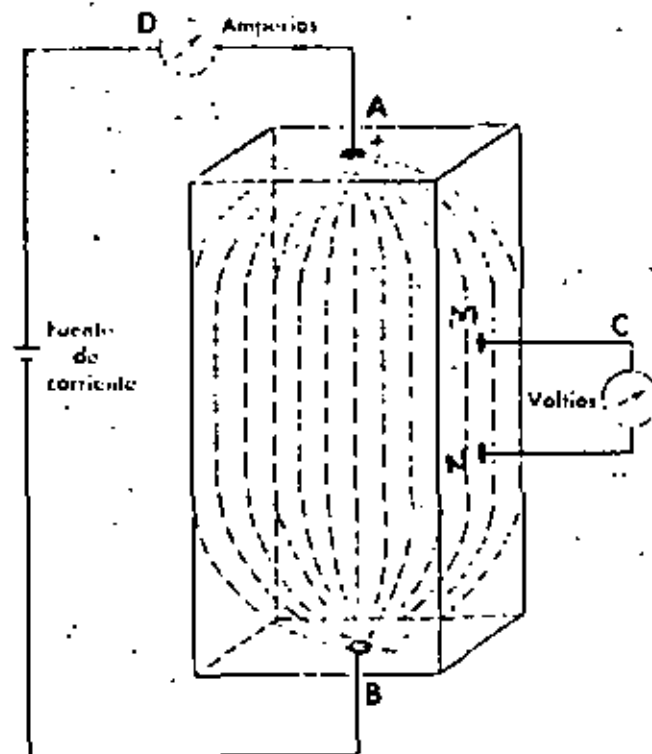
3.- Si la curva del SP en los acuíferos penetrados por un agujero, se presenta cada vez más negativo con la profundidad, indica que la salinidad de los acuíferos se incrementa con la profundidad.

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 no 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, atravesando de la muestra, siendo mayor el potencial en el punto A, debido a 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 potencial 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.

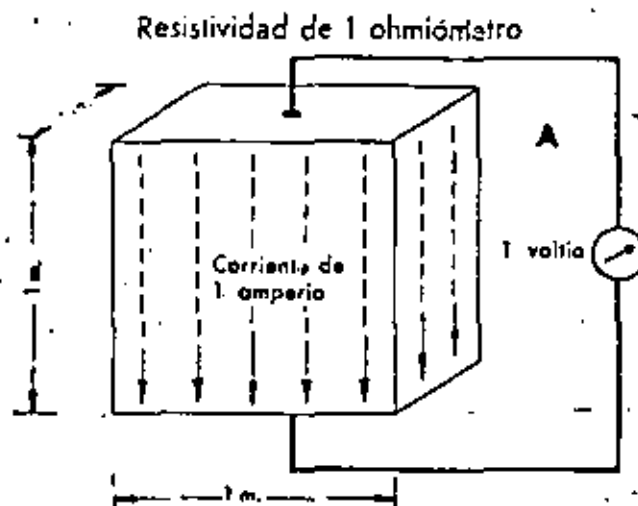
A = Area del conductor.

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:

ohm x $\frac{\text{metro}^2}{\text{metro}}$ 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,

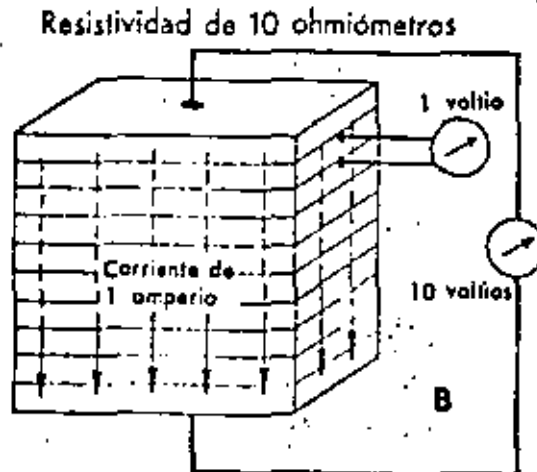


Si la diferencia de potencial entre los extremos del cubo, es de un volt y la intensidad de corriente es de un amperio, se tendrá representada la unidad de resistencia eléctrica: $\frac{1 \text{ volt}}{1 \text{ amperio}} = 1 \text{ ohm}$



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

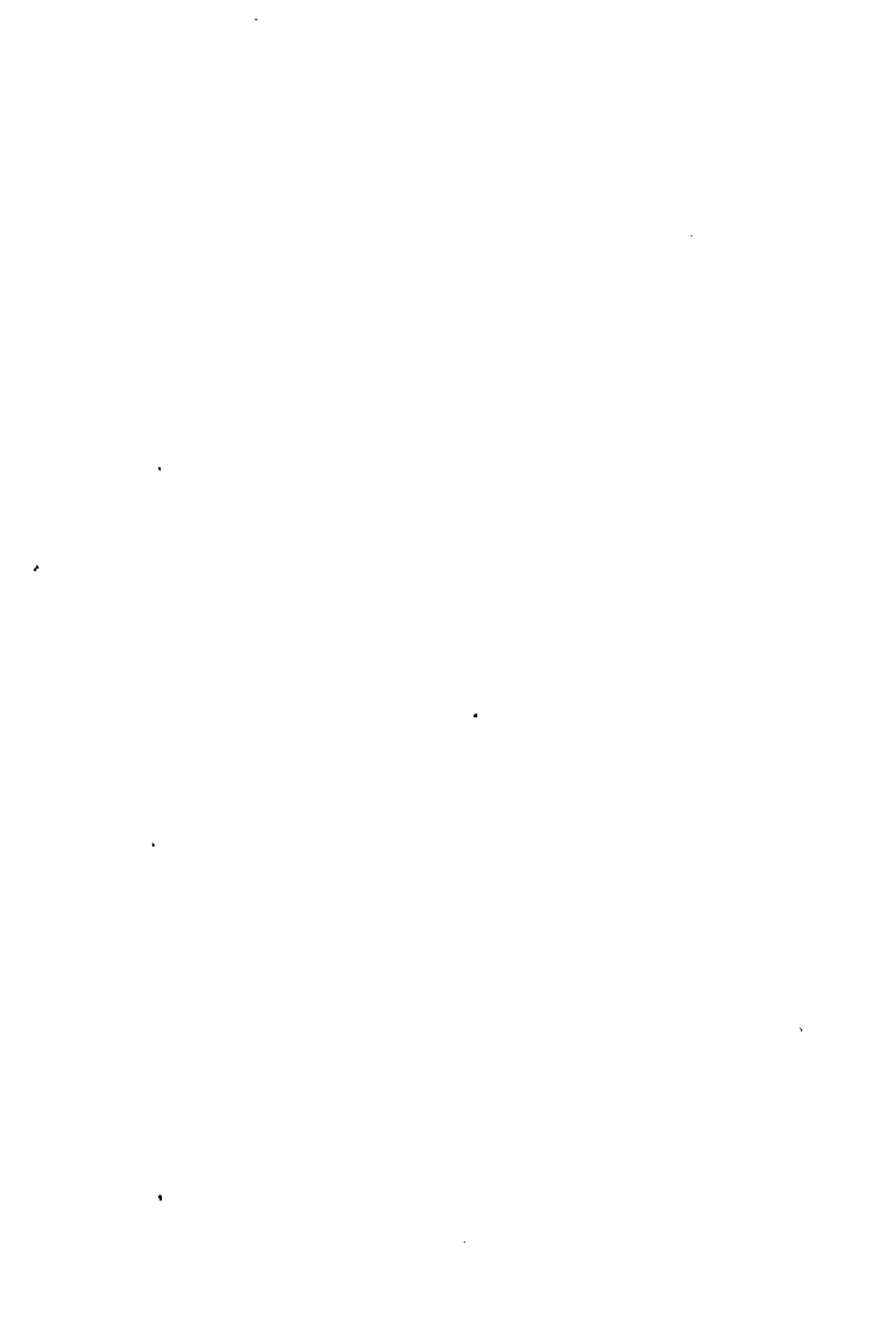
Si se tuviese el mismo volumen de roca y la misma corriente, pero una diferencia de potencial de 10 volts, la resistencia en tal caso será: $\frac{10 \text{ volts}}{1 \text{ ampere}} = 10 \text{ ohms}$ y la resistencia sería igual a: $10 \text{ ohms} \times \text{m}^2/\text{m}$, que puede expresarse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

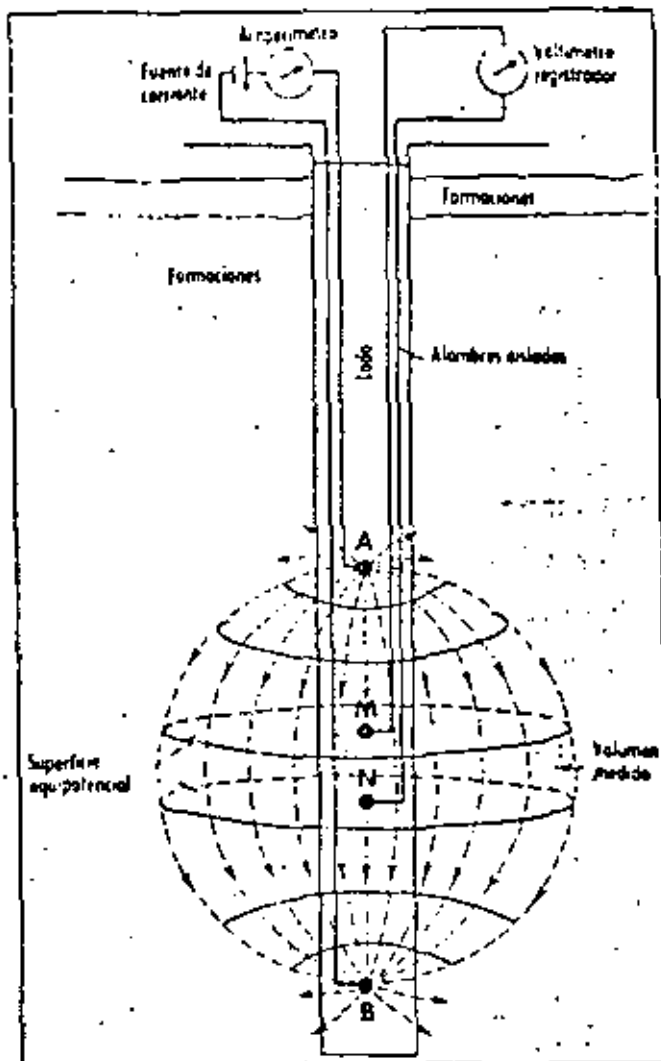


MEDICION DE LA RESISTIVIDAD EN EL POZO.— Para efectuar la medición de la resistividad en pozos, se pueden utilizar los registros convencionales de resistividad, en los cuales se envían corrientes a la formación a través de unos electrodos y se miden los potenciales eléctricos entre otros. La medición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



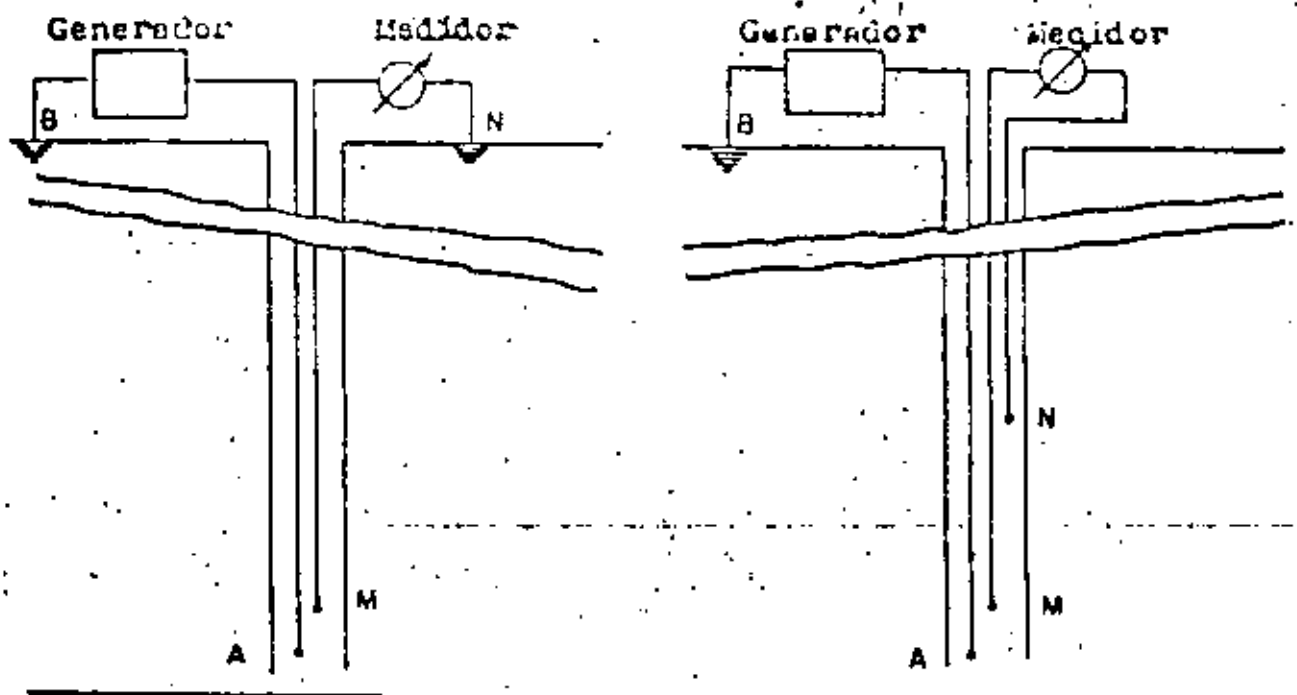


Los dispositivos usados para medir la resistividad, comúnmente llamados sondas, consisten fundamentalmente de un cable conductor múltiple que en el extremo que se introduce al pozo quedan dentro de un cilindro metálico, con orificios a ciertas distancias, en los cuales se localizan los electrodos. Con 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 ciertos arreglos la penetración de investigación es el doble del espaciamiento.

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

SONDA NORMAL.— El dispositivo conocido con éste nombre, típicamente lo integran un electrodo de corriente A y un electrodo de medida M dentro del pozo. Estos electrodos tienen una separación ó espaciamiento 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 sujetas 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 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 fue 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.



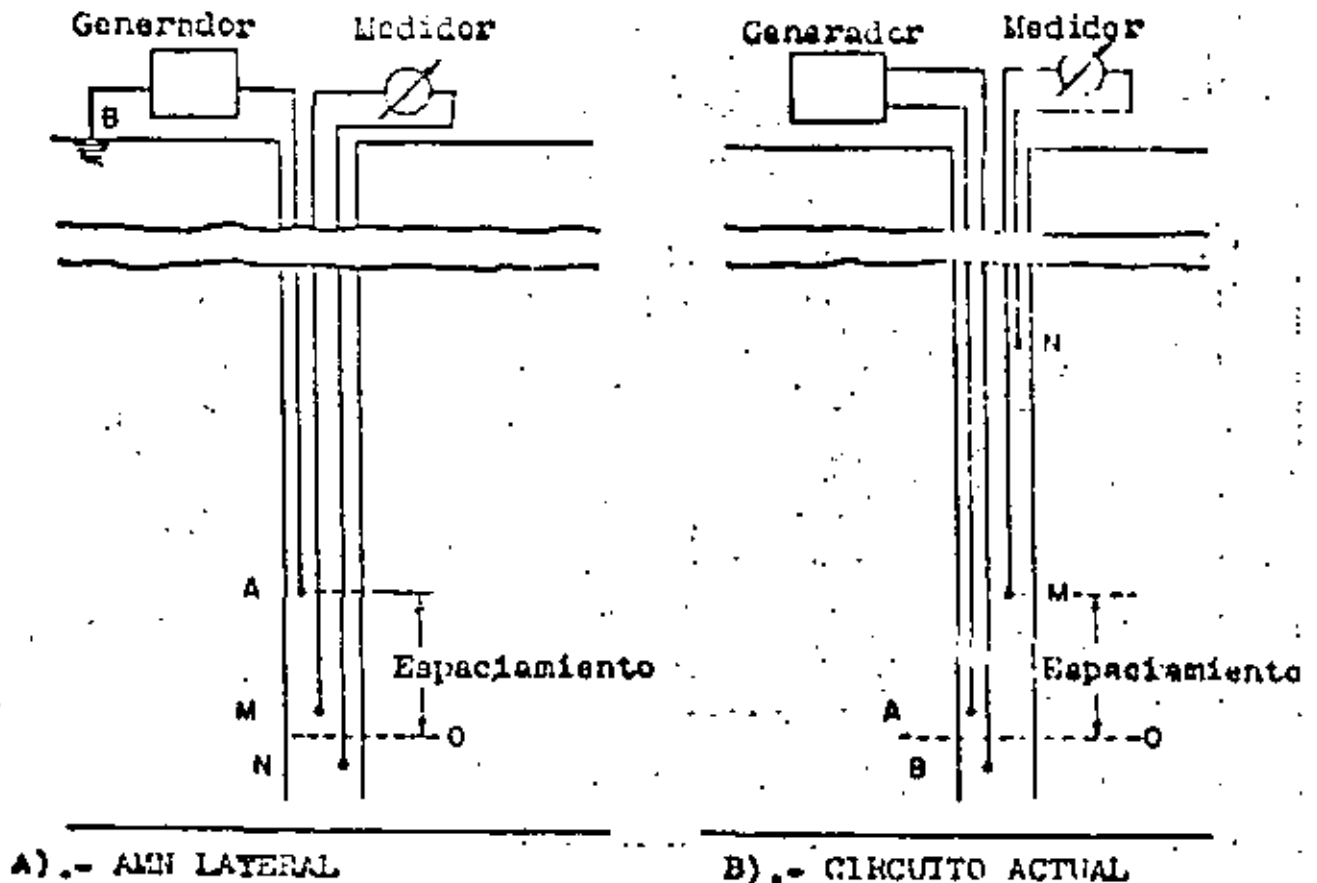


Figura 7

Aún cuando los efectos del agujero y de la zona invadida son despreciables en un espaciamento 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 espaciamento 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 ciertos casos e í como distorsión en determinados casos. Aún con estos inconvenientes, su uso en ocasiones es muy ventajoso.

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 acuíferos

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 volumen 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.

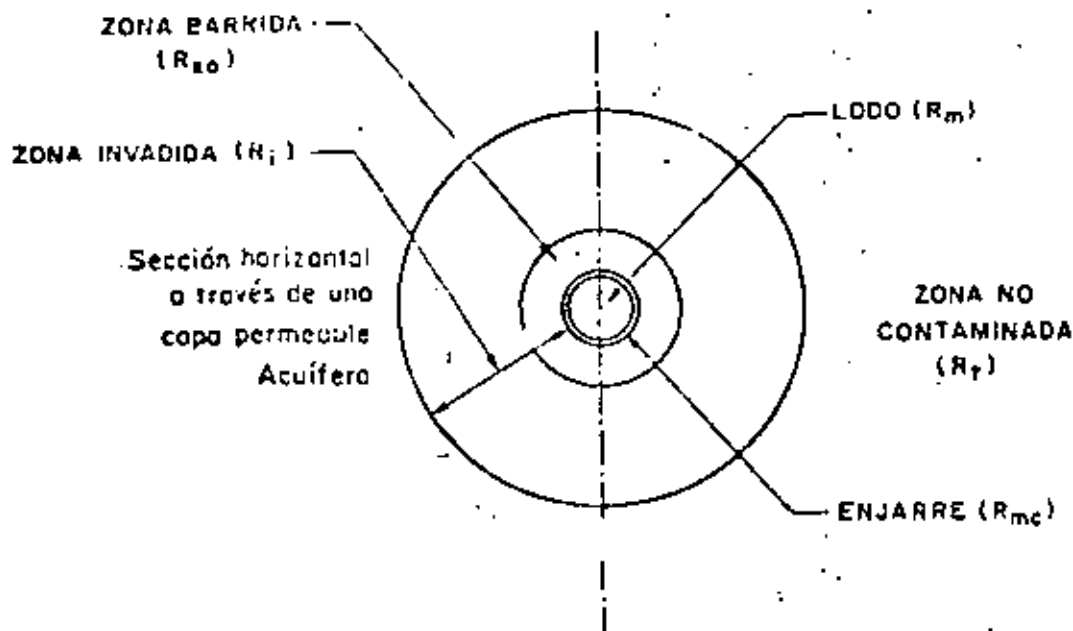
En los intervalos permeables atravesados, la presión del lodo hace que se forme una película con las partículas en suspensión y penetre en la roca agua constituyente del lodo, que recibe el nombre de filtrado del lodo. El agua ó filtrado del lodo que penetra en la formación permeable, puede ser de distinta 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 agua 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 será 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, lavas 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 reciban 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 agua ó baja salinidad, $k=6500$ 25°C.



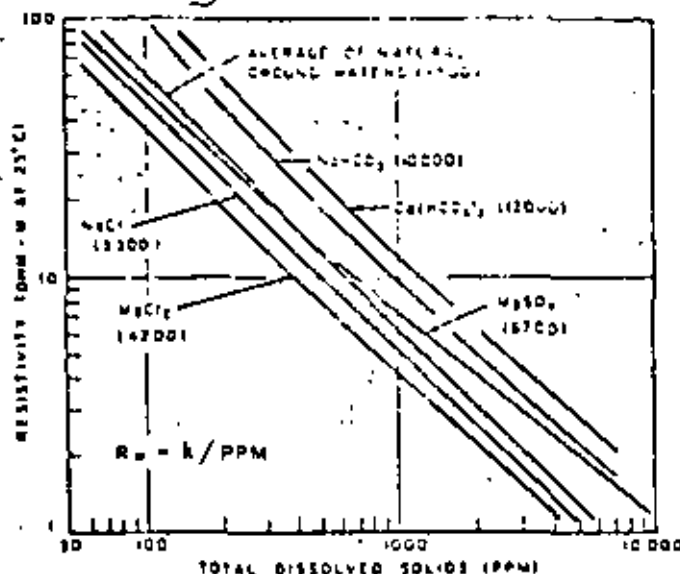


Fig. 1. Solution resistivity vs. total dissolved solids at 25°C. Figures in parenthesis are k values. (Arlie Agricultural Handbook 60, USDA).

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.

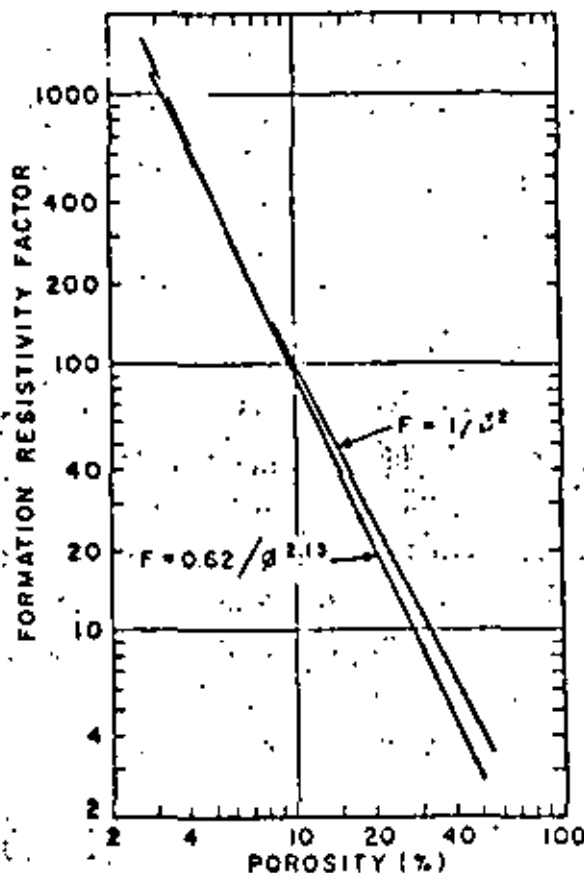
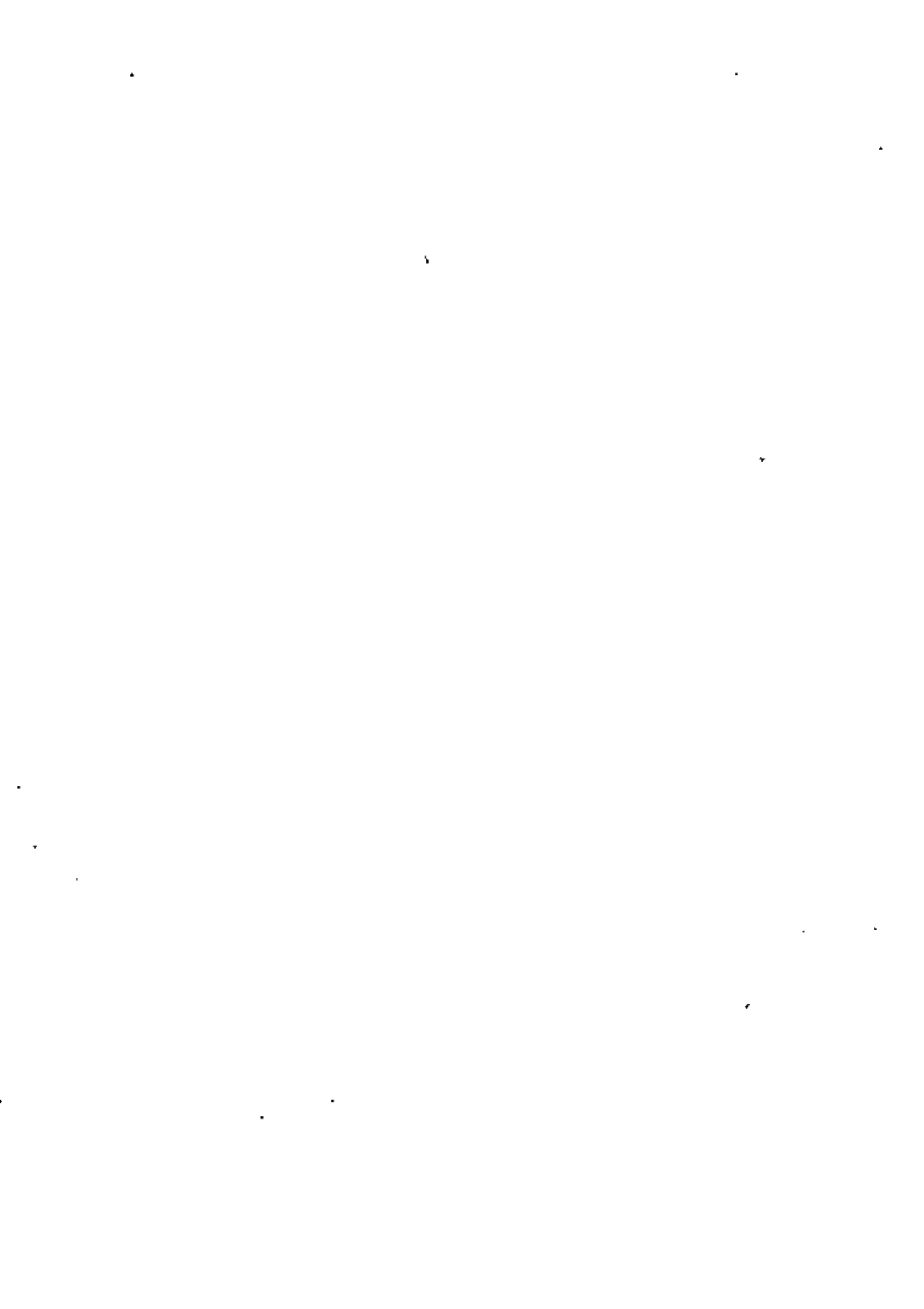


Fig. 2. Approximate formation resistivity factor vs. porosity for granular aquifers.



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

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

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 porcentaje del volumen 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 $\phi\text{hm-m}$. Los acuíferos de agua salobre y salada, de buena porosidad, tienen resistividades que son menores que los 50 $\phi\text{hm-m}$.

Los acuíferos no granulares, tienen una porosidad tan variable e irregularmente distribuida, que podría ser ilusorio buscar una expresión ó establecer una gráfica que relacione 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.

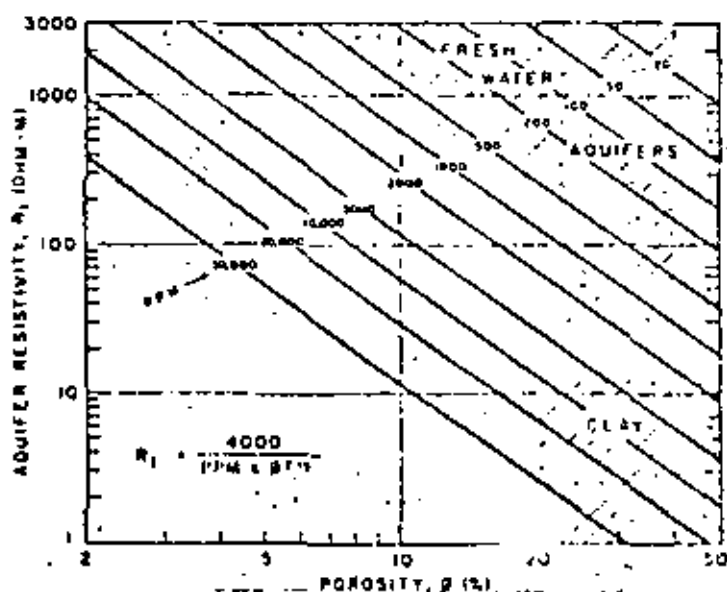


Fig. 3 - Approximate resistivity of granular aquifers vs. porosity for several water salinities.

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, \dots , 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 intercalación 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 fil-- trado del lodo.
- c).-- La resistividad con el espaciamiento largo, también tie-- ne valor alto, atribuible a la presencia de petróleo.

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

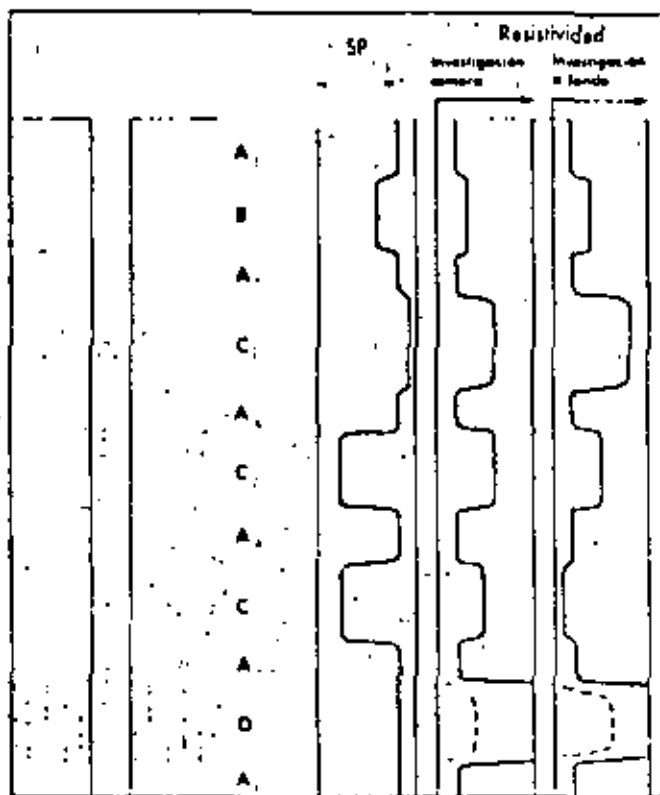
- a).-- El potencial muestra deflexión negativa amplia.
- b).-- La resistividad del espaciamiento corto, es alta, debi-- do al desplazamiento del agua salada por agua dulce del fil-- trado del lodo.
- c).-- La resistividad del espaciamiento largo es muy baja, -- por estar midiendo atrás de la zona lavada 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).- Altas 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.



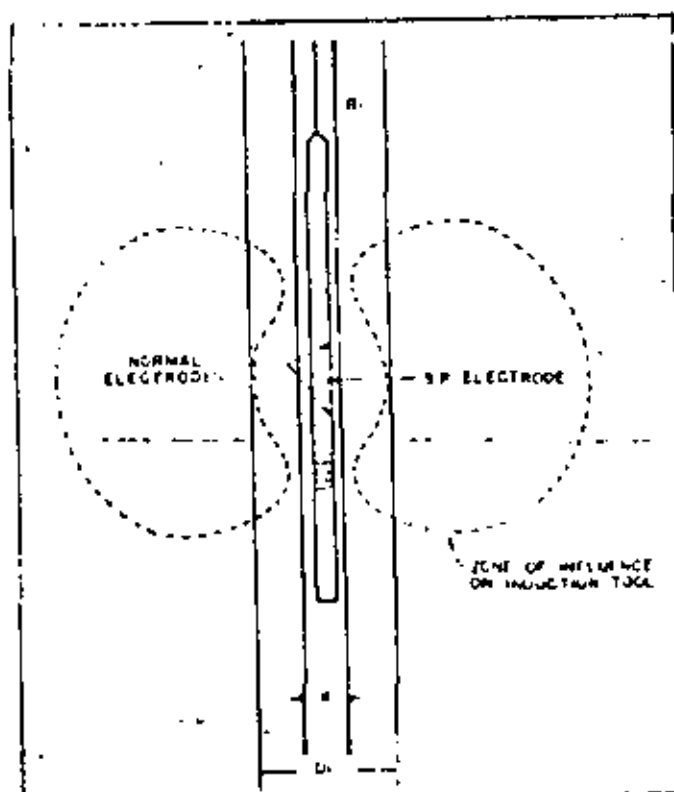
PRESENTACION ESQUEMATICA de las curvas típicas de los registros necesarios para establecer las reglas básicas de interpretación » 5

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.

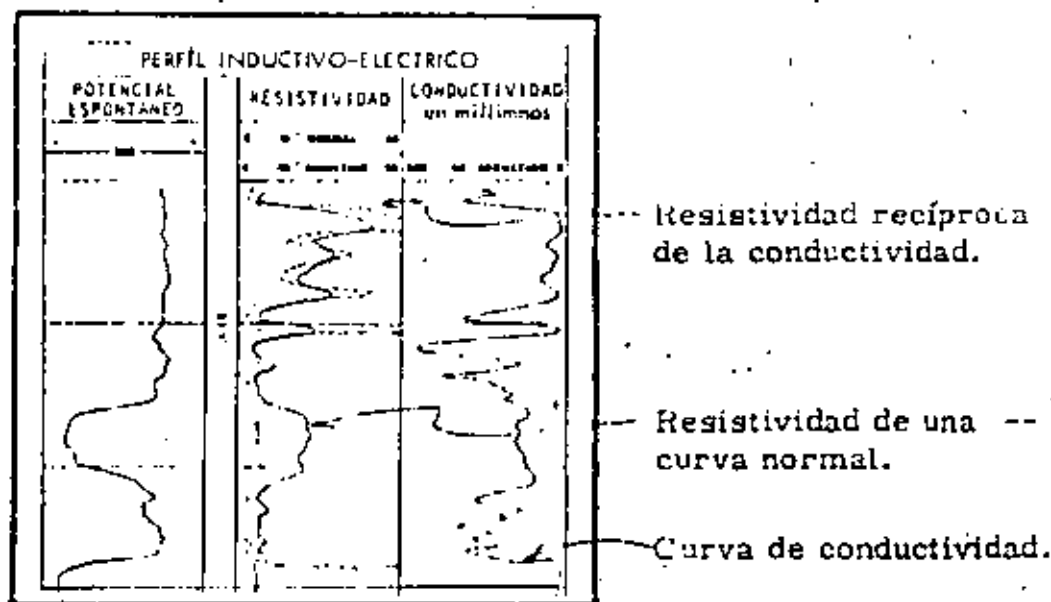
Las sondas de inducción tienen un grupo ó sistema de varias bobinas transmisoras y receptoras. En forma esquemática se puede ver en la figura siguiente una bobina transmisora que envía corriente alterna de alta frecuencia y de intensidad constante, generándose un campo magnético que induce corrientes 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 no 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 pulsera.

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 adernados, lo cual lo hace útil en operaciones de reconodicionamiento.

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.

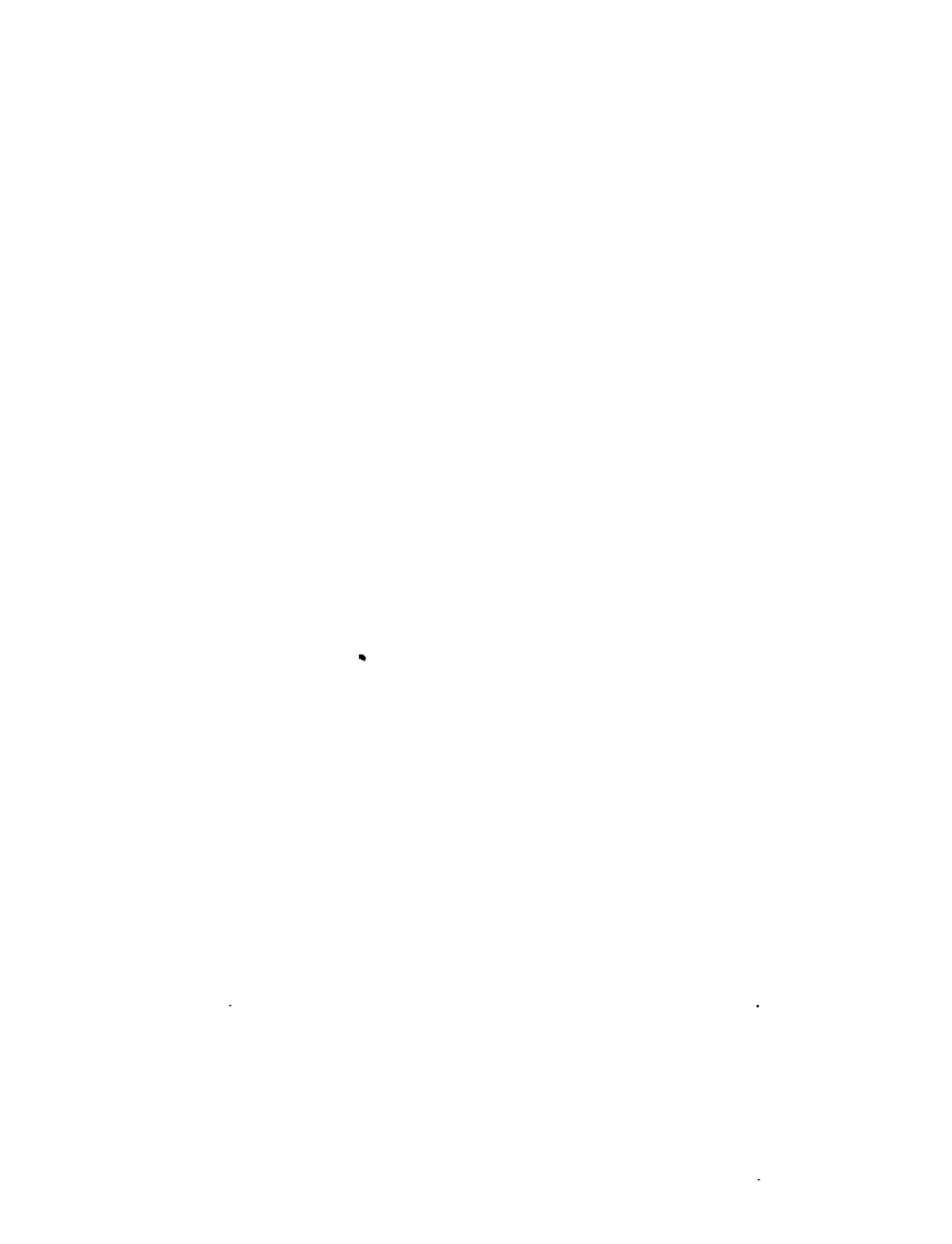
La energía de los rayos gamma emitida por las rocas sedimentarias, es variable, pero en promedio es de 1 Mev, aunque la emitida por el potasio tiene una energía de 1.5 Mev.

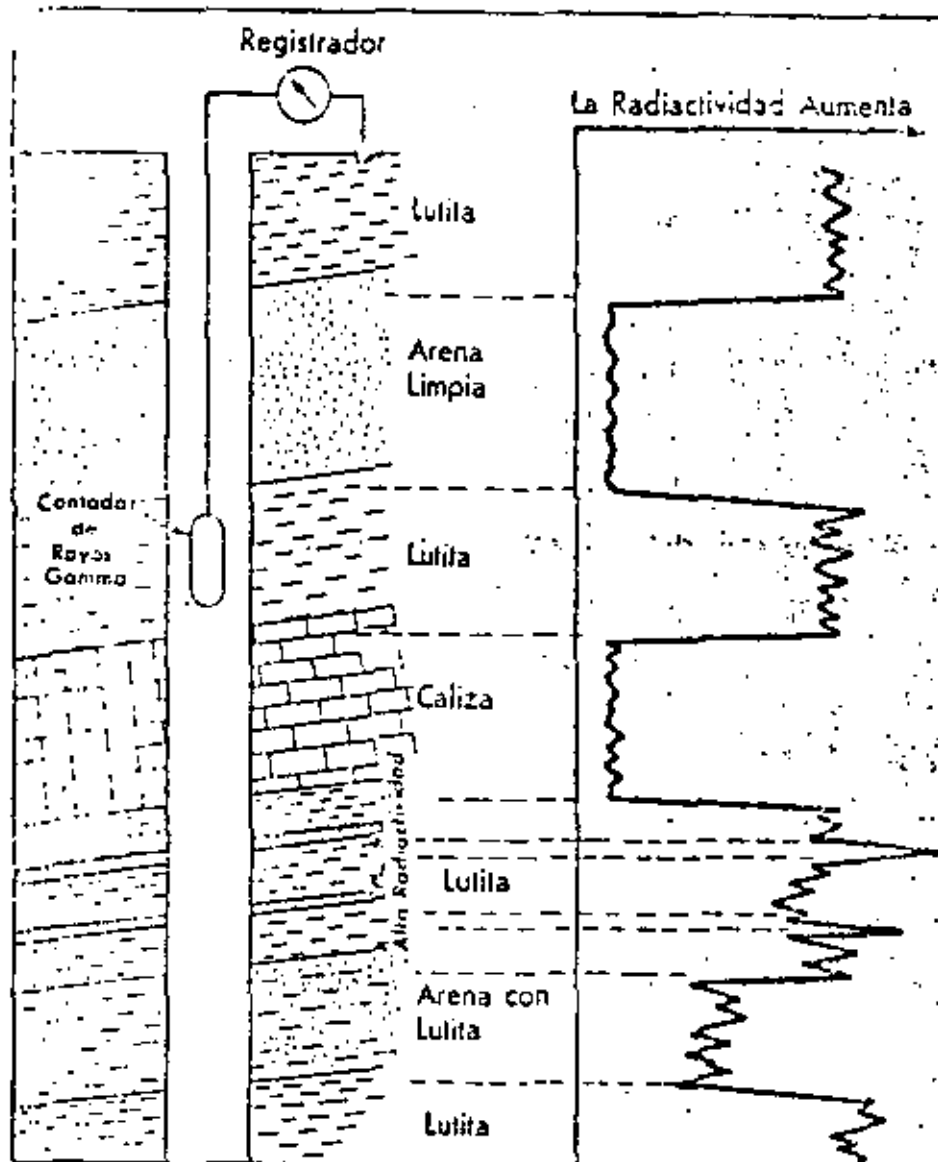
Los rayos gamma, que son ondas electromagnéticas como la luz y el calor, no paran su penetración en forma repentina, sino que declina gradualmente con la distancia. En general se puede decir que la distancia investigada por el registro de rayos gamma es de aproximadamente 30 centímetros en acuíferos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

La radioactividad total según la muestra el detector, se puede expresar en términos del peso de un elemento (radio por ejemplo) que produce 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 píe durante una constante de tiempo. Así por ejemplo para una constante de tiempo de 2 segundos, la velocidad de registro es de 1800 píes/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. Lucin.

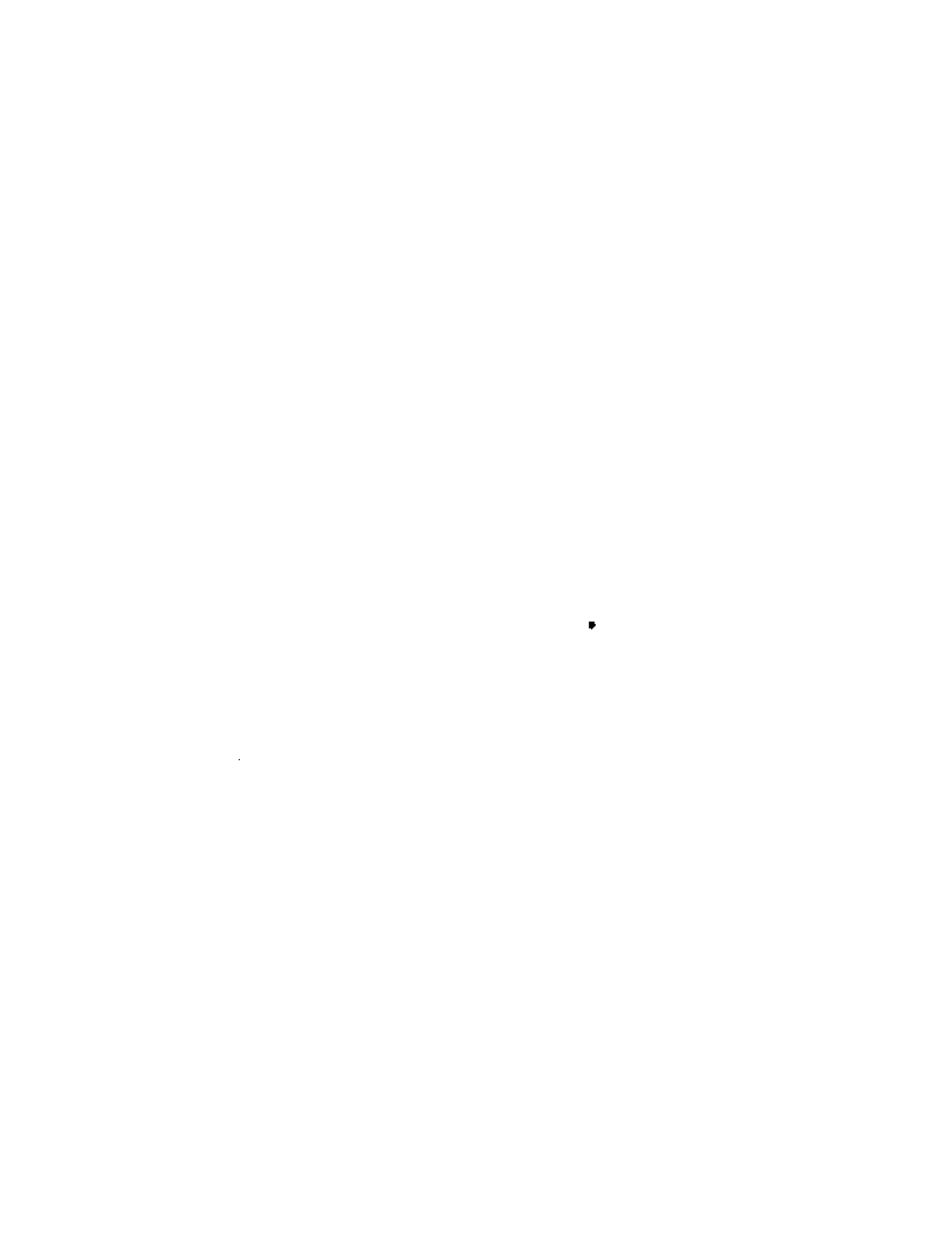
¿ Qué es Perfilaje de Pozos?
Artículos publicados de junio a diciembre de 1962. Petróleo Interamericano.

F.C. Hamilton and J.I. Kyung.

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

EL USO Y LA APLICACION DE TRAZADORES PARA AGUA SUBTERRANEA

Ing. Juan Manuel Lesser Illades

Junio, 1981



EL USO Y LA APLICACION DE TRAZADORES DE AGUA SUBTERRANEA

Por: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES

RESUMEN

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 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 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 fluoriceínas, sales espumas 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 fluoriceína de sodio que presenta un color naranja en soluciones concentra

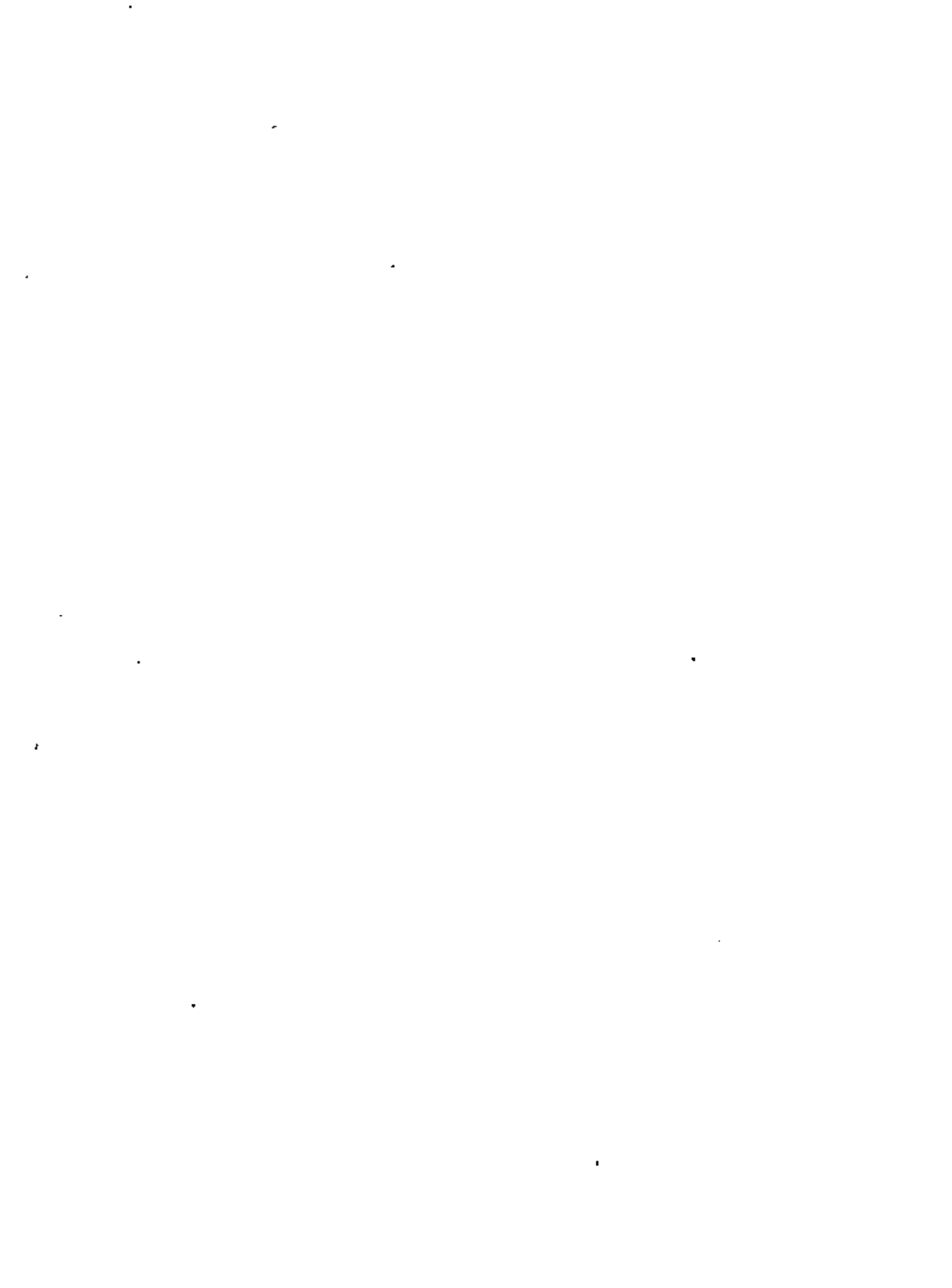


das (mas de 1 ppm), que cambia a verde-amarillento al ser diluida. La intensidad de fluorescencia depende del pH. En la figura 1, se muestra la relación entre el pH y la intensidad de fluorescencia de la uranina. En aguas muy ácidas, pierde su fluorescencia pero este proceso es reversible, pudiendo recobrarla 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 fluoriceína. 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-



lón y su concentración medida posteriormente.

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 diluido 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.

ROSINA. - 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 visible 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 sustancia compuesta por ocho partes de N-N Dimetilformadín (DMF) y dos de agua destilada.

Al utilizarse junto con rhodamina FB o uranina, se producen interferencias por lo que su aplicación conjunta es limitada.

ANTHROBODANTHA G EXTRA. - Conocida anteriormente como sulfoboda

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.

SYNOPSIS 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 dimetilformadina (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/m^3 , 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. Kacs. en H. Batsche et. al., 1970), donde después de 4 días, se encontró en uno de los manantiales de observación un incremento de cloruros de solo 39 ppm.

Los grandes volúmenes de trazador requeridos mediante es



te método, hacen que su uso sea limitado. La ventaja consiste en que pueden efectuarse determinaciones cuantitativas.

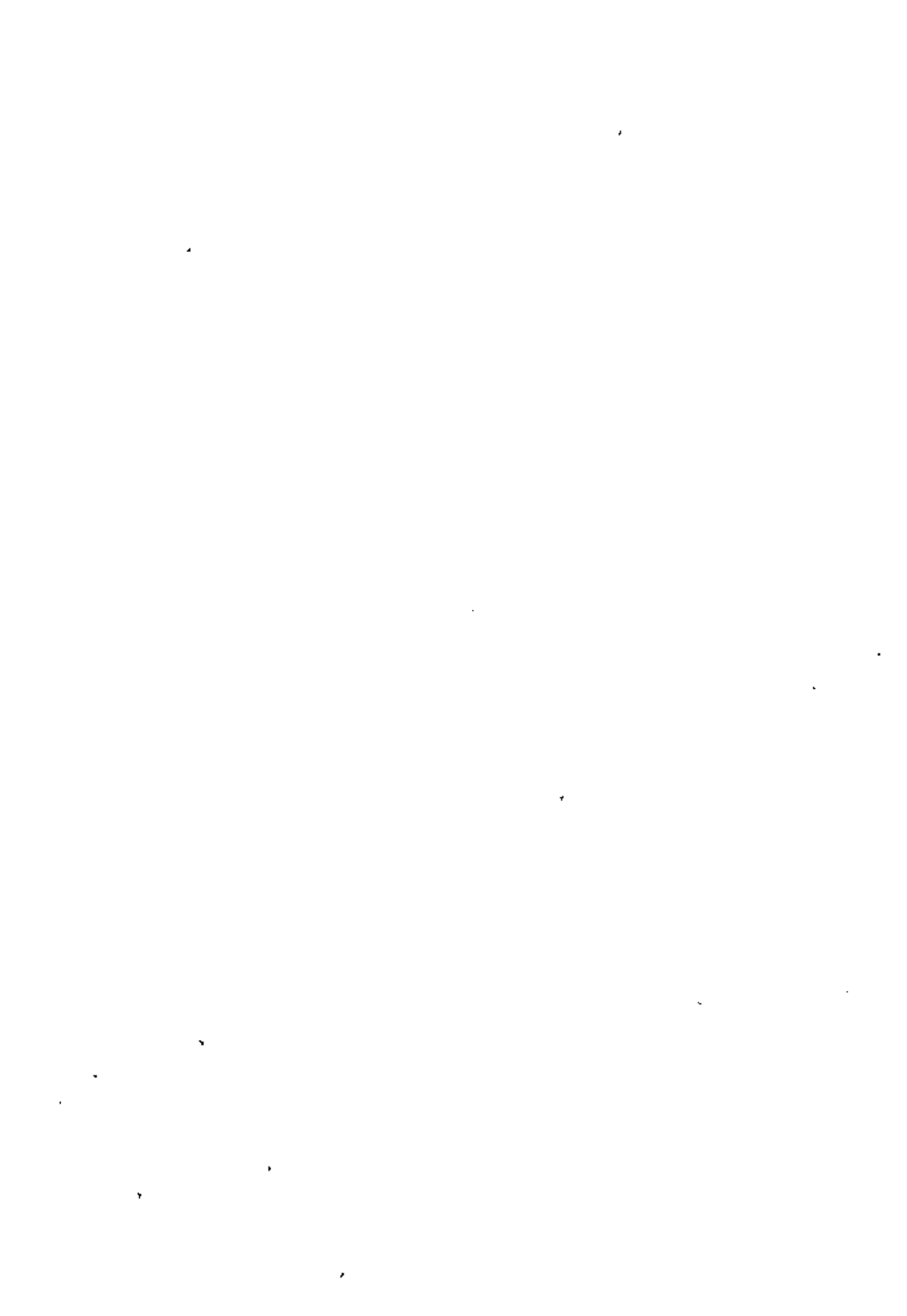
EJEMPLO SOBRE LA APLICACION DE SALES

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 fluorocina (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.



13

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 isósceles con la 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 10

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 O 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:

$$\delta D = \frac{(D/H)_{\text{MUESTRA}} - (D/H)_{\text{SNOW}}^*}{(D/H)_{\text{SNOW}}} \times 1000$$

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 1952, 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 100 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, comienza 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 ha



ne más de 20,000 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: fluoriceínas, 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 fluoriceínas, 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 sencillo, 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.



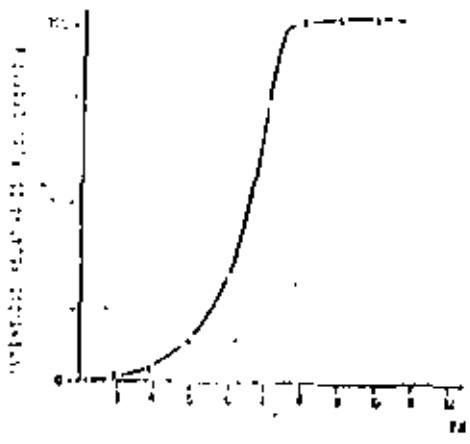


FIGURA 1

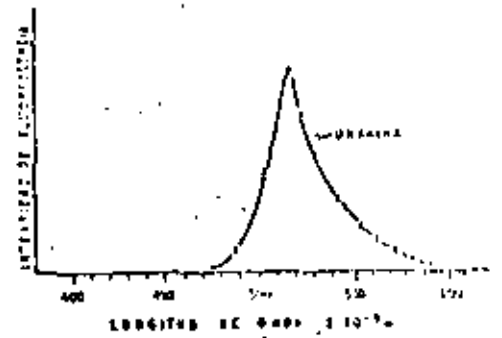


FIGURA 2

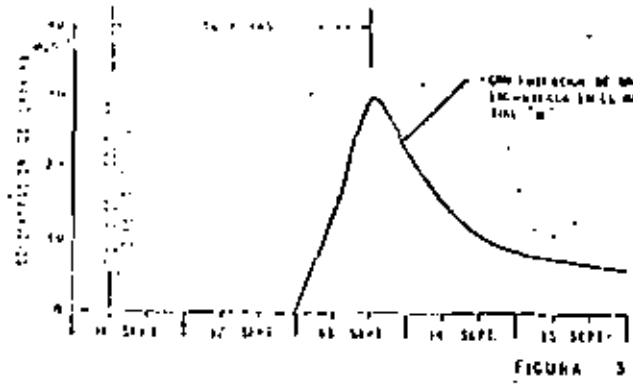


FIGURA 3

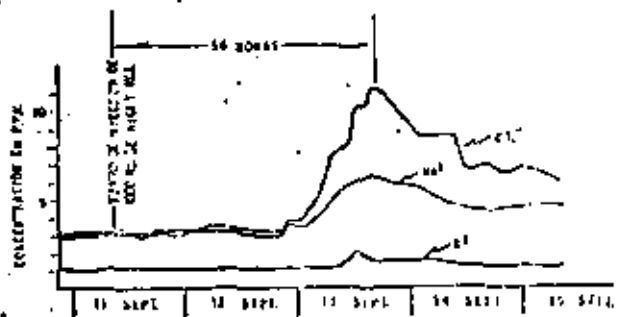
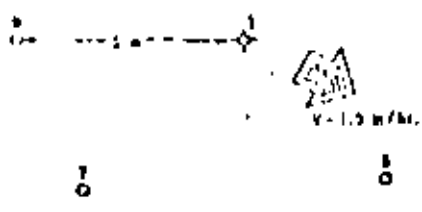


FIGURA 4



EXPLICACION

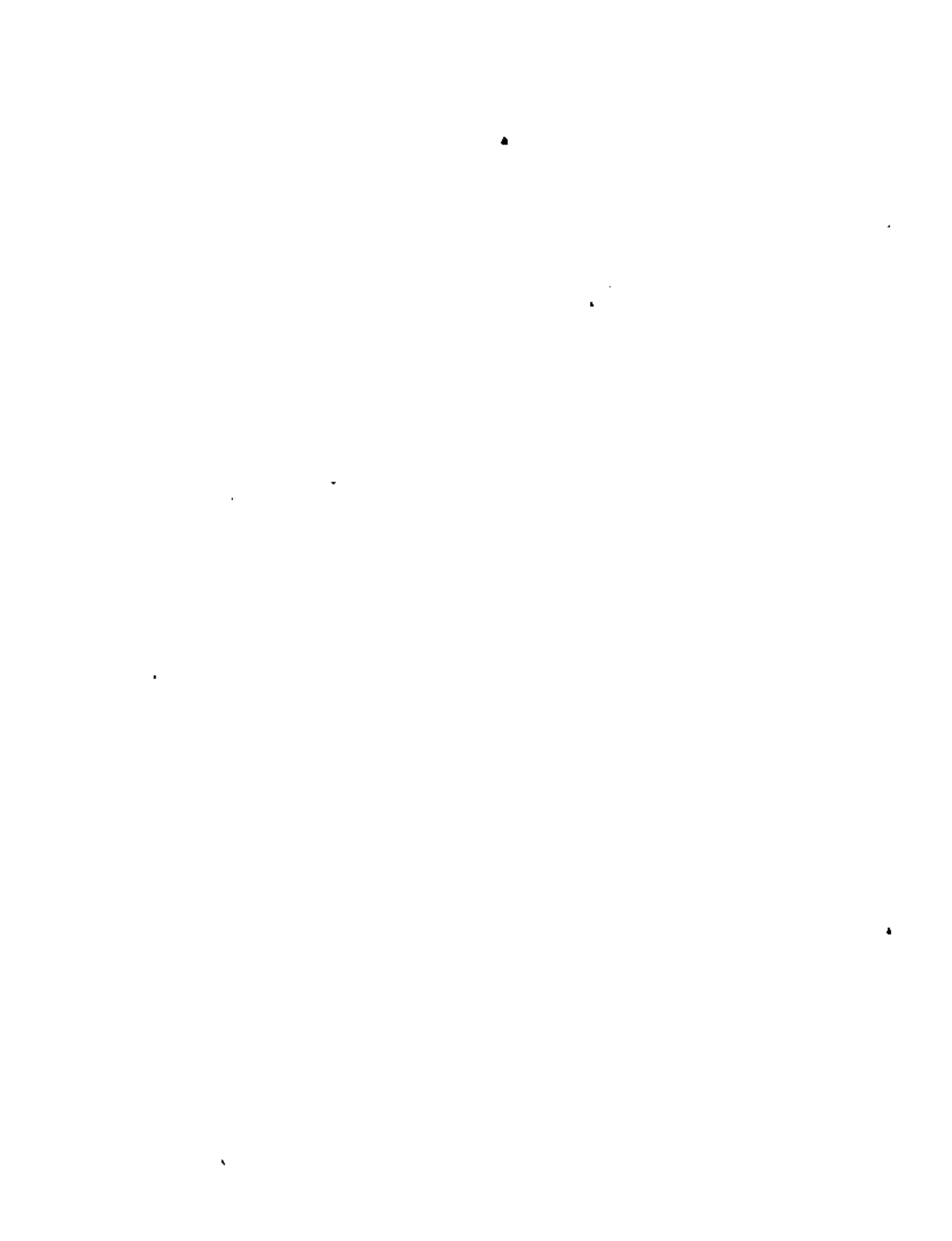
- 1. PUNTO DE MUESTREO
- 2. PUNTO DE MUESTREO
- 3. PUNTO DE MUESTREO
- 4. PUNTO DE MUESTREO

$r = \frac{1}{2}$
 $d = 5$ metros
 $t = 180$ minutos



FIG 5

FIGURA No. 4



REFERENCES

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 County 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".

Danngård U., 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-Spores" 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, B., 1965, "Salt Water Intrusion can be Controlled", - Florida Board of Conservation, Division of Geology.

Payne H.P., 1975 "Isotope Hydrology" International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.



Piper, A.H., 1946. "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. Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters.

Suelos Salinos y Sódicos, 1954 Manual de Agricultura No. 60 - Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América.

Todd, David K, 1959, Ground Water Hydrology, John Wiley and Sons, pp 177.

Water Quality Criteria, 1972, Report of the National Technical Advisory Committee 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.

Zobl 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

TECNICAS DE PERFORACION

Junio, 1981



TEMA: TECNICAS DE PERFORACION

SISTEMA ROTATORIO CIRCULACION DIRECTA Lodos de Perforacion PESCAS.

La tecnología de perforación de pozos, para la exploración y explotación de los recursos naturales yacientes en el subsuelo, tiene como principal objetivo restablecer el equilibrio mecánico y fisicoquímico que es alterado en las rocas cuando son perforadas, por los diferentes sistemas mecánicos de perforación.

Uno de los sistemas más desarrollados en la actualidad es el "rotatorio de circulación directa", con el cual se ha logrado la construcción de pozos de profundidades superiores a 6 000 metros y por la versatilidad del sistema, se construyeron máquinas con una gran variedad de tamaños y capacidades.

La construcción de los equipos de perforación se ha venido mejorando para aprovechar los grandes avances tecnológicos obtenidos en la fabricación de barrenas del tipo tricónico con toberas y sus mecanismos se diseñan para lograr mejores avances en la penetración de las barrenas tricónicas así como para mejorar la calidad de la construcción de los pozos.

En esta breve exposición, el tema acerca del sistema rotatorio se subdivide en seis partes, las cuales se describen en forma resumida y serán tratados en forma más amplia, pero objetiva, durante el desarrollo de la conferencia, con la ayuda de proyecciones gráficas. La subdivisión se hace de acuerdo a las condiciones mecánicas del sistema y por su importancia, a continuación se enumeran:

- 1.- Diseño de barrenas tricónicas con toberas .
- 2.- Presiones de bombeo del fluido de circulación.
- 3.- Uso de lastrabarrenas y estabilizadores.
- 4.- Sistema rotatorio.
- 5.- Fluidos de perforación
- 6.- Avances óptimos

1.- DISEÑO DE BARRENAS CON TOBERAS.

La barrena de tres conos es el elemento cortante y de penetración en las rocas perforadas; sus diseños en la actualidad presentan conos fabricados con dientes cuyas formas, acomodo y calidad de acero, penetran con mayor facilidad en las diferentes durezas de las rocas; los bujeros que soportan estos conos, se construyen para soportar grandes cargas en un sistema de rotación continuo. Por otra parte, el acomodo y el sistema de toberas se ha diseñado para obtener la máxima eficiencia hidráulica del sistema de bombeo, para obtener una limpieza del fondo de los pozos perforados, casi instantánea.



2.- PRESIONES DE BOMBEO DEL FLUIDO DE PERFORACION.

Las bombas de pistón horizontal reciprocante de doble y triple acción, son las que logran los mejores caudales a las presiones requeridas en los diferentes programas de perforación; el sistema de bombeo se calcula para absorber todas las pérdidas de presión superficiales y de profundidad, con el avance de los pozos, de manera que el cálculo hidráulico busca que la mayor parte de la presión obtenida sea aplicada en la salida de las toberas, para lograr los objetivos de limpieza del fondo del pozo, así como la expulsión al exterior de los detritus cortados, por medio de la más alta velocidad en el espacio anular. Los equipos de bombeo en si se diseñan para aprovechar al máximo la potencia mecánica.

3.- USO DE LASTRABARRENAS Y ESTABILIZADORES.

El empuje mecánico sobre los elementos cortantes lo da el peso de los lastrabarrenas que actúa directamente sobre las barrenas; este empuje es deseable que sea simétrico o sea que la resultante de la sarta de perforación actúe en el eje central que por diseño tienen las barrenas. Para obtener esta simetría, se han diseñado diversos tipos de estabilizadores que, además de mantener las cargas simétricamente, mantienen los pozos en la línea hacia la vertical, así también facilitan que las sargas de perforación se sometan únicamente a esfuerzos de tensión.

4.- SISTEMA ROTATORIO.

La dinámica en la barrena se obtiene por medio de un sistema de rotación continuo que, en combinación con el peso de la "sarta", logran la ruptura de las rocas perforadas; esta rotación continua está gobernada por la dureza de las formaciones geológicas. Por diseño a cada tipo de barrena tricónica se le aplica un número de revoluciones por minuto que puede variar con el peso de los lastrabarrenas aplicado. Los equipos de perforación tienen dispositivos para obtener diferentes velocidades que soporten los esfuerzos de torsión que se crean al rotar todo el conjunto de la "sarta".

5.- FLUIDOS DE PERFORACION

La máxima eficiencia en la circulación de fluidos de perforación se obtiene con el AIRE, en segundo lugar con el AGUA; sin embargo, no en todos los casos se pueden utilizar algunos de estos dos fluidos, teniéndose que recurrir a los LODOS DE PERFORACION que han desarrollado una tecnología avanzada para restablecer el equilibrio fisicoquímico que se altera durante la perforación de pozos. Los lodos de perforación pueden ser variados en sus propiedades fisicoquímicas de densidad, viscosidad, gelatinidad, P.H.; así también sus componentes sólidos y líquidos por medio de emulsiones, que en forma adecuada, restituyen las condiciones de equilibrio dentro del pozo y en sus inmediaciones.

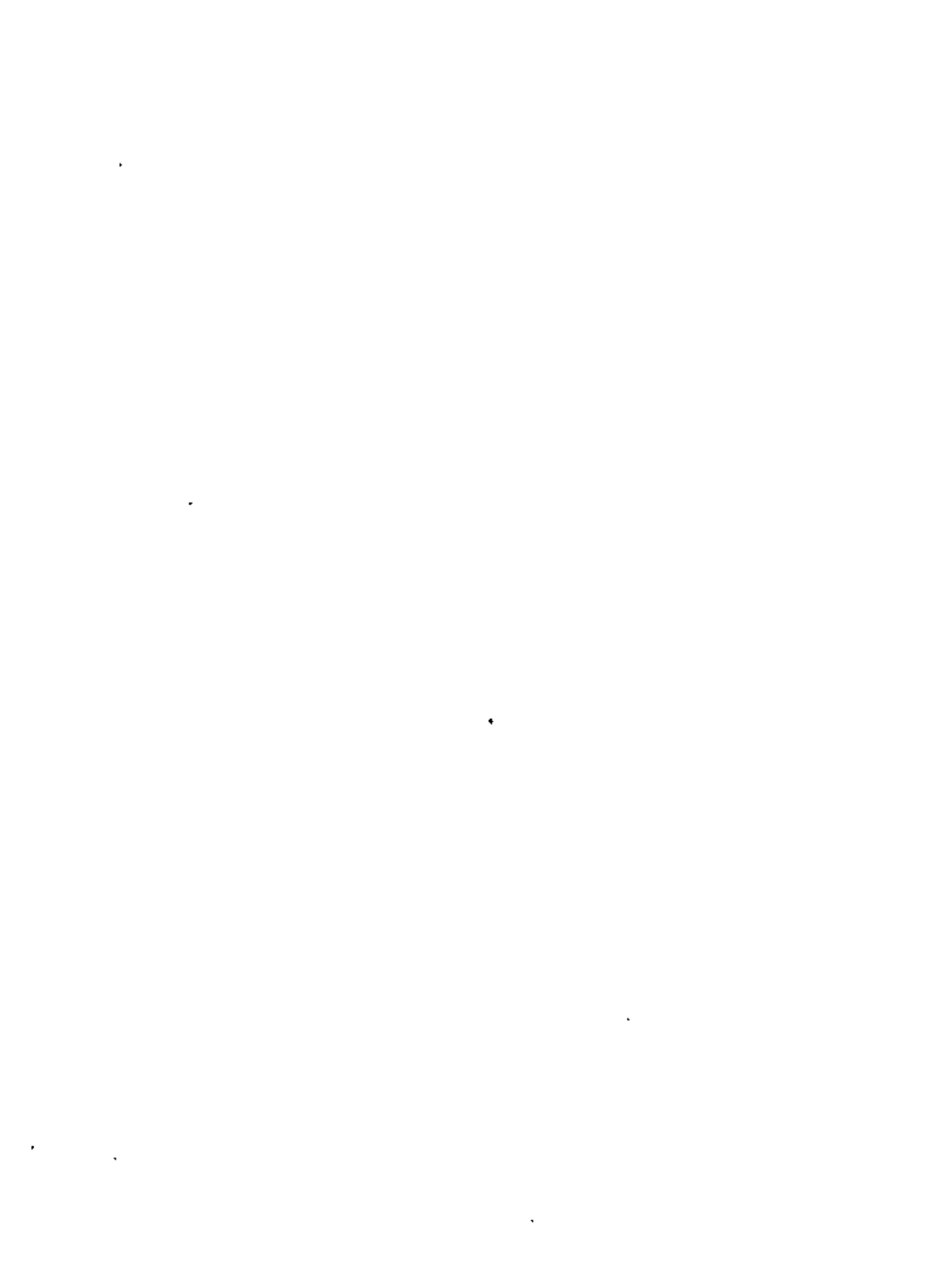


6.- AVANCES OPTIMOS.

El avance óptimo medido en metros por hora, con una reducción de costos, se presenta en forma idealizada; la gráfica idealizada se trata con parámetros de perforación de una barrena de tipo adocua do al tipo de formación geológica, operada con un programa hidráulico óptimo y con un trabajo mecánico de peso sobre barrena y revoluciones por minuto máximas, así como con un lodo de propiedades fisicoquímicas que también es óptimo y constante.

PESCAS.

Las operaciones de pesca son accidentes mecánicos, indeseables desde todos los puntos de vista; sin embargo, y a pesar de que hay medidas de prevención, son inevitables, por esta razón: se ha desarrollado una tecnología avanzada para resolver los problemas de pescas que casi se particularizan en cada caso. Por esta razón, de su origen, solución y prevención, se presenta objetivamente un bosquejo general.





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

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

PERFORABILIDAD DE LAS ROCAS

Ing. José Luis Sánchez Lazcano

Junio, 1981

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions and activities. It emphasizes the need for transparency and accountability in financial reporting.

2. Financial Reporting

The second section details the various methods used to collect and analyze financial data. It includes a discussion on the use of statistical models and data visualization techniques to identify trends and anomalies. The text also covers the importance of regular audits and the role of external auditors in ensuring the integrity of the financial statements.

3. Risk Management

The third section focuses on the identification and mitigation of risks. It describes the various types of risks, including market, credit, and operational risks, and provides strategies for managing each. The text also discusses the importance of having a robust risk management framework in place to ensure that the organization is able to respond effectively to any potential threats.

4. Conclusion

In conclusion, the document highlights the critical role of financial reporting and risk management in the success of any organization. It stresses the need for a proactive and data-driven approach to these areas, and provides a clear framework for implementing best practices. The text also notes that ongoing monitoring and evaluation are essential to ensure that the organization remains resilient in the face of changing market conditions.

TECNICAS DE PERFORACION

PERFORABILIDAD DE LAS ROCAS

La perforabilidad de las rocas es un término demasiado vago o ambiguo y no existen unidades para medirla en términos absolutos, y tal vez pudiera afirmarse que tampoco puede definirse con exactitud en términos relativos.

La perforabilidad de las rocas como va a tratarse en el curso de esta plática, se define como la inversa de la resistencia de una roca a ser perforada, estando esta resistencia relacionada no solamente con la composición de las rocas, a sus características y propiedades físicas sino muy especialmente a las condiciones en que las rocas se encuentran en el fondo de una perforación, condiciones que prácticamente es imposible duplicar en el laboratorio.

La mayor o menor perforabilidad de las rocas se percibe en los trabajos reales de perforación, en forma relativa y con un gran número de condiciones dadas, por el "avance" de la barrena en determinado tiempo, o lo que es lo mismo, por la "velocidad de penetración", o por el "rendimiento".

Se sabe que este "avance", "penetración" o "rendimiento" está influenciado por más de 40 variables, algunas de las cuales pueden ser relacio-

nadas en el laboratorio donde las condiciones pueden controlarse, pero la mayoría tiene que relacionarse en el campo, en los trabajos reales de perforación, los cuales están a su vez afectados por circunstancias muy ajenas a la investigación de los diversos parámetros que intervienen en la perforación. Por lo anterior puede decirse que los mayores conocimientos y experiencia provienen de la perforación para la industria petrolera, en la cual no existe, o existe en menor grado la severa presión económica a que está sujeta nuestra industria de perforación somera, principalmente para pozos de agua y minería que no permite llevar a cabo trabajos de investigación. De esta forma observamos que los mayores avances en la tecnología de nuestra perforación somera, ya sea en herramientas, barrenas, equipos, fluidos de perforación, etc., son transferencias y adaptaciones de la tecnología petrolera con una gran diferencia de tiempo en nuestra contra, y es a nosotros los técnicos de la perforación a quienes corresponde hacer llegar al perforador práctico en el campo, lo antes posible, los conocimientos o enseñanzas que le ayuden a desempeñar mejor su cometido.

Entre el gran número de variables que intervienen en la perforación, indudablemente se encuentran las que se refieren a las características y propiedades físicas de las rocas por lo que nos referiremos brevemente a las principales y a su intervención e influencia en la perforabilidad con herramientas del tipo rotatorio y cortadores rodantes en el fondo de la perforación.

Las propiedades de las rocas a que haremos referencia son las siguientes:

1. - Dureza.
2. - Estructura mecánica y tipo de fractura.
3. - Plasticidad.
4. - Resistencia a la compresión y al aplastamiento.
5. - Resistencia a la tensión.
6. - Resistencia al esfuerzo cortante.
7. - Porosidad.

1. - Dureza. - La escala mas usada para describir esta propiedad de las rocas es la propuesta por Mohs. En esta escala numerada del 1 al 10 la roca más dura en la escala ascendente raspará a las rocas más suaves - aún a la inmediata en la escala descendente. Se transcribe esta escala - como una mera referencia util:

1. - Talco.
2. - Yeso.
3. - Calcita.
4. - Fluorita.
5. - Apatita.
6. - Feldespato ortoclasa.
7. - Cuarzo.
8. - Topacio.
9. - Corindón (zafiro)
10. - Diamante.

El acero usado en barrenas de dientes corresponde a una dureza entre 6 y 7 y el carburo de tungsteno, muy usado en barrenas modernas corresponde a una dureza variable entre 8 y 9.

El efecto de la dureza de una roca en la velocidad de perforación está grandemente afectado por otras propiedades, de tal manera que no se ha obtenido una correlación directa de esta propiedad por sí misma con la perforabilidad. Por otra parte, las rocas muy raramente están compuestas de un solo mineral, y este hecho en sí mismo haría tal correlación muy difícil aún sin contar con otros factores involucrados.

En general, la dureza de la roca que se perfora determina la acción abrasiva a que está expuesta la barrena, tanto sus cortadores o conos, como a la propia estructura rodante cualquiera que esta sea y por consiguiente afectará la vida útil de la herramienta.

2.- Estructura mecánica y tipo de fractura. - Las rocas, al igual que otros materiales, pueden ser descritos como quebradizos, o tenaces, o fibrosos, o de acuerdo a variaciones de grado de estas propiedades combinadas. Como un ejemplo tenemos vidrios volcánicos masivos, (obsidiana) extremadamente duros, los cuales cuando son quebradizos se perforan a razón de varios metros por hora. Lo mismo puede decirse de algunas rocas que exhiben fractura concoidal, lo cual facilita la perforación a condición de que se aplique suficiente peso o impacto por medio de la barrena de perforación. Sin embargo, cuando minerales de este tipo como la sílice se encuentran diseminados en partículas pequeñas, venillas o nodulos en una matriz de roca caliza, se tiene una de las formaciones mas di

fáciles de perforar en cuanto a "avance" se refiere. No debemos olvidar que las condiciones de confinamiento en que estas formaciones se encuentran en el fondo del pozo cambian su comportamiento al ataque de la barra na.

Formaciones como las descritas aparecen como quebradizas fácilmente pulverizables si pequeñas porciones o pedazos se sujetan a ligeros golpes de martillo.

Las características de fractura de las lutitas, y por tanto su perforabilidad, varían muy ampliamente, especialmente con la profundidad.

3. - Plasticidad. - Como propiedad de una roca la plasticidad puede tomarse como opuesta a lo quebradizo. La plasticidad se presenta en la perforación somera en todas sus gradaciones. Desde las formaciones que no exhiben plasticidad alguna hasta las arcillas extremadamente suaves y pegajosas que no son capaces por sí mismas de soportar el peso de las formaciones que se encuentran por encima de ellas, por lo que una vez perforadas o penetradas, se cierran y fluyen sobre el agujero disminuyendo el diámetro, pese a que se repasen una y otra vez. Este es un claro ejemplo de lo vago que es el término "perforabilidad", pues en este caso la resistencia de la arcilla suave a la perforación, propiamente dicha es muy baja, se emplea poca energía para penetrarla, y podría clasificarse como de alta o fácil perforabilidad. No obstante, los avances reales, los rendimientos efectivos en metros por hora o por día son muy bajos aún cuando se utilicen técnicas de todos muy especiales y costosas. En muchas ocasiones los avances reales en arcillas excesivamente plásticas son comparables o inferiores a-

los que se obtienen en rocas ígneas o metamórficas cuya perforabilidad es muy baja.

Siendo el anterior un caso extremo, puede decirse, en general que las rocas y formaciones que tienen cierto grado de plasticidad, representado en términos generales por moderados contenidos de arcilla, como arena arcillosa, clásticos finos ligeramente arcillosos, calizas con contenido de arcilla, tobas arcillosas, etc., son bastante nobles y competentes, o lo — que es lo mismo, presentan una alta perforabilidad.

A este tipo de formaciones y especialmente a las lutitas, las cuales se presentan con mucha frecuencia al perforar en yacimientos petroleros, se debe el desarrollo y obtención de las modernas barrenas de tobera (jet) que producen un alto impacto hidráulico y turbulencia en el fondo de la perforación lográndose incrementos verdaderamente notables en los avances o -- rendimientos con esa moderna tecnología, la cual desafortunadamente sólo puede aplicarse con ventaja en diámetros relativamente pequeños (6-1/2" a 9-1/2") muy por abajo de los diámetros usados en nuestra perforación somera, además de que su empleo requiere grandes cantidades de energía hidráulica.

4. - Resistencia a la compresión y al aplastamiento.

5. - Resistencia a la tensión.

6. - Resistencia al esfuerzo cortante. - Indudablemente que la resistencia mecánica de una roca es el factor mas importante en la determinación de la velocidad a que puede ser perforada. Desde luego que la resistencia de una roca a la compresión, a la tensión y al esfuerzo cortante pueden deter

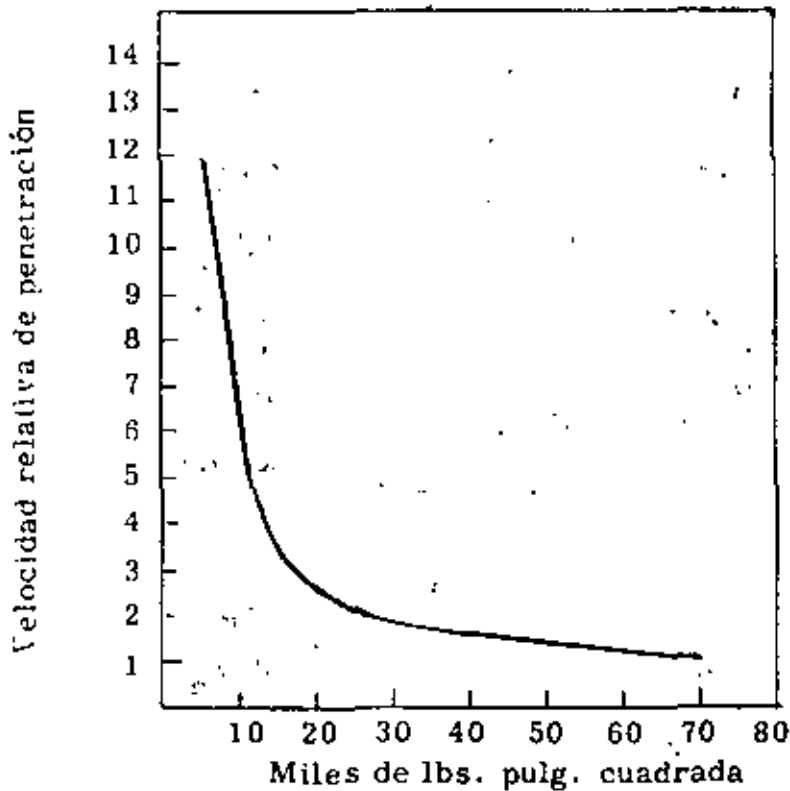
minarse separadamente por medio de especímenes en las máquinas de prueba del laboratorio de resistencia de materiales; pero los valores obtenidos carecen de validez y significación ya que la resistencia que nos preocupa o interesa es la resistencia a la penetración de una barrena, la cual mas bien mide las fuerzas cohesivas entre las partículas constituyentes de la roca, in situ, con todas sus condiciones protectivas como lo es el confinamiento en todas las direcciones, excepto por la cara o sección expuesta a la acción de la barrena. De manera que las propiedades elásticas de la roca son en realidad muy diferentes a las que pueden determinarse en las máquinas de prueba en las que no existe confinamiento alguno.

Sin embargo, puesto que la barrena ataca la roca principalmente por percusión e impacto, si se ha encontrado correlación entre la resistencia a la compresión y la perforabilidad, tras de numerosas pruebas de laboratorio y también por experiencias y registros de campo.

La relación que se encontró fué una función hiperbólica en la forma que se ilustra en la figura siguiente.

Debe quedar bien claro que los valores de la gráfica son relativos y se ha expuesto sólo para ilustrar el tipo de función entre los parámetros considerados, conservando todas las demás condiciones de perforación idénticas e ideales. Mas adelante en nuestra exposición daremos una relación matemática, de carácter práctico, en la cual figura en forma preponderante la resistencia a la compresión de las rocas.

7. - Porosidad. - Los espacios porosos dentro de una roca disminuyen desde luego la resistencia mecánica y obviamente también disminuye la canti-



RESISTENCIA A LA COMPRESION LBS/PULG. CUAD.

dad de material sólido que debe ser removido por la acción de la barrena. -
Desde luego que esta propiedad de las rocas está bien relacionada con la --
velocidad de penetración, aun cuando no pueda hacerse cuantitativamente. -
A título de ejemplo podemos citar la perforación en rocas calizas de gran -
espesor y en corrientes basálticas, en las que pueden percibirse zonas po-
rosas por los mayores avances o velocidades de penetración en comparación
con las zonas en que la roca es masiva.

Teorías relacionadas con la trituración, molienda o falla de las rocas.

Con objeto de tratar de entender la forma en que actúan las barrenas: o y en
do más allá, el mecanismo por el cual los dientes de la barrena atacan la -
roca, consideramos pertinente examinar aunque sea brevemente las teorías
más conocidas a este respecto.

Cuando se perfora un pozo por medios mecánicos, que es lo que nos ocupa, se producen pequeños pedazos de roca por la acción de la barrena contra la formación.

En un intento de obtener un cálculo o estimación del trabajo útil desarrollado por la barrena en la destrucción de la roca, puede suponerse que la energía requerida es proporcional a la nueva superficie de roca producida durante el proceso de perforación. Esta suposición fué usada para obtener la ley de Rittenger, la cual fué desarrollada en principio para su aplicación a máquinas quebradoras de roca. Sin tratar de exponer la secuencia matemática, diremos que se llega a la conclusión siguiente:

$$\frac{\text{Trabajo por unidad de volumen de roca}}{a} = \frac{\text{constante}}{a}$$

siendo "a" el tamaño efectivo de los recortes de perforación.

Esta relación implica que la energía gastada en la perforación de un metro a determinado diámetro, será inversamente proporcional al tamaño de los recortes. O de otra manera, el tamaño de los recortes nos dá un indicio bastante directo de la perforabilidad relativa de las rocas; es decir, si con la misma barrena y conservando invariables todas las condiciones de perforación, peso, rotación, etc., entre más pequeños sean los recortes la formación requiere más energía y por tanto es más resistente a la perforación. Sin embargo, esto no quiere decir que las condiciones de perforación y destrucción de la roca en las que se requiera el mínimo de energía o trabajo mecánico sean las mas deseables o económicas; es decir, que no siempre la obtención de los fragmentos mas grandes deba ser el objetivo del perfo-

rador, pues como veremos mas adelante existen condiciones en las que la obtención de pequeñas partículas de roca trituradas, prácticamente polvo, proporcionan los mayores avances por unidad de tiempo.

Por cuanto a la potencia real que se consume en la perforación, generalmente se cuenta con un exceso considerable, principalmente en los equipos de perforación petrolera. Por ejemplo, en la perforación o molienda de rocas duras y tenaces como calizas, dolomitas, areniscas, etc., en diámetros de alrededor de 20 cm. (8") se utilizan en forma efectiva, en la barrena, potencias del orden de 25 a 50 H. P., contándose en el equipo con capacidad de 2000 H. P. o más, los cuales se utilizan principalmente para las maniobras de elevación de la sarta de perforación desde profundidades de varios miles de metros, en tiempos razonables, así como en potencia hidráulica tanto en la barrena como en vencer pérdidas por fricción producidas por la circulación de los fluidos empleados.

Tratándose de las máquinas comunmente empleadas en nuestra perforación somera podemos afirmar que sí es frecuente que se tengan limitaciones en la potencia disponible, sobre todo en los diámetros de más de 25 cm. (10") que se requieren para la explotación del agua subterránea.

Otras teorías referentes a la molienda o falla de las rocas son las siguientes:

- a) La teoría del máximo esfuerzo, la cual establece que la falla ocurre en cualquier punto donde el esfuerzo excede cierto valor crítico.
- b) La teoría de la máxima deformación, la cual, como su nombre lo indica, establece que la falla ocurrirá cuando se sobrepasa cierto lí-

nite crítico.

- c) La teoría de la máxima diferencia de esfuerzos o del máximo esfuerzo-cortante, la cual fué desarrollada por Mohr, según la cual la falla está determinada por las máximas diferencias entre los esfuerzos principales.
- d) Teorías de percusión. - Puesto que las herramientas mecánicas mas usuales y prácticas consisten en elementos rodantes en el fondo del pozo y la acción de destrucción o molienda se produce por impacto o percusión, este procedimiento o acción ha sido objeto de muy numerosos estudios y experimentos dando lugar a las correspondientes teorías.

Por ejemplo Drilling Research, Incorporated de los E. U. A., llevó a cabo experimentos que fundamentalmente consistieron en dejar caer herramientas o dados parecidos a cinceles con filo truncado o plano, actuando en determinada roca caliza. Se encontró que era necesario emplear una determinada cantidad mínima de energía para que la falla ocurriera. Por abajo de esa energía mínima, la roca se comportaba elásticamente y no ocurría falla alguna.

Sin embargo cuando se empleaba suficiente energía para producir la falla, la porción inmediatamente abajo de la parte plana del dado tomaba la forma de una cuña y se formaban esquirlas o fragmentos a ambos lados con ángulos de fractura de alrededor de 20° hasta la superficie del espécimen.

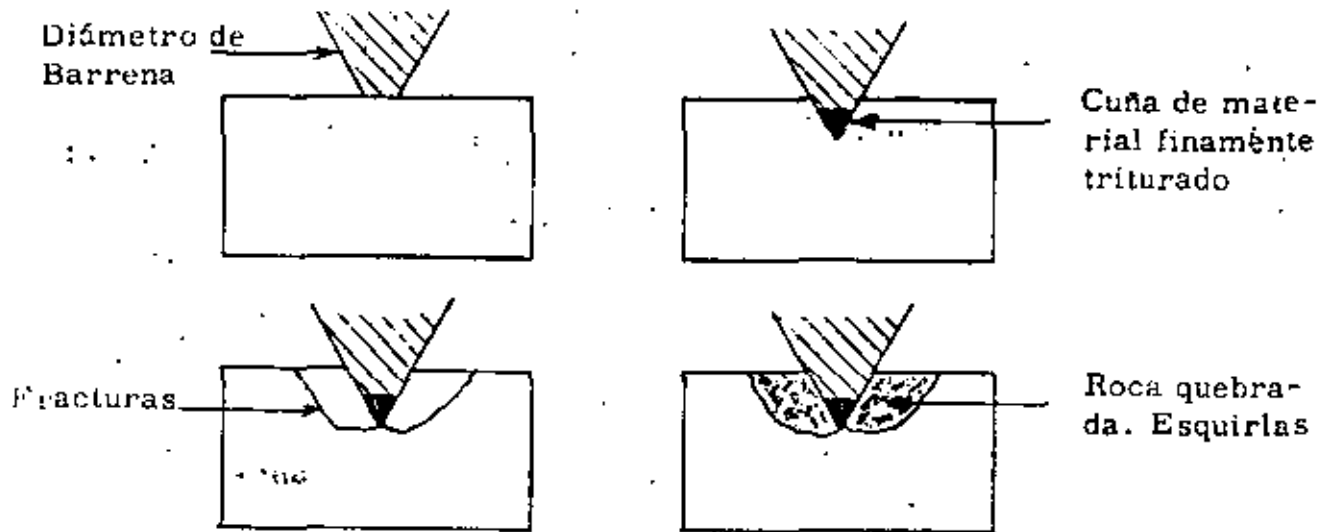
Cuanto mayor era la energía del golpe o impacto, mayor era la pene-

tración y la cantidad de roca removida.

Por métodos muy precisos y elaborados se midieron los esfuerzos en los dados y se tomaron películas a muy alta velocidad así como en pantallas de osciloscopio. Pruebas a distintas velocidades, pruebas estáticas y aplicación lenta de las cargas mostraron un comportamiento idéntico observado cuando el dado era forzado contra la roca. Se concluyó por lo tanto que no existe una ventaja en la percusión por sí misma, excepto en los casos en que la energía cinética se emplea en lugar de mayores pesos sobre la barrena o dado para llevar a cabo la acción de triturar o perforar.

En este mismo sentido se llevó a cabo una investigación exhaustiva de los mecanismos de la formación de cráteres por los impactos -- producidos por los dientes de las barrenas de perforación contra las rocas. Esta investigación fué conducida por W. C. Maurer desde 1959 hasta 1965 y llegó a resultados prácticos, al grado de elaborar una relación matemática definida entre los principales parámetros que intervienen en la perforación de las rocas.

De acuerdo con esta investigación, cuando el diente de una barrena produce un impacto sobre la roca, ésta se deforma elásticamente -- hasta que se excede el límite de su resistencia al aplastamiento y -- trituración, momento en el que se forma bajo el diente una cuña de material finamente triturado. A medida que la fuerza que ejerce el diente aumenta, la cuña de material triturado es más fuertemente -- comprimido, produciéndose fuerzas laterales de gran intensidad en



MECANISMO DE FORMACION DE CRATERES

el material sólido que rodea a la cuña inicial.

Cuando estas fuerzas llegan a cierta intensidad se inician fracturas debajo de la cuña y se propagan hasta la superficie de la roca.

Las trayectorias de éstas fracturas intersectan a las líneas de acción de los esfuerzos principales a un ángulo constante como lo predice la teoría de Mohr que se mencionó anteriormente relativa a la máxima diferencia de esfuerzos principales o sea donde ocurre el máximo esfuerzo cortante.

En estos estudios se encontró una correlación entre la profundidad del cráter y la inversa de las importantes propiedades de las rocas como son: La resistencia al corte y la resistencia a la compresión;

Como resultado de todos esos estudios y experimentos Maurer propuso la siguiente importante ecuación, siempre que se den las condiciones de una "perfecta limpieza" del fondo del agujero, es decir, que el material triturado bajo cada impacto de los dientes de la barrena sea removido inmediatamente, de manera que siempre se produzca el meca-

nismo de craterización sobre roca "virgen". (Esto explica en parte la mayor eficiencia de las barrenas con toberas (jets)).

$$R = K \frac{N W^2}{D^2 S^2}$$

R = rendimiento (pies/hr.)

K = condiciones de perforación (constante)

N = Velocidad rotaria r.p.m.

W = Peso total sobre la barrena, Lbs.

D = Diámetro de la barrena, pulgs.

S = Resistencia a la penetración (compresión) de la roca
Lbs/pulg. cuadrada.

Como se vé, la ecuación anterior relaciona cuatro variables de las muy importantes en la técnica y práctica de la perforación. Comentaremos brevemente sobre cada una de ellas. En primer lugar, "S" resistencia a la penetración cuyo índice mas próximo o semejante es la resistencia a la compresión influye en la velocidad de perforación o rendimiento en razón inversa del cuadrado de su valor. Es decir que si una roca "B" es doblemente fuerte o doblemente resistente en comparación con una roca "A", "B" se perforará a una velocidad cuatro veces menor, o -- bien, tomará cuatro veces mas tiempo perforar una misma longitud o tramo de pozo.

Por otra parte, observamos también que la velocidad de perforación es proporcional a la velocidad angular de la barrena, lo cual indica que -- entre ciertos límites, para obtener "limpieza perfecta", el volumen de

roca triturada es proporcional al número de impactos producidos por los dientes de la barrena.

Por otra parte, vemos que el rendimiento es proporcional al cuadrado de "W" o sea al peso total efectivo sobre la barrena y podemos obtener una consecuencia práctica muy útil, que consiste en saber que cualquier cantidad de peso que podamos agregar a la barrena se reflejará grandemente en nuestros rendimientos.

También es importante observar que el rendimiento varía en razón inversa del cuadrado del diámetro, o lo que es lo mismo, varía en función inversa del volumen de roca triturada.

Esta relación es cierta y corresponde a la experiencia dentro de ciertos límites a condición de que se conserven invariables los demás elementos o parámetros que intervienen. Por ejemplo, según la fórmula que comentamos, un agujero de 2" podría perforarse a una velocidad 16 veces mayor que un agujero de 8", lo cual evidentemente no sucede en la práctica por la imposibilidad material de mantener el mismo peso total "W" sobre la barrena, además de otros impedimentos de semejante naturaleza, que hacen que seguramente un agujero de 8" pueda perforarse a mayor velocidad que uno de 2".

Finalmente, el rendimiento está afectado por la constante "K", lo cual representa una manifestación matemática de que muchos otros parámetros pueden afectar la velocidad de perforación, incluyendo otras propiedades de las rocas diferentes a la resistencia a la compresión, las propiedades y características del fluido de perforación empleado,

condiciones de presión e incluyendo la presión de confinamiento y aún - el diseño de la barrena.

De modo que la magnitud de "K" es constante para una determinada barrena, a determinada profundidad y todas las demás variables están representadas en esta "constante", siempre y cuando, también se logre una perfecta limpieza del fondo.

De suma importancia es decir, aunque sea muy brevemente, algunos de los muchos efectos que los fluidos de perforación tienen sobre la perforabilidad de las rocas o su influencia en el comportamiento de las barrenas.

En términos generales se han obtenido estadísticamente buenas correlaciones respecto a las propiedades de los lodos como son: viscosidad, filtrado, contenido de sólidos y coloides, densidad, etc., sin poder establecerse relaciones numéricas. Así tenemos que a mayor viscosidad menor rendimiento, el mayor contenido de sólidos principalmente coloides también disminuye la velocidad de perforación. Puede decirse que un lodo de muy buena calidad, de baja viscosidad y contenido de sólidos puede dar una velocidad de perforación inferior a la mitad de la que se obtiene cuando se usa solamente agua; pero todos sabemos bien que rara vez puede usarse agua sola para perforar.

La densidad de los lodos tiene también una influencia decisiva en el avance de perforación, especialmente a profundidades apreciables, al producir altas presiones hidrostáticas que tienden a conservar la formación en su lugar aumentando el confinamiento y por consiguiente a retar

dar el avance.

La utilización del agua como fluido de perforación reduce el tamaño de los recortes y da también una mayor velocidad de perforación, conservando el resto de las condiciones iguales.

Por último, la utilización de aire, cuando esto es posible y deseable, da aún mayores velocidades de perforación y en los casos en que puede usarse gas de hidrocarburos con densidad inferior a la del aire, la velocidad de perforación se aumenta notablemente.

La utilización de lodos y demás fluidos de perforación es una ciencia - en si misma ligada estrechamente a la tecnología de la perforación, -- por lo que consideramos que lo dicho bastá para dar una idea en cuanto se refiere a la perforabilidad de las rocas.





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

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

PERCUSION SIMPLE

Ing. Rafael Jiménez Granados

Junio, 1981

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 construido 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 fluidos de perforación.

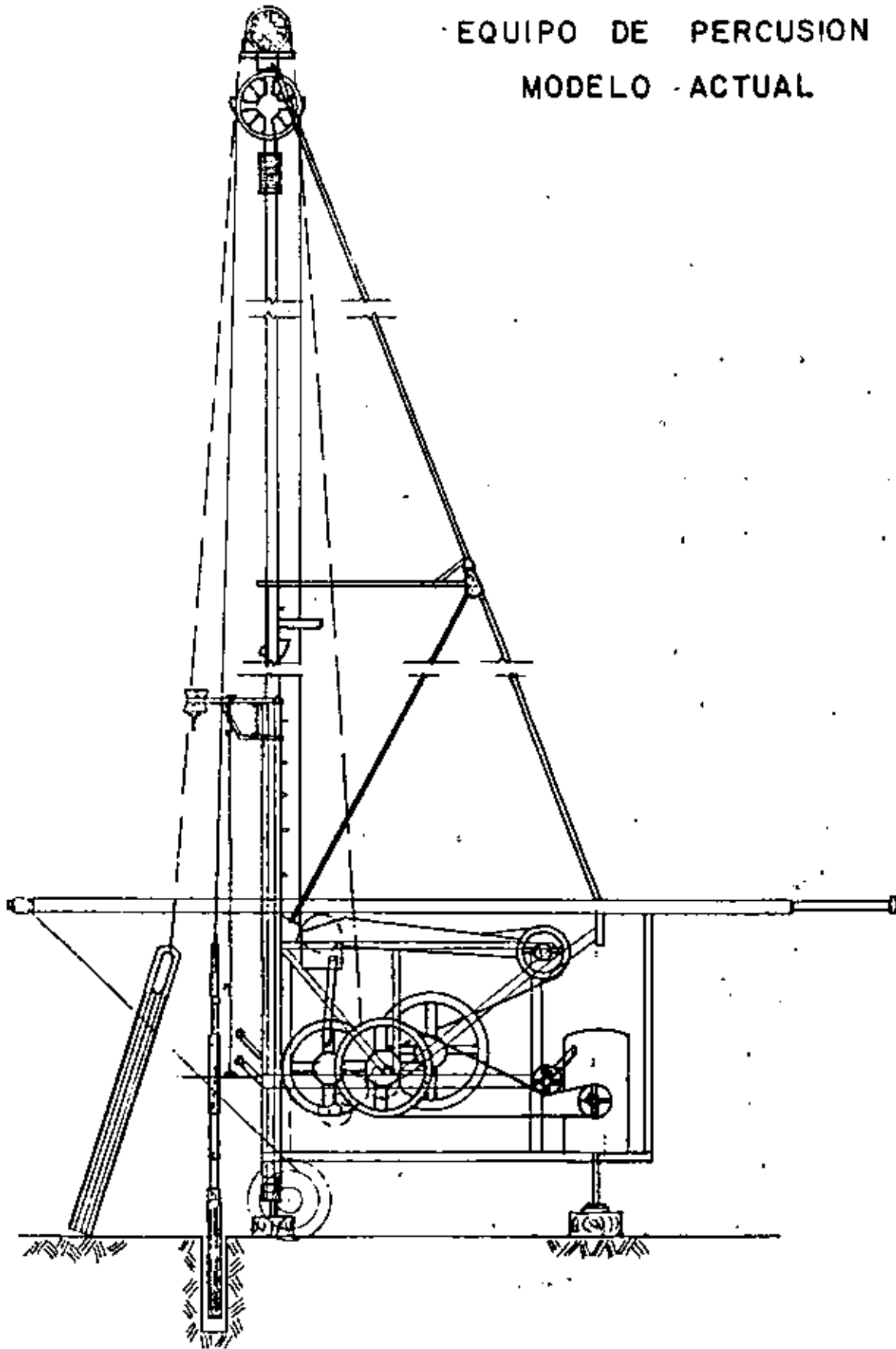
Todos los fracasos, desvelos y experiencias anteriores tuvieron su recompensa al alcanzarse el éxito deseado en el campo Spindletop de Beaumont, Tex. donde a la profundidad de 1,040 pies brotó el petróleo en tal abundancia que la producción de ese pozo fué de 100,000 barriles diarios.

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 más 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.

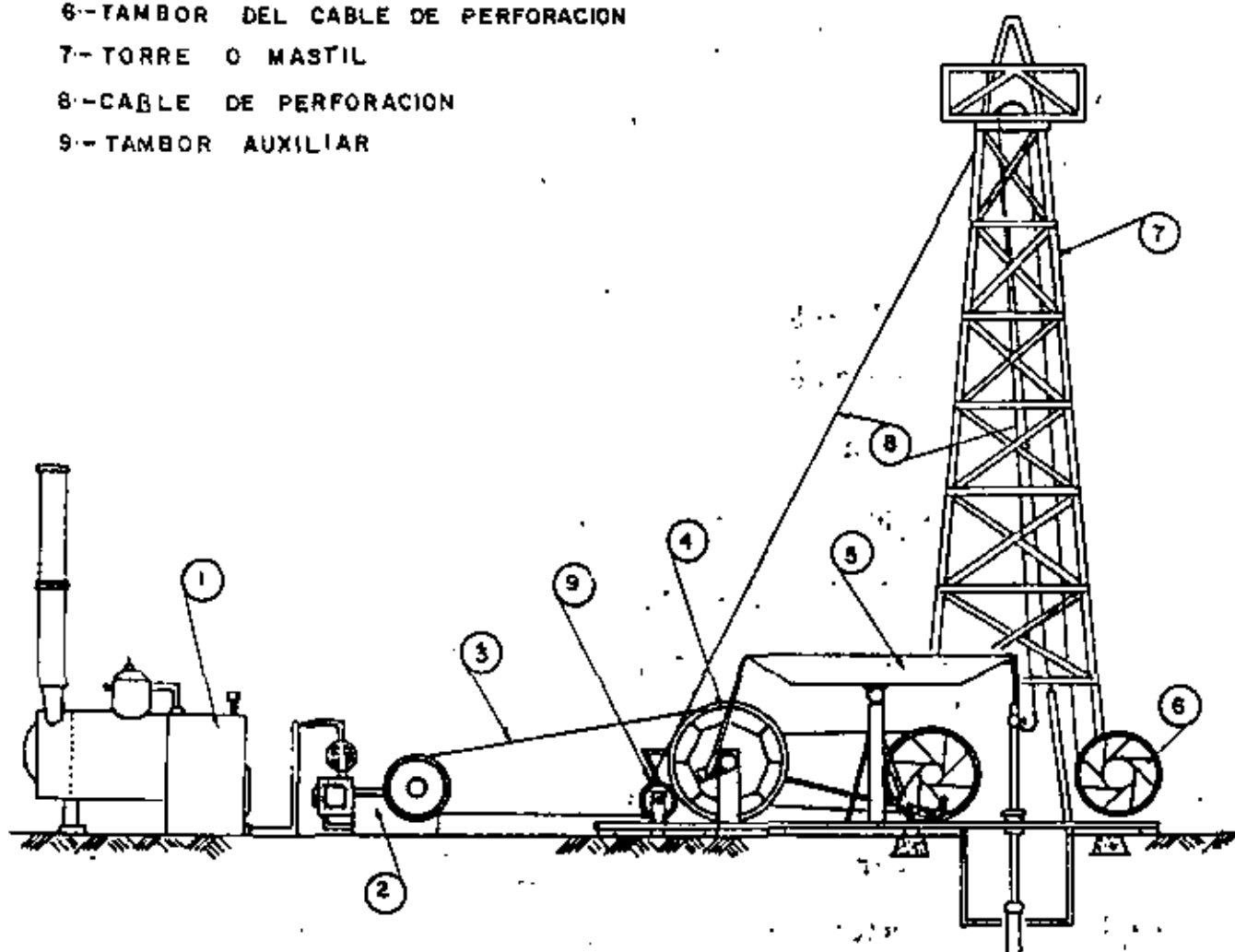
La máquina de vapor fué aplicada a esta clase de trabajos, utilizándose en su forma más simple: una máquina reversible común de un pistón - controlado por una simple válvula de corredera, se utilizaba para producir un movimiento recíprocante al cable de perforación desde una gran polea - llamada "polea 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 1.

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



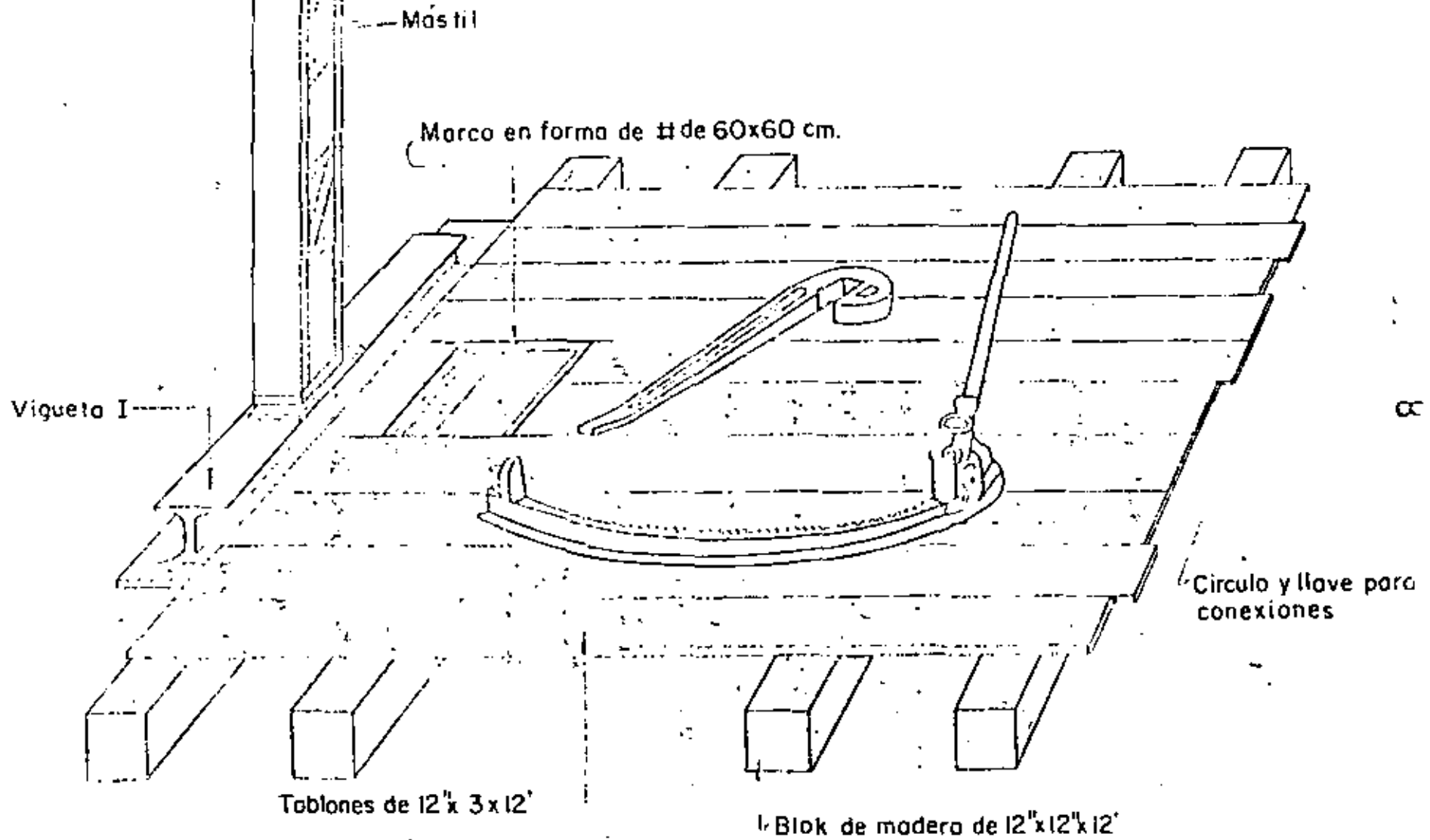
Los equipos que conocemos actualmente, constan principalmente de un bastidor de acero estructural soldado eléctricamente en el que se instalan: la unidad de potencia, sistemas de transmisión, malacates para perforación, cuchareo y entubado, el balancín y la biela; el mástil o torre telescópica, compuesto 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

CONTROLES DE OPERACION

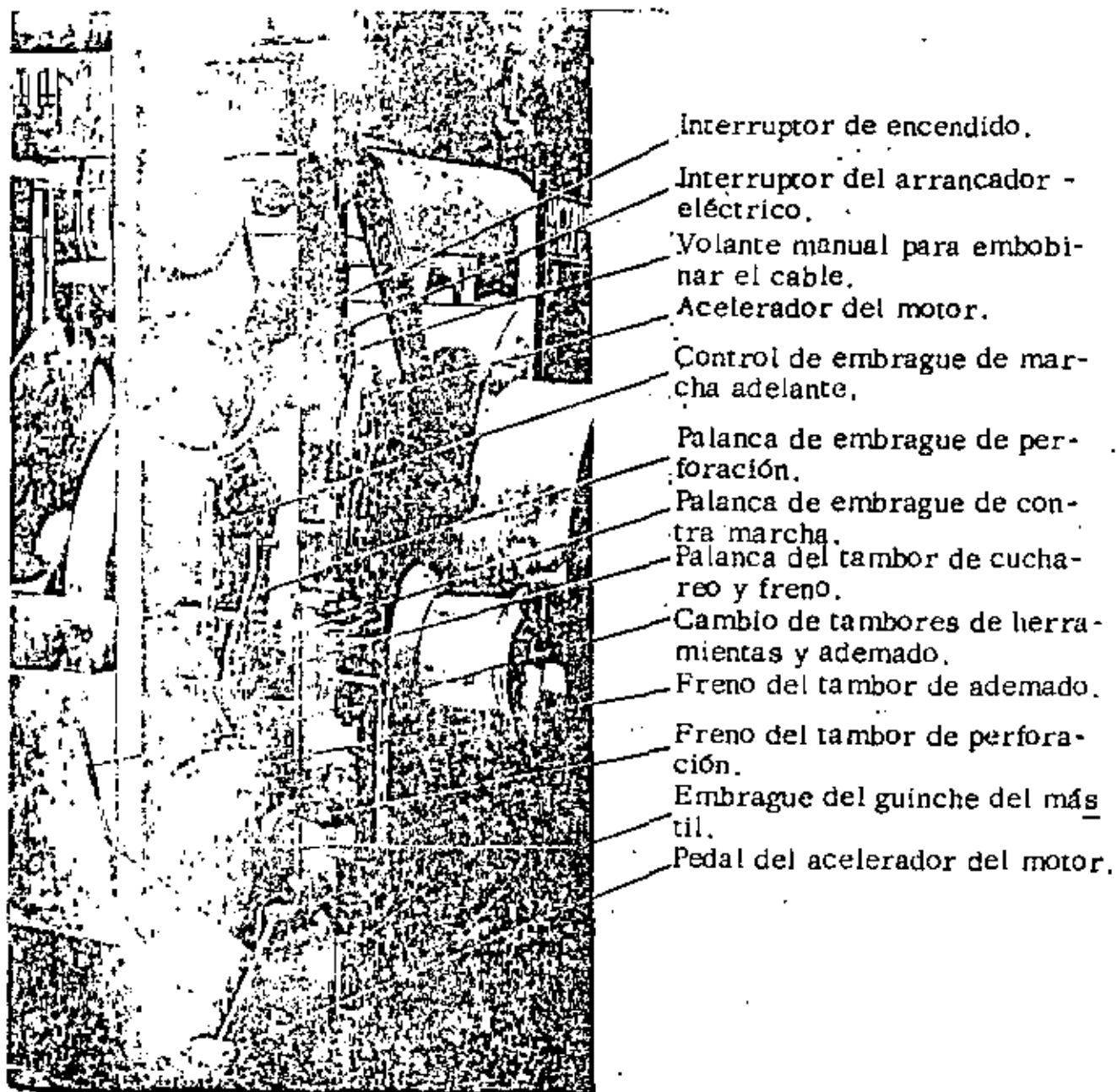


FIGURA 3

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 sarta 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 Islas 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.

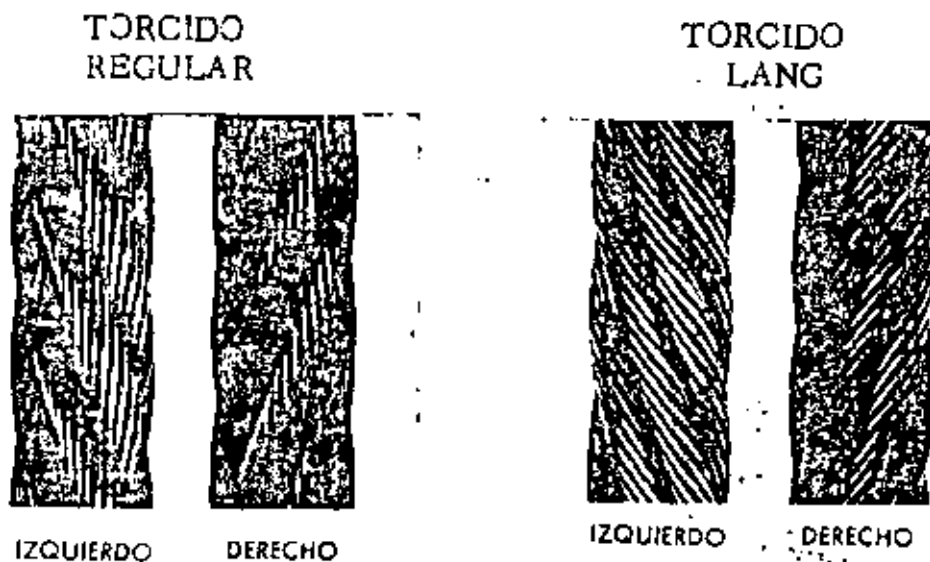


FIGURA 5

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 largo izquierdo y los exteriores, regular derecho; con lo cual se evita que el cable gire en cualquier sentido.

AMORTIGUADOR DE DISCOS



FIGURA 10

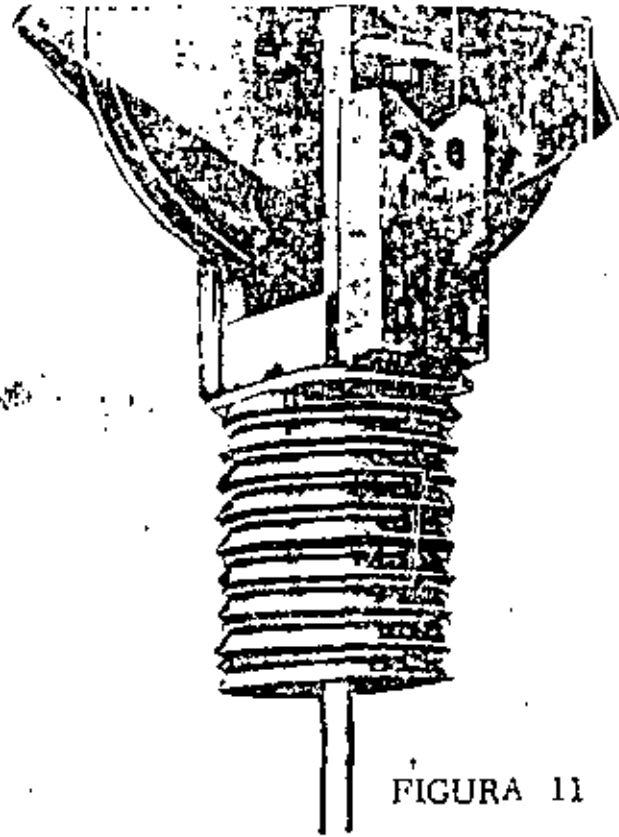


FIGURA 11

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.

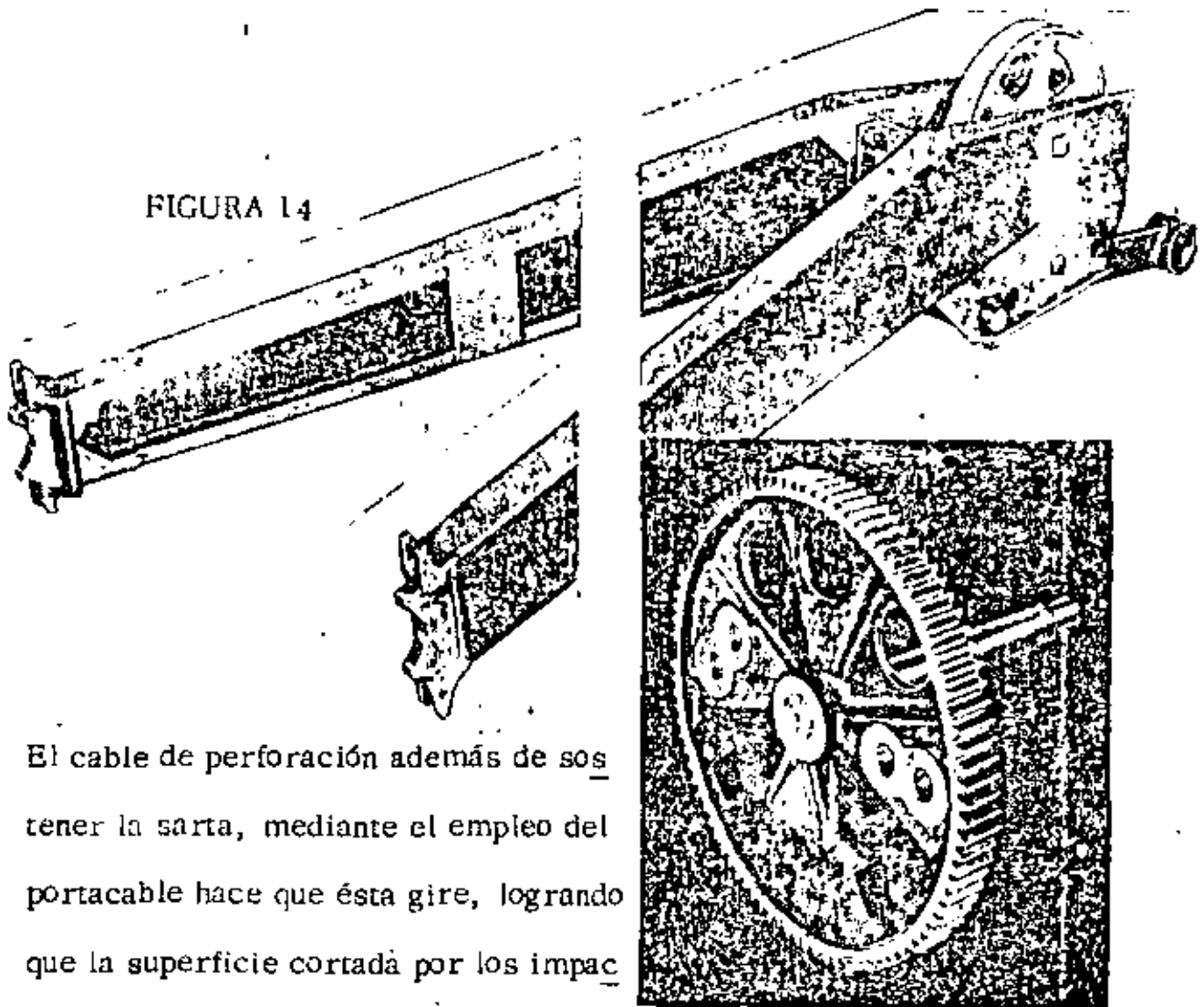
Además en el cuerpo de la sarta se haya intercalada una herramienta que recibe el nombre de "percutor" o tijeras. Figura 13



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



El cable de perforación además de sostener la sarta, mediante el empleo del portacable hace que ésta gire, logrando que la superficie cortada por los impactos 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

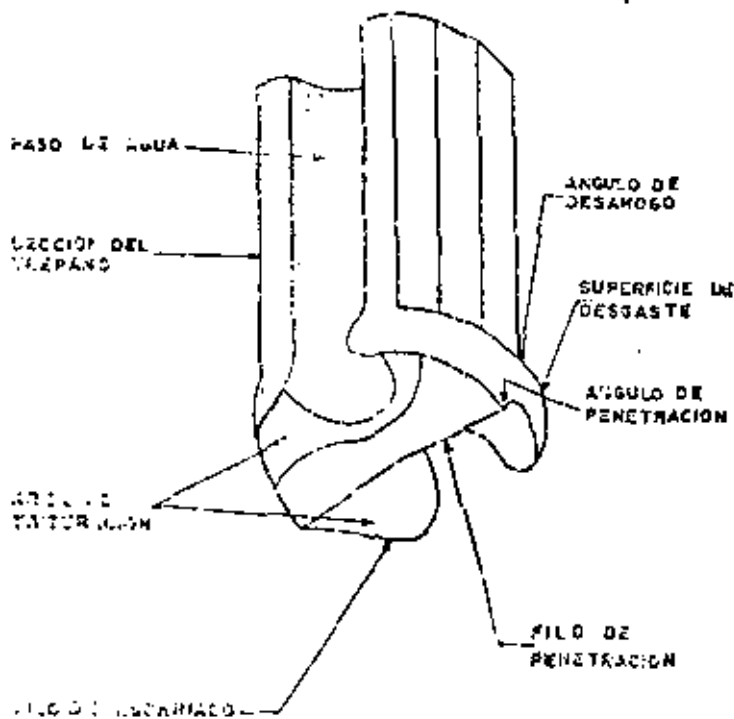


FIGURA 15

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

SUGERENCIAS PARA EL AFILADO DE TREPANOS.

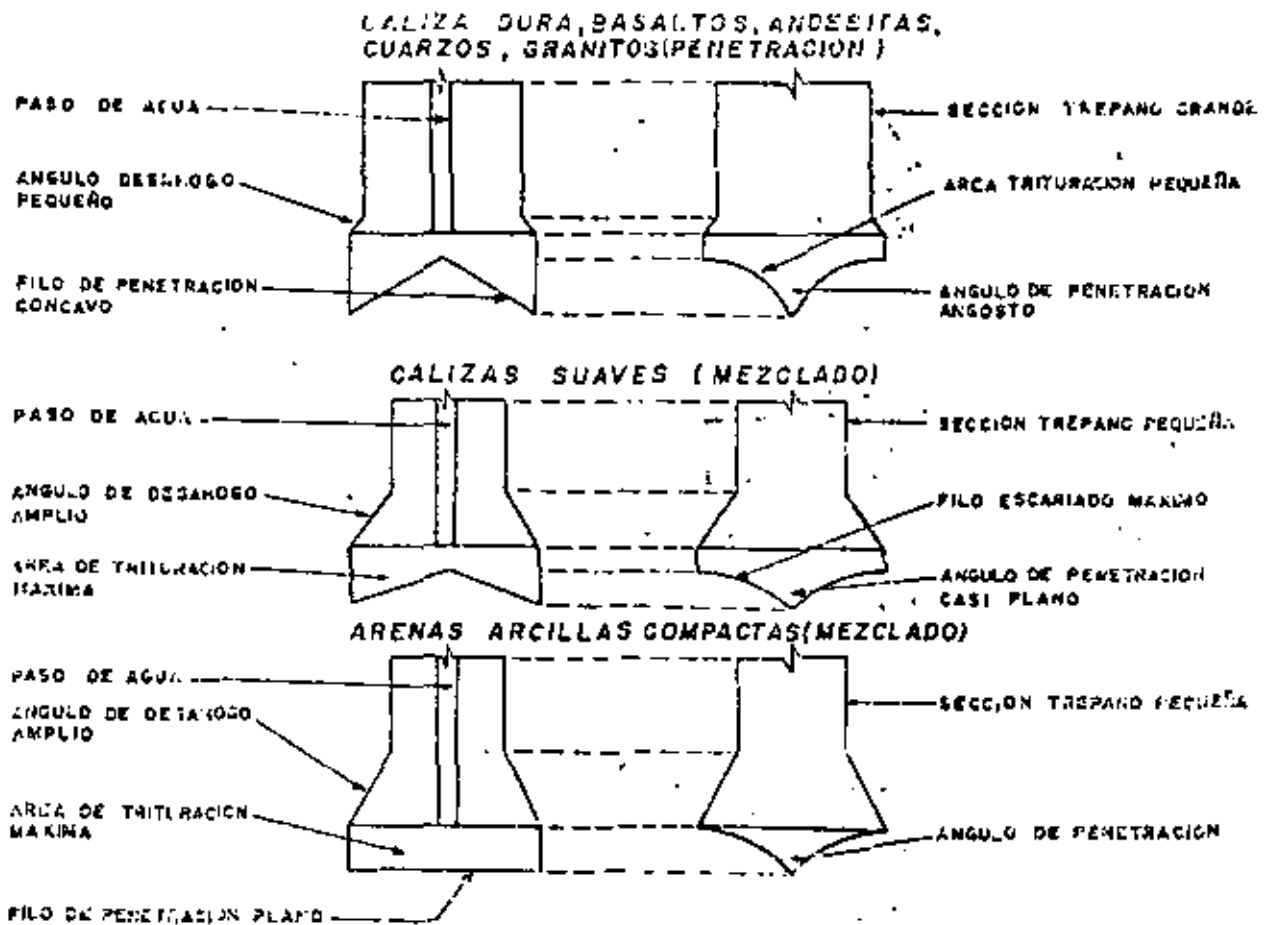


FIGURA 15 BIS

MALACATES PRINCIPAL Y AUXILIARES.

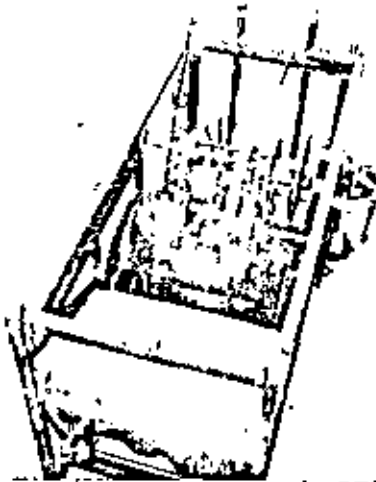


FIGURA 16

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.

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

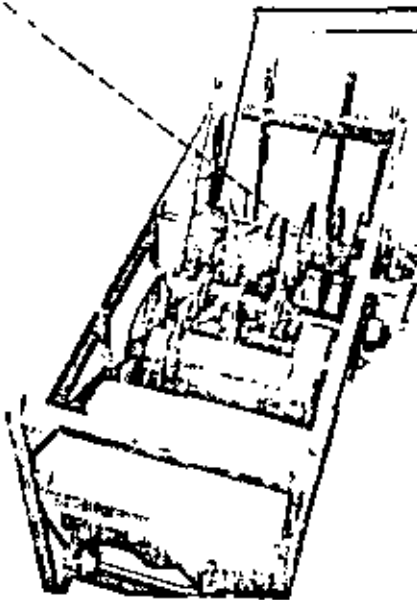
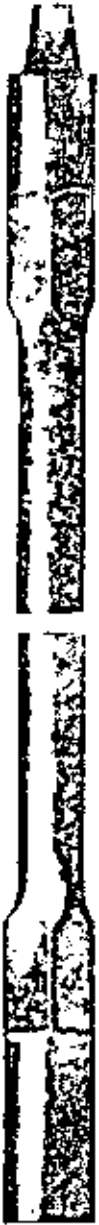


FIGURA 17

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

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.

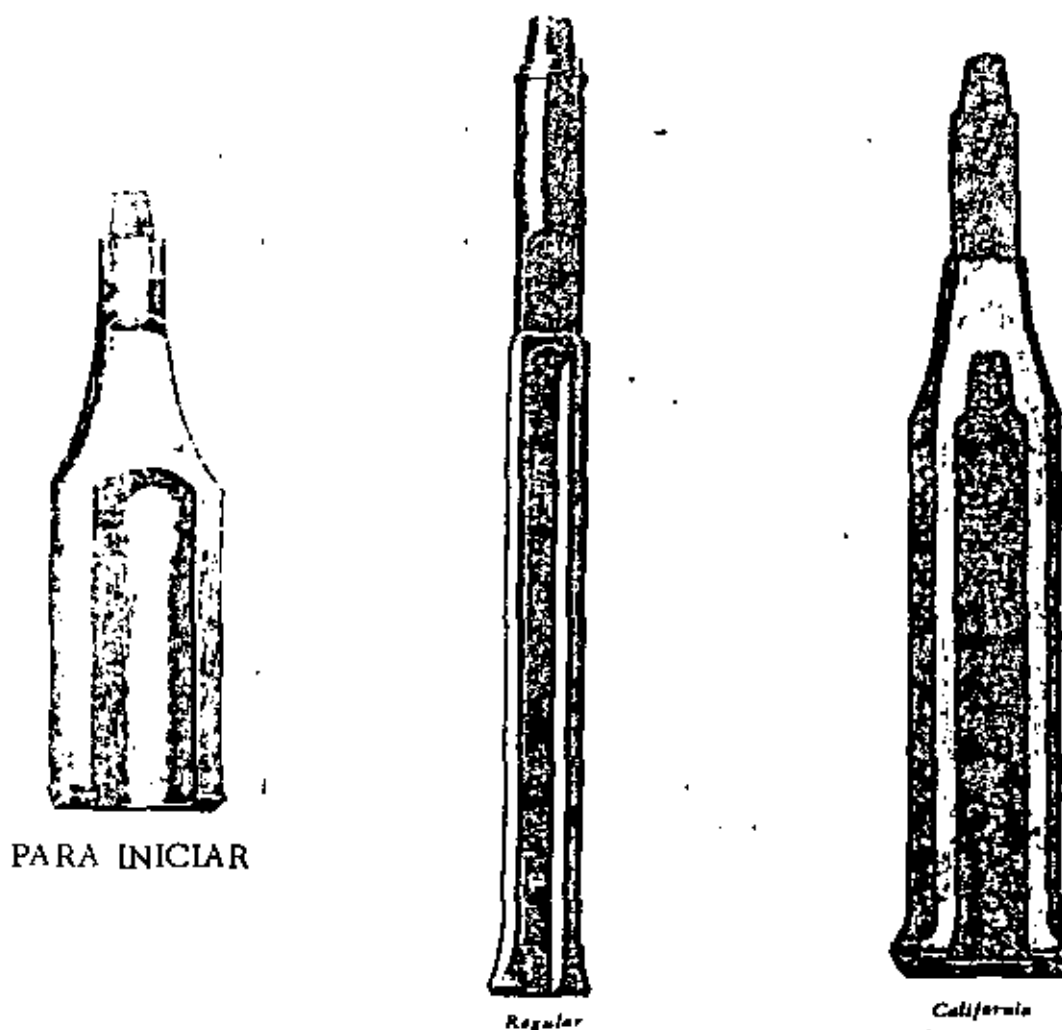
FIGURA 18



FIGURA 19

TREPANO O HERRAMIENTA DE CORTE

FIGURA 20



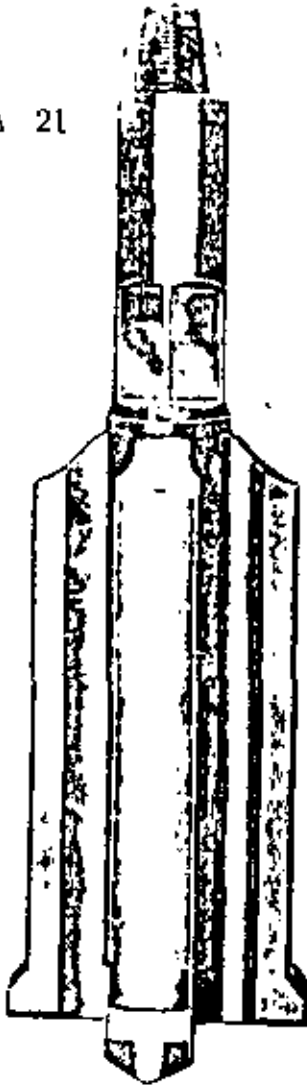
PARA INICIAR

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: estándar, 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.

CUCCHARAS 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

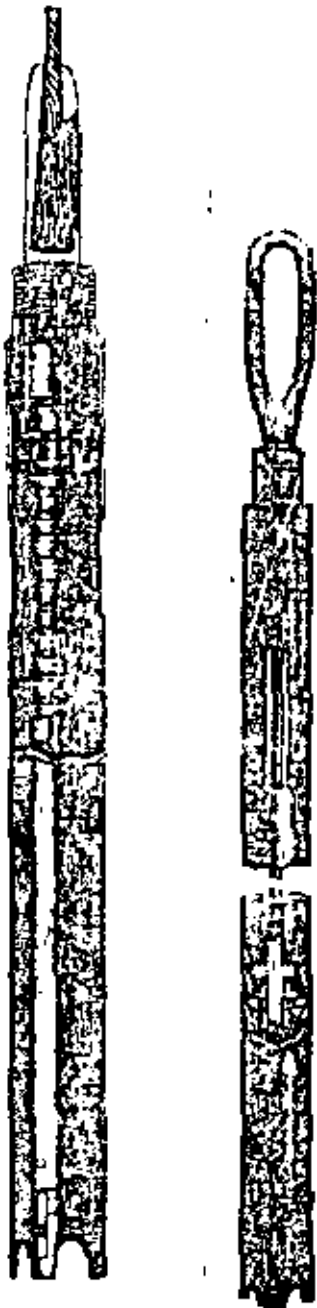


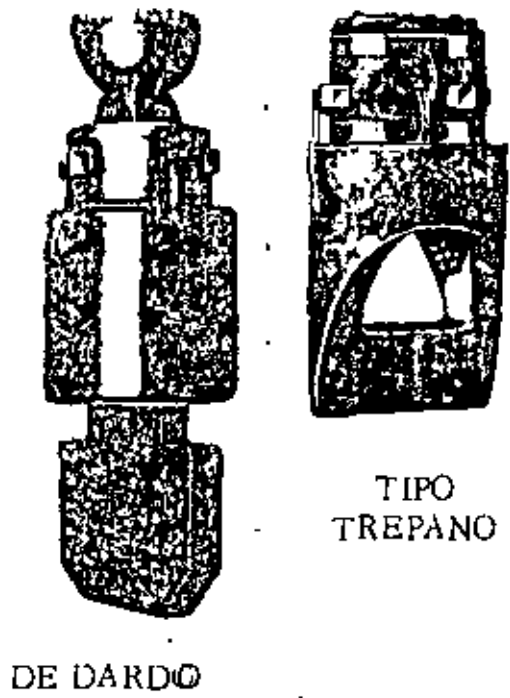
FIGURA 25

VALVULAS

CUCHARA



Fig. 26



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

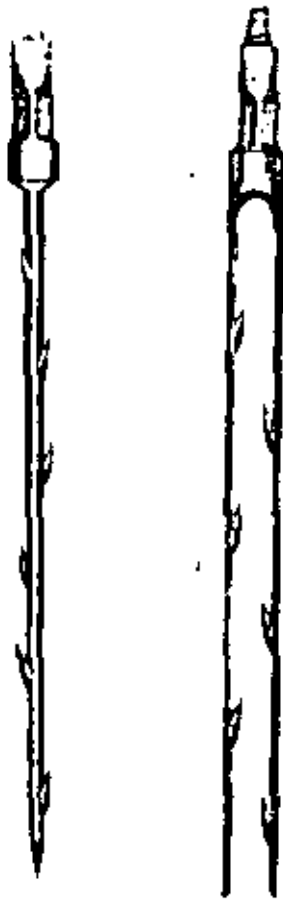
DE UNO O DOS
ARJONES

FIGURA 32

FIGURA 33
DE FRICCIÓN

CUERNO

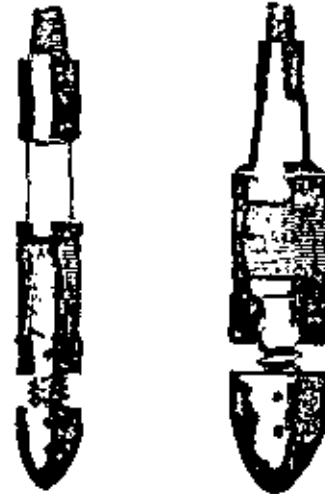
CORRUGADO

HERRAMIENTAS PARA PESCA



FIGURA 34

DE CUCHARAS



DE TUBERIA
FIGURA 35

TROMPO

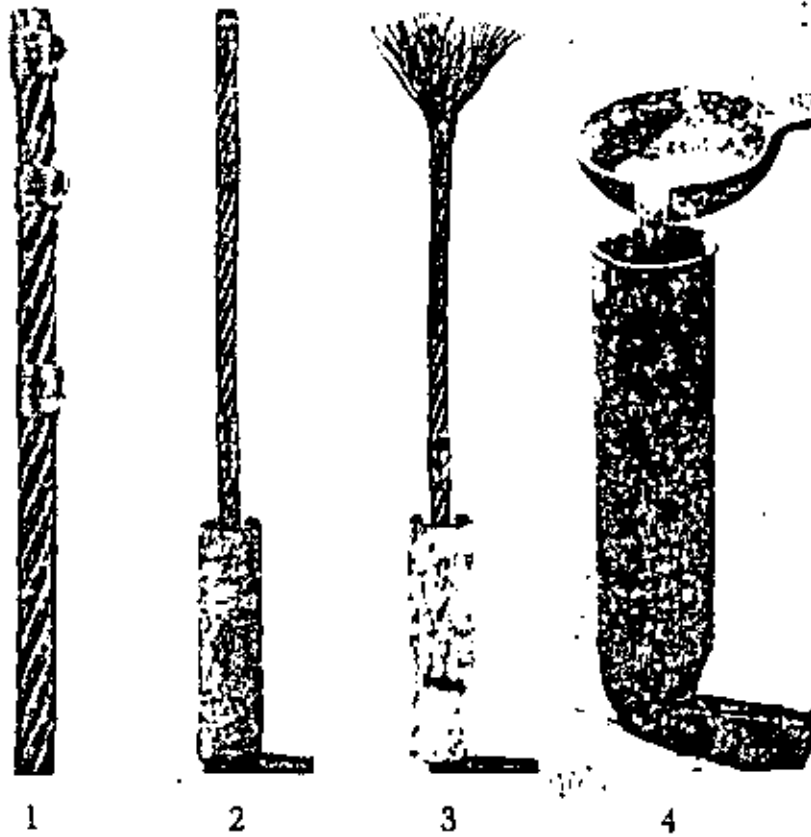


TROMPO. - Hay ocasiones en que las tuberías de ademe se colapsan es decir cambian de forma por impactos producidos dentro del pozo. Para devolverles su forma original se utilizan los trompos.

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.**

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

PERFORACION A ROTACION SIMPLE

Expositor: Ing Rafael Jiménez Granados

Junio, 1981

PERFORACION A ROTACION CON AIRE

Ing. Andrés Bentón Cuellar

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 acarreando 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 barrenado

Se puede observar que con el uso del aire se dejan de efectuar funciones que se considerarían 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 dulsezables o fácilmente erosionables.

No contaremos con la capa de gel, que en el uso de lodos nos permite aislar nos 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 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

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.

E s p u m a n t e s .

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 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,

carinas 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".



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 túnel del oleoducto en Alaska.

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

ficio. 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 redundará 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 proporciona 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 más 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 construirlo lo más vertical posible.

Durante la perforación con martillo pueden encontrarse estratificaciones de

en ciertos pozos, zonas en las que deberá repasarse lo suficiente hasta que el material que esté fluyendo encuentre su ángulo de reposo y se condensa. 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 recíprocante 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.

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/mín., aún la perforación de 8 5/8" de diámetro con tubería de 4 1/2" nos dá 2540 piés/mín. 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/mín., el rendimiento óptimo en este último caso se obtendrá al utilizar 2100 PCM con una velocidad de retorno de 3200 piés/mín.

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.

Quando 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, mas 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 pueda 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 bombeo con la mayor verticalidad posible en esa zona, el ritmo de perforación tratándose de una misma formación es practica-

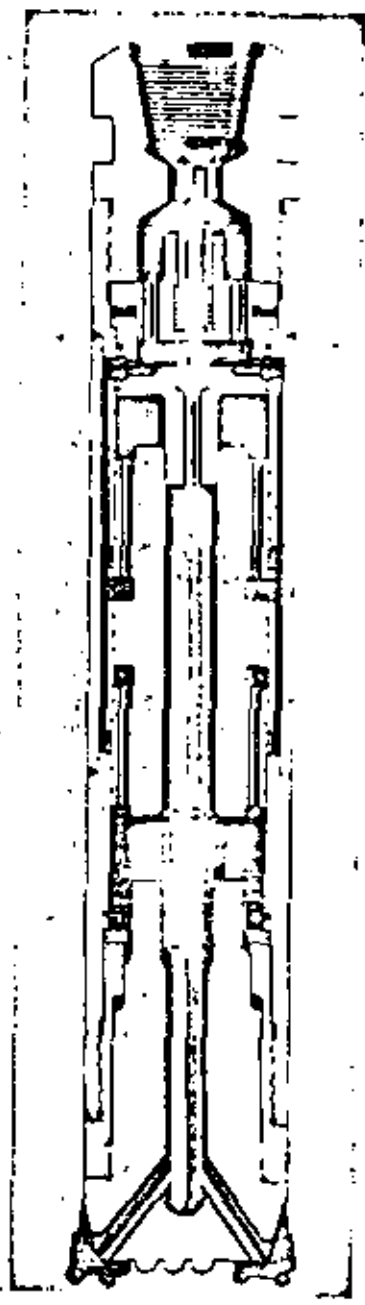
mente el mismo desde el inicio del pozo, a pesar de que no se puede aplicar el peso de lastrabarrenas, además se transmite el menor esfuerzo a la perforadora, logrando así que se tenga el menor deterioro posible del equipo. - Cuando ya no es posible utilizar el martillo ya se tiene la posibilidad de - - 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.

TABLE D. TOTAL WEIGHT ON BIT

	400	1000
	600	1500
	900	2300
	1500	3600
	1900	4700
	5100	7600

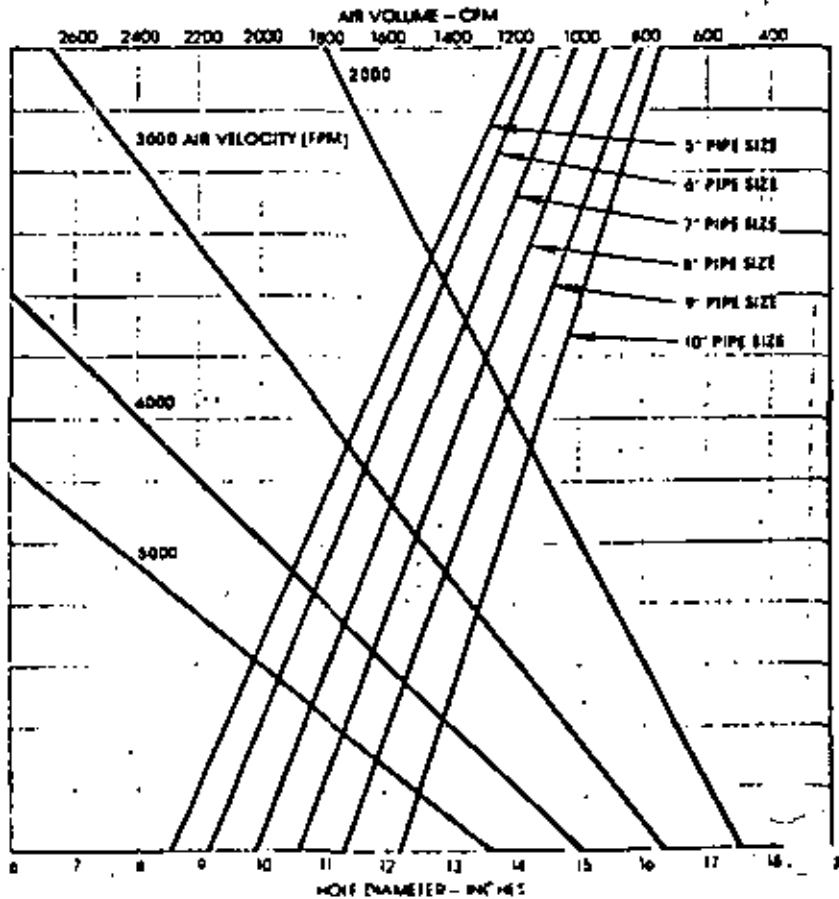
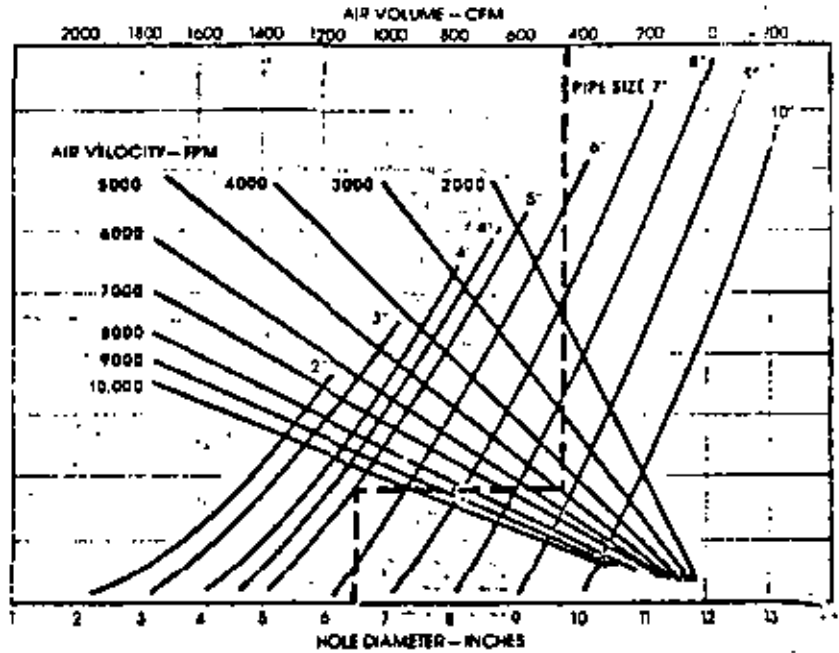


	105	-	170	-	220	-	290	-	3	36-1/2	39-1/4
	140	-	205	-	260	-	330	-	3-17/32	41-3/4	45-3/8
	190	295	285	410	400	570	570	805	4-3/8	43-7/8	47-1/2
	365	510	460	660	620	885	760	1085	5-3/8	51	55-3/8
	180	325	300	500	430	695	565	890	5-7/16	46-5/16	51-5/16
	475	725	575	965	790	1260	1090	1670	6-3/8	55	60-3/16
	660	920	800	1160	NO RECOMENDADO ARRIBA DE 150 LPC				10	62-3/4	71

Figure 48 Air velocity determination chart

To determine air velocity in annulus when pipe size, hole diameter and air volume are known, follow vertical Hole Diameter line upward to its intersection with Pipe Size line. Move horizontally to intersect Air Volume line. Read Air Velocity on diagonal Air Velocity line.

EXAMPLE: Drilling a 6½-inch hole using 5-inch drill pipe and with 450 cfm air volume passing through the annulus, follow the Hole Diameter line to Point A, its intersection with Pipe Size line. Move horizontally to Point B, to intersect Air Volume line. Read annulus Air Velocity at Point B (interpolating between 4000 and 5000 fpm) or 4700 fpm.



AIRE COMPRESION

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.

COMPRESION 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 termino 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 en 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 30% (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 coples, nipples, 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 su consumo 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	1525	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.

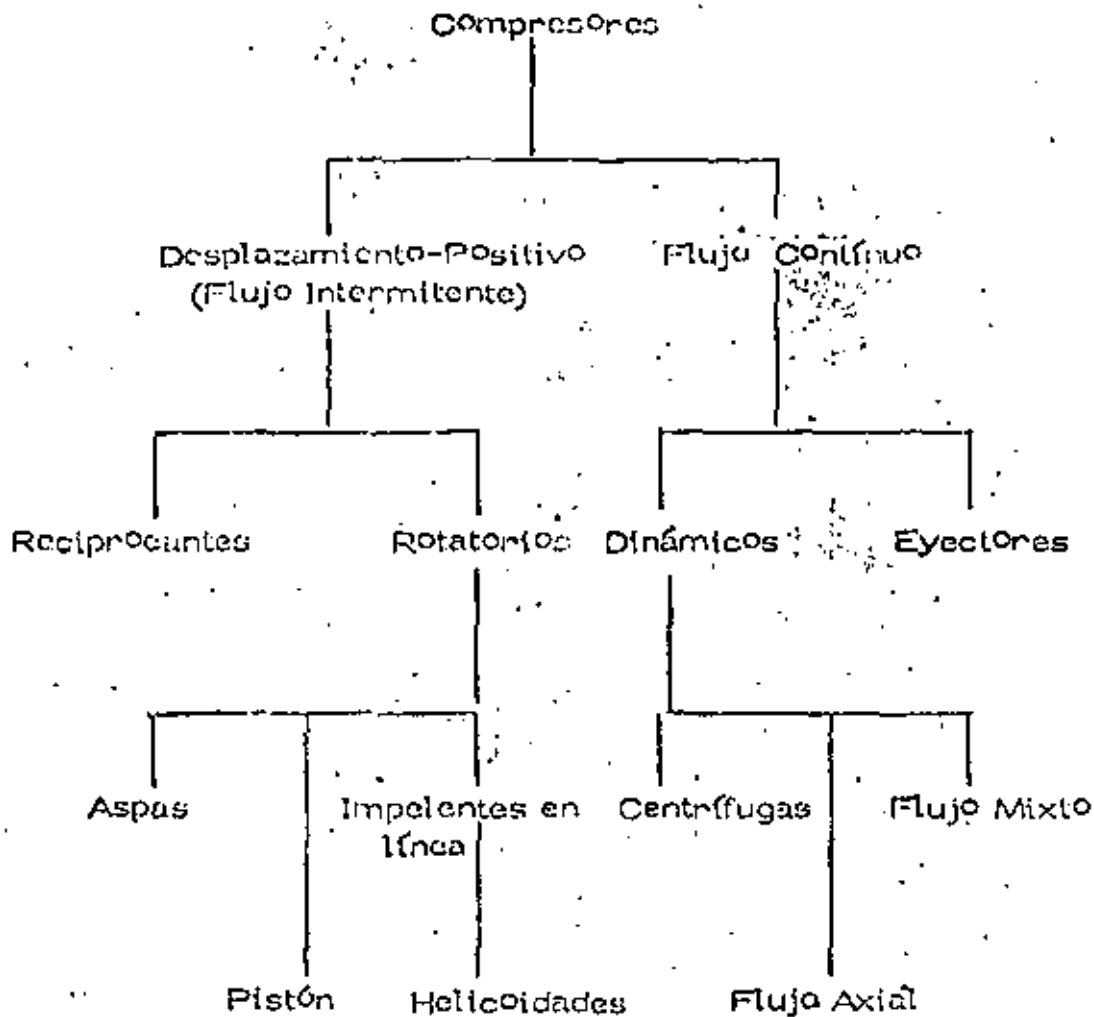
Dos del tipo intermitente y dos de flujo continuo.

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 posterior -- mente 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 Reciprocantes. - 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 rotors 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 mas elementos rotatorios usualmente curvados en los extremos, -

el flujo principal es radial.

b) Axiales. - En este caso la aceleración es obtenida por la acción de volantes de aspas (paletas) redondeadas en los extremos, el flujo principal es axial.

c) De tipo mixto. Los impulsores 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.

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 flúidos que se utilizan para la perforación en general.

Con este procedimiento podemos utilizar como flúido agua, lodo o una combinación de estos con aire conforme sea necesario de acuerdo a la formación que se vaya a perforar.

El método como su nombre lo indica consiste en una inversión del flujo y tendremos así que el lodo es alimentado directamente de las fosas al pozo y el retorno se hace a través del interior de la tubería para lo cual es necesario utilizar una bomba de vacío para iniciar la circulación y una bomba centrífuga de alto gasto para realizar este trabajo.

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 de acarreo de los cortes y la limpieza mejor y mas rápida.

Este procedimiento permite trabajar con la mayor eficiencia en cuanto a la hidráulica del pozo y esto nos permitirá acarrear partículas mucho

mayores de cortes y prácticamente el tamaño de gravas o cortes acarreados estará limitado al diámetro interior de la tubería y por los quiebres 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 acarreado los cortes con la misma eficiencia, además se cuenta con la ventaja de poder usar lodos de baja densidad, teniendo así muy limpias las paredes del pozo.

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 se tienen torque que se genera es alto, lo que obliga a velocidades bajas de rotación, además como no es posible agregarle peso desde un principio, su operación es lenta en los inicios del pozo, hasta que se cuenta con peso suficiente para atravesar la formación.

Cuando se produce la diferencia de niveles por pérdida de circulación se tiene el problema de que el vacío producido por la bomba ya no es suficiente para producir el efecto de sifón y además cuando la profundidad se va incrementando lo van haciendo las pérdidas de carga por el retorno del fluido mezclado con el corte y que es bastante alto, lo que nos da como re

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 rápidamente las formaciones duras.

Este procedimiento es muy efectivo particularmente en zonas donde el abatimiento de agua es problemático y además se presentan 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 aparente. 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 más 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 acarreamdo -- 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 cortadoras 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.

42

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 cortes, 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 conexio--
nes son lentas.

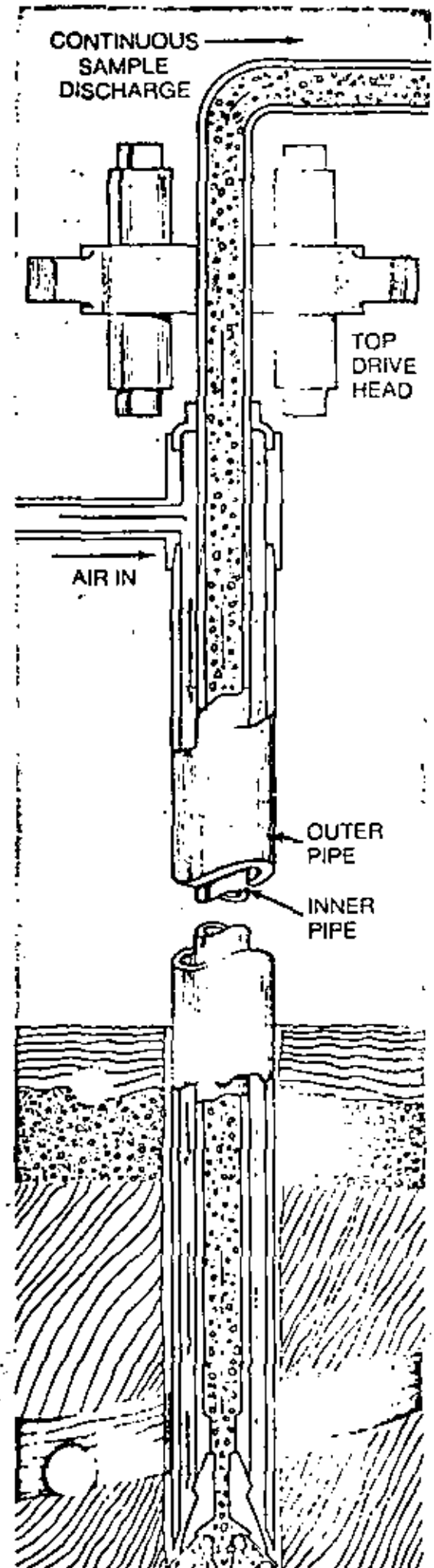
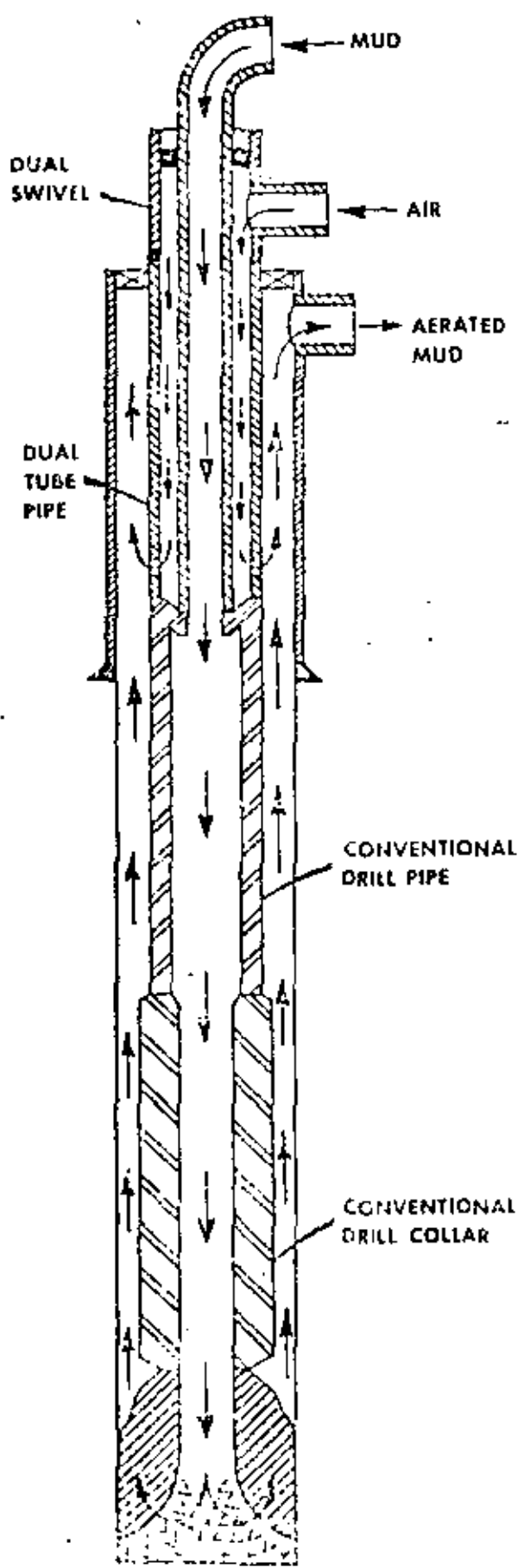
Actualmente se han desarrollado dos sistemas con tubos concén--
tricos llamados Duo-Tube y Con-Core que presentan la ventaja de
poder añadir tubos con conexiones del tipo usual y empaques adecu
ados que son unidos y desconectados rápidamente, lo que nos -
permite una mayor eficiencia en los tiempos de 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 procede
dimiento en estos casos, al utilizado durante la perforación dire
cta, de hacer un agujero exploratorio que sirve de guía y poste
riormente su ampliación.

Este último método no ha sido muy usado y aún presenta dificulta
dades 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 éste
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 DISEÑADOS 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

EVALUACION DE POZOS

Junio, 1981



EVALUACION DE POZOS

Comentarios de Carlos Cruickshank

1. Pruebas de bombeo

1.1. Desarrollo

Una vez terminado el pozo se realiza su desarrollo; esto es una fase de limpieza del lodo que ha quedado de la perforación entre la tubería ranurada y el acuífero, que se llena normalmente con un filtro de grava y gravilla. Aparte de desarrollos especiales con hielo seco y de otro tipo, se acostumbra agitar el pozo por medio del bombeo alternado, ya sea que se incremente el bombeo escalonadamente o bien se inicie y suspenda alternativamente.

Si se observan los niveles dinámicos durante esta fase, se tiene una primera información valiosa acerca del comportamiento del pozo; realmente, estos bombeos constituyen pruebas cortas de bombeo, cuya interpretación da además, una estimación de las pérdidas por entrada y flujo en la tubería del pozo, como se indica en las notas.

1.2 Prueba formal de bombeo

El objetivo de las pruebas de bombeo es estimar características de la formación acuífera como son su transmisividad, coeficiente de almacenamiento y algunas otras como la influencia de fronteras laterales y verticales del acuífero. La

metodología para su interpretación se basa en el ajuste del comportamiento del pozo a una situación ideal para la que se conoce la solución teórica. Dicha solución ideal puede tener dos tipos de comportamiento hipotético: el de flujo establecido o bien el de flujo no permanente; el primero de ellos es el más simple en cuanto a observaciones por realizar; basta determinar el gasto bombeado y niveles piezométricos después de un tiempo largo de bombeo; sin embargo, la información que puede obtenerse con el segundo tipo de análisis y que requiere de un mayor número de observaciones piezométricas es mucho más completo y se basa en hipótesis menos restrictivas que en el primer tipo. Es por esta razón que hoy en día se realizan siempre las observaciones conducentes a analizar el comportamiento del acuífero como un fenómeno no permanente.

Existe desde hace tiempo en México, un instructivo para la realización de pruebas de bombeo elaborado en la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos por el Departamento de Aguas Subterráneas de la Subdirección de Geohidrología y Zonas Áridas. Se refiere ahí al equipo que conviene utilizar, la frecuencia de las observaciones piezométricas, etc.; una prueba de bombeo debe cumplir con la constancia del gasto bombeado desde su inicio, ya que alguna variación llevaría a interpretación errónea de la prueba; frecuencia alta en las observaciones al principio de la prueba, sobre todo en el pozo de bombeo y en los pozos de observación cercanos al mismo. Por lo anterior conviene que el personal que rea

liza la prueba tenga experiencia y que en cualquier caso efectúe pruebas preliminares con su equipo. Se debe también evitar en lo posible la interferencia de otros pozos de bombeo cercanos, por lo que, si la prueba se realiza en un acuífero en explotación, conviene hacer la prueba en una época en que la mayor parte de los pozos no bombeen (periodo lluvioso, de reparación, etc.).

La interpretación, como se indicó, es el ajuste del comportamiento del pozo durante la prueba de bombeo al que tendría un pozo en un acuífero esquematizado lo suficiente como para tener solución analítica. El caso más simple es el de un acuífero confinado de espesor constante y características homogéneas en toda su extensión. La solución al flujo en este caso la dió Theis en 1935 adaptando la de una ya existente para el flujo de calor en una placa a la que se enfría en un punto. La solución es una relación funcional entre dos parámetros adimensionales:

$U = r^2 S / 4 T t$ y $Q_a = 4 T a / Q$ donde S - coeficiente de almacenamiento, a - abatimiento piezométrico, r - distancia al punto de bombeo, T - transmisividad, t - tiempo desde el inicio de bombeo, Q - gasto de bombeo. Como estos dos parámetros son proporcionales a dos variables medidas en la prueba, a y t , se pueden superponer, hasta hacerlas coincidir, la llamada curva tipo de la función solución al problema -- $Q_a = W(U)$ y los puntos definidos por las parejas de valores a y $1/t$ medidos durante la prueba de bombeo. En esta forma con la equivalencia de $W(U) = 4 T a / Q$, se despeja T en fun

ción de a y Q conocidos y con la equivalencia $U=r^2 S/4Tt$, se despeja S en función de r , t y T también conocidos.

Un procedimiento similar se sigue para otras situaciones diferentes a las del acuífero confinado, para el que existen soluciones teóricas. Tal es el caso de acuíferos semiconfinados (cuya solución es función de tres parámetros adimensionales), de pozos parcialmente penetrantes, de pozos en acuíferos freáticos, etc. A qué tipo de situación debe ajustarse el comportamiento del pozo depende en gran parte del conocimiento de la geología y de la estratigrafía que se tenga de la zona y la solución que se obtenga debe ser congruente con la situación física.

También, cuando se tiene la posibilidad de observar la evolución del abatimiento en más de un pozo de observación, los resultados deberían coincidir, o diferir en forma que pueda explicarse con una variación razonable de las condiciones del acuífero.

Cuando las fronteras del acuífero pueden influir sobre el pozo, la interpretación de la prueba de bombeo ayuda a definir su influencia; así, de un acuífero semiconfinado, se obtiene la influencia de la capa semiconfinante, su aportación, características físicas, etc.; de una frontera impermeable o de recarga, su distancia al pozo.

2. Cuantificación y explotación

Como se ve de la discusión anterior, la información que proporciona una prueba de bombeo se refiere a las características físicas del acuífero en las inmediaciones del pozo pero no tiene ninguna relación con la potencialidad del acuífero, o sea, con la cantidad total de agua que puede aprovecharse del mismo sin producir efectos adversos como abatimientos excesivos, contaminación salina, etc. Para esto, es necesario realizar análisis sobre áreas de mayor extensión que la que influencia a un pozo, de ser posible, la extensión total del acuífero.

Los análisis de cuantificación son en esencia balances de masa sobre un volumen de control que es la parte del acuífero analizada. Como siempre, un balance de masa está expresado por la fórmula: entradas menos salidas igual a cambio de almacenamiento en un período determinado. Las entradas posibles a un acuífero son flujos subterráneos, infiltraciones y aportaciones de otras formaciones como pueden ser acuíferos o acuíardos sub o suprayacentes al analizado. Las salidas pueden ser flujos subterráneos, descargas a corrientes o a la atmósfera, aportación a otras formaciones y extracciones por bombeo. El cambio de almacenamiento queda definido por la evolución global de la superficie piezométrica y la distribución de coeficientes de almacenamiento. Esto se expresa

6

con la siguiente suma de volúmenes

$$F_e + I + V_+ - F_s - D - V_- - B = SA \Delta H_m$$

donde:

- F_e volumen por flujo subterráneo de entrada
- I infiltraciones directas o de corrientes superficiales
- V_+ aportación de otras formaciones
- F_s volumen por flujo subterráneo de salida
- D descargas a la atmósfera (evapotranspiración)
- V_- aportación a otras formaciones
- B volumen extraído por bombeo
- S coeficiente de almacenamiento
- A área del acuífero

ΔH_m incremento medio del nivel piezométrico en el volumen de control considerado.

Todos estos términos varían con el tiempo, aun en un acuífero virgen sin explotación, más entre mayor sea su comunicación con la superficie, por las variaciones estacionales y anuales de los flujos superficiales.

En cuanto el acuífero empieza a ser explotado, la variación es obligada aún en los más desconectados del flujo superficial.

En casos normales de acuíferos conectados con la superficie, los términos más importantes del miembro izquierdo de la ecuación del balance son I y D , si se comparan con F_e y F_s y en su mayor parte se relacionan con corrientes superficiales. Los casos normales de acuíferos no conectados con la superficie,

tienen como términos relevantes a V_+ y V_- . En el primer caso, cuando se realiza una explotación por bombeo, el agua proviene en su mayor parte de un incremento en la infiltración y de una disminución de la descarga producidos por el abatimiento y del almacenamiento del acuífero. En el segundo caso, el volumen extraído proviene generalmente de la aportación de acuíferos y del almacenamiento del acuífero. Cuando sistemáticamente después de hacer balances por algún tiempo (años), se obtiene que la mayor parte del volumen bombeado proviene del almacenamiento, se sabe que el acuífero está siendo minado o sobreexplotado y que eventualmente llegará el día en que no sea posible extraer más agua, ya sea porque es antieconómico, porque se ha producido contaminación con agua salina (por ejemplo por un incremento importante de la aportación de un acuífero con agua salina) o por algún otro efecto del abatimiento. Si no puede pararse la sobreexplotación por razones económicas, con el conocimiento anterior se está al menos en la posibilidad de estimar el momento del agotamiento del acuífero y tener para entonces fuentes alternativas de agua o el cambio de las actividades económicas de la región.

Normalmente, los estudios que se requieren para determinar el comportamiento del acuífero no pueden basarse sólo en la ecuación global del balance planteada arriba; es necesario ir a mayor detalle con los llamados modelos matemáticos distribuidos del acuífero. Estos están basados, sin embargo, en la aplicación de la misma ecuación anterior en áreas pequeñas del acuífero interconectadas entre sí.

En cualquier caso, para poder determinar los términos del balance es indispensable disponer de una gran cantidad de información de campo. De ella, la de mayor importancia es la proporcionada por las pruebas de bombeo, la de evoluciones piezométricas antes de y durante la explotación y la evolución y distribución del bombeo durante la explotación. Esto significa que además de las observaciones iniciales obtenidas al perforar los pozos, la planeación de la explotación de un acuífero necesita de un esfuerzo continuo de medición de niveles en pozos piloto, varias veces al año y la instalación de medidores de volumen en los pozos de bombeo. Esta información es la base para alimentar y calibrar los modelos matemáticos que pueden prever el comportamiento futuro del acuífero y permitir su explotación racional, ya sea como fuente renovable o no renovable.







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

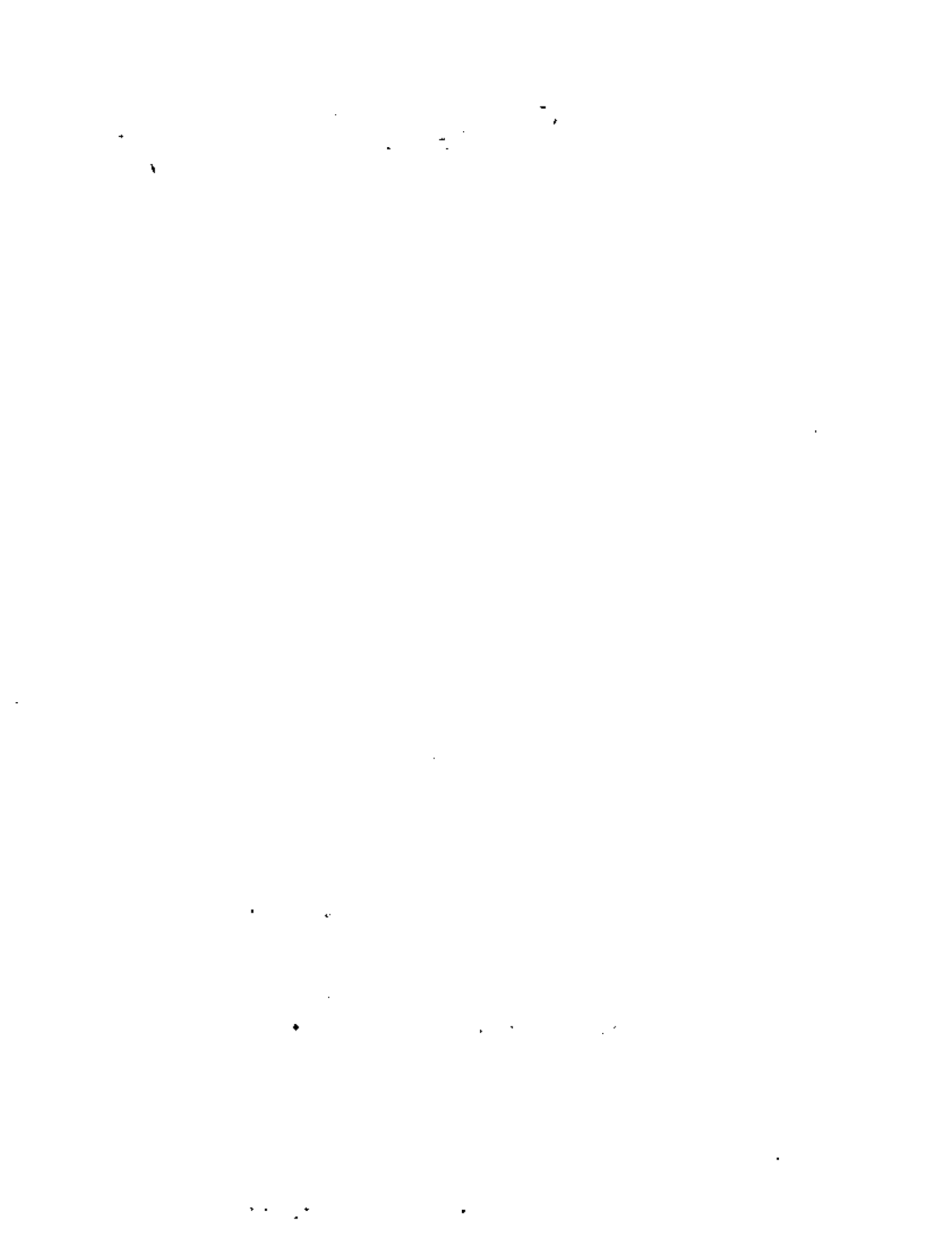
PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

EVALUACION

- . Pruebas de Bombeo
- . Transmisibilidad
- . Almacenamiento
- . Cuantificación

Expositor: Ing. Rubén Martínez Guerra

Junio, 1981



HIDRAULICA DE POZOS

La Hidráulica de Pozos es una de las materias más importantes de la Hidrología Subterránea, ya que proporciona las bases teóricas para interpretar o prever las fluctuaciones de los niveles freáticos o piezométricos, provocados por la extracción de agua mediante pozos.

I.- PROBLEMAS COMUNES.

Los problemas que estudia la Hidráulica de Pozos son muy diversos; entre los más comunes se encuentran los siguientes:

- a).- Identificación de sistemas de flujo y de terminación de sus características hidráulicas.

La identificación del sistema de flujo de que se trata (confinado, semiconfinado, con fronteras impermeables o de alimentación, etc.) y la de terminación de sus características hidráulicas (coeficientes de permeabilidad, transmisibilidad, almacenamiento, etc.), son esenciales para estudiar el comportamiento de un acuífero. Tal conocimiento es indispensable, en problemas de carácter local, para prever el comportamiento de los niveles de agua bajo diferentes regímenes de bombeo de uno o varios pozos; en problemas de carácter regional, como por ejemplo la cuantificación del volumen aprovechable de un acuífero, el conocimiento de las características hidráulicas es esencial para calcular los caudales de agua que circulan en el subsuelo y las variaciones del almacenamiento subterráneo, así como para desarrollar modelos de simulación de acuíferos.

- b).- Predicción del comportamiento de los niveles de agua.

Conocidas las características hidráulicas del acuífero, mediante las fórmulas de la Hidráulica de Pozos es posible predecir los abatimientos que se provocarían bajo ciertas condiciones de bombeo. Así, por ejemplo; si se trata del diseño de un pozo, pueden calcularse los abati-

mientos que se van a provocar en el propio pozo por la extracción del caudal requerido; así mismo, es posible conocer de antemano los abatimientos que se van a provocar en captaciones cercanas a la considerada, o en qué medida se van a provocar en captaciones cercanas a la considerada, o en qué medida se van a interferir varios pozos entre sí.

c).- Diseño de campos de pozos.

El problema consiste en definir el número, distribución (espaciamiento y arreglo) y régimen de operación (caudal y tiempo de bombeo) convenientes, de los pozos necesarios para la extracción de un caudal total.

d).- Definición del régimen de operación de pozos, dada una restricción en el abatimiento de los niveles.

Específicamente, en un acuífero costero el problema puede ser la definición de un régimen de bombeo de uno o varios pozos, tal que los niveles freáticos o piezométricos no desciendan abajo de un nivel crítico, impuesto por el riesgo de contaminación salina.

e).- Drenaje vertical.

En terrenos agrícolas los niveles freáticos someros constituyen un problema por afectar los sistemas radiculares de los cultivos o propiciar la salinización del suelo; en áreas urbanas, dicha condición obstaculiza la construcción de cimentaciones. En ocasiones, la geología subterránea es tal que los drenes verticales (pozos) resultan más eficientes que los horizontales. En ese caso, la Hidráulica de Pozos aporta las herramientas teóricas para diseñar el sistema de drenaje.

f).- Recarga artificial.

Uno de los métodos utilizados para recargar un acuífero consiste en la inyección de agua a través de pozos. Conocidas las características del sistema acuífero, puede deducirse la capacidad de absorción de uno o varios pozos y predecirse la respuesta de los niveles a la recarga.

II.- PRUEBAS DE BOMBEO.

2.1.- GENERALIDADES.

El conocimiento de las características físicas e hidráulicas del sistema acuífero es básico para el estudio de los problemas señalados.

Generalmente, un buen corte geológico derivado de la clasificación de las muestras de los materiales atravesados durante la perforación, proporciona una idea del tipo de sistema de que se trata. De la correlación de la litología de los materiales con los rangos de permeabilidad correspondientes, puede deducirse la transmisibilidad del acuífero; lógicamente, el valor así obtenido es sólo aproximado, ya que durante la perforación y el muestreo se alteran las condiciones que tiene el material in situ, especialmente por lo que se refiere al acomodo y grado de compactación, factores que tienen gran influencia en la permeabilidad.

2.2.- OBJETIVOS DE LA PRUEBA.

Sin embargo, la transmisibilidad deducida en esta forma es prácticamente puntual, y la respuesta de los niveles al bombeo depende más bien de la transmisibilidad media de la porción de acuífero afectada por el mismo. Por otra parte, dicha respuesta no sólo es función de la transmisibilidad, sino también de otras propiedades hidráulicas y de las condiciones de frontera particulares del sistema de que se trata. Es necesario, pues, efectuar una prueba que dé una idea del tipo de sistema, y proporcione valores de las características hidráulicas del acuífero en el área de influencia del bombeo. Tales son los objetivos de la llamada "prueba de bombeo".

La prueba consiste en observar los efectos provocados en la superficie freática o piezométrica de un acuífero por la extracción de un caudal conocido. Los efectos (abatimientos) son registrados en el pozo de bombeo y en pozos próximos a él.

2.3.- SELECCION DEL SITIO DE PRUEBA.

En ocasiones, el sitio de la prueba está obligado; por ejemplo, cuando se trata de un problema de carácter local o interesa conocer las características hidráulicas del acuífero en un sitio específico.

En estudios geohidrológicos de carácter regional, generalmente hay cierta flexibilidad para elegir el sitio de prueba. Habiendo disponibilidad presupuestal para construir pozos con este fin, la prueba puede llevarse a cabo en el sitio que más convenga; aunque lo más frecuente es que tengan que utilizarse pozos ya existentes. Si en el área de interés hay varios pozos utilizables para el propósito de que se trata, en la elección del más adecuado deben considerarse los aspectos siguientes:

- que el equipo de bombeo se encuentre en condiciones apropiadas para sostener un caudal constante durante la prueba.
- que la profundidad al nivel del agua sea fácilmente medible.
- que el caudal de extracción pueda ser fácilmente aforado.
- que el agua bombeada no se infiltre hasta el acuífero en las proximidades del pozo.
- que las características constructivas y el corte geológico del pozo sean conocidos, y
- que los pozos próximos no operen durante la prueba.

Puesto que no es fácil que se cumplan simultáneamente todos estos requisitos, en cada caso deberá juzgarse con cierto criterio, si el incumplimiento de uno o varios de ellos obstaculiza significativamente o no, el buen desarrollo y la interpretación de la prueba.

2.4.- POZOS DE OBSERVACION.

Para la interpretación completa de una prueba, lo ideal es contar con uno o varios pozos de observación -- dispuestos a diferentes distancias del pozo de bombeo. Cuando esto es posible las características deducidas son más confiables y representativas de un área mayor. Por ello, es muy recomendable disponer al menos de un pozo de observación.

Ubicación de los Pozos de Observación.

De gran importancia es la adecuada ubicación de los pozos de observación con respecto al de bombeo. No hay una regla fija que indique la distancia a que deben situarse, ya que ésta depende de las condiciones locales particulares de cada caso. En términos generales, el emplazamiento de los pozos de observación a distancias entre 30 y 100 m del pozo de bombeo, es adecuado en la mayoría de los casos; aunque para una ubicación más cuidadosa deben contemplarse los aspectos siguientes: el tipo y la transmisibilidad del acuífero, el caudal de descarga, la ubicación y longitud del cedazo del pozo de bombeo.

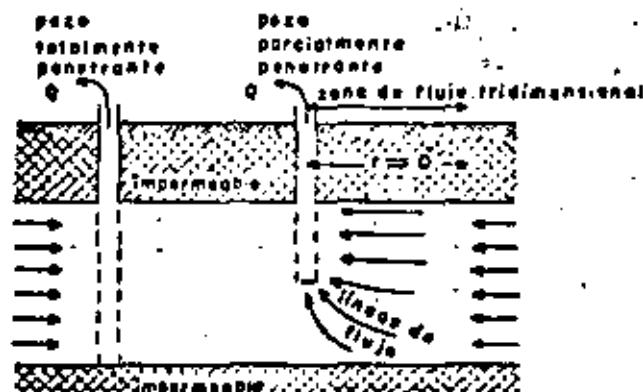
En acuíferos confinados la propagación de los efectos del bombeo es muy rápida y, por tanto, los abatimientos pueden ser medibles a distancias hasta de varios cientos de metros, incluso para tiempos cortos de bombeo. Por esta razón, en este tipo de acuíferos los pozos de observación pueden situarse bastante alejados del pozo de prueba. En cambio, en los acuíferos freáticos la propagación de los abatimientos es mucho más lenta; por consiguiente, los pozos de observación deben situarse más próximos al de bombeo, a fin de que los abatimientos sean medibles sin prolongar demasiado la prueba.

Mientras mayor es la transmisibilidad de un acuífero más extenso es el cono de abatimientos. Entonces, en un acuífero de alta transmisibilidad los pozos de observación pueden situarse más alejados del pozo de bombeo, que en un acuífero de transmisibilidad baja.

La magnitud de los abatimientos es directamente proporcional al caudal bombeado. Si éste es pequeño, los abatimientos provocados en pozos de observación relativamente alejados pueden no ser medibles, aun cuando la influencia del bombeo ya se haya extendido hasta ellos. Por tanto, mientras más bajo sea el caudal extraído, más próximos deben situarse los pozos de observación.

Cuando el cedazo del pozo de bombeo capta la mayor parte del espesor del acuífero, el flujo es predominantemente lateral. En este caso, los pozos de observación registran el mismo abatimiento independientemente de la posición y de la ubicación de su cedazo. Por el contrario, si el cedazo

del pozo bombeado capta sólo una parte del espesor del acuífero, la distribución vertical de los abatimientos no es uniforme, debido a que el flujo es tridimensional en las proximidades del pozo; como consecuencia, los abatimientos registrados en un pozo de observación dependen de la ubicación y longitud de su cedazo, y la interpretación de la prueba resulta bastante más complicada. Por esta razón, en tal caso es preferible emplazar los pozos de observación a distancias mayores de 1.5 veces el espesor del acuífero, para las cuales el flujo es prácticamente horizontal.



Profundidad de los pozos de Observación.-

Tan importante como su ubicación con respecto al pozo de bombeo, es la adecuada profundidad de los pozos de observación. Naturalmente, debe cuidarse que estos capturen el mismo acuífero que está siendo bombeado. Cuando el pozo de bombeo capta la mayor parte del espesor del acuífero, y éste es más o menos homogéneo, no es necesario que los pozos de observación penetren totalmente al acuífero, siendo suficiente un cedazo de longitud reducida, de preferencia ubicado a la profundidad en que se encuentra la parte media del cedazo del pozo de bombeo.

Sin embargo, si el acuífero tiene intercalaciones de materiales arcillosos, es conveniente que el cedazo de los pozos de observación sea de mayor longitud o, todavía mejor, que se construyan pozos de observación que capturen cada estrato permeable, con el propósito de definir la intercon-

ción entre ellos. Así mismo, cuando se trata de acuíferos se miconfinados, es conveniente instalar también pozos de observación en el estrato semiconfinante, con el objeto de registrar los abatimientos provocados en él, lo que permite un conocimiento más preciso de su permeabilidad vertical.

Limitaciones.-

Obviamente, el empleo de pozos de observación enfrenta una gran dificultad: su construcción en la mayoría de los casos no es viable por limitaciones económicas. Por otra parte, aun cuando dichas limitaciones no sean muy serias, es frecuente que no se aprecie lo suficiente la utilidad de una prueba confiable, y que la construcción de los pozos "testigo" se considere un gasto inútil.

Al respecto, cabe aclarar que el costo de tales pozos no es muy significativo, ya que su diámetro puede ser muy reducido y, por lo general, no se requiere que penetren totalmente al acuífero; por el otro lado, el mejor conocimiento del tipo de sistema y de sus características hidráulicas, que se logra cuando se dispone de ellas, es invaluable en el estudio de diversos problemas de agua subterránea.

Cuando no se dispone de medios económicos para construirlos, pero se tiene cierta libertad para elegir el emplazamiento del pozo de bombeo, éste puede ubicarse en las proximidades de pozos existentes para utilizarlos en la prueba, siempre y cuando las características de ellos sean adecuadas para tal fin. Lo más común, sin embargo, es que no se disponga de pozos de observación, y que la prueba se limite a observar los abatimientos en el pozo de bombeo. Debido a que en su interior y en su vecindad inmediata se presentan efectos locales complejos, difíciles de tomar en cuenta en las soluciones teóricas (concentraciones de flujo; influencia del filtro de grava; pérdidas por entrada, fluctuaciones, cambios de dirección; turbulencias . . .), la interpretación de las pruebas en este caso es aún muy dudosa y, por lo mismo, los resultados de ella deben tomarse con ciertas reservas.

2.5.- DURACION DE LA PRUEBA.

La duración recomendable de una prueba de bombeo depende de las características del sistema acuífero estudiado y de la precisión con que se desea conocer sus características hidráulicas; desde luego, en la práctica está sujeta a la

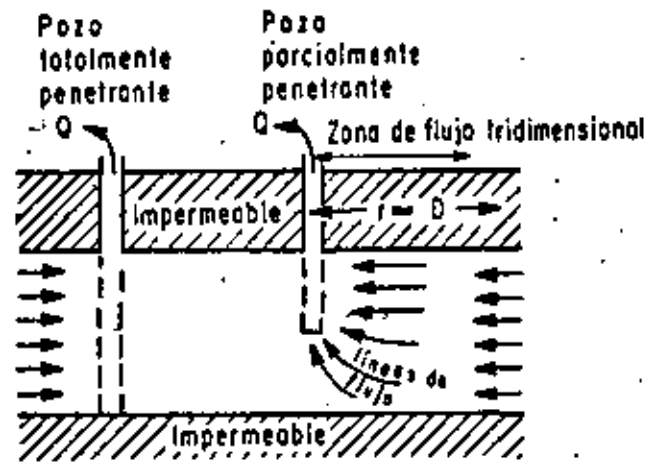


FIGURA No. 1.- ESQUEMA DEL FLUJO HACIA POZOS TOTAL Y PARCIALMENTE PENETRANTES.

disponibilidad de los pozos (cuando se utilizan pozos particulares) y a limitaciones económicas. Una prueba de larga duración tiene varias ventajas: las características deducidas de su interpretación son representativas de una área mayor, ya que los efectos del bombeo se propagan a mayor distancia; en ocasiones, revela la presencia de fronteras laterales; en algunos casos, se alcanza la estabilización del cono de abatimiento, facilitando la interpretación de la prueba.

La duración recomendable varía entre varias - - horas y varios días, siendo conveniente prolongarla tanto como sea posible, sobre todo cuando se cuenta con pozos de observación; en caso contrario, no se justifica realizar pruebas largas y, en general, son suficientes unas cuantas horas de bombeo. En todo caso, el graficador, en el sitio de prueba, del comportamiento de los niveles del agua proporciona elementos de juicio para continuar o suspender la prueba, como se indica más adelante.

Para verificar los resultados deducidos mediante la llamada "etapa de bombeo" ó "etapa de abatimiento", se lleva a cabo la llamada "etapa de recuperación", que consiste en observar el comportamiento de los niveles al suspender el bombeo durante un cierto tiempo; la duración de esta etapa es, generalmente, semejante a la de la etapa anterior.

2.6.- EJECUCION DE LA PRUEBA.

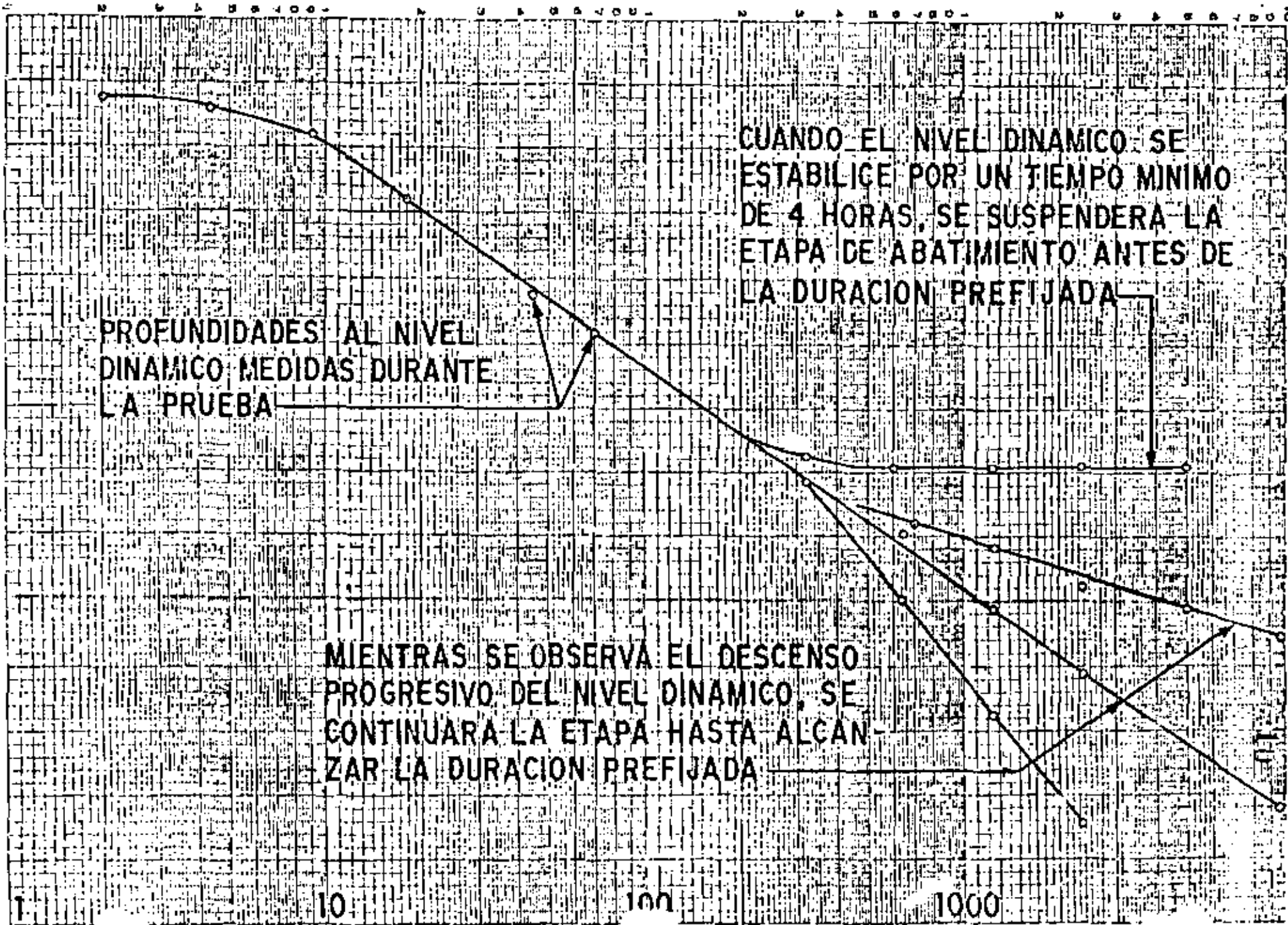
Antes de iniciar la prueba, se revisará el equipo a utilizar (cronómetros, sondas, cintas métricas, escuadra para aforo, etc.), para verificar su correcto funcionamiento. El cable de las sondas deberá ser previamente calibrado. Cuando se cuente con varias sondas, se procurará, en lo posible, que todas las observaciones en un pozo se efectúen con la misma sonda.

Seguidamente, se llevarán a cabo las actividades siguientes:

a).- Inmediatamente antes de iniciar el bombeo, se medirá la profundidad al nivel estático en el pozo de bombeo y en el (o los) de observación. Se anotará la hora de iniciación de la prueba y las lecturas iniciales con el nombre de los pozos a que corresponden.

TIEMPO DE BOMBEO, EN MIN TOS

PROFUNDIDAD AL NIVEL DINAMICO, EN METROS



b).- Se iniciará el bombeo, procurando mantener un caudal constante, y se procederá a medir la profundidad al nivel del agua en el pozo de bombeo y en el (o los) de observación, con la secuela de tiempos que se indica a continuación:

LECTURA	TIEMPO A PARTIR DE LA INICIACION DEL BOMBEO
1	Inmediatamente antes de iniciar el bombeo.
2	15 Segundos
3	30 Segundos
4	1 Minuto
5	2 Minutos
6	4 Minutos
7	8 Minutos
8	15 Minutos
9	30 Minutos
10	1 Hora
11	2 Horas
12	4 Horas
13	8 Horas
14	16 Horas
15	24 Horas
16	32 Horas
17	40 Horas
18	48 Horas

c).- A intervalos de tiempo seleccionados, se harán las observaciones o lecturas necesarias para cuantificar el caudal de bombeo.

d).- Con las observaciones realizadas, se - - construirá, en el sitio de prueba, la gráfica de variación del nivel dinámico en el tiempo, para el pozo de bombeo y - para cada uno de los pozos de observación. En la graficación podrá utilizarse papel con trazado aritmético o semilogarítmico (los tiempos se llevarán en la escala logarítmica). Estas gráficas son útiles para juzgar el correcto desarrollo de la prueba: permiten detectar errores de medición, variaciones sensibles de caudal y otras anomalías causadas por factores externos, y constituyen un elemento de juicio para continuar o suspender una prueba.

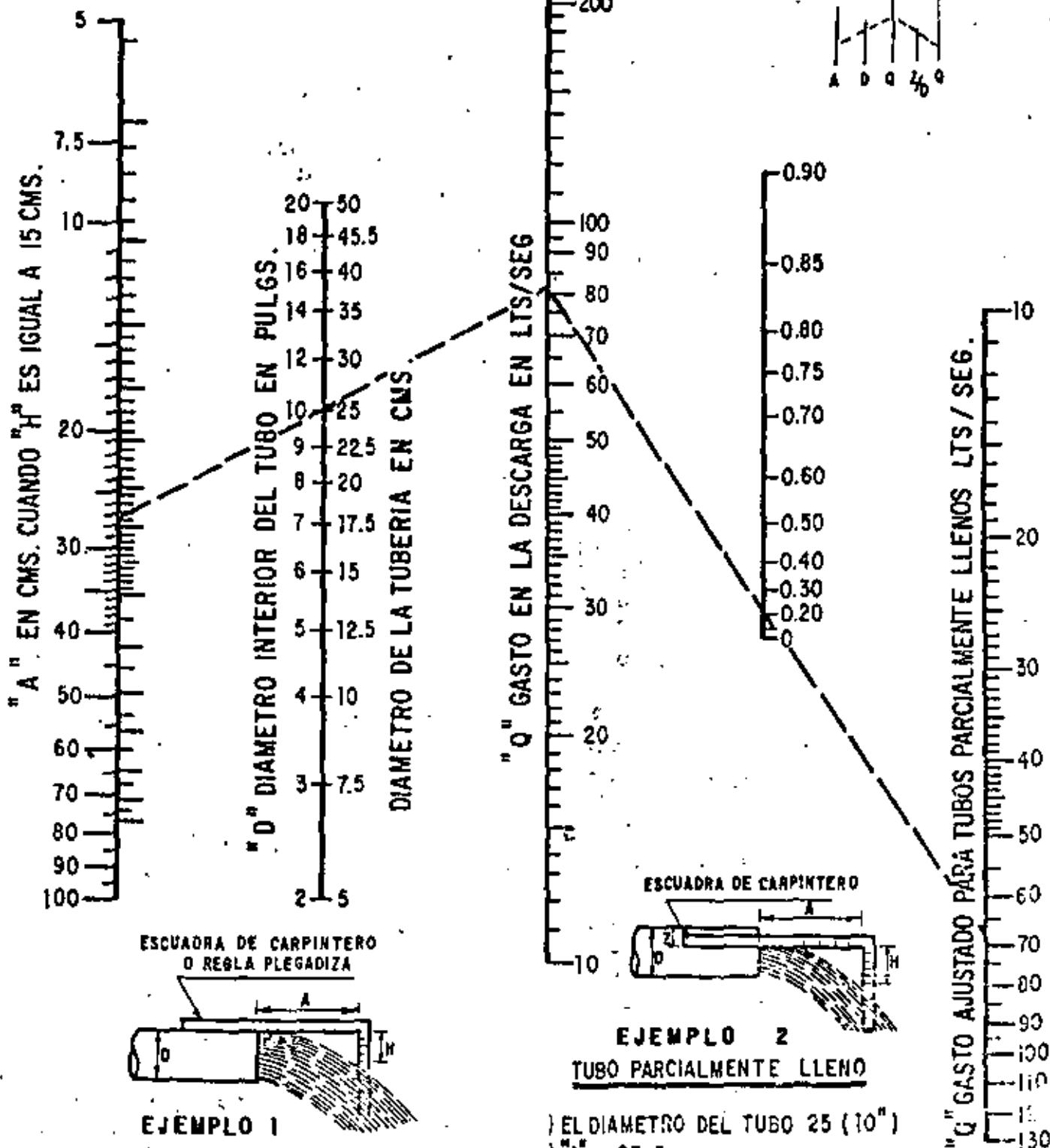
NOMOGRAMA PARA CALCULAR EL GASTO A TRAVES DE UN TUBO

FORMULA RESUELTA

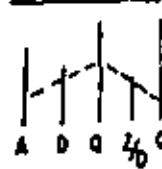
$$Q = 0.0174 \frac{A D^2}{\sqrt{H}}$$

D, H, A, EN CM.
Q EN LPS

12



SOLUCION



EJEMPLO 1
TUBO LLENO

-) EL DIAMETRO DEL TUBO 25 (10")
-) "A" = 27.5 cm.
-) "H" = 15 cm.
-) "Q" = 81 LTS / SEG

EJEMPLO 2
TUBO PARCIALMENTE LLENO

-) EL DIAMETRO DEL TUBO 25 (10")
-) "A" = 27.5 cm.
-) "H" = 15 cm.
-) "Z" = 5 cm.
-) $Z/D = \frac{\text{FALTANTE}}{\text{DIAMETRO}} = \frac{5}{25} = \frac{1}{5} = 0.20$

VALORES DEL COEFICIENTE
DE
DESCARGA K' EN TUBERIAS

DIAMETRO DE ORIFICIO (")	DIAMETRO DE DESCARGA EN PULGADAS							
	3	4	5	6	7	8	10	12
2	0.639	0.453	0.552	0.553				
2 1/4	0.892	0.950	0.715	0.705	0.697			
2 1/2	1.243	0.973	0.901	0.831	0.870	0.859		
2 3/4		1.256	1.117	1.074	1.057	1.048		
3		1.862	1.353	1.292	1.275	1.253	1.231	
3 1/4		2.405	1.633	1.533	1.503	1.452	1.451	
3 1/2			2.014	1.845	1.767	1.735	1.706	
3 3/4			2.305	2.165	2.061	2.005	1.953	1.939
4			3.097	2.546	2.387	2.303	2.248	2.220
4 1/4				2.979	2.759	2.643	2.553	2.513
4 1/2				3.575	3.172	3.021	2.890	2.830
4 3/4				4.205	3.615	3.420	3.240	3.162
5				4.973	4.177	3.951	3.605	3.531
5 1/4					4.862	4.350	4.024	3.924
5 1/2					5.259	4.639	4.176	4.310
5 3/4					6.572	5.543	4.974	4.749
6						6.353	5.479	5.152
6 1/4						7.230	6.019	5.591
6 1/2						8.299	6.830	6.213
6 3/4							7.303	6.751
7							8.042	7.394
7 1/4							8.633	8.003
7 1/2							9.931	8.535
7 3/4							11.047	9.405
8							12.334	10.185
8 1/4							13.533	10.895
8 1/2								11.530
8 3/4								13.015
9								14.301
9 1/4								15.523
9 1/2								17.454
9 3/4								19.657
10								19.893

$$Q = K' \sqrt{h}$$

Q en lps

h en cm.

e).- La duración de la etapa de bombeo, fijada inicialmente como se indicó en (2.5) podrá modificarse con el criterio siguiente:

- Si el caudal de bombeo varía apreciablemente, en forma continua e incontrolable, se suspenderá la prueba.
- Cuando en la gráfica nivel dinámico-tiempo, - del pozo bombeado (en trazado semilogarítmico o aritmético) se observe una estabilización del nivel dinámico por un tiempo mínimo de 4 hs, podrá suspenderse la etapa de bombeo antes de alcanzar la duración prefijada, (ver gráfica anexa).

f).- Una vez concluida la etapa de bombeo, se iniciará la de recuperación, en la que se efectuarán observaciones en los tiempos indicados a continuación:

LECTURA	TIEMPO A PARTIR DE LA SUSPENSION DEL BOMBEO
1	Inmediatamente antes de suspender el bombeo.
2	15 Segundos
3	30 Segundos
4	1 Minuto
5	2 Minutos
6	4 Minutos
7	8 Minutos
8	15 Minutos
9	30 Minutos
10	1 Hora
11	2 Horas
12	4 Horas
13	8 Horas
14	16 Horas
15	24 Horas
16	32 Horas
17	40 Horas
18	48 Horas

g).- Los tiempos indicados en los incisos b) y f) son una guía de la frecuencia con la que deben realizarse las observaciones. Si, por cualquier causa, no puede hacer-

se contacto con el nivel dinámico en el tiempo señalado, se hará la medición y se indicará el tiempo real a que corresponde.

2.7.- COMENTARIOS GENERALES.

De todo lo expuesto se desprende que una prueba de bombeo requiere una cuidadosa programación e implica un cierto gasto más o menos significativo. Desde luego, la duración del bombeo y el número de pozos de observación recomendables en cada caso particular, depende del tipo de problema de que se trate. En muchos casos no se justifica una prueba larga, ni la construcción de pozos "testigo"; por ejemplo, cuando se trata de problemas de carácter muy local. En cambio, cuando se trata de problemas más complejos o de carácter regional, como el cálculo de la disponibilidad de agua subterránea de una zona, o el diseño de un campo de pozos o de un sistema de drenaje agrícola, se justifica plenamente el gasto que implica la ejecución de una prueba completa, ya que un conocimiento insuficiente o equivocado de las características del sistema, se puede traducir en graves perjuicios económicos.

III.- ANALISIS DE LAS PRUEBAS.

La interpretación de las pruebas de bombeo en acuíferos granulares, se basa en soluciones teóricas deducidas resolviendo la ecuación diferencial de flujo, para las condiciones de frontera representativas de diversos sistemas. Dichas soluciones expresan matemáticamente el comportamiento de los niveles piezométricos en el área estudiada por el bombeo.

Al realizar una prueba, la gráfica de las observaciones sugiere el tipo de sistema de que se trata. Mediante consideraciones geológicas, hidrológicas y topográficas, basadas en la información complementaria disponible (cortes geológicos, registros eléctricos, geología superficial, presencia de canales o ríos, pendiente topográfica, etc.), se confirma, modifica o descarta la suposición hecha inicialmente. Una vez identificado el sistema, a partir de las ecuaciones correspondientes pueden deducirse las características hidráulicas buscadas.

Naturalmente, para que el problema sea atacable analíticamente, es necesario simplificar los sistemas conside

rados, introduciendo algunas hipótesis. Las más comunes son:

- el acuífero tiene extensión lateral infinita.
- el acuífero es homogéneo, isótropo y de espesor uniforme en el área afectada por el bombeo.
- la superficie piezométrica o la superficie freática, según el caso, es aproximadamente horizontal en el área de influencia del bombeo, antes de iniciarse la prueba.
- el caudal de descarga es constante.
- el pozo capta totalmente el espesor del acuífero.

Aparentemente, estas hipótesis limitan seriamente la aplicabilidad de las soluciones a casos reales; sin embargo, no deben considerarse en forma rigurosa sino con un enfoque práctico. Es claro que las condiciones naturales siempre diferirán en cierta medida de las condiciones teóricas; pero en muchos casos tales desviaciones no son significativas desde el punto de vista práctico.

Conviene aclarar, sobre todo, que las hipótesis señaladas deben cumplirse, exclusivamente, en el área afectada por el bombeo, la cual no es de extensión muy considerable. Este hecho hace a las hipótesis más "razonables". En efecto, las características hidráulicas y el espesor medio de un acuífero, generalmente no presentan variaciones importantes en el área comprendida por el cono de abatimientos; en condiciones naturales la superficie freática o la superficie piezométrica tienen gradientes muy pequeños, por lo que pueden suponerse prácticamente horizontales; en cuanto a la homogeneidad, la presencia de intercalaciones de materiales de litología y permeabilidad diferentes a las del acuífero, sólo afectan localmente la distribución de abatimientos, pero no influyen significativamente en el comportamiento de conjunto del acuífero.

Obviamente, cuando las condiciones reales se apartan notablemente de las establecidas en las hipótesis, las soluciones basadas en éstas dejan de ser aplicables, y es ne-

cesario utilizar otras soluciones cuyas hipótesis se ajusten razonablemente a la situación real.

3.1.- MECANISMO DEL FLUJO HACIA UN POZO.

Quando un pozo es bombeado, la superficie freática (o piezométrica) del acuífero es abatida en sus alrededores. El abatimiento provocado es máximo en el pozo de bombeo y decrece conforme aumenta la distancia al pozo, hasta ser prácticamente nulo. Como el abatimiento a cierta distancia del pozo es el mismo en todas direcciones, el área de influencia del bombeo es un círculo (si el acuífero es relativamente homogéneo e isótropo) cuyo radio depende de las características hidráulicas y del tiempo de bombeo, entre otros factores.

Dado que la presión mínima se tiene en el pozo de bombeo, el agua fluye hacia él desde todas direcciones. Si el flujo es horizontal, conforme el agua se acerca al pozo, se mueve a través de superficies cilíndricas de área cada vez menor; como consecuencia, la velocidad del agua va incrementando conforme ésta se acerca al pozo. Puesto que la velocidad es proporcional al gradiente hidráulico, de acuerdo con la ley de Darcy, la pendiente de la superficie piezométrica incrementa gradualmente hacia el pozo, lo que da a dicha superficie una forma aproximadamente cónica. Por ello, a la depresión piezométrica provocada por el bombeo, se le acostumbra llamar "cono de depresión".

El agua bombeada por el pozo es tomada del almacenamiento del acuífero. Si no hay recarga vertical en el área afectada por el bombeo, la depresión piezométrica se va expandiendo afectando un área cada vez mayor. Al crecer el área afectada, los abatimientos necesarios para mantener la extracción del pozo son cada vez menores, alcanzándose un momento en el que la superficie piezométrica se estabiliza en las proximidades del pozo. En estas condiciones se dice que el flujo está establecido.

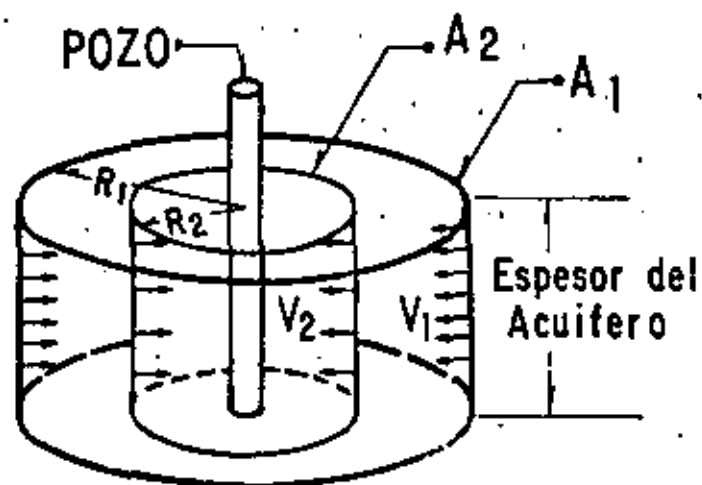
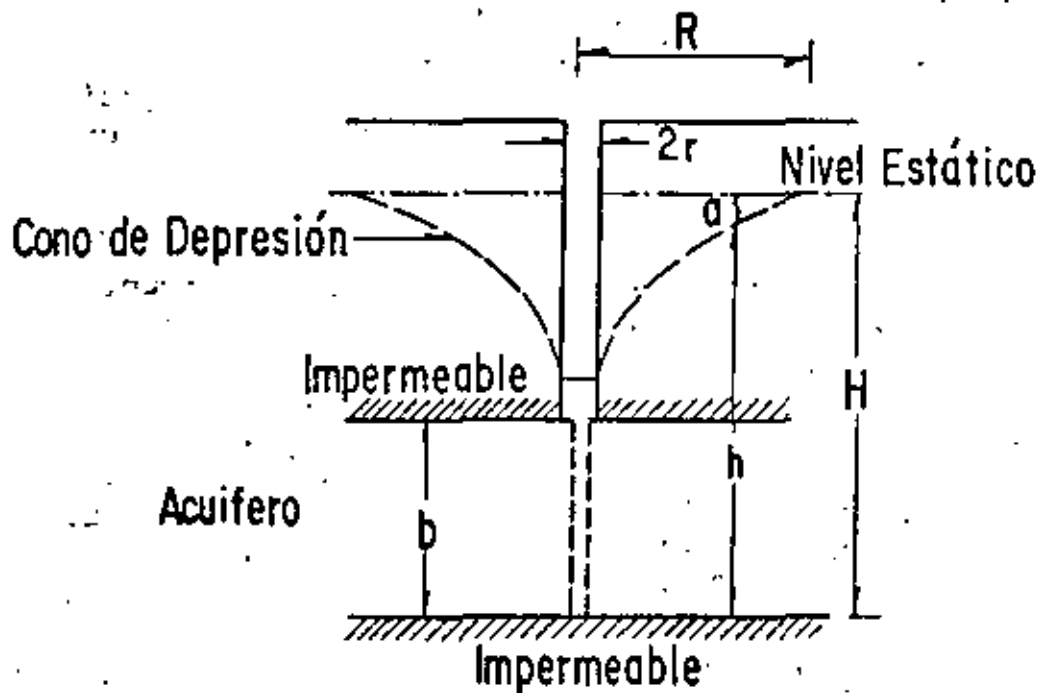
3.2.- POZOS EN ACUIFEROS CONFINADOS.

Pruebas en régimen de flujo establecido.-

Puede demostrarse que la solución de la ecuación diferencial

$$\frac{d^2h}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dh}{dr} = 0 \tag{1}$$

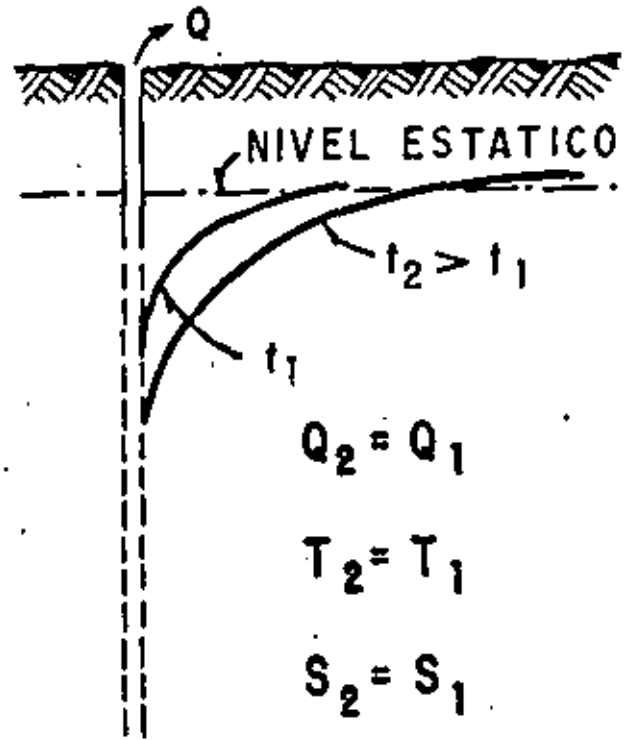
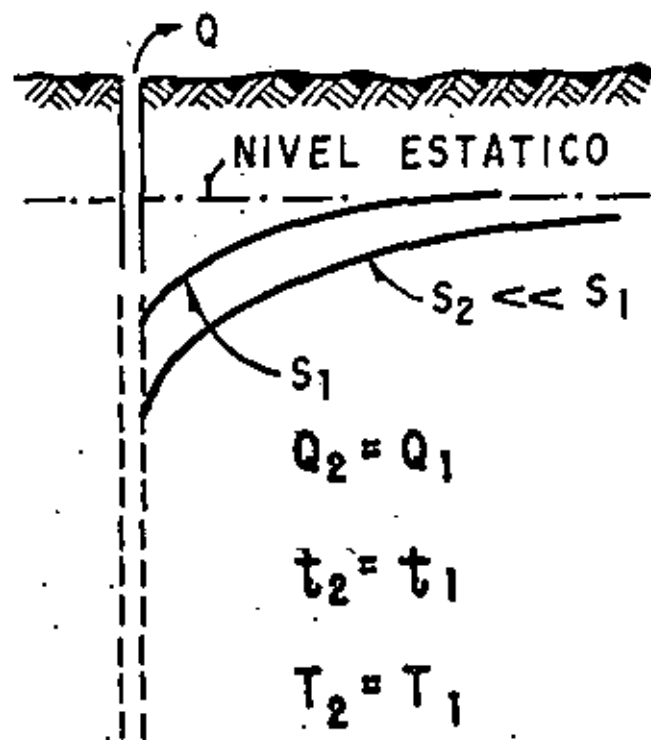
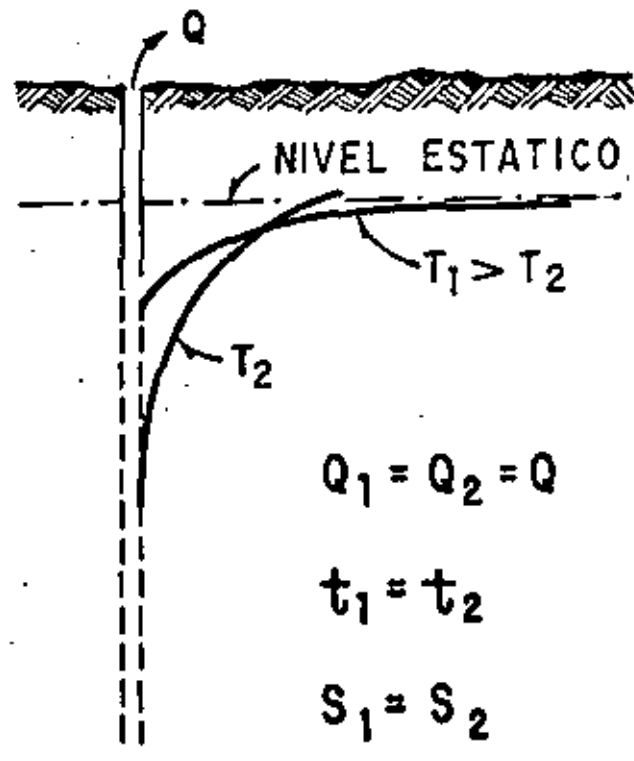
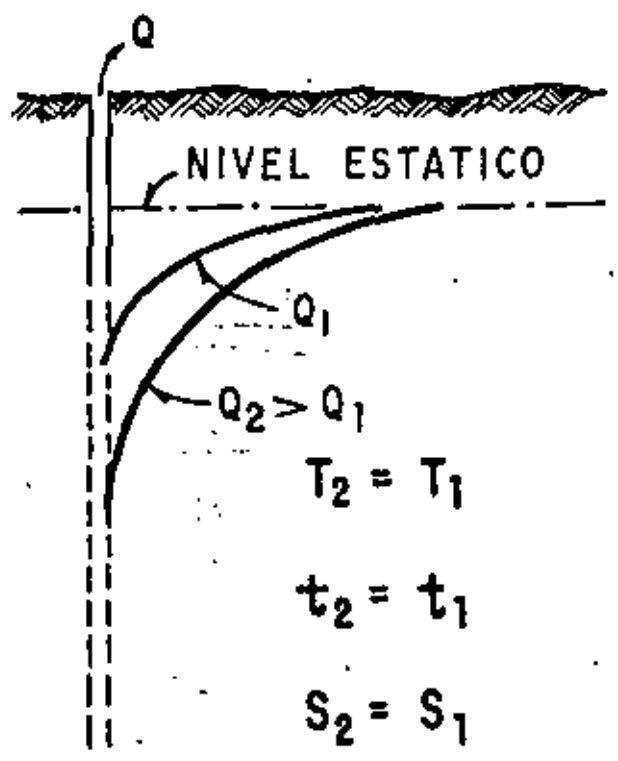
MECANISMO DEL FLUJO HACIA UN POZO



$$R_1 = 2 R_2 \quad A_1 = 2 A_2$$

$$V_2 = 2 V_1$$

FIG. C.- INFLUENCIA DEL CAUDAL (Q) TIEMPO DE BOMBEO (t), TRANSMISIBILIDAD (T), ALMACENAMIENTO (S), EN LA FORMA Y DIMENSIONES DEL CONO DE DEPRESION



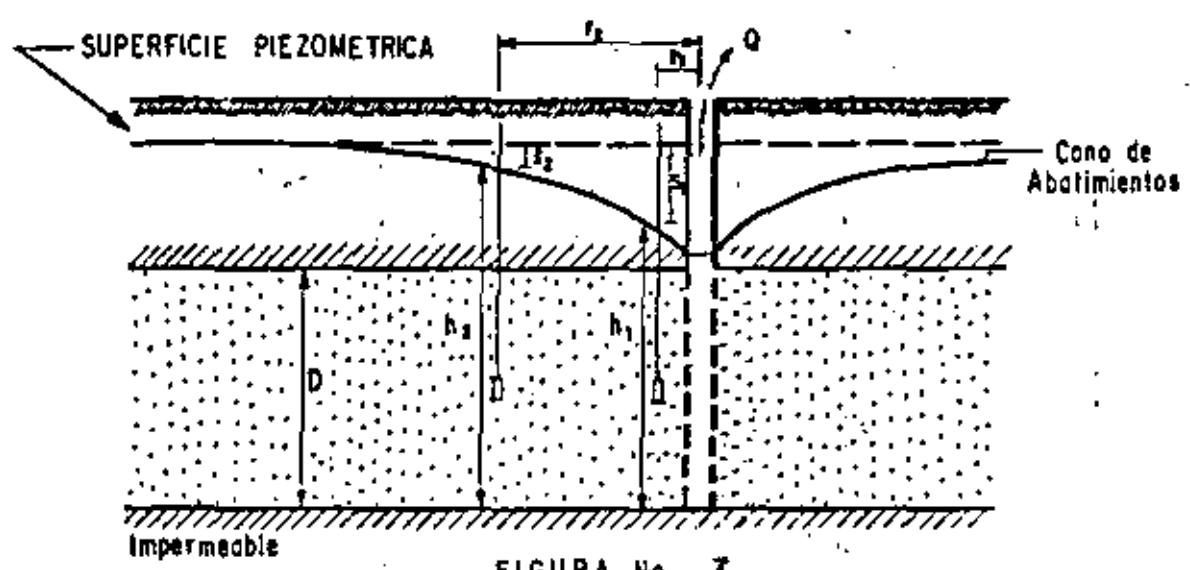
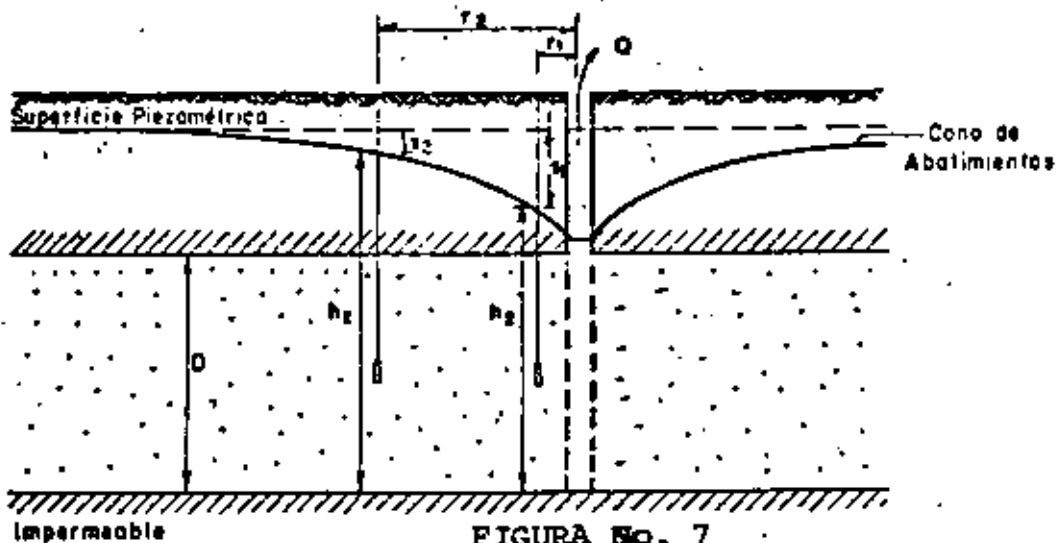


FIGURA No. 7

sujeta a las condiciones de frontera correspondientes al sistema ilustrado en la figura, es:

$$h_1 - h_2 = \frac{Q}{2\pi Kb} L \frac{r_1}{r_2} \quad (2)$$

en la que: h_1 y h_2 son las elevaciones del nivel del agua a las distancias r_1 y r_2 del pozo de bombeo, respectivamente; Q , el caudal bombeado; K , la permeabilidad del acuífero, y b , su espesor saturado. Esta solución se basa en la hipótesis de que el flujo hacia el pozo se encuentra establecido, y en todas las -- antes señaladas.



La expresión anterior, llamada "Fórmula de Thiem", permite calcular la permeabilidad cuando se conoce la posición del nivel del agua en dos pozos de observación:

$$K = \frac{Q}{2\pi b (a_2 - a_1)} L \frac{r_1}{r_2} \quad (3)$$

Cuando sólo se dispone de un pozo de observación, la permeabilidad se deduce mediante la ecuación:

$$K = \frac{Q}{2\pi b (a_p - a_o)} L \frac{r_1}{r_p} \quad (4)$$

HIPOTESIS BASICAS DE LA ECUACION DE THIEM

- a). - ACUIFERO HOMOGENEO E ISOTROPO EN EL AREA AFECTADA POR EL BOMBEO.
- b). - EL ESPESOR DEL ACUIFERO ES CONSTANTE (ACUIFERO - CONFINADO) O EL ESPESOR SATURADO INICIAL ES CONSTANTE ANTES DE INICIAR EL BOMBEO (ACUIFERO LIBRE).
- c). - EL POZO ES TOTALMENTE PENETRANTE.
- d). - LA SUPERFICIE PIEZOMETRICA O FREATICA ES HORIZONTAL ANTES DE INICIARSE EL BOMBEO.
- e). - EL ABATIMIENTO EN LAS PROXIMIDADES DEL POZO NO VARIA EN EL TIEMPO.

en la que r_p es el radio del pozo de bombeo, y a_p es el abatimiento registrado en el mismo. Esta expresión debe utilizarse con reservas, porque el abatimiento medido en el pozo está influenciado por las pérdidas locales en el pozo de bombeo.

Aun cuando las fórmulas anteriores son aplicables a algunos casos prácticos, tienen dos limitaciones principales: no proporcionan información respecto al coeficiente de almacenamiento, ni permiten calcular los abatimientos en función del tiempo.

Pruebas de bombeo en régimen transitorio.-

En 1935, C. V. Theis inició el estudio de la hidráulica de pozos en régimen transitorio, al desarrollar la fórmula que lleva su nombre. Mediante ella pueden deducirse los valores de los coeficientes de transmisibilidad y almacenamiento, a partir de los abatimientos registrados en uno o varios pozos de observación para diferentes tiempos de bombeo, con la ventaja de que no es necesario esperar la estabilización del cono de abatimientos, como en el caso anterior.

La solución desarrollada por Theis, es:

$$a = \frac{Q}{4\pi T} \cdot W(u) \quad (5)$$

donde: a es el abatimiento registrado a la distancia r del pozo de bombeo; Q , es el caudal; T , la transmisibilidad; $W(u)$, la función de pozo, y

$$u = \frac{r^2 S}{4 T t} \quad (6)$$

Con base en las expresiones (5) y (6), Theis desarrolló el método gráfico-numérico de solución para determinar los parámetros T y S , que a continuación se describe:

- a).- Trazar la curva tipo $W(u) - 1/u$ en papel con trazado doble logarítmico.
- b).- Construir la gráfica abatimiento-tiempo del pozo de observación en papel idéntico al utilizado en el inciso a).
- c).- Superponer las gráficas manteniendo los ejes paralelos, y buscar la coincidencia de la

HIPOTESIS BASICAS DE LA ECUACION DE THEIS

- a).- EL ACUIFERO ES HOMOGENEO E ISOTROPO.
- b).- EL ESPESOR SATURADO DEL ACUIFERO ES CONSTANTE.
- c).- EL ACUIFERO TIENE EXTENSION LATERAL INFINITA.
- d).- EL CAUDAL BOMBEADO PROCEDE DEL ALMACENAMIENTO DEL ACUIFERO.
- e).- EL POZO ES TOTALMENTE PENETRANTE.
- f).- EL ACUIFERO LIBERA EL AGUA INSTANTANEAMENTE AL ABATIRSE LA SUPERFICIE PIEZOMETRICA.

curva de campo y curva tipo.

- d).- Seleccionar un punto de ajuste y obtener sus coordenadas en los cuatro ejes.
- e).- Substituir los valores de las coordenadas en las ecuaciones (5) y (6), despejando los valores de T y S.

En la figura se muestra la curva tipo; la figura ilustra la interpretación de una prueba de bombeo.

En general, debe darse menor peso a los puntos correspondientes a los tiempos más cortos, pues en esta parte de la prueba pueden tenerse las mayores discrepancias entre las condiciones reales y las hipótesis establecidas para obtener la fórmula: hay cierto retraso entre el abatimiento de la superficie piezométrica y la liberación del agua, retraso que puede ser mayor en esta parte de la prueba, en la que los niveles se abaten rápidamente; el caudal puede variar apreciablemente por el incremento brusco de la carga de bombeo, etc. Para tiempos mayores de bombeo, estas discrepancias se van minimizando y se tiene un mejor ajuste entre la teoría y las condiciones reales.

Un método más sencillo para la interpretación de las pruebas, fué desarrollado por Jacob, quien observó -- que para tiempos largos ($t > 5Sr^2/T$), la ecuación (5) puede expresarse:

$$a = \frac{2.30 Q}{4 \pi T} \log \frac{2.25 Tt}{r^2 S}$$

A partir de esta fórmula, desarrolló el método gráfico de interpretación que lleva su nombre, y que consiste en lo siguiente:

- a).- Construir la gráfica abatimiento (en escala aritmética) contra tiempo (en escala logarítmica).
- b).- Pasar una recta por los puntos que se alinean, y determinar su pendiente. Los puntos correspondientes a los primeros minutos de la prueba se apartan generalmente

CURVA TIPO PARA INTERPRETACION DE PRUEBAS DE BOMBEO EN POZOS TOTALMENTE PENETRANTES EN ACUIFEROS CONFINANTES

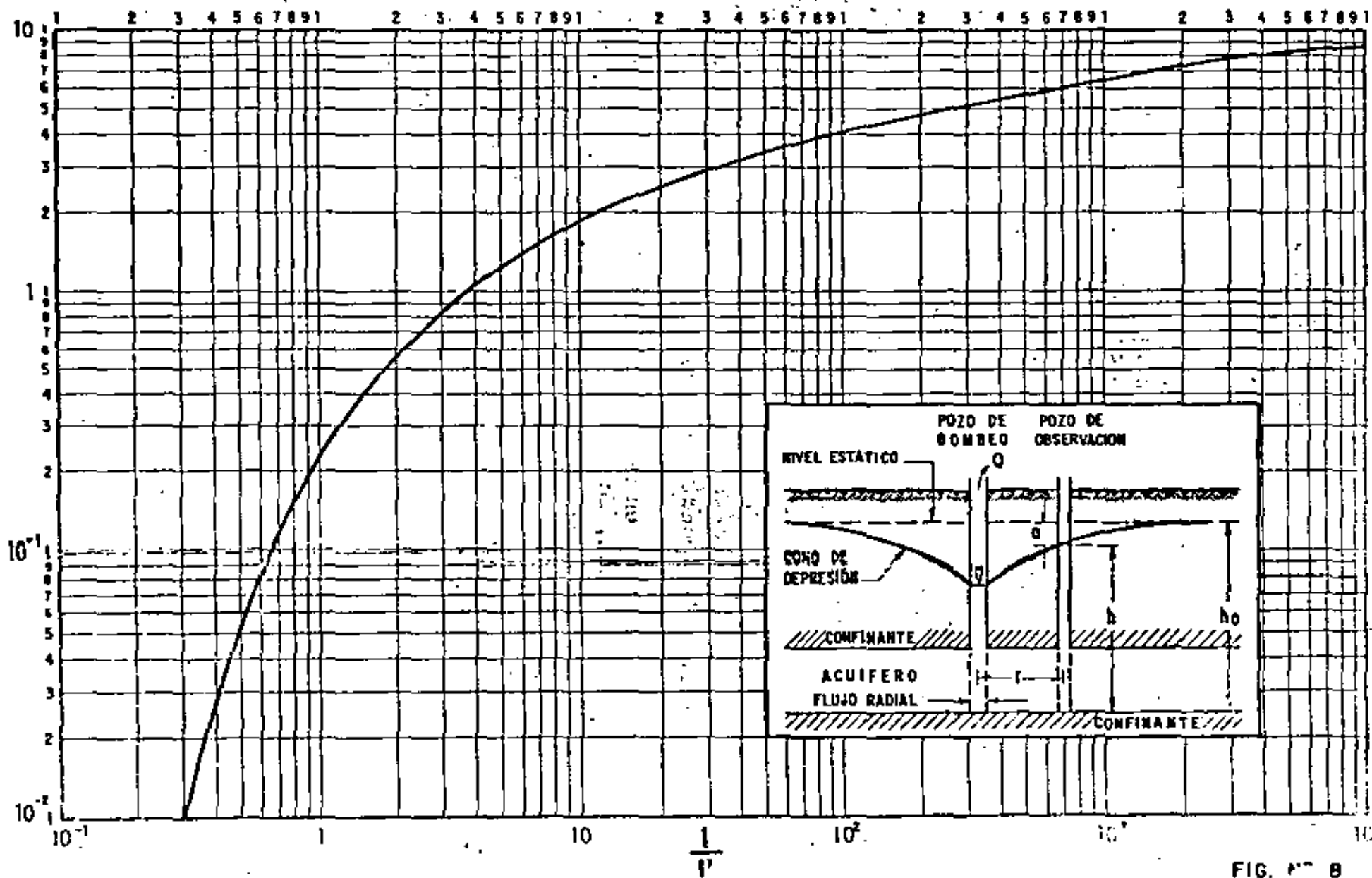


FIG. N° 8

INTERPRETACION DE UNA PRUEBA DE BOMBEO

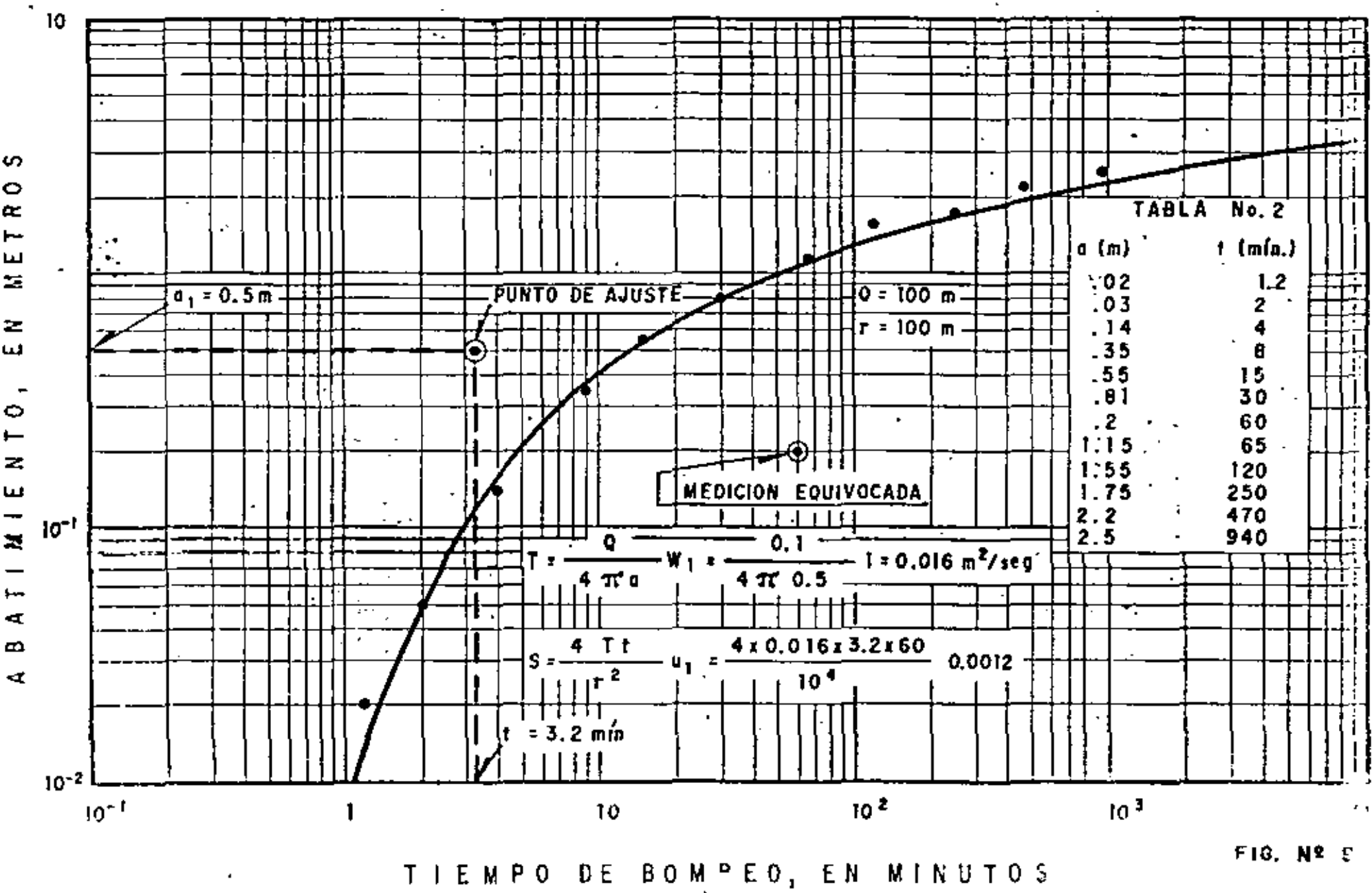


FIG. N° 5

de la recta, debido a que corresponden a tiempos cortos ($t < 5r^2S/T$) para los cuales no es válida la fórmula de Jacob.

- c).- Si la pendiente de la recta de ajuste es p la transmisibilidad puede obtenerse de la expresión:

$$T = \frac{0.183 Q}{p}$$

- d).- Determinar el valor de t , t_0 , para el cual la prolongación de la recta de ajuste interseca la línea de abatimiento nulo.

- e).- Calcular el coeficiente de almacenamiento mediante la expresión:

$$S = \frac{2.25 T t_0}{r^2}$$

El mismo método puede seguirse cuando se conocen los abatimientos en varios pozos de observación para un tiempo dado. En este caso se grafica el abatimiento contra la distancia (en escala logarítmica). Los coeficientes buscados se obtienen mediante las fórmulas:

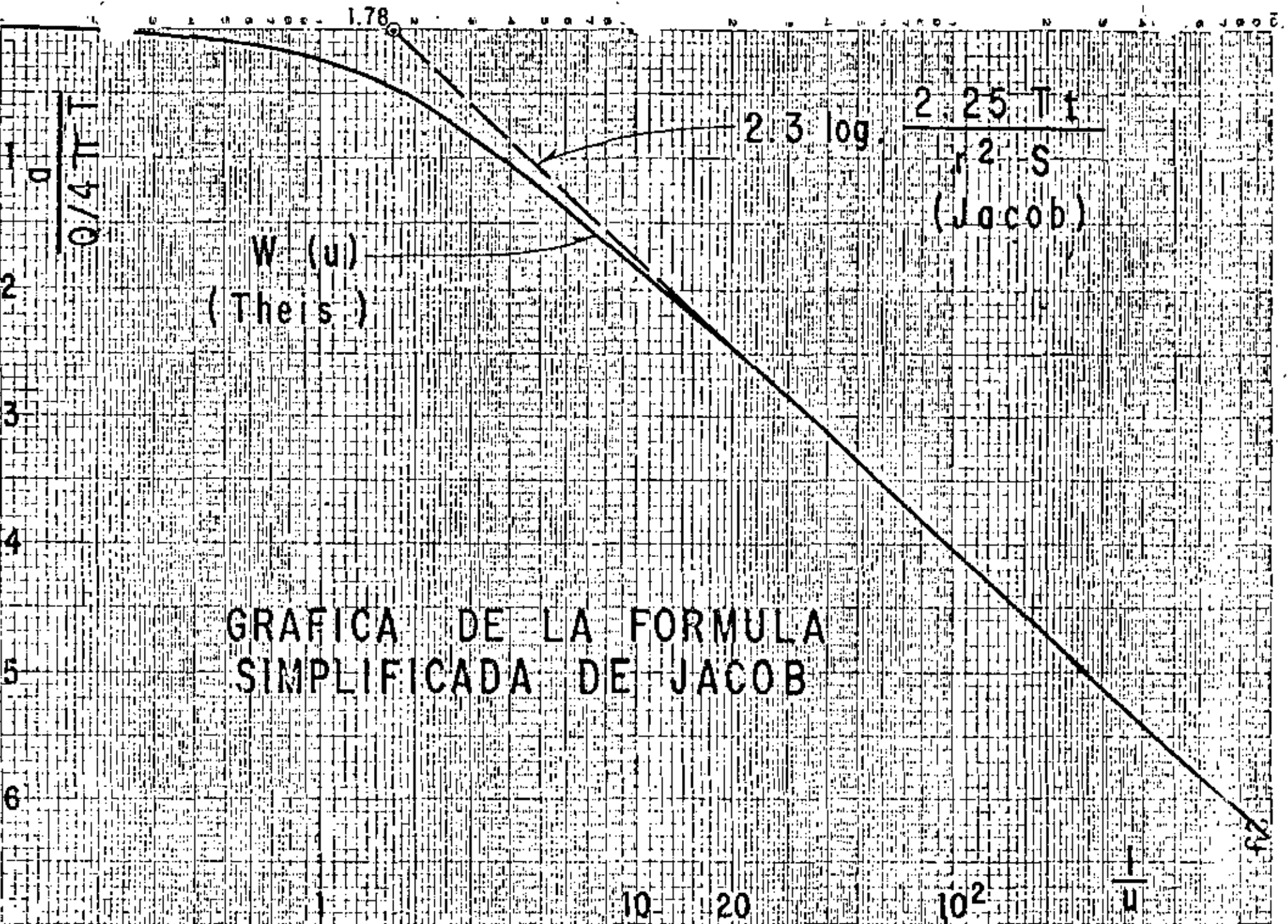
$$T = \frac{0.366 Q}{p}$$

$$S = \frac{2.25 T t}{r_0^2}$$

en que r_0 es el valor de r para el cual la prolongación de la recta de ajuste interseca la línea de abatimiento nulo.

La forma más general del método se aplica cuando se tienen observaciones en varios pozos de observación para diferentes tiempos. En este caso, se llevan en el eje logarítmico los valores de la relación t/r^2 , y se sigue la secuela descrita anteriormente.

En la figura se compara la curva tipo de Theis con la aproximación de Jacob, en trazado semilogarítmico; en la figura se ejemplifica la aplicación del método.



GRAFICA DE LA FORMULA SIMPLIFICADA DE JACOB

ABATIMIENTO, EN METROS

TIEMPO DE BOMBEO, EN MINUTOS

$t_0 = 7.4 \text{ min.}$

LECTURA EQUIVOCADA

$p = 1.2 \text{ m/ciclo}$

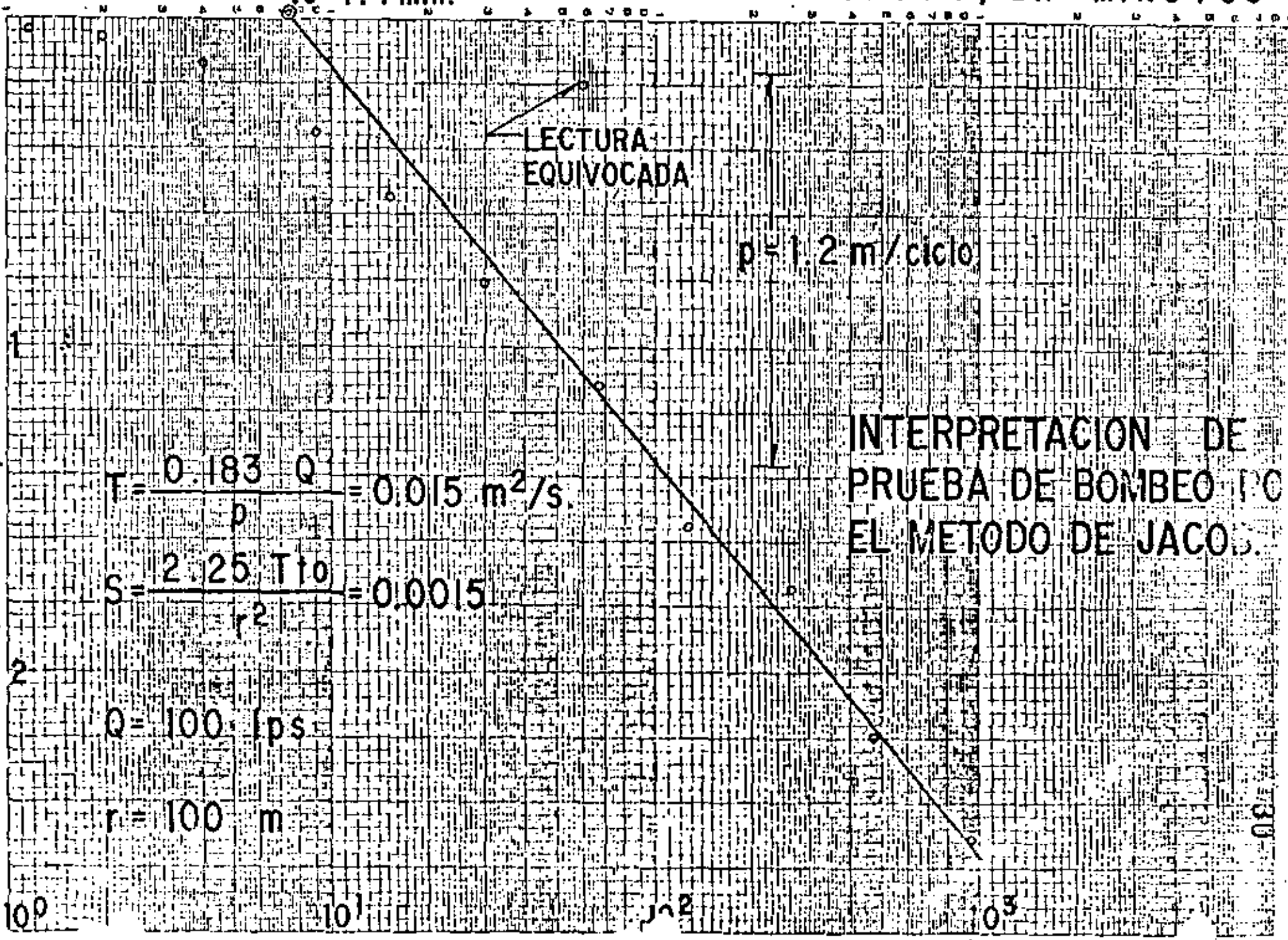
INTERPRETACION DE PRUEBA DE BOMBEO POR EL METODO DE JACOB

$$T = \frac{0.183 Q}{p} = 0.015 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = \frac{2.25 T t_0}{r^2} = 0.0015$$

$$Q = 100 \text{ lps}$$

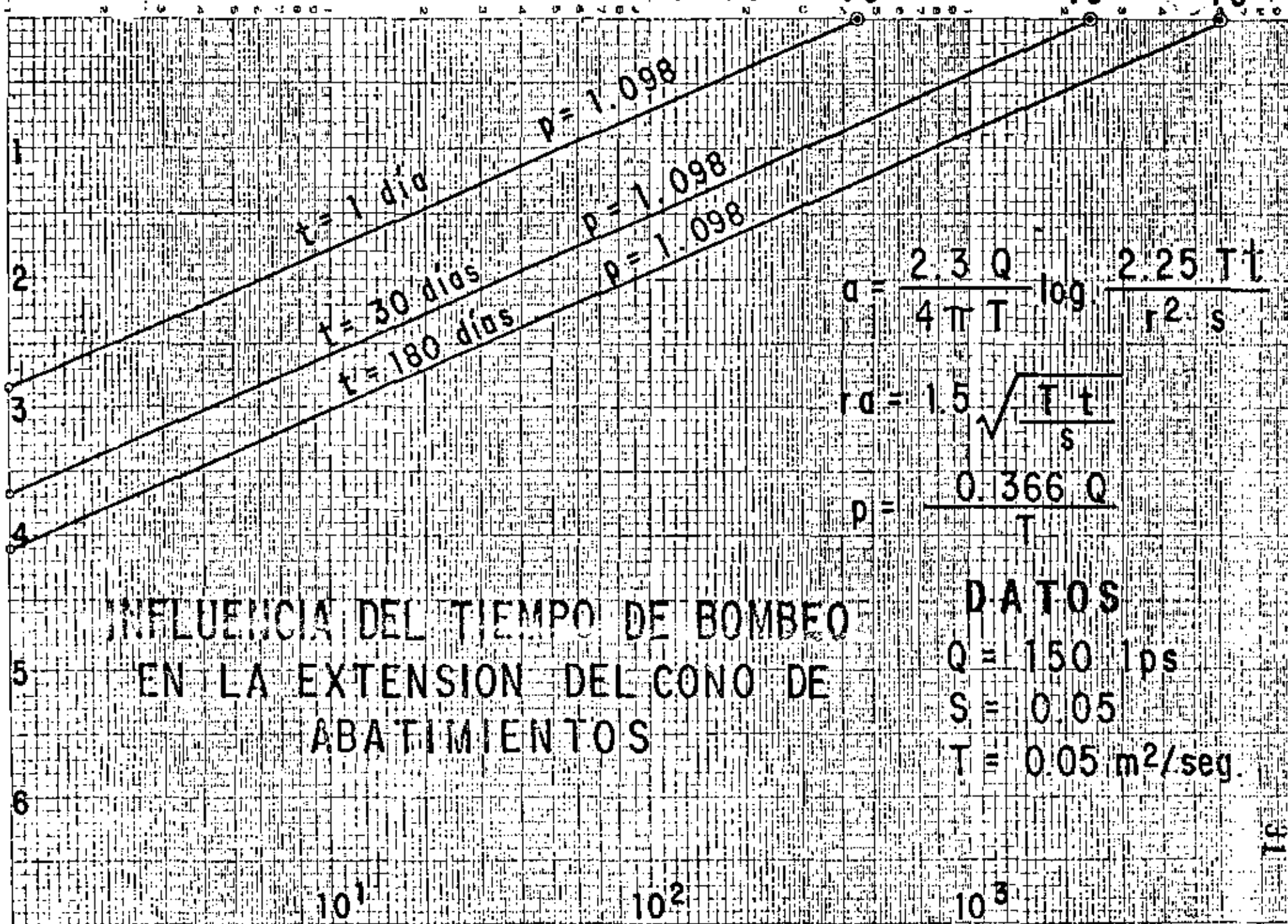
$$r = 100 \text{ m}$$



30

DIS. NCIA AL POZO DE BOMBEO EN METROS

ABATIMIENTO EN METROS



$$q = \frac{2.3 Q}{4 \pi T} \log \frac{2.25 T t}{r^2 s}$$

$$r_0 = 1.5 \sqrt{\frac{T t}{s}}$$

$$p = \frac{0.366 Q}{T}$$

DATOS

Q = 150 lps

S = 0.05

T = 0.05 m²/seg

INFLUENCIA DEL TIEMPO DE BOMBEO
EN LA EXTENSION DEL CONO DE
ABATIMIENTOS

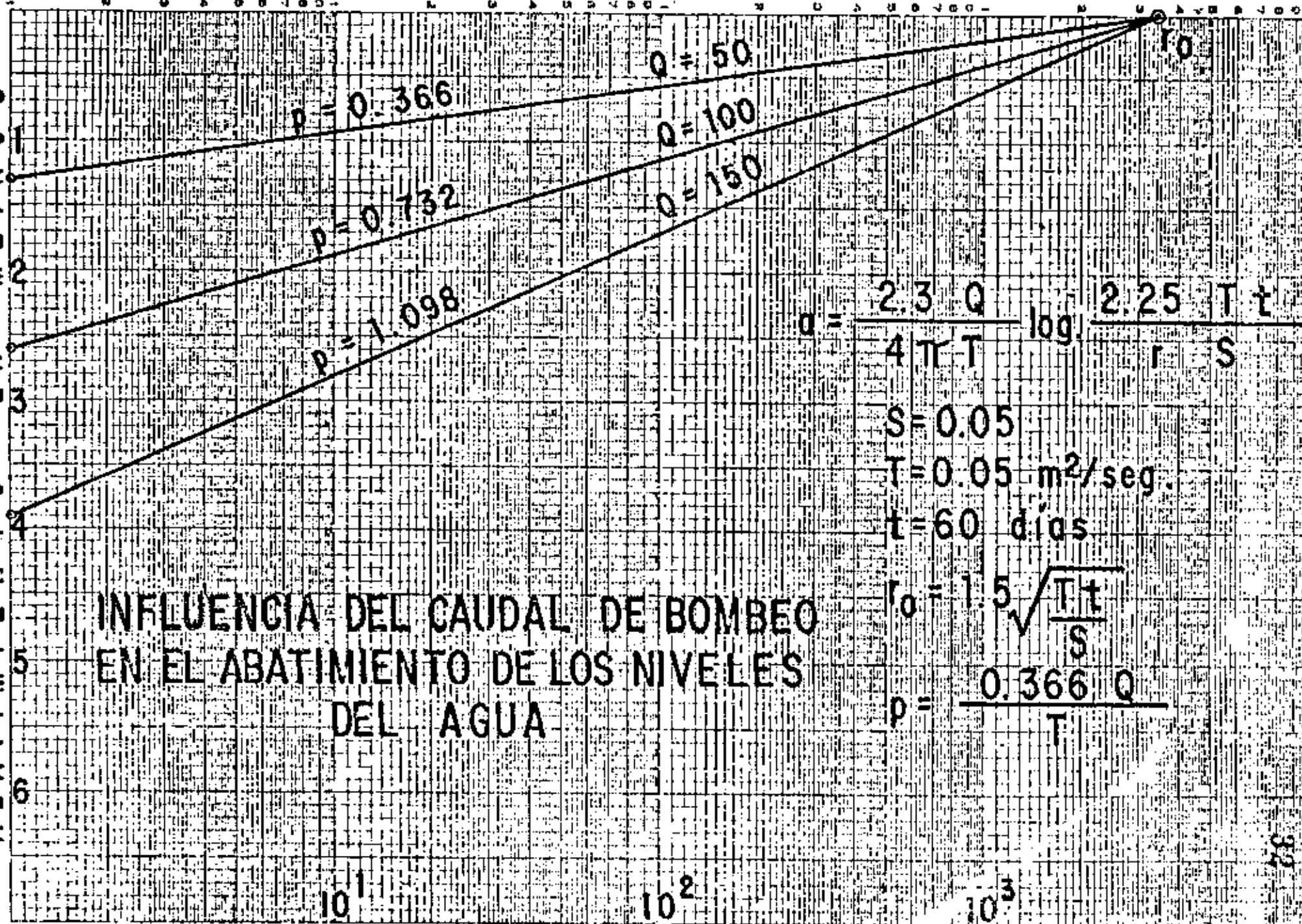
10¹

10²

10³

DISTANCIA AL POZO DE BOMBEO EN METROS

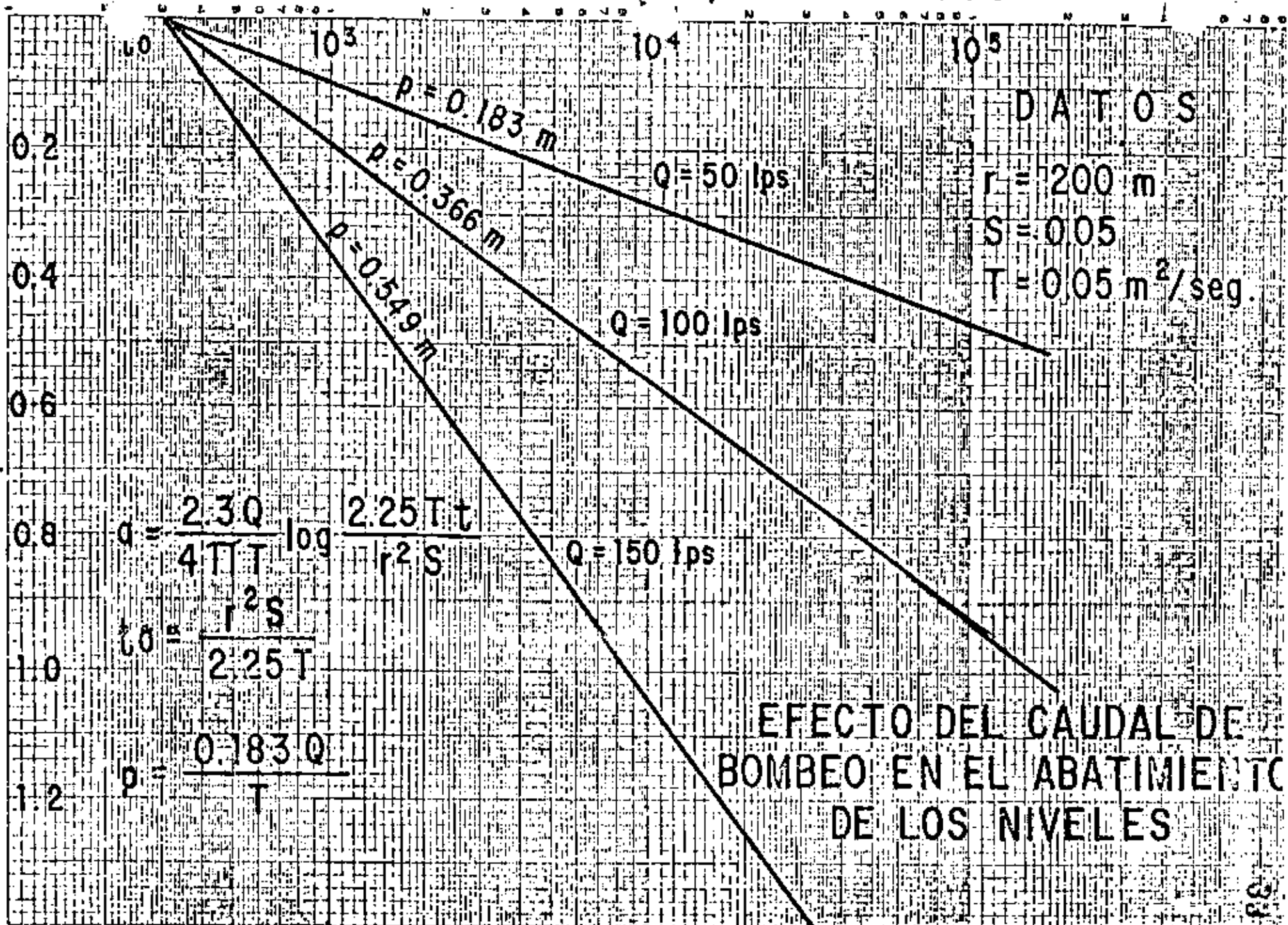
ABATIMIENTO EN METROS



INFLUENCIA DEL CAUDAL DE BOMBEO
EN EL ABATIMIENTO DE LOS NIVELES
DEL AGUA

TIEMPO DE BOMBEO, EN MINUTOS

ABATIMIENTO, EN METROS



EFFECTO DEL CAUDAL DE BOMBEO EN EL ABATIMIENTO DE LOS NIVELES

DISTANCIA / POZO DE BOMBEO EN METROS

ABATIMIENTO EN METROS



$Q = 100 \text{ lps.}$
 $T = 0.05 \text{ m}^2/\text{s.}$
 $t = 30 \text{ días}$
 $r_0 = 1.5 \sqrt{\frac{Tt}{S}}$
 $p = \frac{0.366 Q}{T}$

INFLUENCIA DEL COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO EN LA FORMA DEL CONO DE ABATIMIENTO

Penetración Parcial.-

Quando un pozo capta sólo una parte del espesor saturado de un acuífero, se le denomina "parcialmente penetrante".

En la porción de acuífero no penetrado por el pozo de bombeo el agua recorre trayectorias de mayor longitud para entrar al cedazo; por consiguiente, las pérdidas de carga en la formación son mayores en este sistema que en el de penetración total. En otras palabras: los abatimientos en un pozo parcialmente penetrante son mayores que los provocados en uno totalmente penetrante, para un mismo caudal de extracción, aumentando el abatimiento conforme disminuye la penetración del pozo.

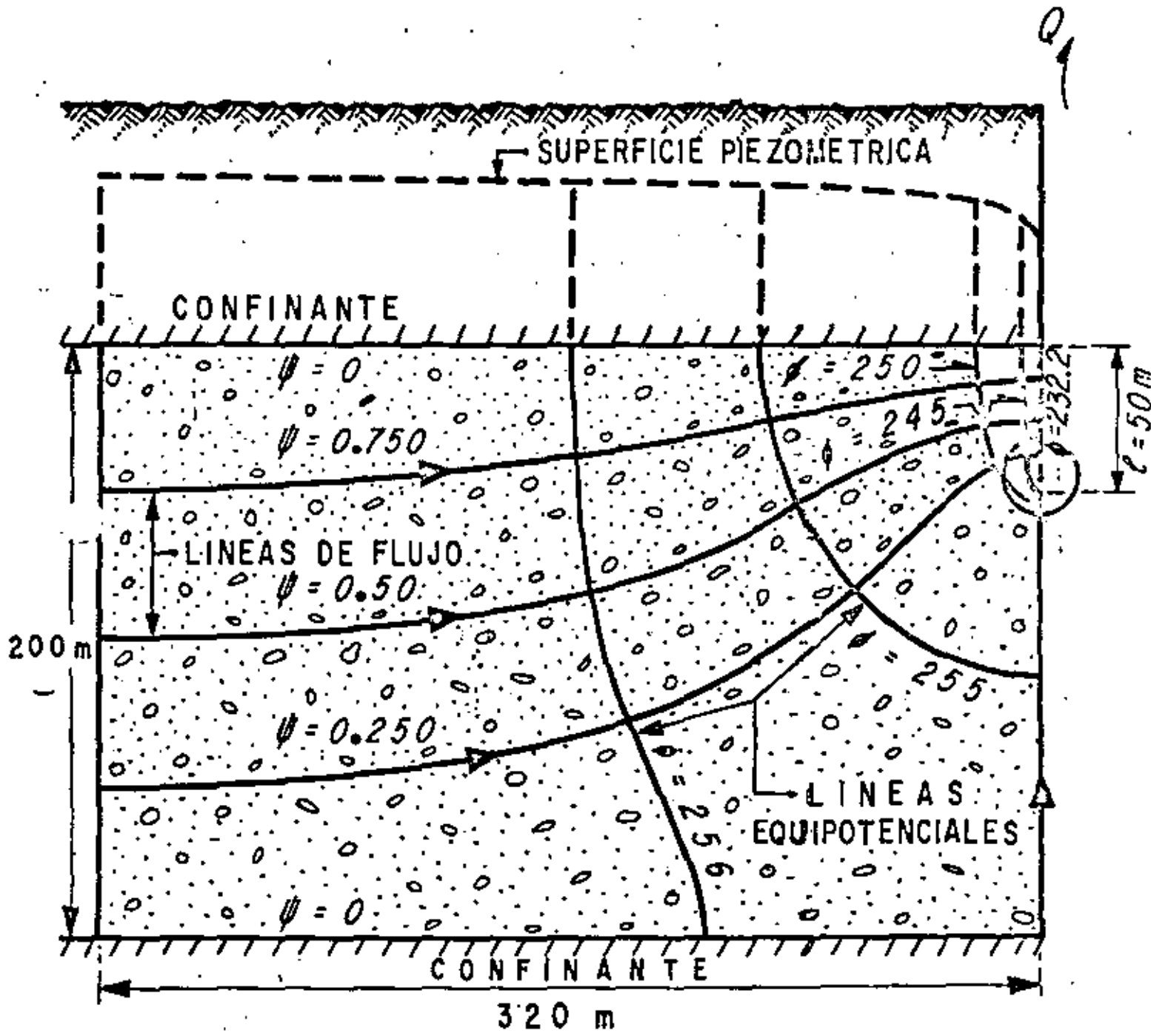
Para dar una idea aproximada de la disminución de la eficiencia hidráulica del pozo causada por la penetración parcial, considérese que si un pozo capta sólo la mitad del espesor saturado de un acuífero, el abatimiento provocado en él será algo menor que el doble del provocado en un pozo totalmente penetrante, para el mismo caudal de bombeo. Si se considera ahora un mismo abatimiento, el caudal que puede proporcionar un pozo es tanto menor cuanto menor es la penetración de su cedazo.

En las proximidades de estos pozos el flujo es tridimensional; por ello, el abatimiento registrado en el pozo de bombeo y en pozos de observación próximos a él, depende, entre otros factores, de la longitud y posición de los cedazos. Esto complica la interpretación de las pruebas de bombeo, ya que los abatimientos son función también de las características constructivas de los pozos. Para simplificar la interpretación es conveniente ubicar los pozos de observación a distancias equivalentes al espesor del acuífero, o mayores, para las cuales el efecto de penetración es mínimo o nulo.

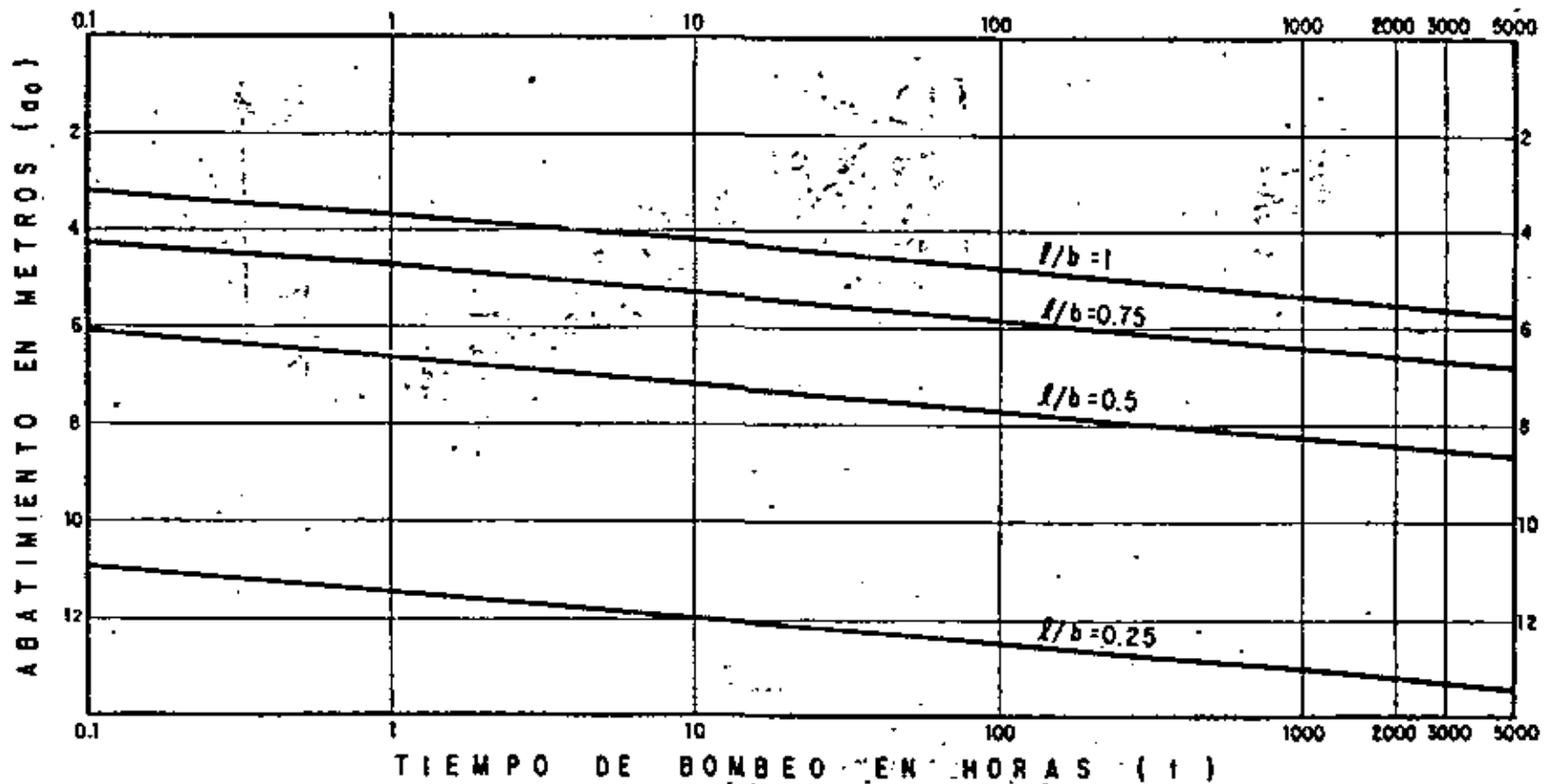
El nivel del agua en un pozo de observación situado a tales distancias se comporta como si el pozo de bombeo fuera totalmente penetrante, y la prueba se interpreta en la forma ya indicada; lo mismo puede hacerse cuando el pozo de observación penetra totalmente al acuífero, independientemente de su ubicación con respecto al pozo de bombeo.

Fuera de estos dos casos, la interpretación es bastante laboriosa, pues hay que construir una curva tipo pa-

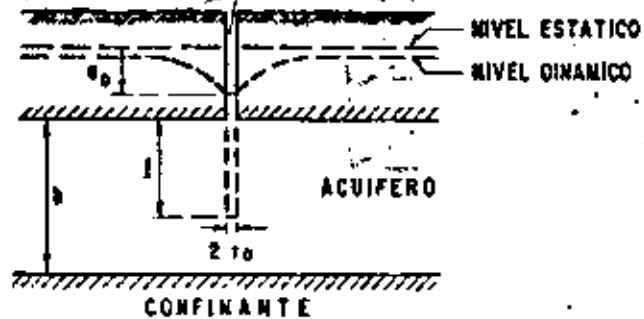
FLUJO HACIA UN POZO PARCIALMENTE PENETRANTE



- $Q = 150$ lps
- $t = 2000$ hrs
- $T = 0.02$ m²/s
- $S = 0.02$

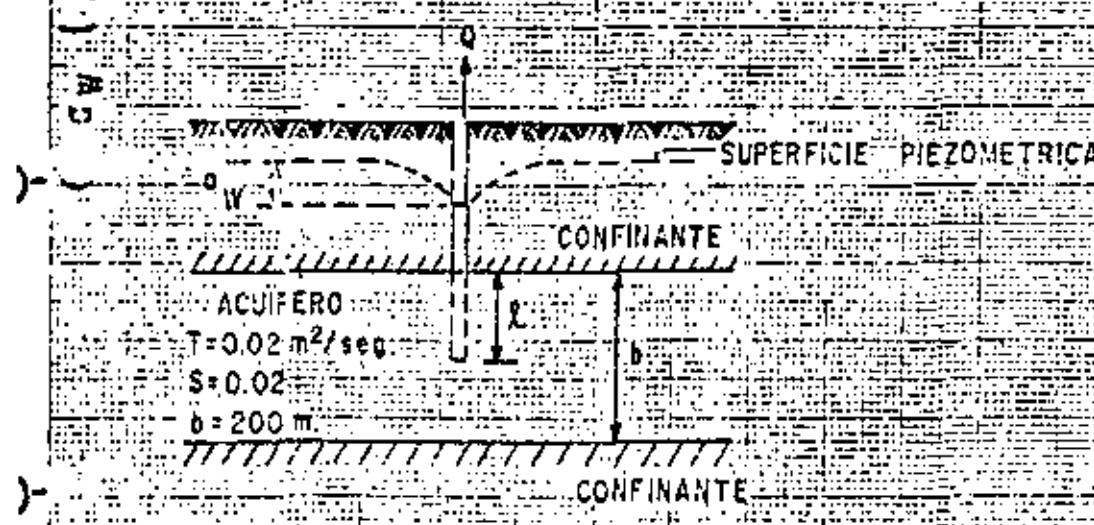
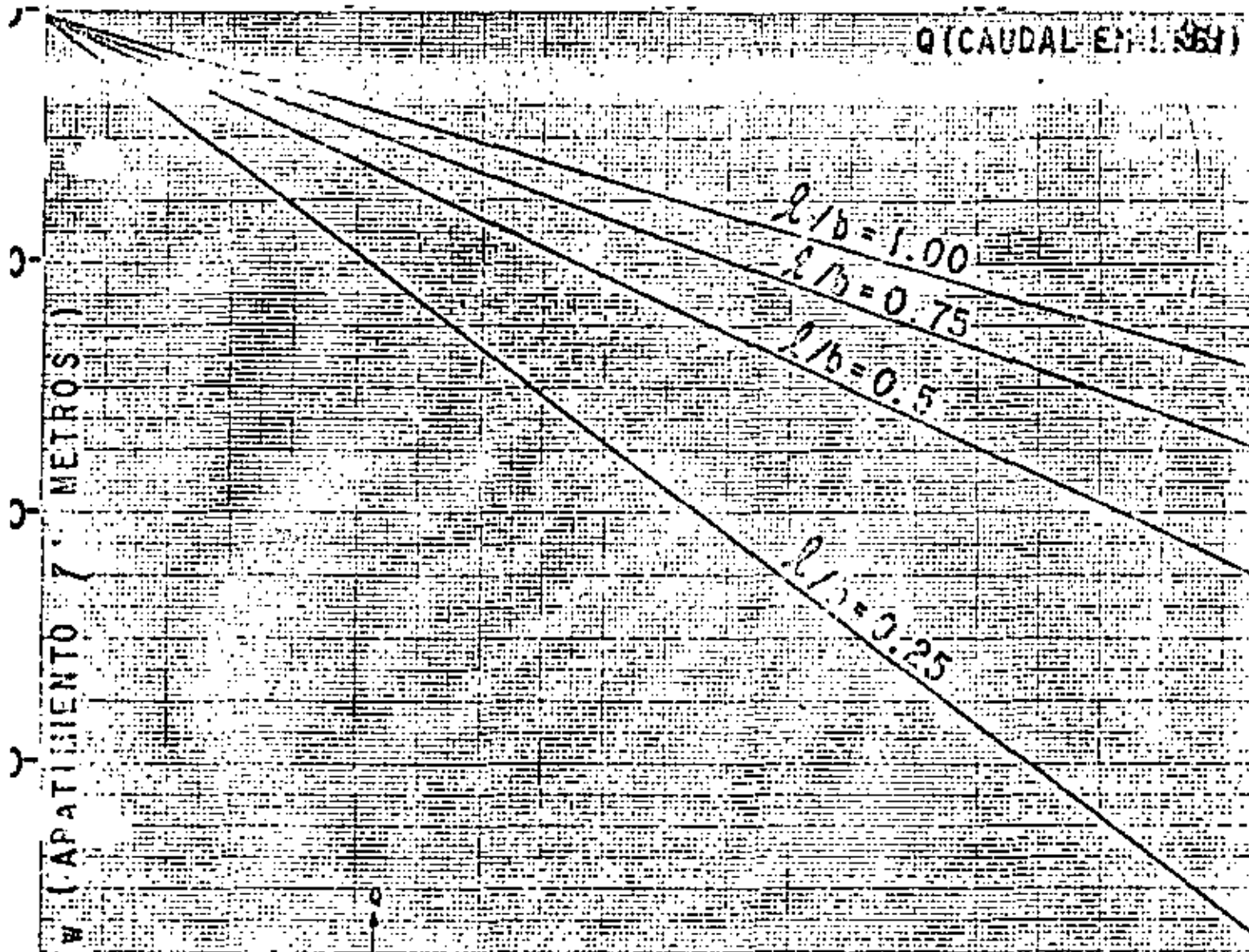


$Q = 150 \text{ lps.}$
 $T = 5 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{seg.}$
 $S = 2 \times 10^{-3}$
 $b = 200 \text{ m}$
 $l_0 = 0.2 \text{ m}$



INFLUENCIA DE LA PENETRACION PARCIAL EN EL ABATIMIENTO DEL NIVEL DEL POZO DE BOMBEO
 FIGURA No 18

Q (CAUDAL EN L/SEG)



NOTA:
 ESTA RELACION CORRESPONDE A UN
 TIEMPO DE Bombeo DE 2000 HORAS.

RELACION - CAUDAL - APATAMIENTO
 PENETRACION

FIG. 10

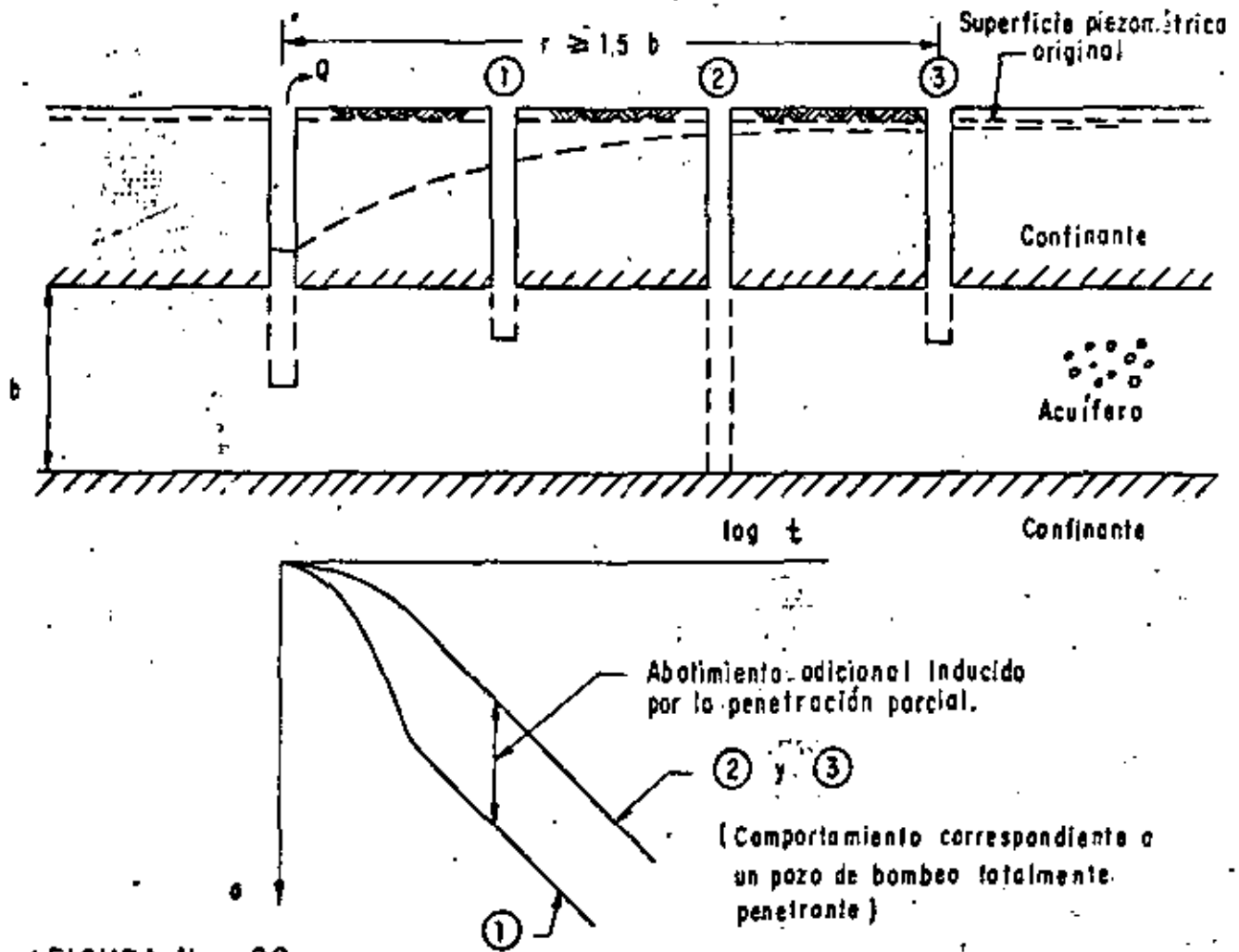


FIGURA No. 20

ra las características de los pozos utilizados en la prueba.

En la figura se ilustra el comportamiento del nivel del agua en pozos de observación a distancias y de características constructivas diferentes.

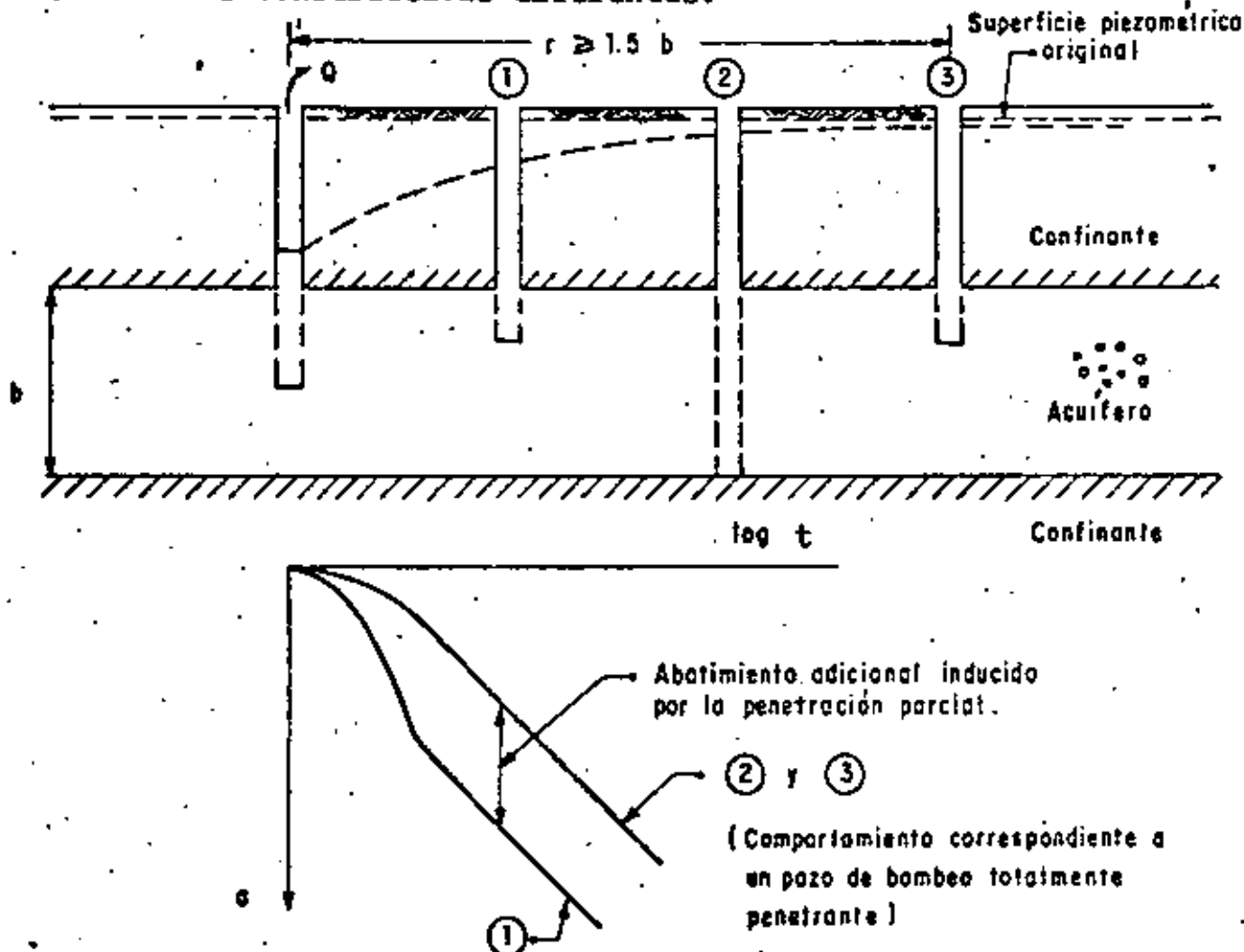


FIGURA No. 20

3.3.- POZOS EN ACUIFEROS SEMICONFINADOS.

Probablemente, el acuífero más común en la naturaleza es el de tipo semiconfinado: los rellenos siempre tienen cierta estratificación, alternándose estratos de granulometría variada. Cuando un estrato de material permeable queda limitado verticalmente por materiales, también saturados, de menor permeabilidad, se tiene un acuífero semiconfinado como el ilustrado en la figura

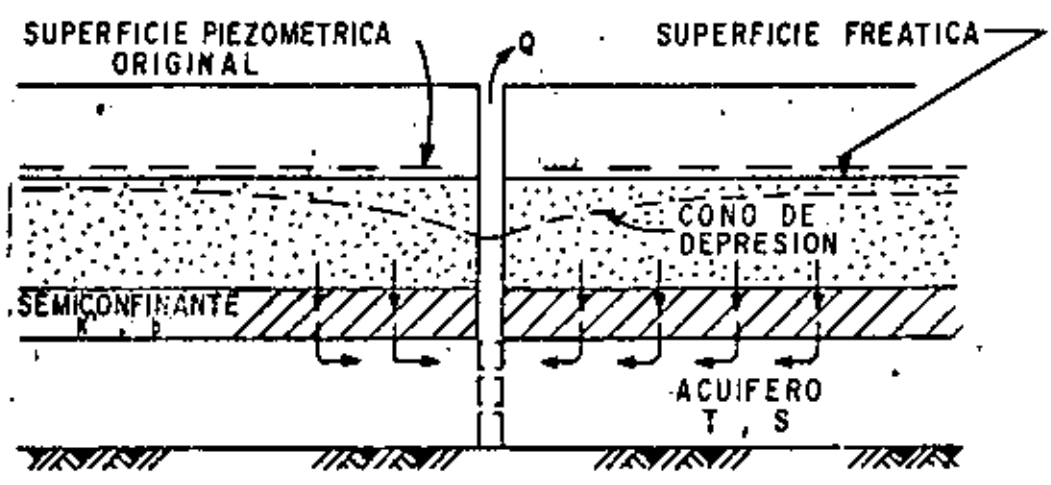
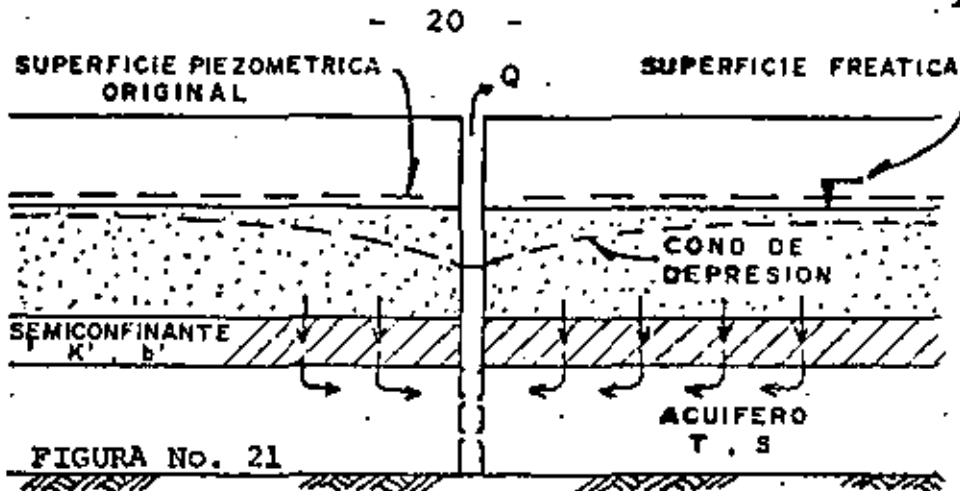


FIGURA No. 21



Al bombearse un acuífero de este tipo se provocan abatimientos de sus niveles piezométricos, generándose una diferencia vertical de cargas, que induce el flujo descendente del agua a través del semiconfinante. La cantidad de agua que circula a través de éste es directamente proporcional a la diferencia de cargas entre las superficies freática y piezométrica, e inversamente proporcional a la resistencia hidráulica del mismo estrato.

Puesto que en este sistema sólo una parte del volumen bombeado procede del acuífero, y el resto es aportado por el estrato adyacente al semiconfinante, el abatimiento de los niveles piezométricos es menor que en el caso del acuífero confinado. Como la aportación vertical aumenta con el tiempo, el abatimiento de los niveles piezométricos va decreciendo, hasta que la aportación vertical equilibra el caudal de extracción; y en ese momento, los niveles piezométricos se estabilizan.

La solución correspondiente a este sistema es la siguiente:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u, r/B)$$

donde:

$$B = \sqrt{Tb'/k'}$$

siendo k' y b' la permeabilidad vertical y el espesor del estrato semiconfinante, respectivamente.

Las curvas tipo correspondientes a esta solución se presentan en la figura , en la cual puede apreciarse el comportamiento arriba descrito.

$W(u, r/B)$

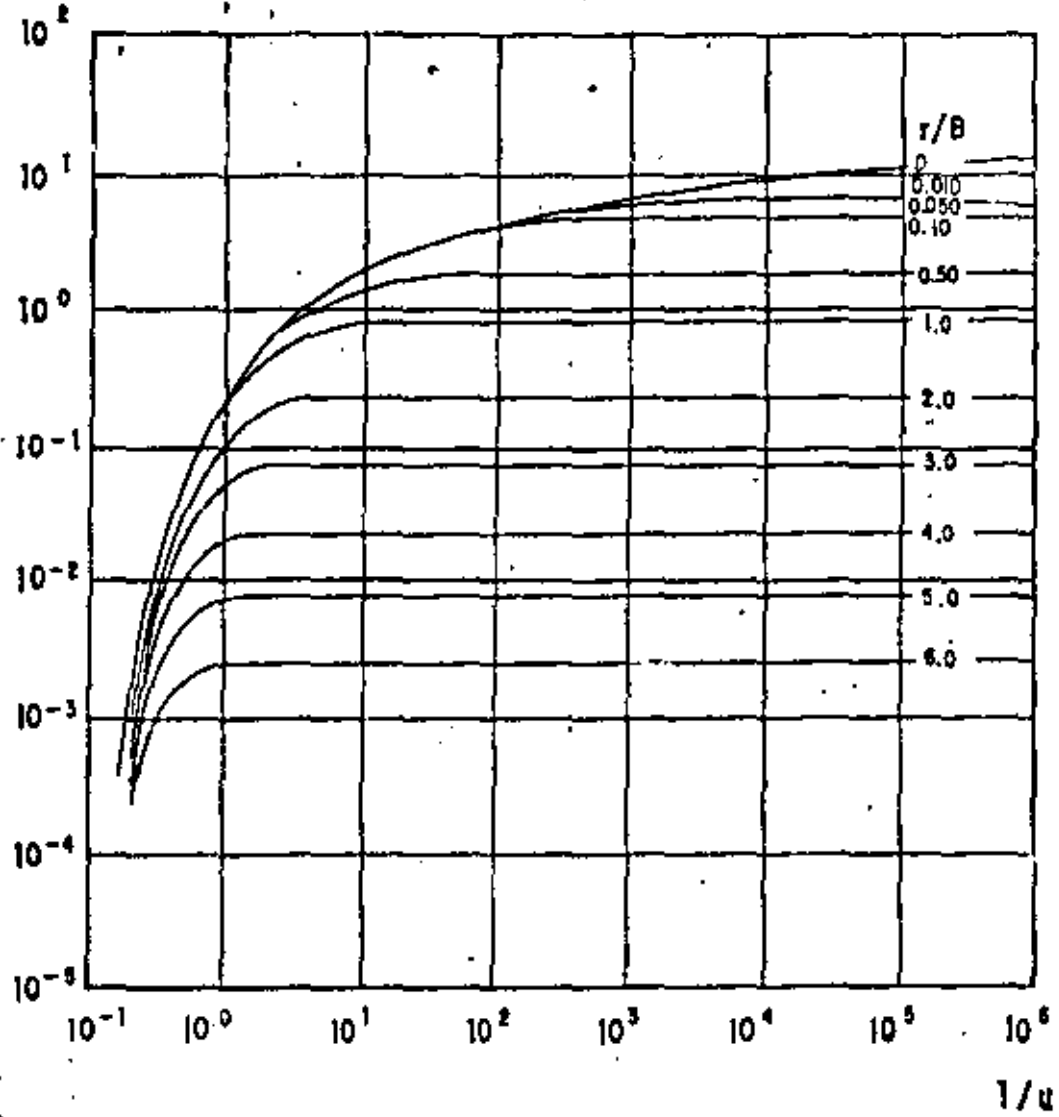


FIGURA N° 22

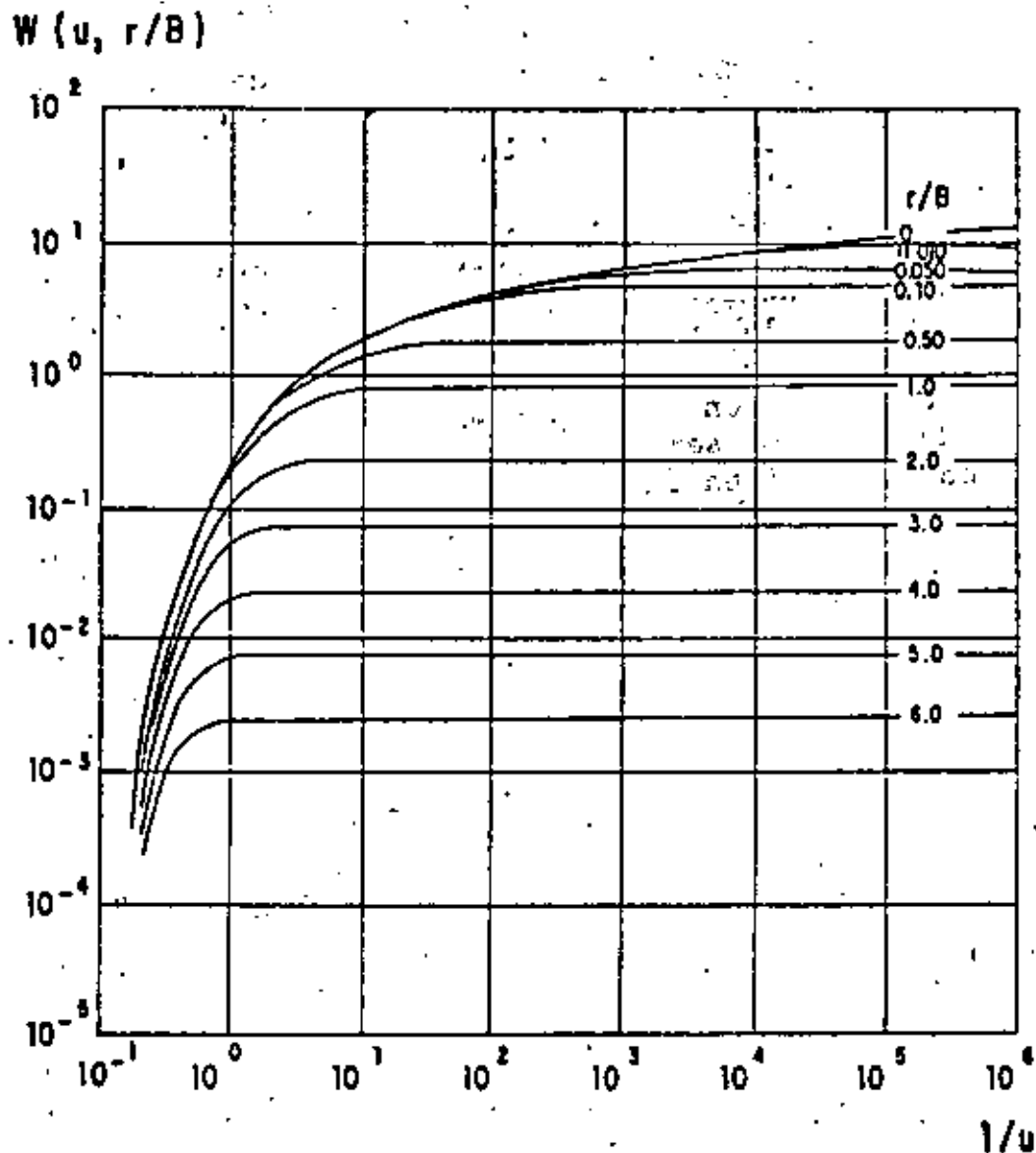


FIGURA No. 22

El procedimiento de interpretación de las pruebas en este caso es semejante al seguido en el caso de los acuíferos confinados, con la diferencia de que ahora debe buscarse la coincidencia entre la curva de campo y una de las curvas tipo. Lograda la coincidencia, se selecciona un punto de ajuste, y se substituyen los valores de sus coordenadas en las ecuaciones correspondientes, para deducir los parámetros buscados.

3.4.- POZOS EN ACUIFEROS LIBRES.

Los acuíferos libres se caracterizan por estar limitados superiormente por una superficie freática; puesto que el espesor saturado del acuífero varía con las fluctuaciones de esta superficie, la transmisibilidad del acuífero es también variable en el área y en el tiempo. Si las fluctuaciones de los niveles son poco significativas con respecto al espesor del acuífero, la transmisibilidad puede suponerse constante, y la interpretación de las pruebas se efectúa como si se tratara de un acuífero confinado. En cambio, si dichas fluctuaciones son importantes -específicamente, mayores del 20% del espesor saturado del acuífero-, los abatimientos medidos se corrigen en la forma siguiente:

$$a_c = a - \frac{a^2}{2b}$$

siendo a_c el abatimiento corregido, y b , el espesor saturado inicial del acuífero. Los abatimientos así corregidos, se interpretan como si se tratara de un acuífero confinado.

IV.- HIDRAULICA DEL POZO DE BOMBEO.

La hidráulica de los pozos de bombeo es sumamente compleja, debido a que en el interior de ellos y en su vecindad inmediata se presentan diversos efectos locales. Por una parte, dado que el gradiente hidráulico es máximo en las proximidades del pozo y que la permeabilidad es mayor por la presencia de un filtro artificial o desarrollado naturalmente, la velocidad del agua puede ser tal que el régimen de flujo adquiere carácter turbulento. Por otra parte, hay un incremento notable de la velocidad del agua al concentrarse el flujo a través de las ranuras; un cambio brusco de la dirección del agua al ser acelerada verticalmente por los impulsos, y fricciones en el cedazo y en la columna de succión. Todo esto se traduce en una repentina pérdida de carga en el pozo. Como resultado, el nivel del agua en su interior no se encuentra en la intersección del cono de depresión y la pared externa del ademe, sino más abajo, siendo la diferencia la pérdida local de carga.

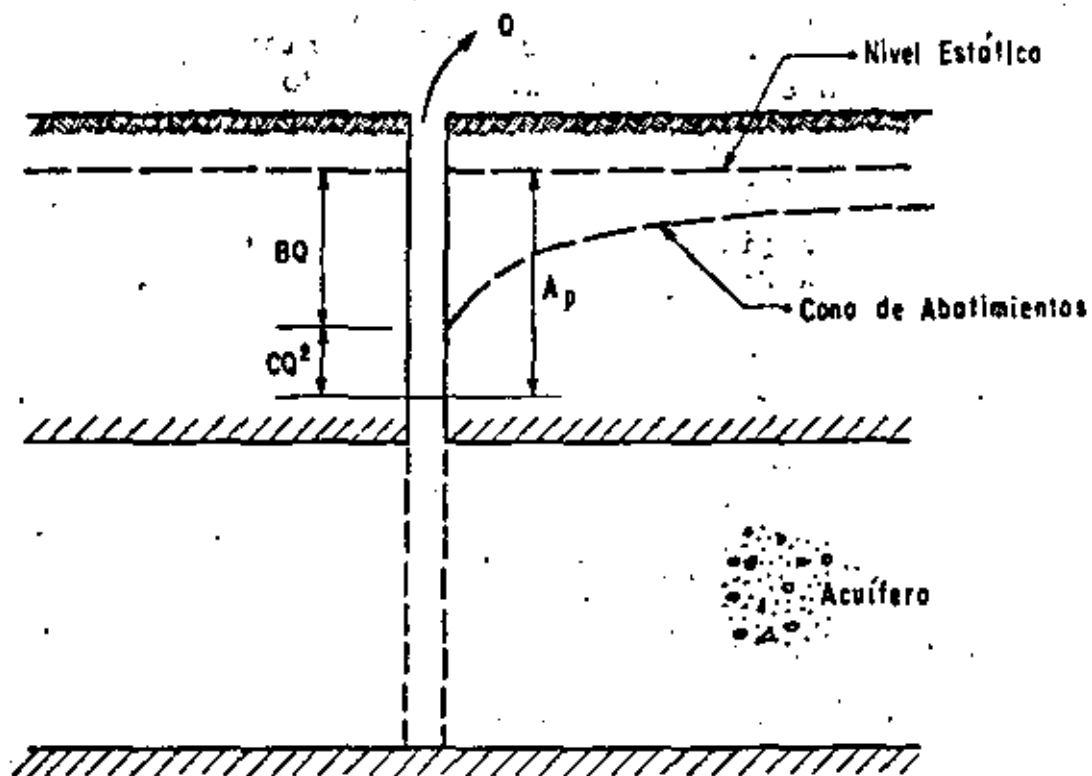


FIGURA No. 23

De acuerdo con lo anterior, el abatimiento tot. provocado en el pozo de bombeo tiene dos componentes principales: el abatimiento debido a la resistencia que opone la formación a la circulación del agua, el cual es directamente proporcional al caudal extraído; y el abatimiento provocado en el interior del propio pozo, que es directamente proporcional al caudal elevado a una cierta potencia próxima al cuadrado.

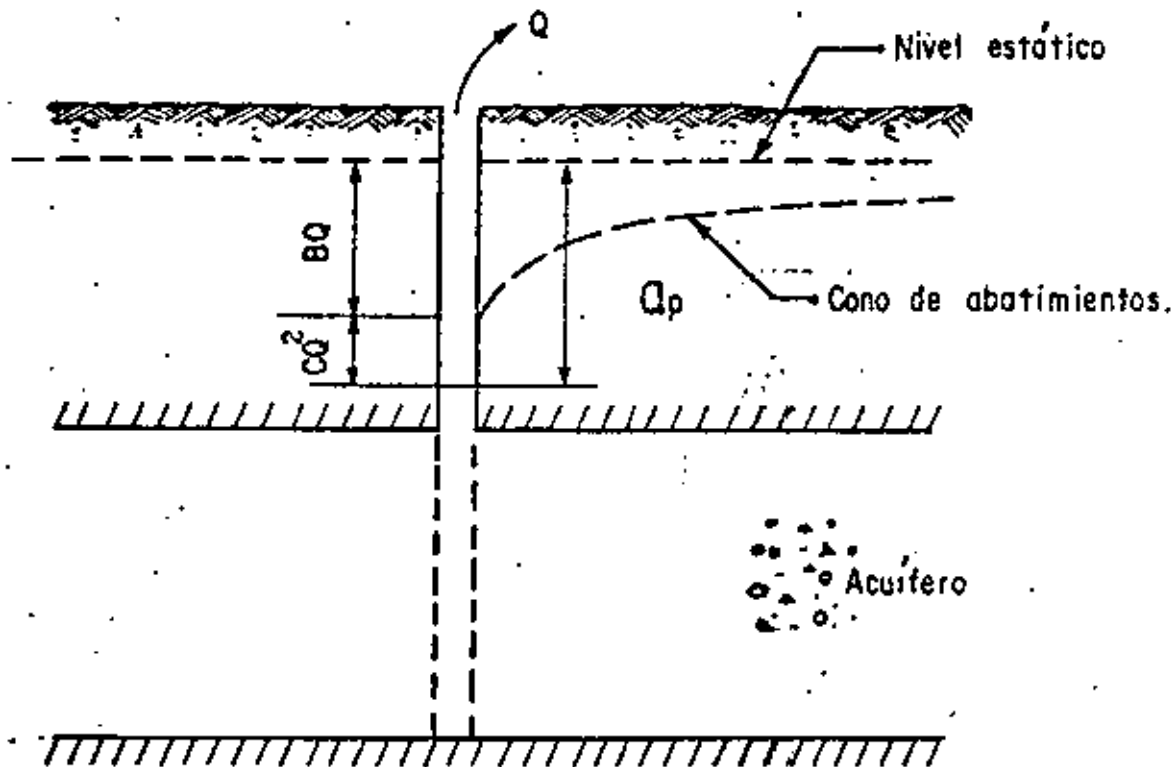
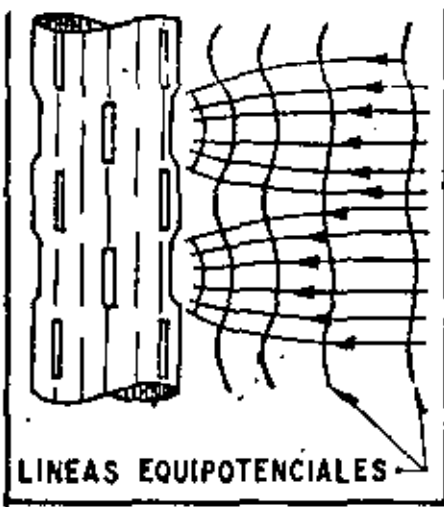


FIGURA No. 23

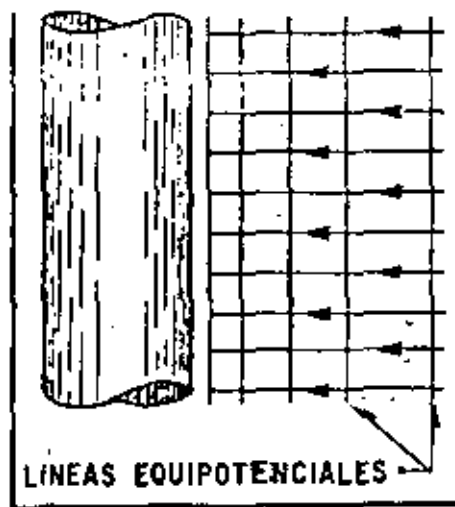
Lo anterior puede expresarse:

$$a_p = BQ + CQ^2$$

en la que: a_p es el abatimiento total en el pozo de bombeo; B , un coeficiente representativo de la resistencia del acuífero, y C , un coeficiente cuyo valor es función de las característi-

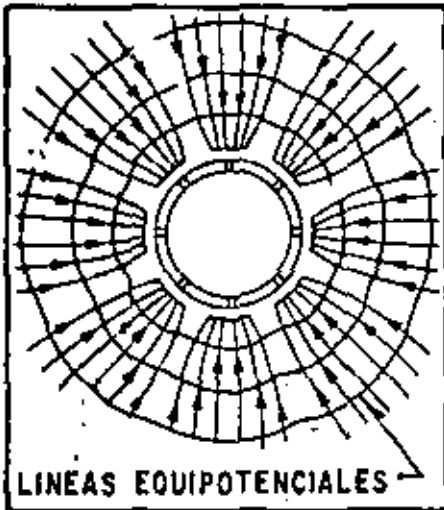


LINEAS EQUIPOTENCIALES

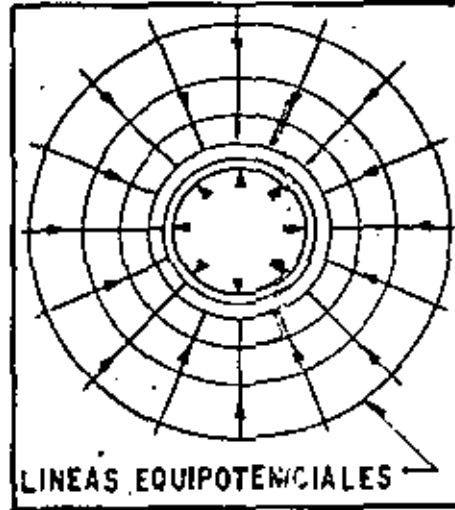


LINEAS EQUIPOTENCIALES

C O R T E



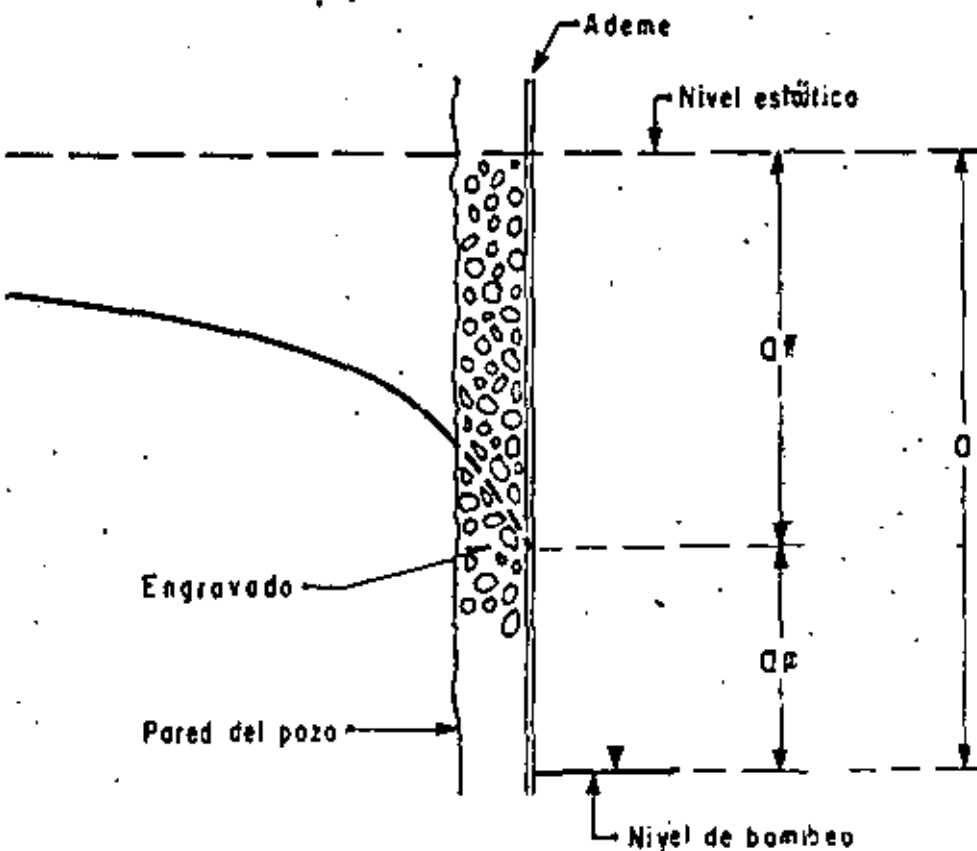
LINEAS EQUIPOTENCIALES



LINEAS EQUIPOTENCIALES

TUBERIA RANURADA

P L A N T A



cas constructivas del pozo.

El valor del coeficiente B depende del sistema de flujo de que se trata; por ejemplo, en el caso de un pozo totalmente penetrante en un acuífero confinado, el abatimiento en la formación está dado por la expresión:

$$Q = \frac{Q}{4 \pi T} W(u)$$

por tanto:

$$B = \frac{1}{4 \pi T} W(u)$$

A la relación entre el caudal bombeado y el abatimiento que provoca, se le denomina "caudal específico", y puede escribirse:

$$\frac{Q}{Q_p} = \frac{1}{B + CQ}$$

Este parámetro representa en una forma más objetiva la capacidad transmisora de un acuífero: un caudal específico alto refleja una alta transmisibilidad, y viceversa. Presenta la ventaja de que su valor no está sujeto a errores de interpretación, ya que se obtiene como el coeficiente de dos términos medidos (caudal y abatimiento), y guarda una proporcionalidad más o menos directa con la transmisibilidad, lo que permite utilizarlo para deducir valores aproximados de ésta cuando se carece de pruebas de bombeo. Es importante destacar que el caudal específico no es constante sino que decrece con el caudal y con el tiempo de bombeo, como puede inferirse de la última expresión.

Para el cálculo de los coeficientes B y C, se utiliza la llamada "prueba escalonada", propuesta por C.E. Jacob. Esta prueba consiste en bombear el pozo en varias etapas sucesivas, en cada una de las cuales se mantiene el caudal constante; generalmente, el caudal se varía en forma creciente, siendo recomendable hacerlo en un rango lo mayor posible; la duración de cada etapa es de varias horas. Simultáneamente, se observa la fluctuación del nivel del agua en el pozo; la figura ilustra esquemáticamente el comportamiento típico del nivel del agua en una prueba escalonada.

A partir de la gráfica abatimiento-tiempo se obtienen los elementos necesarios para deducir los valores de los

INTERPRETACION DE PRUEBAS DE BOMBEO ESCALONADAS

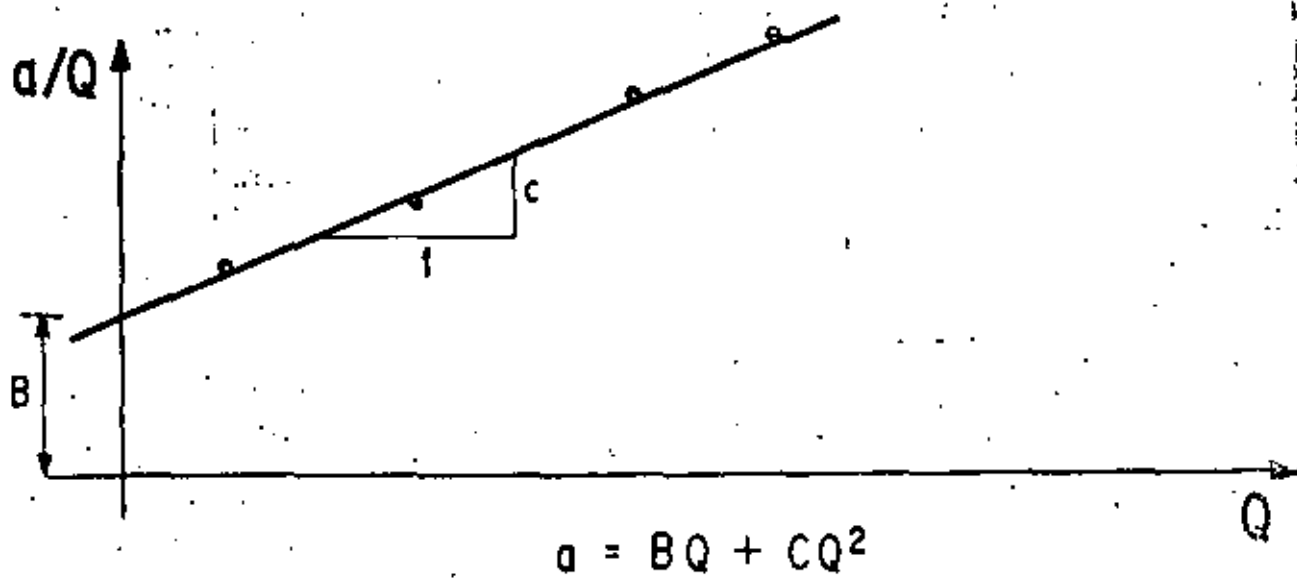
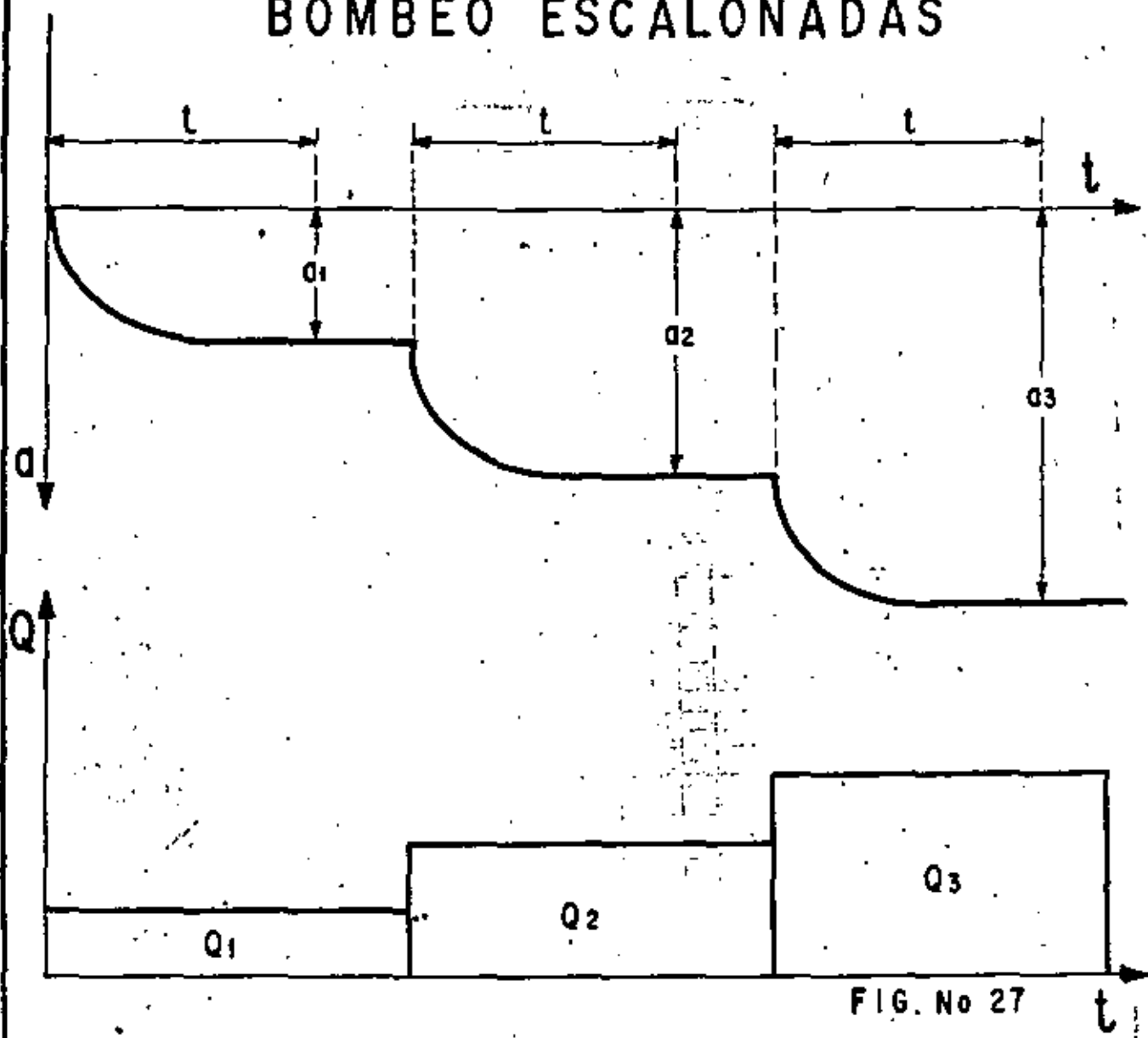
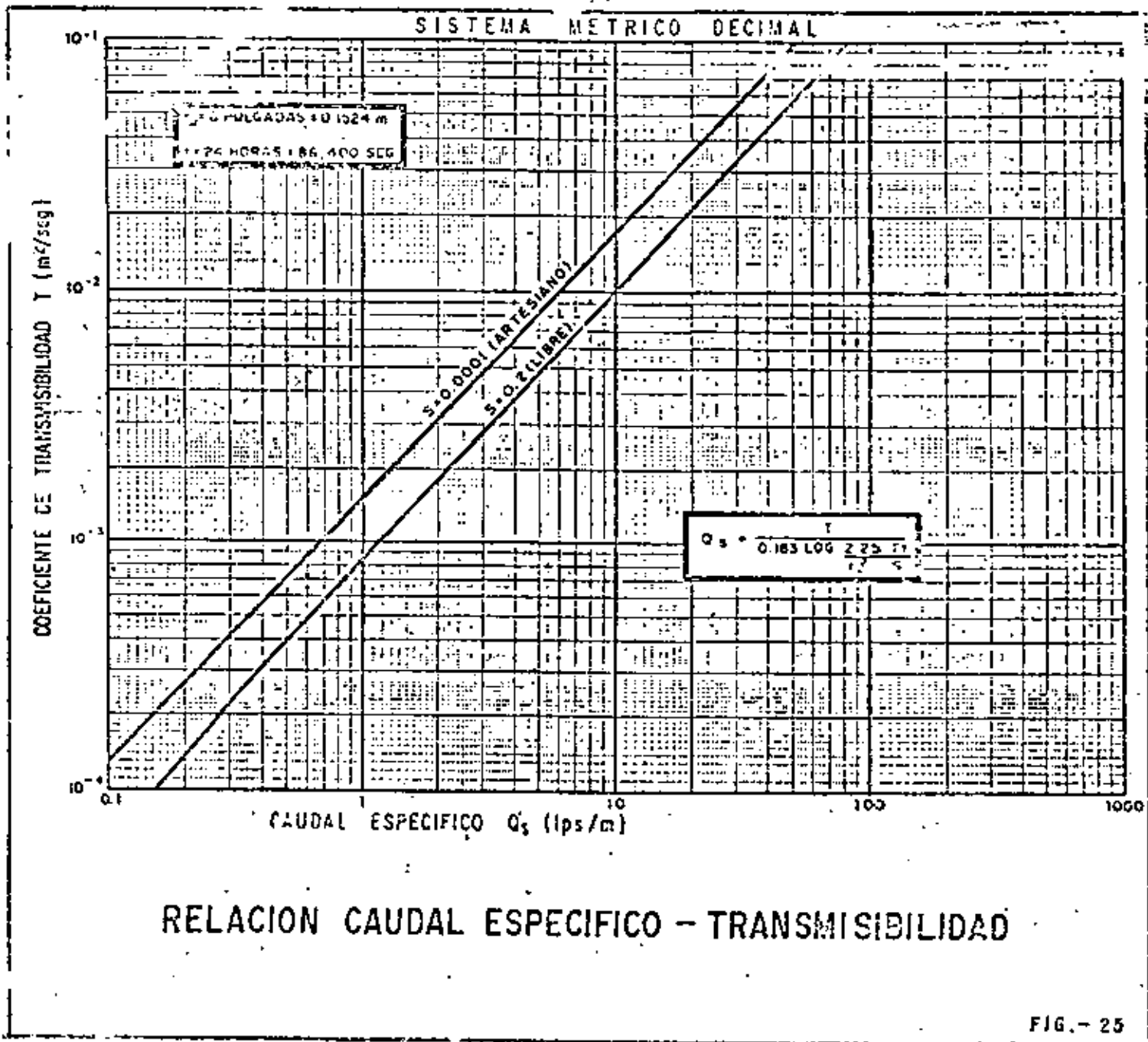
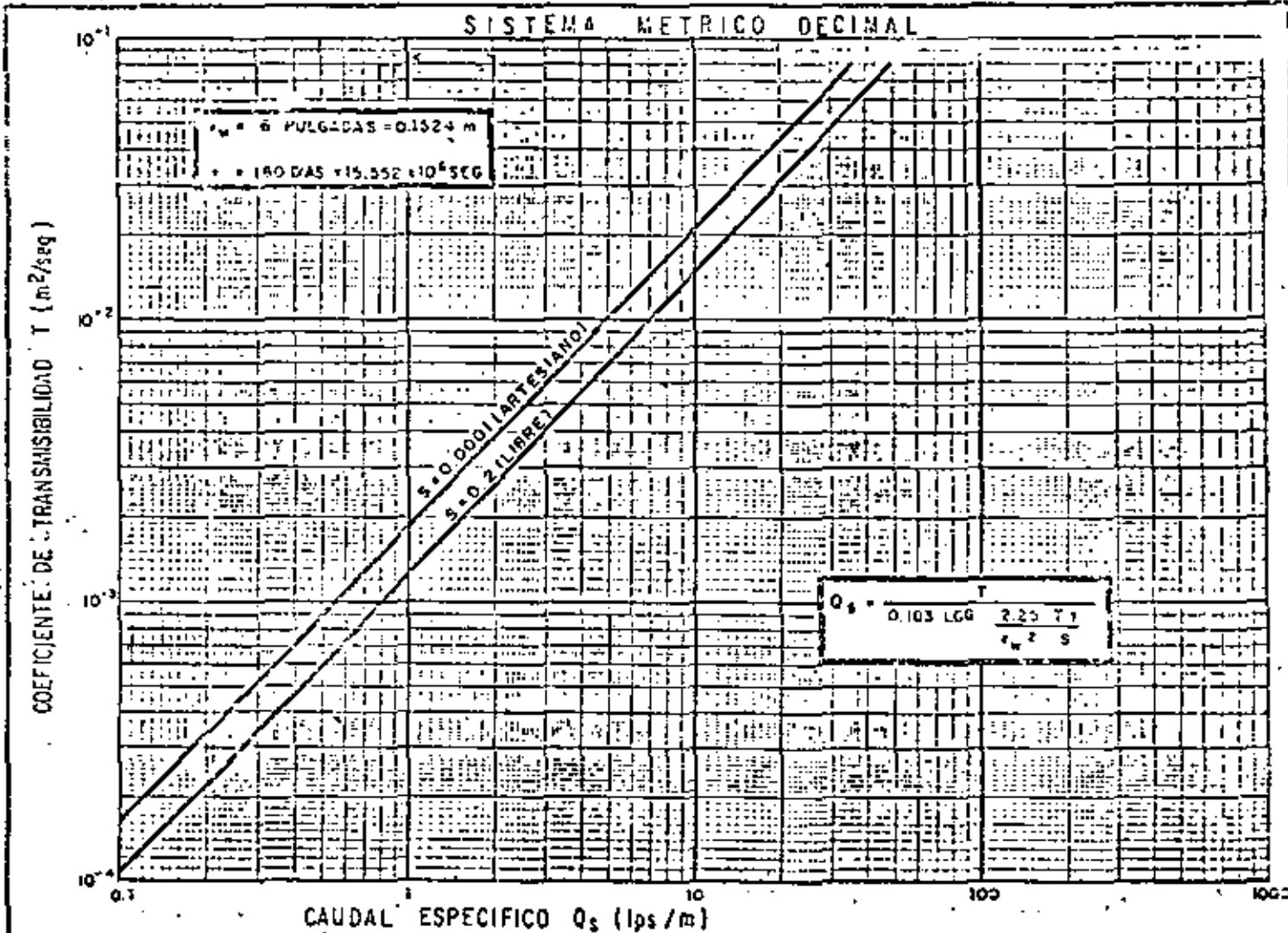
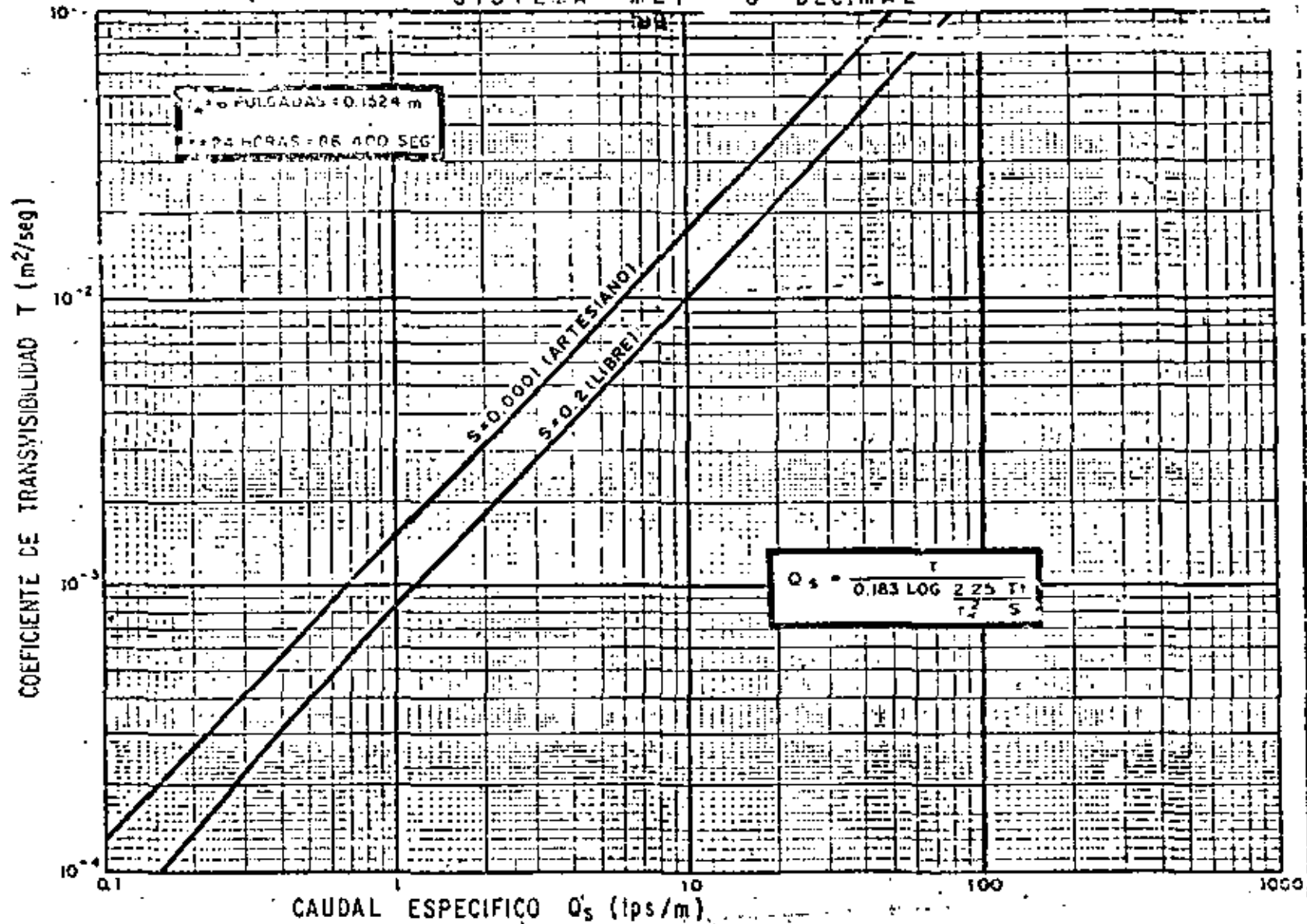


FIG. No 28



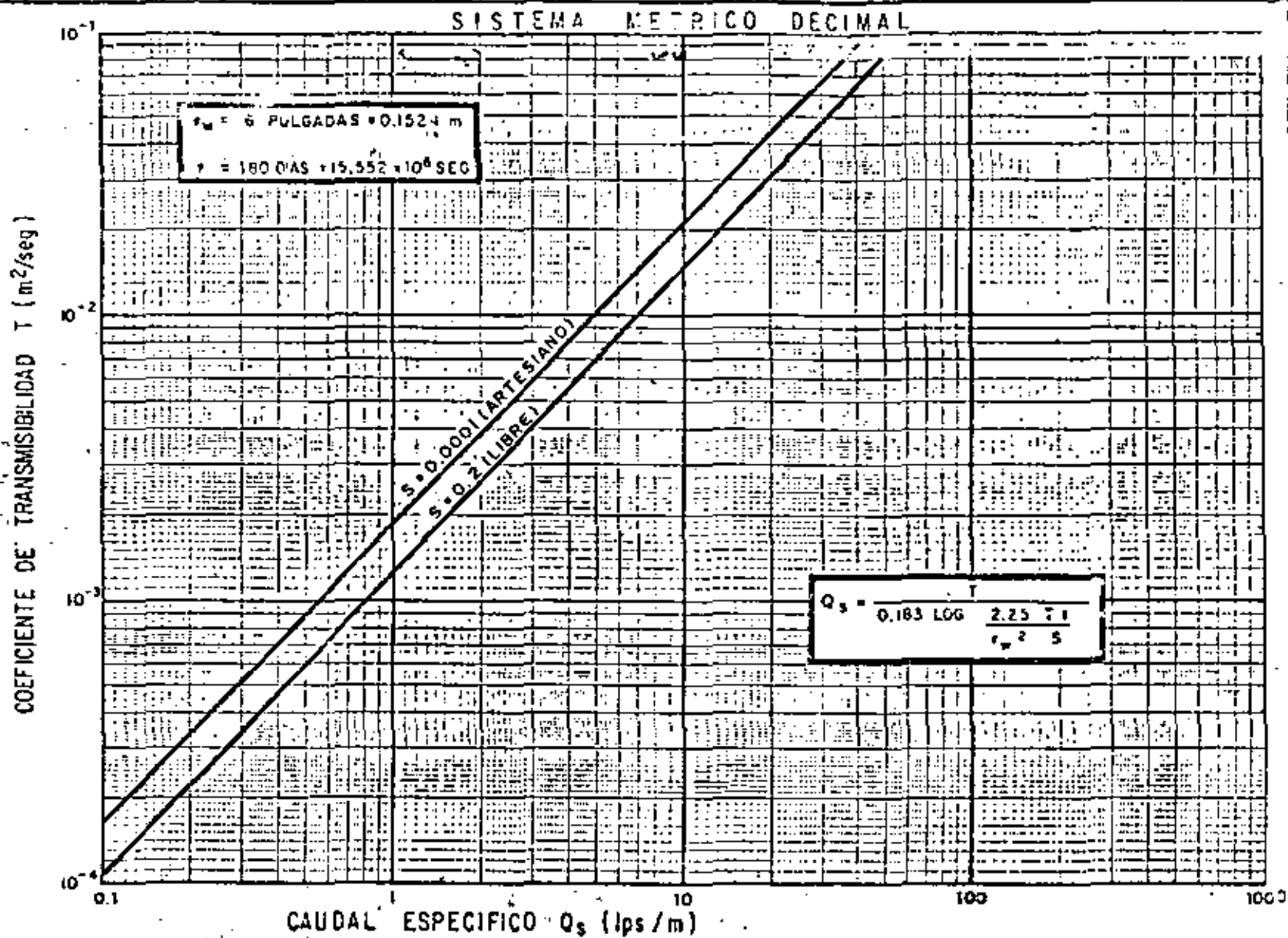


RELACION CAUDAL ESPECIFICO - TRANSMISIBILIDAD



RELACION CAUDAL ESPECIFICO - TRANSMISIBILIDAD

55



RELACION CAUDAL ESPECIFICO - TRANSMISIBILIDAD

coeficientes buscados. Para ello, se elige un tiempo menor o igual que la duración de cada etapa, de preferencia tal que el nivel de agua ya se haya establecido; se mide gráficamente el abatimiento total correspondiente a este tiempo, tomado a partir del inicio de cada etapa; se calcula el coeficiente entre dichos abatimientos y los caudales respectivos, y con estos valores se traza la gráfica $a/Q - Q$, mostrada en la figura.

Si los puntos de esta gráfica muestran una tendencia lineal, se traza una recta de ajuste; el valor del coeficiente C está dado por la pendiente de esta recta, y el del coeficiente B es igual a la ordenada al origen.

Conociendo los valores de ambos coeficientes - es posible predecir la posición del nivel dinámico para cualquier caudal de extracción.

Es frecuente que los puntos de la gráfica se encuentren dispersos sin mostrar una tendencia definida; en ocasiones, esto se atribuye a una deficiente limpieza y desarrollo del pozo, aunque también puede deberse a una irregular distribución de las características hidráulicas de la formación.



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

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

HIDROGEOQUIMICA

Ing. Juan Manuel Lesser Illades

Junio, 1981



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, SO₄, Cl, HCO₃, NO₂ y NO₃, 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

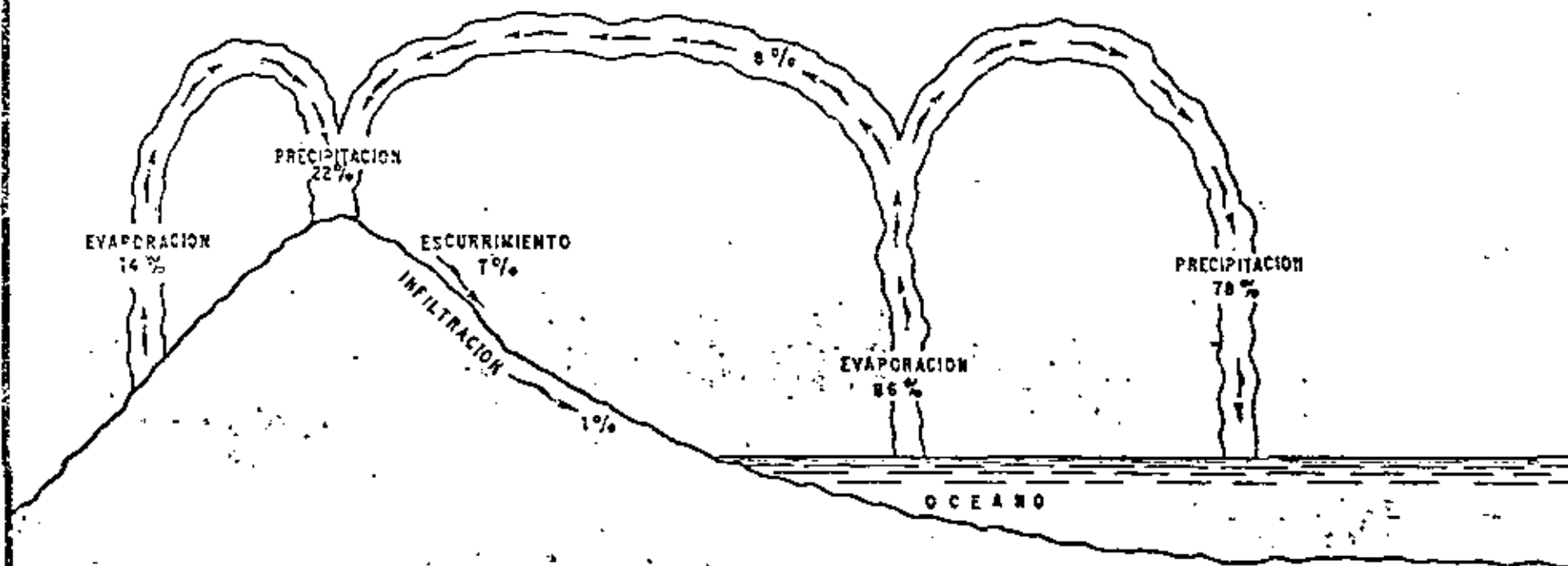


FIG.- 1

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.

2.3. QUIMICA 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.

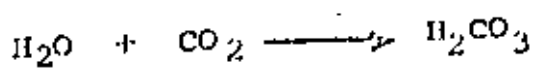
La composición química general del agua de lluvia, según Garrels y Mackenzie (1971), es la siguiente: (Figs. 2 y 3)

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

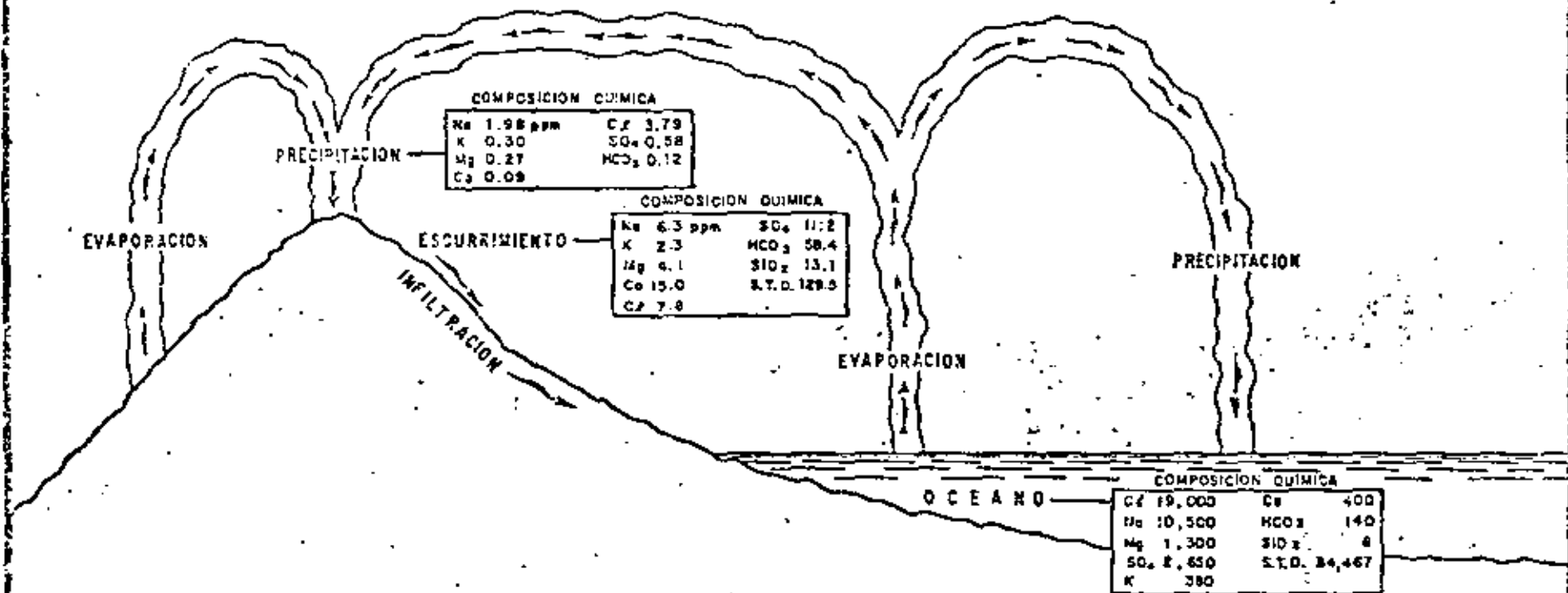


FIG. 2

9.

ILUSTRACION SOBRE LA COMPOSICION QUIMICA DEL AGUA EN DIVERSAS CIRCUNSTANCIAS

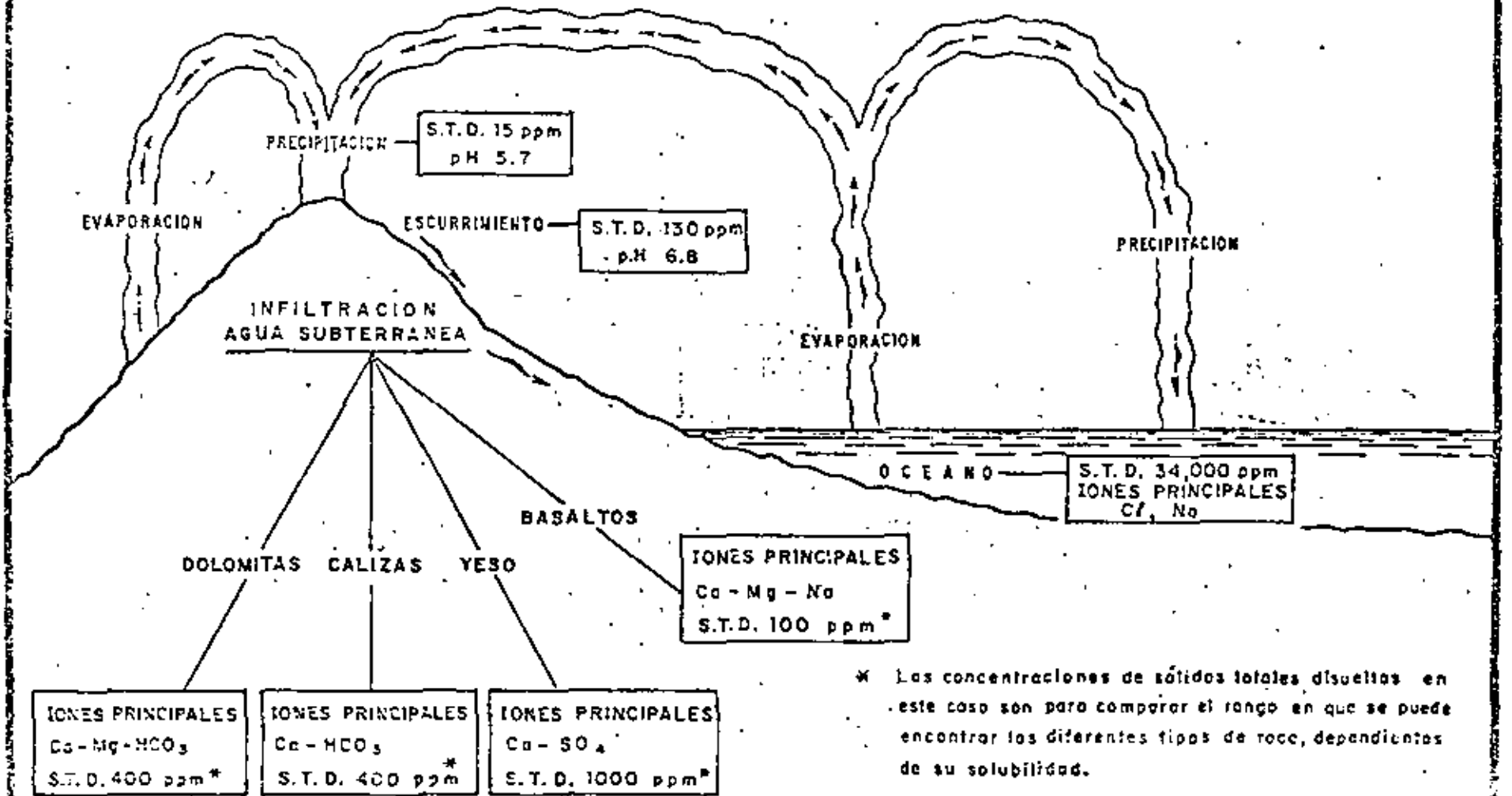


FIG - 3

Este ácido, tiene un gran poder de disolución y es 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 dependiente 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):

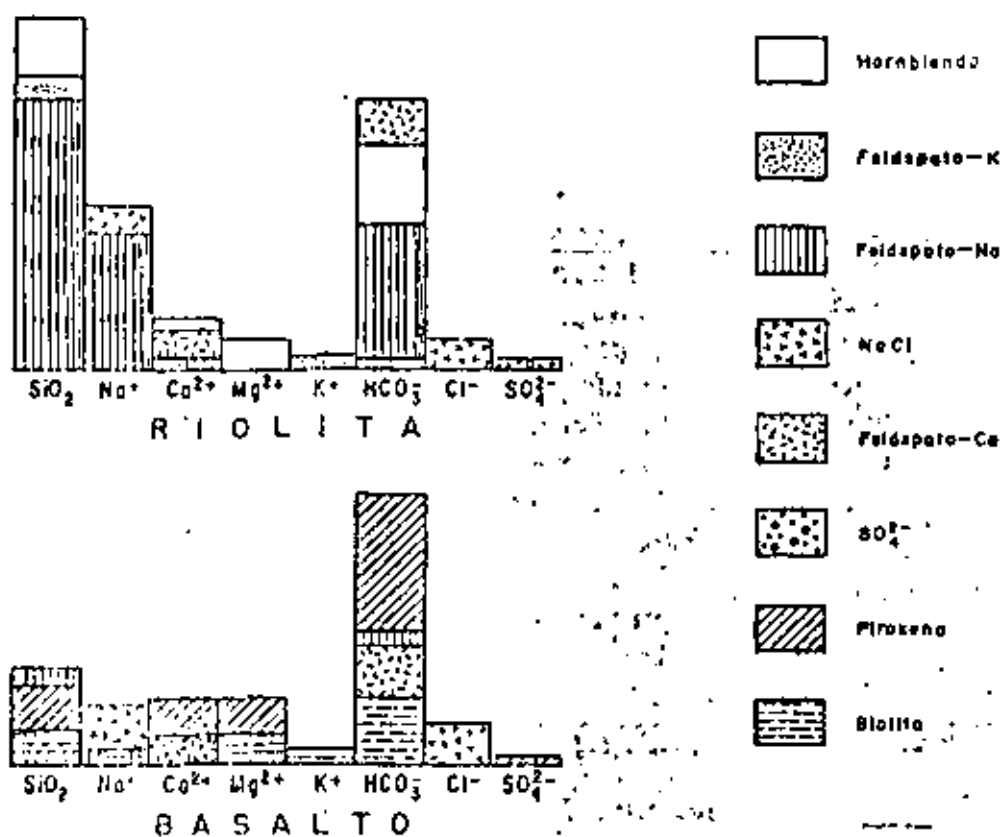
3.1. SELECCION Y MUESTREO DEL AGUA SUBTERRANEA

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.

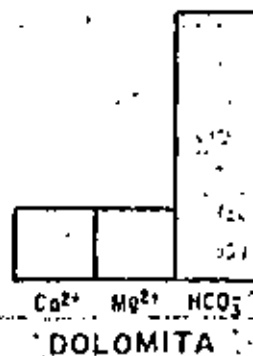
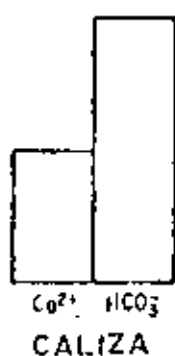
El muestreo se debe efectuar usando frascos de polietileno de un litro de capacidad, con doble tapa. Los frascos deben llenarse totalmente para evitar la gasificación de algunos componentes que podría provocar reacciones químicas y alterar la composición de la muestra que es representativa de enormes 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

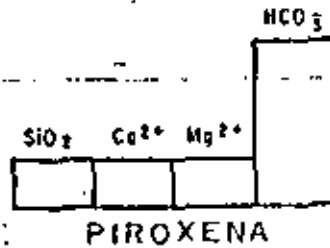
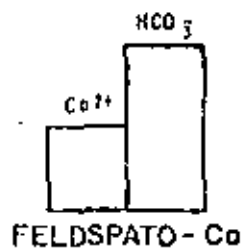
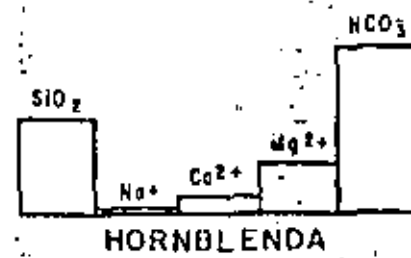
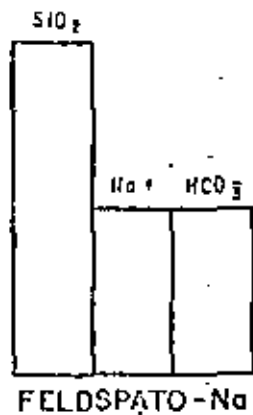
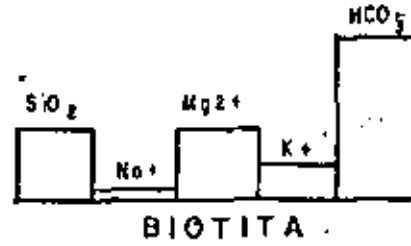
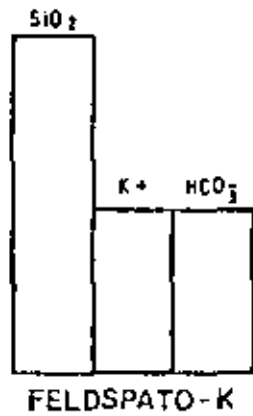


RECONSTRUCCION EN HISTOGRAMAS DE LA COMPOSICION DEL AGUA DE RIOLITAS Y BASALTOS



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

- 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 BOTE LLA DE POLIETILENO DE UN LITRO DE CAPACIDAD

ANALISIS FISICO - QUIMICOS

DETERMINACION DE CALCIO, MAGNESIO, SODIO, POTASIO, BICARBONATO, CLORURO, SULFATO, - SOLIDOS TOTALES DISUELTOS, ETC.

ELABORACION DE PLANOS, Y DIAGRAMAS E INTERPRETACION DE LOS MISMOS

TABLA RESUMEN CONFIGURACIONES DIAGRAMAS-TRIANGULARES ETC.

FIG. 6

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)

SÓLIDOS 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 ión 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 re-- carga, 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 tota-- les disueltos de Aldama, se observa que las zonas con menores concentraciones se encuentran en el ex-- tremo 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.

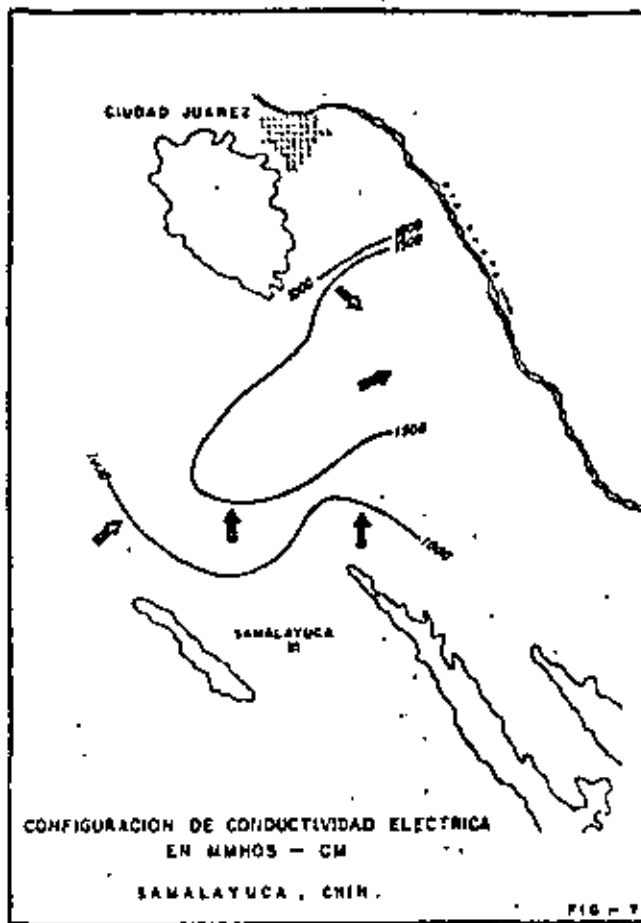
Las concentraciones aumentan de la Sierra de La Gloria, hacia el noreste y después hacia el sureste, a lo largo del río Chuviscar, mostrando que la dirección del agua subterránea es hacia el sureste.

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.

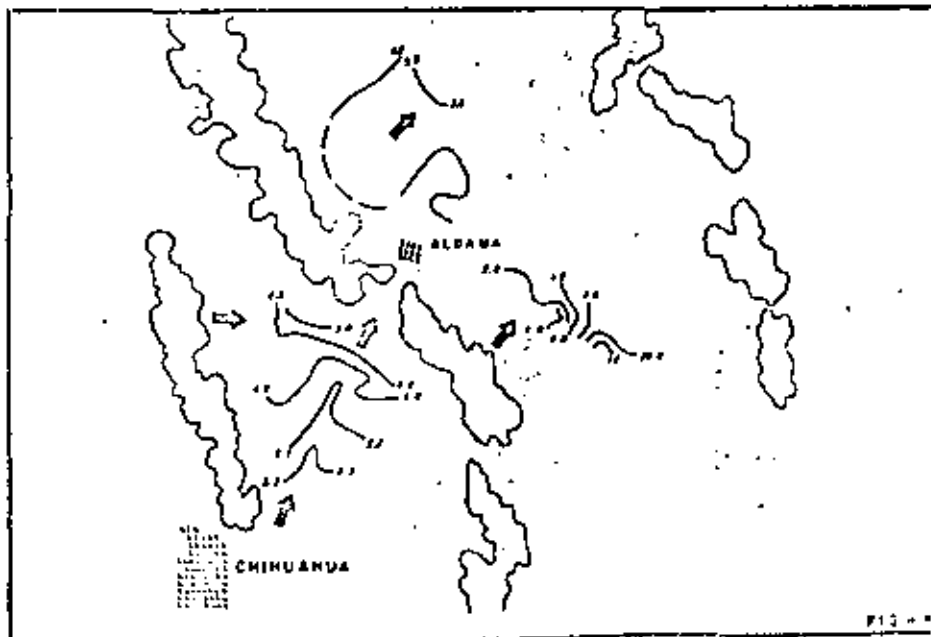
Por lo tanto, de estas configuraciones se obtiene, entre otras cosas, la zona de alimentación del acuífero y dirección del flujo, el cual coincide con el encontrado por métodos piezométricos.

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.

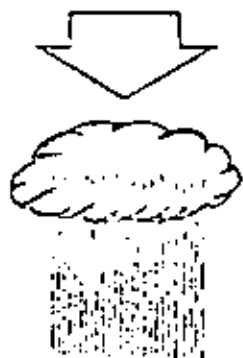
- c) Diagramas triangulares. - Con el objeto de obtener, en forma rápida e ilustrativa, los diferentes tipos o familias de agua, de acuerdo al catión y anión predominante, se forman diagramas triangulares, como el que se muestra en la Fig. 10. En el triángulo de la izquierda de este diagrama se grafican, 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-



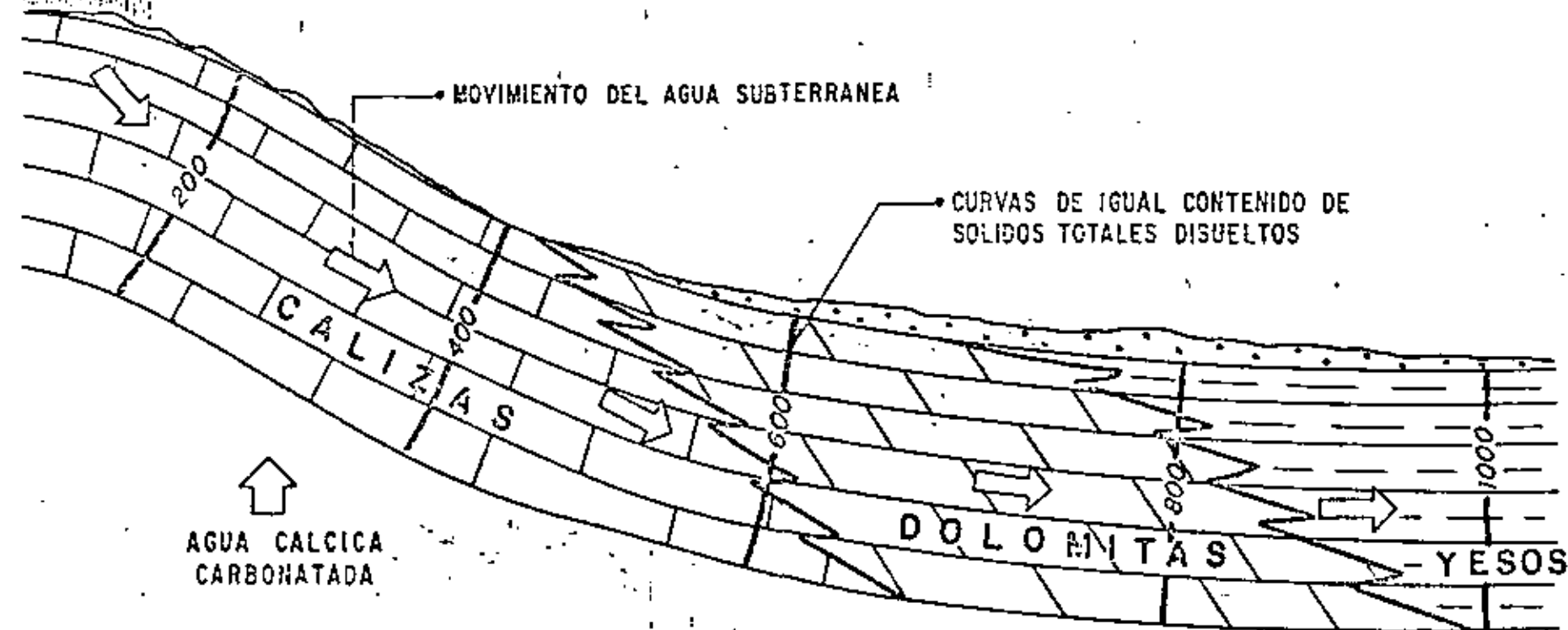
CONFIGURACION DE SOLIDOS TOTALES EN MEA, CHIHUAHUA-ALDAMA, CHIH.



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



AGUA CALCICA
CARBONATADA

AGUA CALCICA
MAGNESIANA
CARBONATADA

AGUA CALCICA
SULFATADA.

DIAGRAMA TRIANGULAR

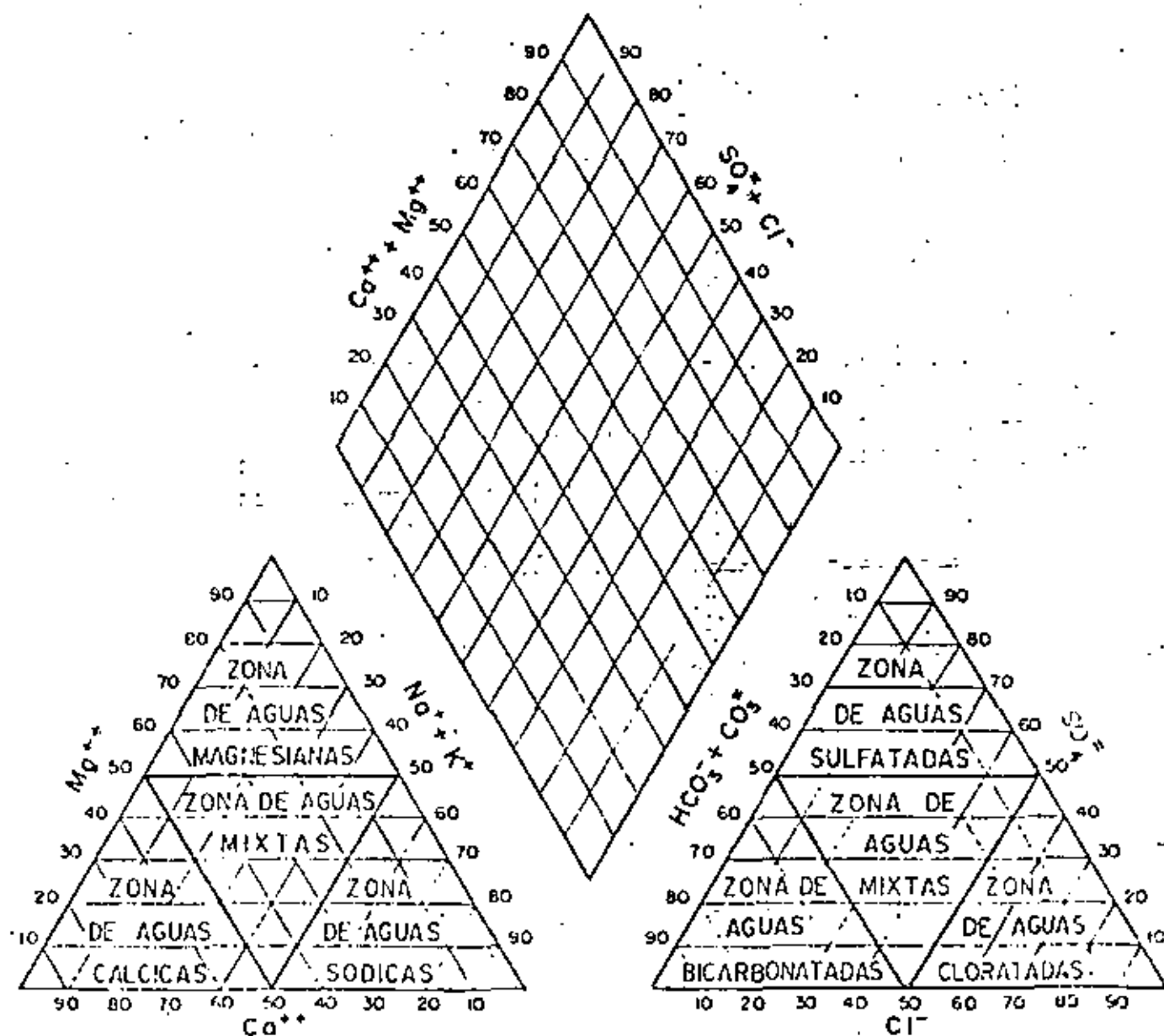


FIG. - 10

centajes mayores al 50% de calcio, magnesio, bicar^{bonato}, 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 Tecomán-Manzanillo, Col., observándose la - existencia de agua de tipo sódico-clorata^{da}, mixta -mixta y cálcico-bicarbonatada.

El tipo o familia de agua, se vacía sobre un plano delimitando zonas con agua de diferente composi^{ción}. En la Fig. 12 se muestra el plano correspondiente al diagrama triangular de la zona de Tecomán-Manzanillo, en el cual se delimitaron las zo^{nas} correspondientes a las familias de agua ya men^{cionadas}. El agua sódico-clorata^{da}, 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 pre^{domina} ningún ion en especial. El agua cálcico-bi^{carbonatada}, es el producto de la disolución de ro^{cas} calizas por el agua.

- d) Resistividades y sólidos totales disueltos.- La - resistividad es una medida indirecta de los sól^{idos} totales disueltos (S.T.D.) que contiene el - - agua, ya que sus valores son inversamente propor^{cionales} a éstos últimos. Tomando en cuenta esta característica, se forma una gráfica (Fig. 13) con la cual, se pueden calcular resistividades a par^{tir} de sólidos totales disueltos, o viceversa. -- Los sólidos totales disueltos calculados, en algu^{nos} casos, nos ayudan a complementar la informa^{ción} de configuraciones de una forma rápida y eco^{nómica}. Las resistividades calculadas, se pueden - utilizar para hacer correlaciones con geofísica

En la Fig. 17, se muestra un ejemplo de la rela^{ción} entre resistividad y S.T.D., el cual corres^{ponde} al área de Sonoyta, Son. En ella se encon^{tro} que, en ciertos lugares, el agua subterránea - tenía concentraciones de S.T.D., muy altas y se en^{contraba} rodeado por pozos con agua de mejor cali^{dad}. Se efectuaron sondeos geofísicos de resisti^{vidad}.

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 Chaso Palmer, Shoeller, Souline, Wilcox, etc.

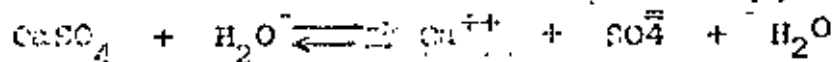
IV. GRADO DE SATURACION DEL AGUA CON RESPECTO A LOS MINERALES MAS COMUNES

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 YESO

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:

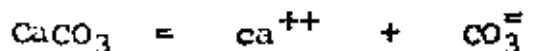
$$K_{ai} = \frac{[\text{Ca}^{++}] [\text{SO}_4^{--}] [2\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}]}$$

Donde los paréntesis indican la actividad iónica del ion -- que en encierran.

La actividad de los compuestos, es igual a 1.- por lo tanto:

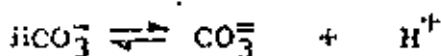
$$K_{ai} = [Ca^{++}] [SO_4^{=}] \text{ - - - - - (1)}$$

De manera similar para la calcita se tiene:



$$K_{ai} = [Ca^{++}] [CO_3^{=}] \text{ - - - - - (2)}$$

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:



$$K_{ai} = \frac{[CO_3^{=}] [H^{+}]}{[HCO_3^{-}]} = 10^{-10.33}$$

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).

$$\begin{aligned} \text{O sea:} \quad [Ca^{++}] &= \gamma_{Ca} \cdot M_{Ca} \\ [SO_4^{=}] &= \gamma_{SO_4} \cdot M_{SO_4} \\ [HCO_3^{-}] &= \gamma_{HCO_3} \cdot M_{HCO_3} \end{aligned}$$

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:

$$\log \gamma = \frac{-A z_i^2 \sqrt{I}}{1 - B a_i \sqrt{I}}$$

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 $B = 0.3281 \times 10^8$; (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_{ai}), 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

**GENERALIDADES SOBRE LA INTRUSION SALINA EN ACUIFEROS
COSTEROS Y METODOS DE CONTROL**

Ing. Juan Manuel Lesser Illades

Junio, 1981



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:

$$Z = 40h$$

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.

BARRERAS 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 intrusióna 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

al volumen de agua de mar que originalmente intruía. -
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 ni--
vel piezométrico lo cual se lleva a cabo hasta alcanzar el --
gradiente requerido. Debido a la diferencia en densidad en--
tre 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 neces-
ario primeramente determinar el espesor de sedimentos permea-
bles. Posteriormente se construye la barrera de pozos de in-
yección 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 esti-
mada. Después de que en la barrera con pozos de inyección, -
se establece un equilibrio, la cantidad de agua que fluye ha-
cia el acuífero, será la cantidad de agua de mar que intruía
anteriormente, siempre y cuando la explotación de la pla-
nicie se haya conservado igual. Para mantener el balance di-
námico de esta zona, es necesario que exista un pequeño flujo
de agua dulce hacia el mar. La magnitud de este flujo es va-
riable, pero será de alrededor del 10% de la que fluye hacia
el acuífero. El número de pozos requeridos para formar la ba-
rreira dependerá de las características hidráulicas del acuífe-
ro, en especial de la capacidad específica de un pozo de bom-
beo perforado en la zona.

METODO COMBINADO; BARRERA POR POZOS DE BOMBEO BARRERA POR PO-
ZOS DE INYECCION.

Este método utiliza la combinación de los dos méto-
dos 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 simultánea-
mente, 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.

NOTA : Para la elaboraci3n de este artculo, se utilizaron datos de diferentes textos y trabajos, principalmente de los apuntes del curso de hidrologia subterranea del Departamento de Recursos Hidraulicos del Estado de California, U.U., por Raymond C. Richter.

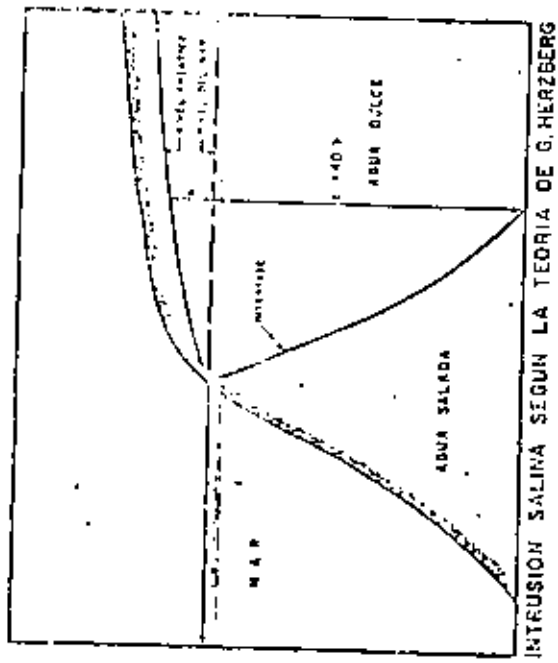


FIG - 1

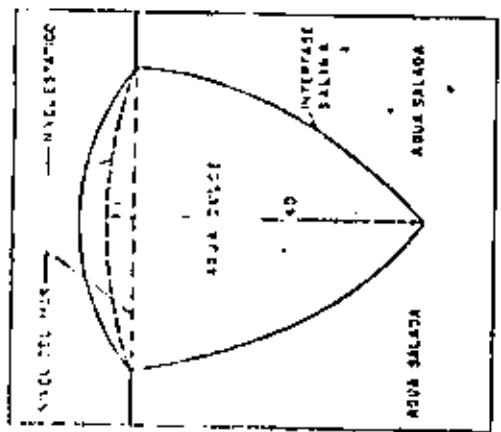
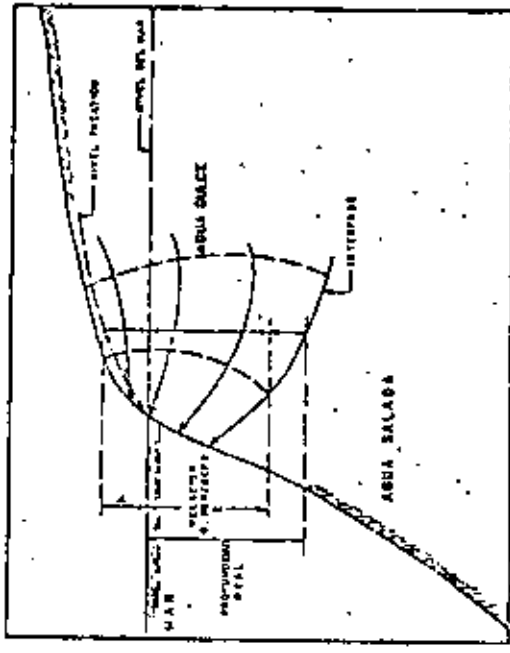
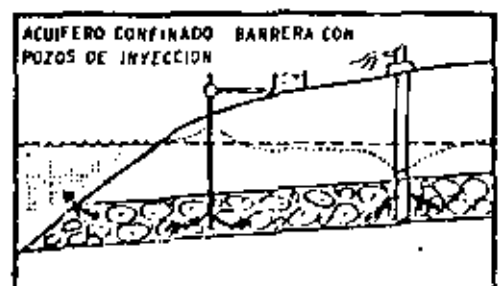
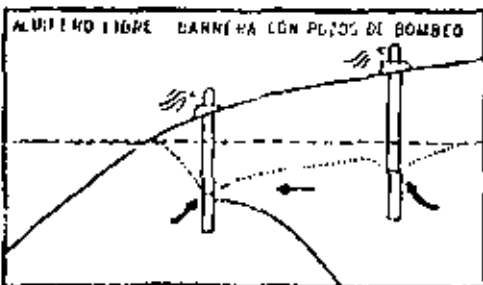
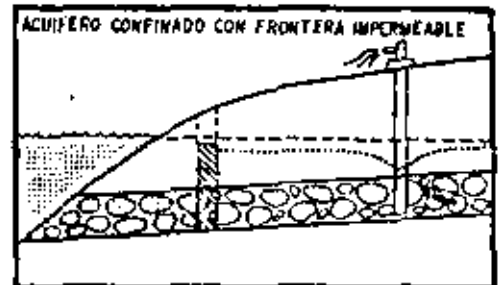
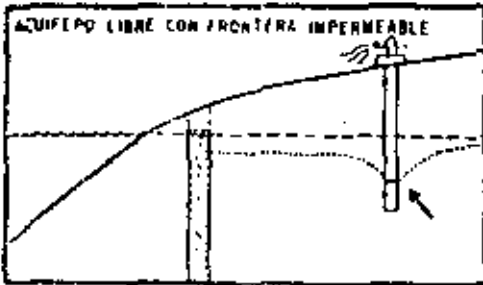
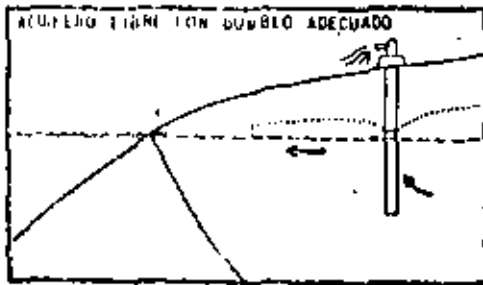
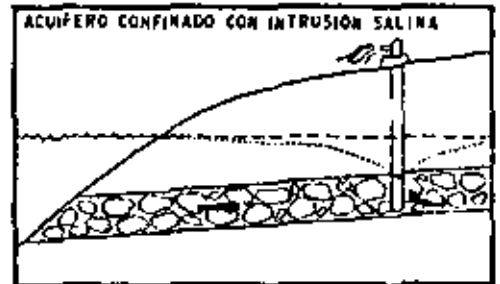
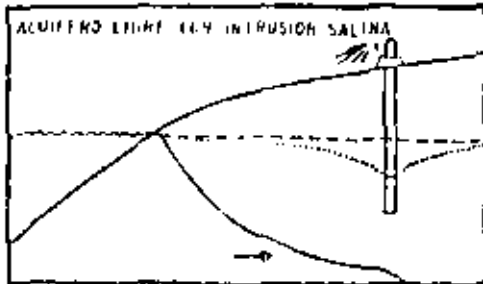
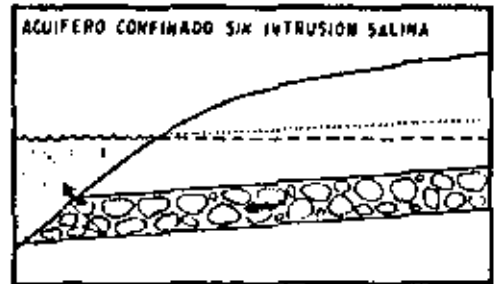
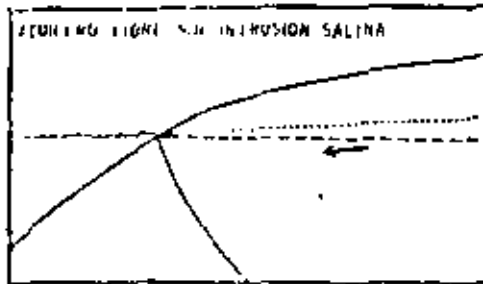


FIG - 2 POSICION DE LA INTERFASE SALINA EN UNA ISLA



DISCREPANCIA ENTRE LA PROFUNDIDAD REAL A LA INTERFASE Y LA CALCULADA POR G.HERZBERG.

FIG - 3



NIVEL ESTACIONARIO NIVEL DEL MAR ----- AGUA DULCE [] AGUA SALADA [] AGUA INYECTADA []



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

PÉRFORACION DE POZOS PARA AGUA

CONTROL Y OPERACION DE LOS APROVECHAMIENTOS DE
AGUAS SUBTERRANEAS

Ing. Jorge E. Alvarado Ortuño

Junio, 1981



CONTROL Y OPERACION DE LOS APROVECHAMIENTOS DE AGUAS SUBTERRANEAS

SISTEMAS DE CONTROL.

FORMAS DE CONTROL.

BANCO NACIONAL DE INFORMACIÓN

GEOHIDROLÓGICA.

POR ING. JORGE ENRIQUE ALVARADO ORTUÑO

EN EL ACTUAL CURSO, SE HAN PRESENTADO
LOS DIFERENTES ASPECTOS REQUERIDOS PARA OBTENER AGUA SUBTERRÁNEA A
TRAVÉS DE UNA PERFORACIÓN.

SE HAN PERCATADO DE LA IMPORTANCIA QUE
TIENE; LA DEFINICIÓN DE LA LOCALIZACIÓN ADECUADA PARA LA PERFORACIÓN,
A TRAVÉS DEL DICTÁMEN GEOHIDROLÓGICO EN QUE INTERVIENE LA GEOLOGÍA -
SUPERFICIAL, LA GEOFÍSICA PROSPECCIÓN GEOHIDROLÓGICA, FOTOINTERPRETA
CIÓN, TRAZADORES, ETC.

SE HAN ESTUDIADO LAS TÉCNICAS DE PERFO
RACIÓN QUE SE DEBEN EMPLEAR PARA CADA FORMACIÓN Y LOS PROBLEMAS DERI
VADOS AL NO UTILIZAR LAS HERRAMIENTAS Y MATERIALES ADECUADOS. ASI--
MISMO SE HA VISTO LO IMPORTANTE QUE ES LA SELECCIÓN DE LOS ADEMÉS, -
EL ENGRAVADO Y EN ALGUNOS CASOS LA CEMENTACIÓN EN EL POZO, DIFEREN
TES TIPOS DE LIMPIEZA, LOS AFOROS Y LA SELECCIÓN DE LAS BOMBAS,

TAMBIÉN SE HAN ENTERADO DE LAS DISCIPLI
NAS Y PROCEDIMIENTOS QUE INTERVIENEN PARA LOS ESTUDIOS DE EVALUACIÓN,

LOS PROBLEMAS QUE SE PRESENTAN Y LOS OBJETIVOS FUNDAMENTALES DE ELLOS, SABIENDO DE ANTEMANO QUE DEL RESULTADO OBTENIDO EN LA EVALUACIÓN DE UNA ZONA PUEDEN DERIVARSE OPINIONES POSITIVAS EN ESA REGIÓN, TALES COMO EL INCREMENTO DE MÁS POZOS, QUE POR ENDE ABRIRAN NUEVAS TIERRAS AL CULTIVO O TAMBIÉN SE PUEDE CONCLUIR EL DE LLEVAR AL EXTREMO NECESARIO DE VEDAR LA ZONA, IMPIDIENDO LA CONSTRUCCIÓN DE NUEVOS POZOS A FIN DE PRESERVAR EL ACUÍFERO EL MAYOR TIEMPO POSIBLE Y EN LA FORMA MÁS RECOMENDABLE.

AHORA BIÉN, ENTENDEMOS LA NECESIDAD DE REGISTRAR EN ALGUN LUGAR ESTOS RESULTADOS Y EXPERIENCIAS QUE SEGURAMENTE SERÁN DE UTILIDAD EN EL FUTURO INMEDIATO Y MEDIATO. SI EL TRABAJO SE CONCRETA A UNA SOLA OBRA DE PERFORACIÓN Ó A UNA SOLA ZONA DE EVALUACIÓN, PODEMOS FACILMENTE MEMORIZAR LA HISTORIA DEL ESTUDIO Y EL RESULTADO, ASÍ MISMO EN EL CASO DEL POZO SE RECUERDA LA PROFUNDIDAD, SUS DIAMETROS DE ADEME, SU CAUDAL Y TODOS LOS DETALLES DE CONSTRUCCIÓN. SI SE TRABAJA CON 100 POZOS YA NO SERÁN MEMORIZADOS LOS DATOS TAN FACILMENTE, ESTANDO SUJETOS A OLVIDOS CONFORME PASA EL TIEMPO. PERO SI HABLAMOS DE 100 ZONAS Ó DE 10, 20 Ó 50,000 POZOS DE FINITIVAMENTE ES IMPOSIBLE QUE PERSONA ALGUNA RECUERDE LOS DETALLES. POR TAL MOTIVO HAY NECESIDAD DE ANOTARLOS EN EXPEDIENTES Y LOCALIZAR LOS EN PLANOS.

EN LA ACTUALIDAD MÉXICO, REQUIERE CONOCER Y PLANEAR LA EXPLOTACIÓN RACIONAL DE SUS MUY IMPORTANTES RESERVAS MINERAS Y PETROLERAS, PERO TAMBIÉN COMO RENGLÓN DEFINITIVO, SU POTENCIAL DE AGUA, TANTO SUPERFICIAL COMO SUBTERRÁNEA.

CUANDO LOS TÉCNICOS DE CUALQUIER DISCIPLINA, RELACIONADA CON EL AGUA SUBTERRÁNEA, REQUIEREN DE ALGUNA INFORMACIÓN, SE INICIA UN PROBLEMA QUE GENERALMENTE PARECE INTERMINABLE, SE CONCENTRAN EN UNA ZONA, EN PARTICULAR, Y SE TIENEN QUE APRENDER LA CODIFICACIÓN USADA EN ESE TIEMPO, POR LA INSTITUCIÓN Ó PERSONA QUE LA ELABORÓ, Y CUANDO SE TIENE QUE TRABAJAR A NIVEL NACIONAL, USUALMENTE RESULTABA EL CAOS; DIFERENTES CONSIDERACIONES, DIFERENTES NOMENCLATURAS, DIFERENTES UBICACIONES, DIFERENTES CRITERIOS, DIFERENTES PLANOS, ETC.

PERSONAS CAPACITADAS HABIAN TRATADO DE ORDENAR ESTA INFORMACIÓN DE MUCHAS MANERAS PERO GENERALMENTE SEPARANDO LAS DIVERSAS ZONAS CON SUS DIVERSOS PROBLEMAS.

ASÍ PUES EN ESTA OCASIÓN, SE HABLARÁ DE LA SOLUCIÓN QUE SE HA DADO AL PROBLEMA DE REUNIR LA INFORMACIÓN GEOHIDROLÓGICA A NIVEL NACIONAL EN FORMA INTEGRAL Y ADECUADA A ESTA EPOCA, Y A LOS RECURSOS DISPONIBLES. SIN MENOSPRECIAR NUNCA EL ESFUERZO REALIZADO POR PERSONAS E INSTITUCIONES QUE NOS ANTECEDIERON, DADO QUE ESA FUÉ LA BASE DE LA IDEA, CREACIÓN E INTEGRACIÓN DE LOS SISTEMAS Y FORMAS DE CONTROL QUE HAN DADO COMO RESULTADO EL BANCO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOHIDROLÓGICA. ESTE BANCO SEGURAMENTE REGISTRARÁ POR BASTANTES AÑOS PENSANDO Y DANDO CABIDA A QUE EN EL FUTURO SE PODRÁ AFINAR AÚN MÁS ADICIONANDO CADA VEZ MAS DETALLES. DEBIDO A LA RECOPIACIÓN DE DATOS APORTADOS POR PERSONAS Y TÉCNICOS QUE COMO USTEDES ENTIENDERÁN LO VALIOSO Y LA UTILIDAD PRÁCTICA DE CONOCER Y REGISTRAR LOS FORMENORES Y EXPERIENCIAS OBTENIDAS AL DESARROLLAR SUS

TRABAJOS DE PERFORACIÓN Y QUE SI BIEN, ANTERIORMENTE NO HABIA UNA -
FORMA DE CONTROL NACIONAL AHORA EXISTE UNA PARA SU MANEJO INTEGRAL, -
DE FORMA TAL QUE PERMITE AGILIZAR LA TOMA DE DECISIONES, EVITANDO -
ERRORES QUE EN FORMA LOGICA SE COMETIAN POR NO TENER AL ALCANCE LA -
INFORMACIÓN NECESARIA.

EL BANCO CONTEMPLA 4 FACETAS IMPORTANTES; EN UNA DE ELLAS EL REGISTRO DE LOS APROVECHAMIENTOS DE AGUAS -
SUBTERRANEAS CON TODAS SUS CARACTERÍSTICAS DE CONSTRUCCIÓN LA TERMI-
NACIÓN, UBICACIÓN Y A QUIEN BENEFICIA. ASÍ COMO LAS FORMACIONES --
ATRAVEZADAS DURANTE LA PERFORACIÓN Y CALIDADES DE AGUA.

OTRA FACETA ES LA ELABORACIÓN DE DOS -
PLANOS A NIVEL ESTATAL Y CON LAS CONDICIONES ACTUALES DE EXPLOTACIÓN
Y LA GEOLOGÍA SUPERFICIAL DESDE EL PUNTO DE VISTA DE ROCA ACUÍFERA.

OTRA FACETA ES LA DE ELABORAR, IMPRI--
MIR, PUBLICAR Y DIVULGAR PLANOS A NIVEL ZONA GEOHIDROLÓGICA, CON LEN-
GUAJE ENTENDIBLE A TODA PERSONA COMO GUÍA DE LAS CONDICIONES EN LOS
ACUÍFEROS Y ZONAS FACTIBLES DE PERFORAR.

LA ULTIMA SE REFIERE A LA CODIFICACIÓN
Y REGISTRO DE TODOS LOS DICTÁMENES GEOHIDROLÓGICOS REVISADOS DE LUGA-
RES Y SITIOS EN PARTICULAR.

NO ESTÁ POR DEMÁS ASENTAR QUE ESTE -
BANCO DEBERÁ ESTARSE ACTUALIZANDO, DEBIDO A QUE TÁNTO LOS ACUÍFEROS

COMO LA CONSTRUCCIÓN DE POZOS, ESTÁ SUJETA A UNA ACTIVIDAD DINAMICA
CONSTANTE.

PASAREMOS A EXPONER EN FORMA RESUMIDA
EL PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y LOS PASOS DADOS PARA LA INTEGRACIÓN
DEL BANCO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOHIDROLÓGICA.

BANCO NACIONAL DE INFORMACION GEOHIDROLOGICA

EL PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

COMO SE HA MENCIONADO A NADIE ESCAPA LA IMPORTANCIA QUE TIENE EL AGUA COMO FACTOR PARA LA SUPERVIVENCIA, LA SALUD, EL DESARROLLO AGRÍCOLA, PECUARIO, MUNICIPAL, INDUSTRIAL Y RECREATIVO. EN SÍNTESIS FORMA PARTE INTEGRAL E INDISPENSABLE DE LA VIDA.

ES POR ESTO QUE EN LA ACTUALIDAD, TODOS LOS PUEBLOS DE LA TIERRA, TIENEN UNA SERIA PREOCUPACIÓN POR CONOCER SUS RESERVAS DE AGUA, SU RENOVACIÓN Y LA UTILIZACIÓN QUE LE DEN Y DEBERÁN DARLE EN EL FUTURO. SE PUEDE MENCIONAR QUE EN LA MAYOR PARTE DEL MUNDO SE CONOCEN EN FORMA SOMERA O CON GRAN PRECISIÓN, DESDE HACE TIEMPO SUS RECURSOS ACUÍFEROS SUPERFICIALES. EN LA ACTUALIDAD SE TIENE YA UNA IDEA DEFINIDA Y CLARA ACERCA DE LA IMPORTANCIA DE ESTE VITAL LÍQUIDO, ASÍ COMO EL RENDIMIENTO QUE OTORGA EL CONSTRUIR PRESAS GRANDE O PEQUEÑAS A FIN DE RETENER EL AGUA DE ESCURRIMIENTOS, PARA SU APROVECHAMIENTO EN DIFERENTES USOS, TRATANDO ASÍ DE OBTENER LOS MAYORES BENEFICIOS.

EN MÉXICO, AL IGUAL QUE EN OTROS PAÍSES, SE CONOCE ESTE RECURSO SUPERFICIAL Y SE HAN CONSTRUIDO MÁS DE 1,046 PRESAS DE ALMACENAMIENTO Y 1,348 PRESAS DERIVADORAS, ASÍ COMO UN SIN NUMERO DE BORDOS DE RETENCIÓN, Y SE TIENE YA UN CONOCIMIENTO MUY RAZONABLE DE LAS PRECIPITACIONES EN TODO EL PAÍS.

A TRAVÉS DE PLATICAS ANTERIORES SE LE HA COMENTADO, QUE NO FUE HASTA EL PRESENTE SIGLO EN QUE SE PRODUJERON INQUIETUDES ACERCA DEL CONOCIMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA, PUES HASTA ENTONCES LA UTILIZACIÓN DEL AGUA DEL SUBSUELO SE HABÍA LIMITADO A SU PRODUCCIÓN ESPONTÁNEA A TRAVÉS DE NORIAS, TAJOS, GALERÍAS FILTRANTES Y EN MUY RARAS OCACIONES A TRAVÉS DE PERFORACIONES DE POZOS, SIN CONOCER SU CUANTÍA NI RESERVA.

SE HA MENCIONADO TAMBIÉN QUE EL ESTUDIO INTEGRAL DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL MUNDO SE HA DESARROLLADO RECIENTEMENTE; LOS TÉCNICOS Y CIENTÍFICOS HAN DEFINIDO MÉTODOS, FORMULAS Y LEYES PARA SU CAPTACIÓN ESTUDIO Y CONOCIMIENTO DEBIDO A LA GRAN UTILIDAD Y BENEFICIO OBTENIDOS, POR UN LADO Y POR OTRO LOS EFECTOS PERJUDICIALES QUE SE OBSERVARON AL EXPLOTAR ESTE ELEMENTO.

¿CUANDO NOS PREGUNTAMOS QUE HA OCURRIDO EN MÉXICO CON NUESTRAS AGUAS SUBTERRÁNEAS? ¿QUÉ TAN IMPORTANTES SON PARA NUESTRO PAÍS? ¿QUÉ TANTO CONOCEMOS DE ELLAS? ¿EN QUE MEDIDA Y PROFUNDIDAD DEBEMOS ESTUDIARLAS?

DEBEMOS RECORDAR QUE EL 63% DEL TERRITORIO NACIONAL ESTÁ COMPUESTO DE ZONAS ÁRIDAS O SEMI-ÁRIDAS Y QUE POR LO TANTO EL RIEGO ES "INDISPENSABLE" EN ESTAS ZONAS, SIENDO NECESARIO EN OTRO 31%, CONVENIENTE EN UN 5% E INECESARIO POR TENER LLUVIA TODO EL AÑO EN UN 1%. SABEMOS TAMBIÉN QUE CUANDO MENOS EL 95% DE NUESTRAS GRANDES CIUDADES, CIUDADES PEQUEÑAS Y POBLADOS, SE ABASTECEN DE AGUA SUBTERRÁNEA.

EN NUESTRA PATRIA LA CAPTACIÓN DE ESTE ELEMENTO HA TENIDO DOS DIFERENTES ASPECTOS, POR UN LADO: LOS AGRICULTORES MEXICANOS, LAS GRANDES CIUDADES Y CENTROS TURÍSTICOS, HAN UTILIZADO CON MUCHO ÉXITO LA EXPLOTACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA, CUANDO LOS NIVELES PIEZOMÉTRICOS SE HAN ENCONTRADO EN BUENAS CONDICIONES PARA LA EXTRACCIÓN, PERO NO HAY QUE OLVIDAR EL OTRO ASPECTO; CUANDO SE ABATEN ESTOS NIVELES A GRAN PROFUNDIDAD SE HACE ANTIECONÓMICA SU EXPLOTACIÓN. EN ZONAS COSTERAS, SE PUEDEN PRESENTAR ADEMÁS DAÑOS IRREVERSIBLES AL BOMBLEAR BAJO EL NIVEL DEL MAR, PROVOCANDO LA INTRUSIÓN DE AGUA SALADA DE MAR TIERRA DENTRO. EN OTRAS OCASIONES SE PROVOCAN GRIETAS EN EL TERRENO Ó HUNDIMIENTO EN GRANDES ÁREAS. TAMBIÉN PUEDEN SER IGUALMENTE DAÑINOS CUANDO ESTOS NIVELES SON DEMASIADO SUPERFICIALES, PROVOCANDO LA SALINIZACIÓN POR EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LOS SUELOS DEJANDO GRANDES ÁREAS SIN PRODUCCIÓN, ASÍ TAMBIÉN SE PUEDEN PRESENTAR PROBLEMAS GRAVES, COMO LOS DE LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, AL NO CONOCER Y PREVEER ESTE FENÓMENO.

SE ANOTAN SOLAMENTE ALGUNAS ZONAS COMO EJEMPLO DE CADA UNO DE ESTOS FENÓMENOS EN EL PAÍS:

DE SOBRE-EXPLOTACIÓN: LA ZONA LAGUNERA EN COAHUILA Y DURANGO:

DE INTRUSIÓN SALINA: VALLES DE NOROESTE Y CALIFORNIA.

DE HUNDIMIENTOS Y GRIETAS: EL VALLE DE MÉXICO.

DE SALINIZACIÓN POR EVAPOTRANSPIRACIÓN: LA REGIÓN DE RÍO VERDE S.L.P.

DE CONTAMINACIÓN: LA PENÍNSULA DE YUCATÁN.

SEGÚN CALCULOS MUY GENERALES DE LA DIRECCIÓN DE GEOHIDROLOGÍA Y DE ZONAS ÁRIDAS, SE ESTIMA QUE EXISTEN ALREDEDOR DE UNOS 100,000 POZOS EN LA REPÚBLICA, CONCENTRADOS EN EL CENTRO Y NORTE DEL PAÍS Y QUE LA PRODUCCIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA ALCANZA UNA CIFRA DEL ORDEN DE 13,600 MILLONES DE METROS CÚBICOS AL AÑO.

POR LAS CONSIDERACIONES ANTERIORES, REQUERIMOS DE TENER UN AMPLIO CONOCIMIENTO EN LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS ACUÍFEROS EN TODOS Y CADA UNO DE LOS ESTADOS DEL INTERIOR, ATENDIENDO A SUS DIMENSIONES, ALIMENTACIÓN Y RESERVAS ALMACENADAS. SU CANTIDAD, FORMA Y DISTRIBUCIÓN DE LOS POZOS DE EXPLOTACIÓN, CON EL MAYOR NÚMERO DE CARACTERÍSTICAS POSIBLES QUE NOS PERMITA CON EL ESTUDIO DE TODOS ESTOS ELEMENTOS, PLANIFICAR LA UTILIZACIÓN "RACIONAL" ACTUAL Y FUTURA DEL POTENCIAL DE AGUA SUBTERRÁNEA COMO RECURSO VITAL PARA LA ECONOMÍA DEL PAÍS, A FIN DE PODER PLANEAR SU EXPLOTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN MÁS ACERTADA.

ACTUALMENTE VARIAS DEPENDENCIAS GUBERNAMENTALES E INSTITUCIONES, PERFORAN APROXIMADAMENTE EL 70% DE LOS POZOS EN EL PAÍS; EL 30% RESTANTE LOS CONSTRUYEN INDUSTRIAS Y PARTICULARES. LOS ESTUDIOS GEOHIDROLÓGICOS DE EVALUACIÓN LOS REALIZA CASI EN SU TOTALIDAD EL GOBIERNO FEDERAL.

AHORA BIÉN, CADA DEPARTAMENTO, INSTITUCIÓN, EMPRESA O PARTICULAR, CONSCIENTES DE LA IMPORTANCIA QUE REÚNE EL TENER LOS INFORMES DE SUS CAPTACIONES, GENERALMENTE LOS GUARDA. AL IGUAL QUE LAS CONSTRUCTORAS TIENEN DATOS AL MENOS PARA EL PAGO DE

SUS TRABAJOS ARCHIVAN RECIBOS, ESTIMACIONES DE OBRAS O FACTURAS. PERO OCURRE QUE CADA UNO GUARDA PARA SÍ LOS DATOS QUE CONSIDERA DE "SU" UTILIDAD, DESHECHANDO LOS QUE NO LE SIRVEN, DESCONOCIENDO LO IMPORTANTE QUE ES PARA LOS ESTUDIOS Y CENSOS DE "GRAN VISIÓN", EN CONTAR CON LOS ANTECEDENTES HASTA EL MÍNIMO DETALLE DE LAS CONDICIONES EN LOS APROVECHAMIENTOS,

- - - - -HAY UN GRAN-NÚMERO DE INFORMACIÓN DISPERSA EN TODO EL PAÍS, ORDENADAS EN MUY DIFERENTES TIPOS Y AUNQUE EN LO GENERAL SON LOS MISMOS DATOS, ES NECESARIO SISTEMATIZARLA EN FORMATOS BIEN DEFINIDOS QUE PUEDAN SER CONCENTRADOS Y MANEJADOS, EVITANDO CONFUSIONES, Y COMPLICACIONES A LOS TÉCNICOS EN GEOHIDROLOGÍA. EN GENERAL, SE DA EL CASO, QUE EN VARIAS INSTITUCIONES TIENEN DETALLES VALIOSOS CON DIVERSOS ORDENAMIENTOS, LOCALIZADOS EN COORDENADAS, EJES O CUADROS DISEÑADOS PARA UNA ZONA EN PARTICULAR SIN OBEDECER HASTA EL MOMENTO UN ORDEN NACIONAL. ADEMÁS ES COMUN QUE LA INFORMACIÓN DISPERSA EN CADA OFICINA, SE CLASIFICAN NUEVAMENTE Y EN OTRA FORMA.

EN EL SEGUNDO MES DE 1979 SE TIENE CUBIERTO CON ESTUDIOS DE EVALUACIÓN, CERCA DE LA CUARTA PARTE DEL PAÍS 500.000 Km² Y OTRA CUARTA PARTE DE MÉXICO, CON RECORRIDOS DE RECONOCIMIENTOS GENERALES, HACIENDO UN TOTAL DE 1'000,000 Km², CONTRA LOS 2'000,000 Km² QUE EN NÚMEROS REDONDOS TENEMOS POR ESTUDIAR.

EL ACERVO DE DATOS OBTENIDOS QUEDA ASENTADO EN LAS 2,500 PERFORACIONES QUE CON FINES EXPLORATORIOS SE -

HAN CONSTRUÍDO, CON UNA LONGITUD DEL ORDEN DE 500,000 MTS., ASÍ COMO EN LAS 124 ZONAS ESTUDIADAS DESDE EL PUNTO DE VISTA DE EVALUACIÓN DE ACUÍFEROS, CON LOS CENSOS RESPECTIVOS DE POZOS Y LOS 3,000 DICTÁMENES GEOHIDROLÓGICOS EN SITIOS PARTICULARES. CON ESTOS TRABAJOS EL PAÍS SE ENCUENTRA CON UNA MUY BUENA PORCIÓN YA ESTUDIADA Y CONOCIDA, TENIENDO DATOS FIDEDIGNOS DE APROVECHAMIENTOS, HACIENDO UN TOTAL DE 60,000 EN FORMA GENERAL, DE ESTOS YA SE HAN CODIFICADO APROXIMADAMENTE 35,000.

POR ESTAS RAZONES SE DETERMINÓ TOMAR DE INMEDIATO, ACCIÓN FIRME Y DECIDIDA PARA LA INTEGRACIÓN Y FORMACIÓN DEL "BANCO NACIONAL DE INFORMACION GEOHIDROLOGICA".

ACTUALMENTE LA SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRÁULICOS A TRAVÉS DE LA SUBDIRECCIÓN DE GEOHIDROLOGÍA Y DE ZONAS ÁRIDAS, SE HA PREOCUPADO POR RECOPIRAR TODA LA INFORMACIÓN DISPERSA EN MATERIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS ORDENÁNDOLA EN DOS FORMATOS QUE HAN TOMADO BASTANTE TIEMPO ACEPTAR (FIGS. 1 Y 2), CONTANDO CON MÁS DE 120 ANOTACIONES, SIENDO 73 DATOS INDEPENDIENTES Y EFECTIVOS, CONTEMPLANDO TODOS Y CADA UNO DE LOS ASPECTOS DE INTERÉS PARA LA GRAN DIVERSIDAD DE TAREAS Y TRABAJOS QUE REALIZAN LAS DIFERENTES INSTITUCIONES. PARA EL MANEJO DE ESTE GRAN NÚMERO DE DATOS, SE RECURRIÓ AL USO DE COMPUTADORAS.

DE PRIMORDIAL IMPORTANCIA FUE LA DE DAR UN "NÚMERO ÚNICO" ADICIONAL A CADA APROVECHAMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA LLÁMESE POZO, NORIA, TAJO, MANANTIAL, GALERÍA FILTRANTE, ESTACIÓN PIEZOMÉTRICA, ETC., CONSIGNANDO DESDE LUEGO EL NÚMERO O CLAVE -

CON EL QUE SE CONOCE ACTUALMENTE Y SU NÚMERO DE REGISTRO NACIONAL.

MUY IMPORTANTE FUE LA LOCALIZACIÓN --
POR COORDENADAS Y SU ELEVACIÓN SOBRE EL NIVEL DEL MAR, ADEMÁS DE --
LOS DATOS QUE SE ANOTAN EN LAS FORMAS ELABORADAS PARA ESTE FIN.

SE PLANTEÓ ESTE FORMATO DE MANERA QUE
CON LAS COORDENADAS Y NÚMERO ÚNICO PERMITA QUE EN EL PROCESO DE PRO-
DUCCIÓN EN LA COMPUTADORA MARQUE SU UBICACIÓN, EN PLANOS DIBUJADOS
POR ELLA MISMA A LAS ESCALAS CONVENIENTES, DE ESTA MANERA SE DETEC-
TA DE INMEDIATO SI HAY DUPLICIDAD DE UN MISMO APROVECHAMIENTO. ASÍ-
MISMO AL TENER EL NÚMERO ÚNICO, UN POZO POR EJEMPLO, AL SER RELOCA-
LIZADO O CANCELADO, ESTE NÚMERO ÚNICO QUEDA REGISTRADO DANDO OTRO -
AL NUEVO APROVECHAMIENTO RELOCALIZANDO, AUNQUE SEA EN EL MISMO PRE-
DIO, LO CUAL EVITARÁ TAMBIÉN CONFUSIONES PUES QUEDARÁN ALMACENADOS
EN LA COMPUTADORA LOS INFORMES DEL ANTIGUO Y EL NUEVO POZO.

LA COMPUTADORA NOS INDICARÁ LAS ZONAS
MÁS DENSAMENTE CUBIERTAS DE APROVECHAMIENTOS PERMITIENDO TENER UNA
IDEA GENERAL ESTATAL O NACIONAL DE ESTA SITUACIÓN. CABE MENCIONAR
TAMBIÉN QUE SE ANOTARÁ ADEMÁS DEL ESTADO, EL MUNICIPIO, EL EJIDO O
PEQUEÑA PROPIEDAD, CUENCA O SUB-CUENCA GEOHIDROLÓGICA; ADEMÁS SE -
PUEDE TRABAJAR CON LA UBICACIÓN EN LOS 31 ESTADOS, LOS 2,394 MUNICI-
PIOS DEL PAÍS Y LOS 21,556 EJIDOS, CON LA SUPERFICIE TOTAL, LA SU-
PERFICIE CULTIVADA Y LAS FAMILIAS QUE LOS INTEGRAN.

ESTOS DATOS Y LOS DEMÁS DEBERÁN ACTUA-
LIZARSE AÑO CON AÑO.

EL SISTEMA HA SIDO ADAPTADO PARA PRODUCIR LOS MÁS DIVERSOS LISTADOS Y COMBINACIONES QUE EN UN MOMENTO DADO SE PUEDAN NECESITAR PODREMOS DE TAL FORMA SOLICITAR AL BANCO, DIFERENTES TIPOS DE INFORMACIÓN GENERAL TALES COMO: LA CANTIDAD DE POZOS EN ROCAS CALIZAS O BASÁLTICAS O DE RELLENO, ASÍ COMO LA CANTIDAD DE POZOS DE 4, 6, 12 Y 16 PULGADAS EN EL PAÍS Y EN QUÉ LUGARES SE ENCUENTRAN, O TAMBIÉN SE PODRÁ PREGUNTAR POR EJEMPLO, EL NÚMERO DE POZOS CON ELEVACIONES ENTRE 1,000 ó 1,200 MTS. SOBRE EL NIVEL DEL MAR O CUALQUIER ELEVACIÓN QUE SE REQUIERA, TAMBIÉN CUÁLES Y CUÁNTOS POZOS TIENEN MÁS DE 1,000 ó 1,500 PPM DE SÓLIDOS TOTALES DISSUELTOS Y SU UBICACIÓN O CUÁLES TIPOS O MARCAS DE BOMBAS EXISTEN EN OPERACIÓN.

SEGURAMENTE SE PENSARÁ EN LA DIFICULTAD QUE SE ENFRENTA AL TRATAR DE LLENAR EN TODAS SUS PARTES LOS FORMATOS, PUES ALGUNOS INFORMES LOS TENDREMOS A LA MANO, PERO QUIZÁ OTROS NO. SE PLANEÓ PARA ESTOS CASOS, EL CONSIGNAR UN DATO ESTIMADO (SE ANOTA CON ASTERISCO) DEBIDO A QUE EN LA ACTUALIDAD HAY TÉCNICOS MUY CALIFICADOS EN CADA ESTADO QUE CONOCEN EN FORMA GENERAL SU ÁREA DE TRABAJO, POR TANTO LOS DATOS APROXIMADOS DE ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR, PRODUCCIÓN DE LOS POZOS, TIPO DE ROCA Y SU PROFUNDIDAD, ETC., PODRÁ FÁCILMENTE ESTIMARSE CON RELATIVA SEGURIDAD A RESERVA DE CALIFICARLOS POSTERIORMENTE QUITANDO ENTONCES EL ASTERISCO. EN ESTA FORMA SE PUEDE YA TRABAJAR CON LOS DATOS SEGUROS Y LOS ESTIMADOS, OBTIENIENDO LAS CIFRAS RESPECTIVAS.

DEBIDO A LOS ESPACIOS REDUCIDOS QUE CABEN EN LAS COMPUTADORAS HUBO NECESIDAD DE ELABORAR SIETE INSTRUC-

TIVOS PARA LA FORMULACION DE LAS HOJAS BNI-1 Y BNI-2 (BANCO NACIONAL DE INFORMACIÓN 1 Y 2) A FIN DE EVITAR CONFUSIONES Y AGILIZAR LAS ANOTACIONES DEBIENDO CONTINUAR LA SIGUIENTE SECUENCIA PARA SU MANEJO:

(AUDIOVISUAL ILUSTRATIVO A LO SIGUIENTE)

DEBIDO A LO ARIDO DEL TEMA Y A FIN DE AGILIZAR Y HACER MAS AMENA ESTA PARTE TAN DETALLADA DE LA PLATICA, EN ESTE AUDIOVISUAL SE DAN SOLAMENTE ALGUNOS EJEMPLOS PARA EL LLENADO DE FORMAS.

ES IMPORTANTE ASENTAR NUEVAMENTE QUE EL BANCO DE INFORMACIÓN, NO TIENE COMO FINALIDAD SOLAMENTE ARCHIVAR LA INFORMACIÓN, QUE EN UN MOMENTO DADO, SÓLO SIRVE PARA ENGROSAR Y TRASTORNAR MÁS LOS ARCHIVOS, LAS GAVETAS Y LOS ALMACENES EN LAS OFICINAS, ES NECESARIO OBTENER DE LAS COMPUTADORAS LA MAYOR UTILIDAD POSIBLE, PONIÉNDOLAS A TRABAJAR EN BENEFICIO DE LOS PROGRAMAS Y PLANES ACTUALES Y FUTUROS, SOLICITANDO LOS DATOS CON TODA LA GAMA DE ALTERNATIVAS POSIBLES QUE FACILITEN AL TÉCNICO RAZONAR Y MANEJAR LA INFORMACIÓN, ASÍ COMO DECIDIR LA FORMA MÁS ACERTADA DE PLANTEAR Y LLEVAR A CABO SUS PROYECTOS, LAS COMPUTADORAS FUERON FABRICADAS PARA AGILIZAR LOS TRABAJOS CON EL MÍNIMO DE ERRORES.

EN RESUMEN, LOS TÉCNICOS DEBERÁN SABER QUE VAN A PREGUNTAR A LA COMPUTADORA DE ACUERDO CON EL PROYECTO A REALIZAR.

SE HA MENCIONADO LA IMPORTANCIA Y UTILIDAD QUE TIENE EL QUE A LA MISMA COMPUTADORA PUEDA DIBUJAR POR SI SOLA LOS PLANOS A ESCALAS MÁS CONVENIENTES Y QUE AL MISMO TIEMPO PUEDA DETECTAR, (DE EXISTIR) ERRORES EN CUANTO A LA UBICACIÓN POR MEDIO DE COORDENADAS, PERMITIENDO DE ESTE MODO LA CORRECCIÓN DE LOS MISMOS.

CON LA PROGRAMACIÓN Y AVANCE LOGRADO ES POSIBLE EN LA ACTUALIDAD OBTENER EL DIBUJO DE LA REPÚBLICA MEXICANA, DE CUALQUIER ESTADO DEL PAIS, ASÍ COMO LA AMPLIFICACIÓN DE ALGUNA ZONA EN PARTICULAR PROPORCIONANDO LAS COORDENADAS REQUERIDAS, AL MISMO TIEMPO UBICA LOS APROVECHAMIENTOS QUE TENGA ALMACENADOS.

CABE RESALTAR COMO UN COMENTARIO MUY IMPORTANTE QUE LOS DATOS ACUMULADOS EN LA COMPUTADORA Y LOS RESULTADOS QUE NOS PROPORCIONE SERÁN EXCLUSIVAMENTE AQUELLOS CON LOS CUALES LA ALIMENTAMOS. ES DECIR "SI LOS DATOS INICIALES SON ERRONEOS" LOGICAMENTE NOS PRODUCIRÁ INFORMACIÓN ERRONEA DE AQUI QUE SE DEBERÁ TENER SUMO CUIDADO AL RECABAR Y ALIMENTAR CON LA INFORMACIÓN ADECUADA PARA LOGRAR UN ALTO INDICE DE CONFIABILIDAD EN EL BANCO DE INFORMACIÓN.

POR OTRO LADO CONVIENE RECORDAR LAS PALABRAS DE UN EXCELENTE GEOHIDRÓLOGO QUE EN RELACIÓN A LAS COMPUTADORAS EXPUSO: "LA COMPUTADORA POR GRANDE Y ELABORADA QUE SEA, NO ES MAS QUE UNA HERRAMIENTA UTIL QUE, ATENTA A LAS INSTRUCCIONES CONTENIDAS EN UN PROGRAMA QUE SE LE PROPORCIONE, PROCESA EFICAZMENTE LOS DATOS CON LOS QUE SE ALIMENTE, SIN QUE PUEDA DISCERNIR SI EL PROGRAMA Y LOS DATOS SON LOS ADECUADOS AL PROBLEMA QUE SE PRETENDE RESOLVER. DE AQUI QUE LA FACULTAD PENSANTE CONTINUA SIENDO PRIVATIVA DEL ESPECIALISTA, PERO TAMBIÉN DEBE PRETENDIA SER TAN AVISADO QUE NO NECESITE DATOS Y MEDIDAS, HIPÓTESIS, CALCULOS Y COMPROBACIONES PARA RESOLVER LOS PROBLEMAS.

LA EXPOSICIÓN ES MUY CLARA !NUNCA UNA MAQUINA SUBSTITUIRÁ AL TÉCNICO! SIEMPRE SERÁ NECESARIO LA INTERVENCIÓN DEL GEOHIDRÓLOGO PARA CADA ESTUDIO Ó DICTÁMEN EN LO PARTICULAR, LOS DATOS RECABADOS SERVIRÁN EN UNA GRAN MEDIDA COMO ORIENTACIÓN RÁPIDA Y AGILIZACIÓN EN LA TOMA DE DECISIONES PREVIO ANÁLISIS, ESTUDIOS APLICACIÓN DE CRITERIO Y EXPERIENCIA PARA LA SOLUCIÓN DE LOS PROBLEMAS.

UNA VEZ EXPUESTOS LOS PLANTEAMIENTOS EN CUANTO A LA UTILIDAD, METODOLOGÍA, INSTRUCTIVOS Y CATÁLOGOS DE CLAVES EN SU PARTE CORRESPONDIENTE A LA RECOPIACIÓN DE DATOS, QUE PERMITE TRABAJAR A LA COMPUTADORA, PASAMOS A LA OTRA FACETA DE TRABAJO.

EL BANCO DE INFORMACIÓN NO SOLAMENTE CONTEMPLA LA RECOPIACIÓN DE DATOS Y SU REPRODUCCIÓN EN LOS PLANOS DIBUJADOS POR LA COMPUTADORA, SINO QUE ADEMÁS PREVÉ LA ELABORACIÓN DE OTRO TIPO DE PLANOS ESTATALES Y DE LA REPÚBLICA QUE ORIENTA EN FORMA ACCESIBLE AUNQUE DESDE EL PUNTO DE VISTA MUY GENERAL SOBRE LA SITUACIÓN QUE GUARDA EL PAÍS EN ESTA MATERIA, PARA TAL FIN SE TRABAJA INTENSAMENTE EN LA FORMACIÓN DE PLANOS BAJO TRES ASPECTOS PRIMORDIALES:

- I.- PLANOS DE EXPLORACIÓN O GEOLOGÍA SUPERFICIAL.
- II.- PLANOS DE CUANTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE ACUÍFEROS.
- III.- PLANOS DE ZONA GEOHIDROLÓGICA CON DATOS FÁCILES DE INTERPRETAR EN ZONAS ESPECÍFICAS.

I - PLANOS DE EXPLORACION

ESTOS PLANOS LLAMADOS TAMBIÉN GEOLOGÍA SUPERFICIAL (FIG. 1) CONTEMPLA LA REPRESENTACIÓN DE LAS ROCAS ACUÍFERAS O ROCAS PERMEABLES SUSCEPTIBLES DE EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, HABIENDO SIDO CLASIFICADAS COMO:

- 1).- ACUÍFEROS EN RELLENOS.
- 2).- ACUÍFEROS REGIONALES TERCARIOS.
- 3).- ACUÍFEROS REGIONALES EN ROCAS CALIZAS.

Y PRESENTAN TAMBIÉN LAS PERFORACIONES DIRECTAS QUE CON FINES EXPLORATORIOS SE HAN REALIZADO A LA FECHA, ESTAS PERFORACIONES VAN DE LOS 50 A LOS 1,500 MTS. SE CUENTA CON LA INFORMACIÓN METRO A METRO EN LO QUE SE REFIERE A MUESTRAS Y CORTES LITOLÓGICOS, REGISTROS ELÉCTRICOS, CALIDADES DE AGUAS, GASTO, NIVEL ESTÁTICO Y DINÁMICO, ASÍ COMO CAUDAL ESPECÍFICO, AFOROS Y PRUEBAS DE BOMBEO CON LOS PARÁMETROS DE TRANSMISIBILIDAD Y EN OTROS MUCHOS CASOS TAMBIÉN ALMACENAJE. ESTE TIPO DE REPORTES SE ENCUENTRAN FORMANDO PARTE DEL BANCO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOHIDROLÓGICA Y DE ZONAS ÁRIDAS EN OFICINAS CENTRALES Y SUS RESIDENCIAS REGIONALES CON LA INFORMACIÓN DE MÁS DE 2,500 PERFORACIONES EXPLORATORIAS. ESTE TIPO DE INFORMACIÓN ORIENTA YA A LOS USUARIOS Y DEPENDENCIAS A PERFORAR O NO DETERMINADAS ZONAS DEL PAÍS, SABIENDO DE ANTEMANO LA PROFUNDIDAD Y DIÁMETROS ADECUADOS, LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS POR ATRAVESAR Y PROGRAMA TAMBIÉN EL COSTO APROXIMADO DE LA OBRA, ESTO EN LAS ZONAS ESTUDIADAS Y CONOCIDAS.

Fig. 1

II.- PLANOS DE CUANTIFICACIONES.

ESTOS PLANOS REPRESENTAN LOS RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS GEOHIDROLÓGICOS DE CUANTIFICACIÓN O EVALUACIÓN DE ACUÍFEROS (FIG. 11) REPORTANDO EN RESUMEN LA CANTIDAD DE AGUA EXTRAÍDA EN LA ZONA DE ESTUDIO, LA CANTIDAD RECARGADA EN LA MISMA, LA CALIDAD DE AGUA EN PARTES POR MILLÓN, ASÍ COMO LA CANTIDAD QUE CONTIENEN LOS ACUÍFEROS DEL LUGAR. ESTAS CIFRAS SE DAN EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES Y REPORTAN SI EL ÁREA ESTÁ SOBRE-EXPLOTADA EN EQUILIBRIO O SUB-EXPLOTADA. LA MAYORÍA DE LAS 124 ZONAS ESTUDIADAS SE CUENTA YA CON CIFRAS CONSOLIDADAS DE ESTE TIPO DE ESTUDIOS. AL OBSERVAR EN CONJUNTO

LAS ÁREAS EVALUADAS SE PROGRAMARÁN LAS PRIORIDADES NECESARIAS PARA LA CONTINUACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE ACUÍFEROS EN EL PAÍS, A TRAVÉS DE ESTUDIOS EN ÁREAS DEBIDAMENTE APROBADAS Y DE PREFERENCIA QUE SIGAN UNA CONTINUIDAD DENTRO DEL MARCO NACIONAL.

CON ESTOS PLANOS TAMBIÉN SE ORIENTA EN FORMA SEGURA Y DECIDIDA A USUARIOS E INSTITUCIONES A TRAVÉS DE ESTOS ESTUDIOS SOBRE LA CONVENIENCIA O NO DE EFECTUAR MÁS EXPLOTACIONES EN DETERMINADA ÁREA. EN ZONAS CON MAYOR CALIDAD DE ESTUDIOS SE PUEDE PROPORCIONAR EL NÚMERO, CANTIDAD Y DISTRIBUCIÓN DE POZOS A CONSTRUIR, ASÍ COMO LA CANTIDAD DE METROS CÚBICOS POR EXPLOTAR, HASTA EL MOMENTO SE HAN REGISTRADO LA FACTIBLE PERFORACIÓN DE 5.000 PERFORACIONES NUEVAS EN DIFERENTES ZONAS.

LA INTERRELACIÓN DE ESTOS PLANOS Y LOS PLANOS DIBUJADOS POR LA COMPUTADORA AL SER TRASLADADOS EN HOJAS TRANSPARENTES, PERMITIRÁ VER CON UNA MAYOR CLARIDAD LA SITUACIÓN GEOHIDROLÓGICA DEL PAÍS O DE REGIONES PARTICULARES, VISUALIZANDO DE ESTA FORMA LOS LUGARES FACTIBLES DE EXPLOTACIÓN PARA BENEFICIO DE MÉXICO QUE COMO FUENTE MUY IMPORTANTE PARA SU DESARROLLO ES OBTENER PRIMERO EL CONOCIMIENTO DEL POTENCIAL ACUÍFERO Y DESPUÉS EFECTUAR UN APROVECHAMIENTO RACIONAL PROGRAMADO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN TODO SU TERRITORIO. POR LAS CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS, OROGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DEL PAÍS, EN ALGUNAS ZONAS ES PROPIAMENTE UN RECURSO NO RENOVABLE Y EN OTRAS TIENE UN ALTO ÍNDICE DE RENOVACIÓN.

EL ESTUDIO DE ZONAS FACTIBLES PARA LA RECARGA DE ACUÍFEROS SERÁ OTRA FUNCIÓN IMPORTANTE DEL BANCO DE INFORMACIÓN, ASÍ COMO EL MANEJO COMBINADO DE AGUAS SUPERFICIALES CON LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.

III.- PLANOS DE ZONA GEOHIDROLÓGICA

AL PROYECTAR UN DESARROLLO DE CUALQUIER TIPO, UN ASPECTO PRIMORDIAL QUE DEBE CONSIDERARSE ES SU ABASTECIMIENTO PERMANENTE DE AGUA. SI LA PROBABLE FUENTE DE ABASTECIMIENTO ES EL SUBSUELO, LOS USUARIOS POTENCIALES DEL RECURSO HIDRÁULICO (DEPENDENCIAS OFICIALES, EMPRESAS DESCENTRALIZADAS, GRUPOS EJIDALES, PARTICULARES, ETC) SE ENCUENTRAN COMO LO HEMOS EXPRESADO, CASI SIEMPRE CON UNA SERIA DIFICULTAD: DESCONOCEN CUÁLES SON LAS FUENTES DE INFORMACIÓN QUE PUEDEN CONSULTAR PARA SABER EN QUÉ ZONAS EXISTE AGUA EN CANTIDAD SUFICIENTE Y DE CALIDAD ADECUADA PARA SUS FINES, O BIEN SI EN UNA ÁREA ESPECÍFICA EXISTEN CONDICIONES FAVORABLES PARA EXTRAER ECONÓMICAMENTE DETERMINADAS CANTIDADES DE AGUA SUBTERRÁNEA.

ANTE LA APARENTE FALTA DE INFORMACIÓN EL USUARIO SELECCIONA SIN BASES TÉCNICAS EL EMPLAZAMIENTO DE SU DESARROLLO Y DE SUS CAPTACIONES. EL RESULTADO SUELE SER DESFAVORABLE, ACARRIÁNDOLE A MENUDO PROBLEMAS Y PERJUICIOS ECONÓMICOS: LAS CAPTACIONES RESULTAN MUY COSTOSAS O DE BAJO RENDIMIENTO, LA CALIDAD DEL AGUA NO ES SATISFACTORIA, LOS ACUÍFEROS NO TIENEN POTENCIALIDAD SUFICIENTE PARA PROPORCIONAR EN FORMA PERMANENTE EL CAUDAL REQUERIDO, ETC. PARADÓJICAMENTE, CUANDO SE TRATA DE DESARROLLOS IMPORTANTES, ES COMÚN QUE EL ASPECTO ABASTECIMIENTO DE AGUA SE ESTUDIE DESPUÉS DE QUE SE HAN INICIADO LAS OBRAS O INSTALACIONES, DE MANERA QUE SI NO ES FACTIBLE DISPONER LOCALMENTE DEL AGUA REQUERIDA, EL USUARIO NO TIENE MÁS QUE OPTAR POR UNA DE DOS ALTERNATIVAS: SUMINISTRAR EL AGUA DESDE DONDE SEA Y AL COSTO QUE SEA O PERDER LA INVERSIÓN YA REALIZADA.

EXISTE ADEMÁS UN DESCONOCIMIENTO GENERAL DE CUALES SON LOS TRÁMITES LEGALES O ADMINISTRATIVOS QUE DEBEN EFECTUARSE PARA OBTENER LA CONCESIÓN CORRESPONDIENTE, E INCLUSO MUCHAS VECES SE IGNORA QUE DEBEN EFECTUARSE CIERTOS TRÁMITES. COMO CONSECUENCIA DE ELLO UN GRAN NÚMERO DE CAPTACIONES SE CONSTRUYEN SIN HABER SIDO AUTORIZADAS NI REGISTRADAS, LO QUE IMPIDE TENER UN CONOCIMIENTO MÁS O MENOS REAL Y ACTUALIZADO DEL RÉGIMEN DE EXPLOTACIÓN DE LOS ACUÍFEROS.

EN REALIDAD HEMOS COMENTADO QUE LA ESCASEZ DE INFORMACIÓN NO ES TAN CRÍTICA. EN EFECTO, SE HAN DADO A CONOCER LOS ESTUDIOS GEOHIDROLÓGICOS A DIFERENTES NIVELES DE DETALLE REALIZADOS A LA FECHA, MEDIANTE LOS CUALES SE TIENE CONOCIMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS Y POTENCIALIDAD DE LOS ACUÍFEROS DE UN GRAN NÚMERO DE ZONAS DISTRIBUIDAS EN EL PAÍS. LOS RESULTADOS DERIVADOS DE LOS ESTUDIOS SE HAN DADO A CONOCER, PROPORCIONANDO EJEMPLARES DE LOS INFORMES RESPECTIVOS A LAS PRINCIPALES DEPENDENCIAS INVOLUCRADAS EN EL ESTUDIO, EXPLOTACIÓN Y MANEJO DE LOS RECURSOS HIDRÁULICOS SUBTERRÁNEOS. SIN EMBARGO, PUESTO QUE EN LA MAYORÍA DE LOS CASOS DICHS INFORMES SON MUY VOLUMINOSOS Y, POR LO MISMO, SU EDICIÓN IMPLICA UN ALTO COSTO, GENERALMENTE SÓLO SE PRODUCE UN NÚMERO LIMITADO DE ELLOS; SU DIFUSIÓN, POR CONSIGUIENTE, NO ES BASTANTE AMPLIA Y, ES COMUN QUE ESTE CONSTREÑIDA AL SECTOR OFICIAL O, AÚN MÁS A LAS DEPENDENCIAS DE ESTA SECRETARÍA.

POR OTRA PARTE, EL PROBLEMA NO SE RESUELVE DANDO MAYOR DIFUSIÓN A LOS ESTUDIOS REALIZADOS, PUES SU CONTENIDO ESTÁ EXPRESADO EN UN LENGUAJE TÉCNICO, DIFÍCILMENTE COMPENSIBLE PARA EL SUSUARIO COMÚN Y CORRIENTE.

DE TODO LO ANTERIOR SE INFIERE LA GRAN UTILIDAD QUE TENDRÍA EL DAR A CONOCER LA INFORMACIÓN RELATIVA AL RECURSO HIDRÁULICO SUBTERRÁNEO, EN UNA FORMA TAL QUE FUERA ACCESIBLE A LOS CIUDADANOS POTENCIALES DE TODO NIVEL. PARA EL EFECTO, SE INICIO LA ELABORACIÓN DE CARTAS QUE CONTENGAN LOS DATOS ESENCIALES PARA PROPORCIONAR UNA IDEA APROXIMADA DE LAS CONDICIONES GEOHIDROLÓGICAS QUE PREVALECE EN EL SUBSUELO DE NUESTRO TERRITORIO.

ESTAS CARTAS REPRESENTAN ZONAS GEOHIDROLÓGICAS EN PARTICULAR, MOSTRANDO AQUELLOS DATOS QUE DEN RESPUESTA EN UNA FORMA PRÁCTICA, CLARA Y SENCILLA A LAS PREGUNTAS GENERALES QUE SE HACE EL CIUDADANO, PUDIENDO SER ENUMERADOS COMO SIGUE: LOCALIZACIÓN DE SITIOS FACTIBLES DE PERFORACIÓN, PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTÁTICO, CALIDAD DE AGUA Y PERMEABILIDAD DEL ACUÍFERO.

EN EL REVERSO DEL PLANO SE CONSIGNA UNA INFORMACIÓN TEXTUAL DE CARÁCTER GENERAL CON LAS NOTAS ACLARATORIAS AL PLANO, ASÍ COMO BREVES ANOTACIONES RELATIVAS A LOS ASPECTOS LEGALES Y ADMINISTRATIVOS, REQUERIDOS PARA OBTENER EL PERMISO DE PERFORACIÓN.

SE DESCRIBE EN FORMA GENERAL EL ÁREA CUBIERTA CON LA CARTA Y LA UNIDAD GEOHIDROLÓGICA, ASÍ COMO LAS CONDICIONES DEL ACUÍFERO EN CUANTO A ESPESOR, MATERIALES QUE LO CONSTITUYEN, LAS FRONTERAS LATERALES Y VERTICALES, ETC.

CON ESTAS GUÍAS SERÁ FACTIBLE EN LA MAYORÍA DE LOS CASOS, QUE EL USUARIO programe la profundidad del pozo y el GASTO DE ENERGÍA.

ESTA FACETA SE ESTA INICIANDO Y SE ESPERA -
QUE EN BREVE TIEMPO Y DE ACUERDO CON LOS PRESUPUESTOS OTORGADOS PUE-
DAN PUBLICARSE EL MAYOR NÚMERO DE ESTAS CARTAS GEOHIDROLÓGICAS, DEBI-
DO A QUE EL FACTOR PRINCIPAL QUE SON LOS DATOS, YA SE CUENTA CON --
ELLOS.

DICTAMENES GEOHIDROLOGICOS

FRECUENTEMENTE LOS CAMPESINOS SEAN EJIDATA-
RIOS, COMUNEROS O PARTICULARES, ASÍ COMO INDUSTRIALES O DEPENDENCIAS
FEDERALES, SOLICITAN A TRAVÉS DE ESCRITOS O VERBALMENTE LES SEA INDI-
CADO, SI EN UN LUGAR O SITIO EN PARTICULAR, ES FACTIBLE REALIZAR UNA -
PERFORACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA, EXPONIENTE SUS NE-
CESIDADES.

EL PROCEDIMIENTO PARA CONTESTAR ESTA PREGUN-
TA, CONSISTE EN LA VISITA DE UN GEÓLOGO EXPERIMENTADO, QUE HABIENDO -
REUNIDO PREVIAMENTE LA INFORMACIÓN DEL LUGAR EN CUESTIÓN, LO ANÁLIZA
Y SE TRANSLADA FÍSICAMENTE. EN EL SITIO ESTUDIADO EMITE UN DICTÁMEN
ACERCA DE LAS CONDICIONES GEOHIDROLÓGICAS LOCALES, CONCLUYENDO EN LA
POSIBILIDAD O NO, DE SER POSIBLE (CON INFORMACIÓN ADICIONAL) EL RANGO --
APROXIMADO DE EXTRACCIÓN Y PROFUNDIDAD REQUERIDA, EN CASO DE LLEVARSE
A CABO UNA PERFORACIÓN; SEAN BUENAS, REGULARES, POBRES Ó NULAS SEGÚN
LOS REQUERIMIENTOS.

A ESTA ACCIÓN SE LES HA DENOMINADO "DICTA--
MEN GEOHIDROLOGICO", CUYOS DATOS SE ENCUENTRAN EN PROCESO DE COMPU--
TARSE DEBIDO A QUE GUMAN YA MAS DE 3 000 DE ELLOS. ESTE TRABAJO TIE


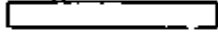


DE POR OBJETO EL EVITAR DUPLICAR LAS VISITAS AL CAMPO POR DIFERENTES TÉCNICOS DE DIVERSAS OFICINAS QUE NO TIENEN COMUNICACIÓN DIRECTA ENTRE SI, SIRVIENDO ADEMÁS COMO UNA GUÍA Y ARCHIVO DE ESTOS DICTÁMENES TAN VALIOSOS POR EL TIEMPO Y GASTO DEDICADO A CADA UNO DE ELLOS.

CON LA DESCRIPCIÓN DE LAS CARTAS Y DICTÁMENES GEOHIDROLÓGICOS, DAMOS POR TERMINADA ESTA PLÁTICA, ESPERANDO HAYA SIDO DE UTILIDAD EL CONOCER LOS OBJETIVOS DEL BANCO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOHIDROLÓGICA PARA QUE UNA VEZ TERMINADO PUEDAN SOLICITAR LOS DATOS REQUERIDOS. NO DUDANDO LES FACILITARÁ Y ORIENTARÁ -- GRANDEMENTE EN SUS TRABAJOS.

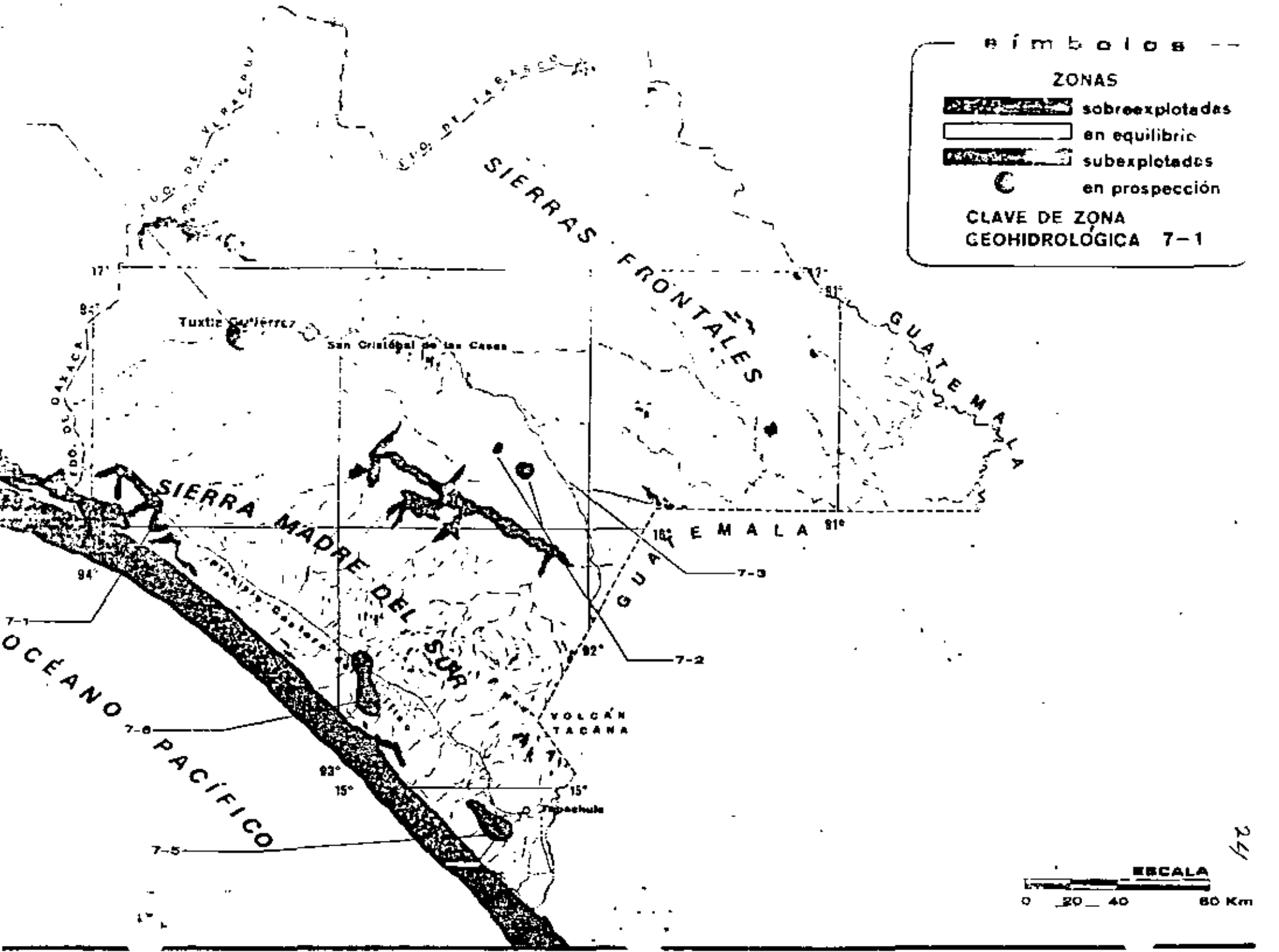
MUCHAS GRACIAS

simbolos --

ZONAS

-  sobreexplotadas
-  en equilibrio
-  subexplotadas
-  en prospección

CLAVE DE ZONA
GEOHIDROLÓGICA 7-1



Exploración

GEOLOGÍA.—Fisiográficamente el Estado está constituido al oeste por la Sierra Madre Occidental, integrada por cordilleras de rocas volcánicas de tipo riolítico y basáltico, intercaladas con sedimentos terciarios conglomeráticos y arenosos.

Hacia el este, la Sierra va perdiendo altura y se forman grandes valles y cuencas alargadas de dirección preferente noroeste-sureste rellenos por piroclásticos, sedimentos terciarios y aluviones recientes. Algunos de estos valles son cerrados, lo que origina que los escurrimientos de los ríos y arroyos que en ellos desembocan, formen lagunas perennes o temporales, como la de Los Mexicanos al sur de Cuauhtémoc y la de La Ascensión, junto al poblado del mismo nombre.

La parte media del Estado, en una ancha franja que va desde Ciudad Juárez en el extremo norte, hasta Jiménez en el sur, está fisiográficamente formada por estructuras de las Sierras Madre Occidental y Oriental, pues las constituyen cordilleras alargadas que guardan un alineamiento noroeste-sureste formadas tanto por rocas volcánicas de tipo riolítico como por rocas meta-

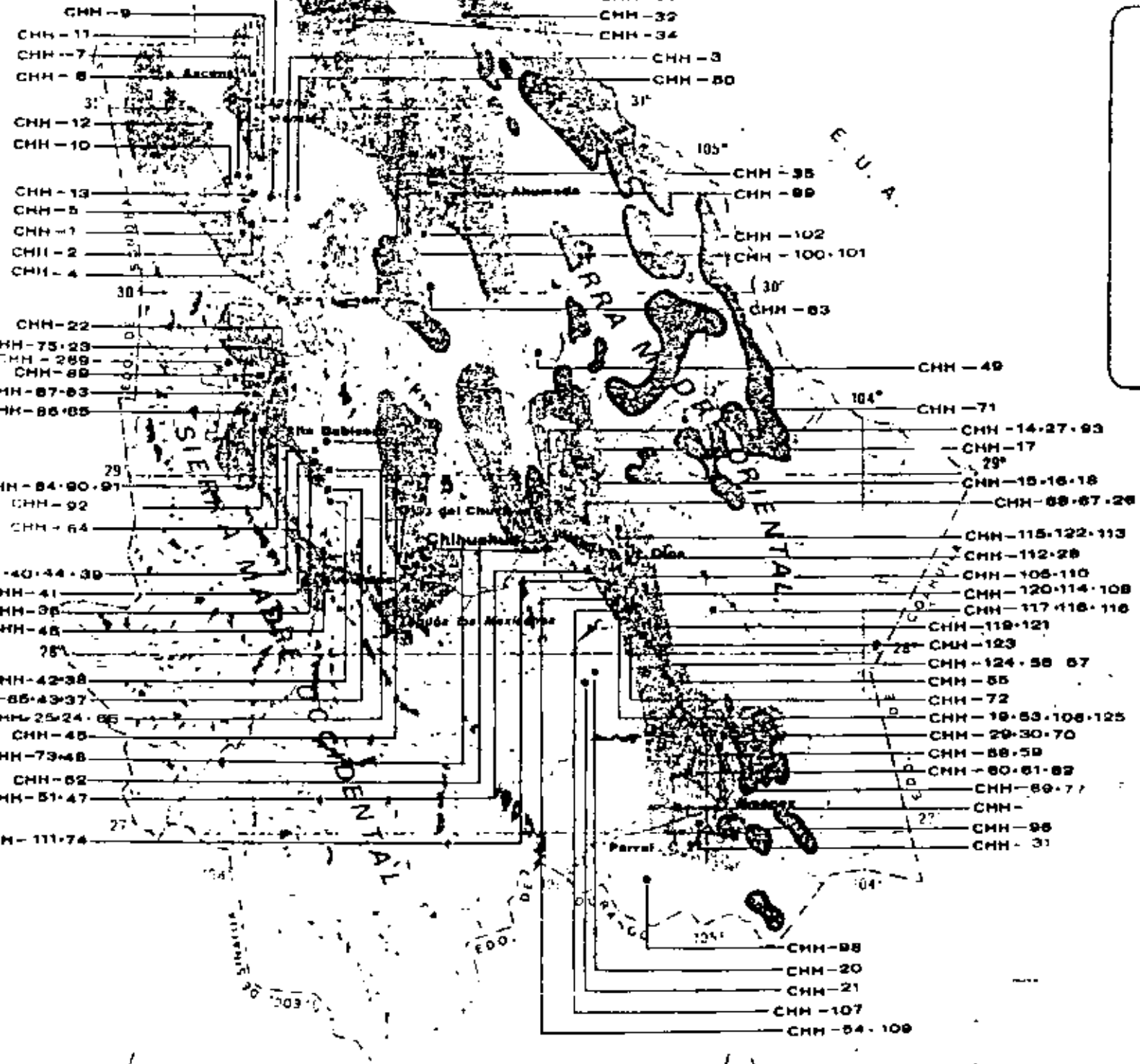
mórficas antiguas y formaciones calcáreas jurásicas y cretácicas.

En la porción este, en los límites con Coahuila, la presencia cada vez más frecuente de pliegues alargados de rocas calizas revelan condiciones geológicas características de la Sierra Madre Oriental.

GEOHIDROLOGÍA.—Las posibilidades geohidrológicas en los grandes valles son importantes, pues se encuentran rellenos por grandes espesores de piroclásticos y sedimentos conglomeráticos y arenosos terciarios y recientes.

En la Babicora, una región recientemente explotada se están obteniendo de pozos, caudales superiores a 120 litros por segundo en acuíferos constituidos por intercalaciones de gravas, arenas, basaltos fracturados y totales riolíticos.

En Nombre de Dios y Ojos del Chuvísar, cerca de la Ciudad de Chihuahua se ha perforado sobre calizas con buenos resultados y se considera que muchas de las estructuras calcáreas de la porción este y noreste podrían tener condiciones geohidrológicas favorables.



ÁREAS

- aluviones
- terciarios
- calizas

POZOS (1971 - 1977)

- explotación
- exploración
- sondeos

CLAVE NACIONAL DE POZOS CHH-1



ESTADO DE CHIHUAHUA

AGRICULTURA

Chihuahua ocupa un lugar preponderante en el país por sus abundantes recursos naturales ya que es uno de los principales por lo que corresponde a la minería y a su productividad agrícola. Sin embargo, esta riqueza es aprovechada sólo en parte, debido principalmente a la escasez de agua. Factor importante para el desarrollo del Estado es su recurso hidráulico subterráneo ya que el superficial es sumamente escaso. La potencialidad de las fuentes subterráneas es limitada, porque su renovación es lenta a causa del clima semi-desértico imperante; no obstante, en el subsuelo de extensos valles y bolsones existen reservas acuíferas almacenadas, parte de las cuales pueden aprovecharse si se les explota en forma racional.

La zona agrícola más importante es el Distrito de riego de Delicias, enclavado en la Cuenca del Río Conchos, en el cual se utilizan aguas superficiales y subterráneas en forma combinada. Estudios realizados han demostrado la posibilidad de extraer del subsuelo cantidades de agua superiores a las explotadas actualmente.

También es de gran importancia el distrito de riego del Valle de Juárez,

en el que se utilizan combinadamente, el agua del subsuelo, corrimientos del Río Bravo y aguas negras de Ciudad Juárez. La presencia de agua salada contenida en formaciones adyacentes a los acuíferos y la intercomunicación hidrogeológica de este valle con el Bolsón del Hueco, constituyen factores limitantes de la explotación del agua subterránea.

Otras zonas agrícolas de menor importancia son las de Papigochic, San del Carmen, Cuahilito, San Buenaventura, Somalayuca y Janos, en las cuales los volúmenes extraídos del subsuelo no exceden al volumen renovable de sus acuíferos; y las de Villa Ahumada, Casas Grandes y Jiménez Camargo, afectadas ya por sobreexplotación, pero todavía aprovechables por mucho tiempo si se frena el abatimiento de los niveles. Dispersas en el Estado se encuentran extensas zonas prácticamente vírgenes o con desarrollos incipientes, en muchas de las cuales el aprovechamiento del agua subterránea permitiría desarrollar la agricultura en mayor escala. Por supuesto, otros tipos de desarrollo también son viables, ya que en general, demandan menores cantidades de agua que la agricultura. De importancia, en estos casos es el conocimiento previo, aunque sea aproximado, de las características y potencialidad de las fuentes subterráneas.

CALLE	LOCALIDAD	NOMBRE	PROFUNDIDAD EN METROS	NIVELES EN METROS		CAUDAL L.P.S.	SITUACION			GEOGRAFIA LONGITUD OESTE
				ESTÁTICO	DINÁMICO		ELEVACION m. s. n. m.	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE	
4-1	PCGO-1	COLONIA MADERO	389	1.0*	15.1	71.5	1489	30 18 25	107 56 1	
4-2	PCGO-2	BUENA FE	431	19.9	75.0	40.0	1474	30 21 55	107 55 1	
4-3	PCGO-3	LAGUNA DE FIERRO	389	12.3	26.9	77.0	1454	30 25 41	107 50 1	
4-4	PCGO-4	EJIDO MADERO	400	64.5			1537	30 17 15	107 50 2	
4-5	PCGO-5	SECCION ENRIQUEZ	401	44.5	60.0	82.0	1429*	30 29 18	107 58 3	
4-6	PCGO-6	SECCION HIDALGO	195	63.2	27.0	17.0	1469*	30 31 19	107 49 4	
4-7	PCGB-7	EJIDO HIDALGO	220	17.8	40.8	30.0	1415	30 35 39	107 54 5	
4-8	PCGO-8	GUADALUPE VICTORIA	451	9.4	52.2	63.0	1417	30 34 25	105 1 1	
4-9	PCGO-9	SAN PEDRO CERRALITOS	275	37.7	49.0	18.0	1411	30 41 0	107 52 2	
4-10	PCGO-10	N.C.P. GRACIANO SANCHEZ	400	15.6	50.7	75.5	1416*	30 31 30	105 2 3	
4-11	PCGO-11	EL CAPULIN "CAMPO MENONITA	302	22.2	53.0	70.5	1442	30 51 5	107 54 4	
4-12	PCGO-12	JANOS	342	11.2	39.3	76.5	1365*	30 52 52	107 19 5	
4-13	PCGO-13	COLONIA DUBLAN	401	15.1	34.2	77.0	1447	30 26 29	107 54 6	
4-14	PVALO-1	LA MESA	400	17.6	33.1	95.0	1327	28 46 7	105 55 7	
4-15	PVALO-2	EJIDO GUADALUPE	400	39.5	72.7	6.6	1245	28 49 53	105 57 8	
4-16	PVALO-3	EL BOSQUE	321	1.7	39.6	127.0	1295	28 48 36	105 55 9	
4-17	PVALO-4	LA ESPERANZA	400	17.4	27.6	75.0	1205	28 59 11	105 56 10	
4-18	PVALO-5	EL JEROMIN	331	66.8	83.0	0.9	1223	28 53 0	105 45 11	
4-19	PDO-20	CIUDAD MILITAR	151	46.1	59.9	76.0	1207	28 8 0	105 30 12	
4-20	PDO-21	CHANCAPLIA	338	23.9	90.2	0.5	1400	27 50 15	105 34 13	
4-21	PDO-22	LOS DEPOSITOS	100	SECO			1522	27 50 0	105 35 14	
4-22	PCHIZA-1	TRES CASTILLOS	150	12.4	61.1	1.0	2126*	29 32 5	107 43 15	
4-23	PCHIZA-2	COLONIA ALDAMA	150	63.2	71.5	2.5	2224*	29 30 46	107 47 16	
4-24	PCHNA-1	ESC. TEC. AGROPECUARIA 14	62	11.6	44.3	23.3	1876	29 1 7	107 27 17	
4-25	PCHNA-2	COL. OSCAR SOTO MAYNEZ	62	8.8	51.2	16.5	1869	29 0 54	107 27 18	
4-26	PCHCH-1	EJIDO LA CONCORDIA 1	153	50.0	52.0	51.0	1382*	28 41 34	105 57 19	
4-27	PCHCH-2	EJIDO LA CONCORDIA 2	150	58.0	77.9	23.0	1392	28 39 8	106 1 20	
4-28	PCHJU-1	NUEVO JULIMES	150	16.2	50.0	50.0	1350*	29 32 30	105 40 21	
4-29	PCHCA-1	LA ENRAMADA 1	151	9.0	75.2	29.0	1287*	27 29 46	106 56 22	
4-30	PCHCA-2	EL MOLINO	151	31.4	60.4	40.0	1302*	27 30 32	104 56 23	
4-31	PCHVI-1	ESC. TEC. AGROP. 168	152	15.4	28.5	101.0	1512*	27 2 20	105 11 24	
4-32	PCHJ-30	NVD. CUAUHEMOC 1	200	30.2			1243*	31 37 18	106 43 25	
4-33	PCHAS-1	TRES PAPALOTES	158	23.1	55.6	77.1	1234*	31 29 21	107 44 26	
4-34	PCHAS-2	NVD. CUAUHEMOC 2	200	13.2	89.2	10.0	1234*	31 33 29	107 15 27	
4-35	PCHBU-1	FLORES MAGON	243	17.4	64.3	62.0	1519*	29 56 23	106 59 28	
4-36	PCHNA-3	LAGUNA PRIETA	171	27.0	46.2	47.5	1893	28 58 5	107 31 29	
4-37	PCHNA-4	COL. SALVADOR GOMEZ 1	150	44.2	72.4	54.0	1911	28 56 36	107 34 30	
4-38	PCHNA-5	COL. ADOLFO R. CORTINES 1	152	52.6	85.7	14.7	1907	28 54 42	107 30 31	
4-39	PCHNA-6	COLONIA INDEPENDENCIA 1	150	10.6	39.9	17.4	1973	29 6 45	107 32 32	
4-40	PCHNA-7	COLONIA INDEPENDENCIA 2	151	43.4	57.0	63.0	1939	29 4 51	107 30 33	
4-41	PCHNA-8	COL. INDEPENDENCIA 3	74	53.5		0.0	1936	29 2 15	107 31 34	
4-42	PCHNA-9	COL. SALVADOR GOMEZ 2	150	56.5	75.5	21.4	1924	28 54 49	107 34 35	

31059M59S
 31G17M08S
 30G41M25S
 30G05M42S
 29G29M59S
 28G54M17S
 28G18M34S
 27G42M51S
 27G07M08S
 26G31M25S
 25G55M42S

Nueva Casas Grandes 0

Cd. Juárez

o Villa Ahumada

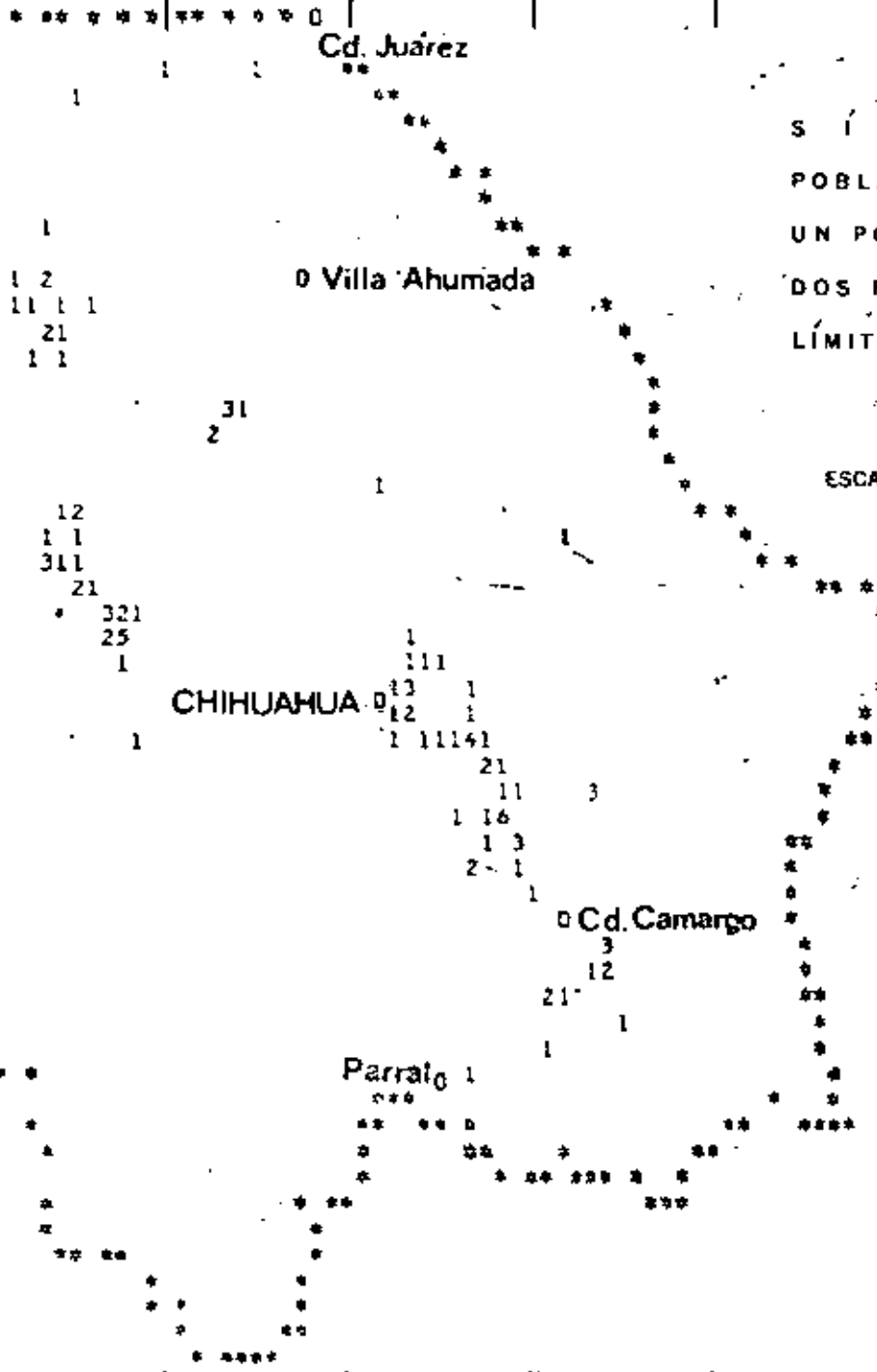
CHIHUAHUA

o Cd. Camargo

Parral 1

S Í M B O L O S
 POBLACIÓN 0
 UN POZO 1
 DOS POZOS 2
 LÍMITE DE ESTADO *

ESCALA 1:3'817,123



1 2
 11 1 1
 21
 1 1

31
 2

12
 1 1
 311
 21

321
 25
 1

1
 111
 13 1
 12 1
 1 11141

21
 11 3
 1 16
 1 3
 2 1

3
 12
 21
 1

1

**

* * * * *

CLAVE D	PUNTO LOCAL	NOMBRE LOCAL	PROFUNDIDAD EN METROS	NIVELES METROS		CAUDAL l.p.s	SITUACION		GRAFIA
				ESTÁTICO	DINÁMICO		ELEVACION m. s. n. m.	LATITUD LONGITUD	
H-43	PCHNA-10	COL. ADOLFO R. CORTINES 7	200	24.7	47.7	77.0	1882	28 58 19	107 25
H-44	PCHNA-11	COL. DIVISION DEL NORTE 1	220	34.0	74.8	7.0	1858	29 4 18	107 25 2
H-45	PCHNA-12	COL. DIVISION DEL NORTE 2	223	21.0	79.7	22.0	1878	29 6 44	107 26 7
H-46	PCHGUE-1	CONAFRUT	150	65.4	76.5	52.0	2150	28 31 36	107 26 1
H-47	PCHCH-3	EJIDO TOMAS GARCIA	150	SECC.			1600	28 28 33	105 50 5
H-48	PCHCH-4	EJIDO AVALOS	150	32.0	87.5	34.0	1350*	28 30 40	105 58 9
H-49	PCHCH-5	LA ESPERANZA	152	34.0	74.5	2.0	1322	29 40 0	106 6 0
H-50	PCHCG-14	ESC. TEC. AEROPUEQUARIA 4-6	154	17.7	28.8	55.0	1442*	30 29 30	107 58 2
H-51	PCHCH-6	EJIDO TOMAS GARCIA	74	64.0			1470*	28 26 44	105 45 1
H-52	PCHCH-7	RANCHERIA JUAREZ	156	93.5	107.1	2.0	1498*	28 32 16	106 1 9
H-53	PCHD-23	ESC. DE AGRONOMIA	151	4.0	27.9	73.0	1162	28 10 20	105 28 4
H-54	PCHD-24	COL. CARMEN SERDAN	153	25.2	44.7	73.0	1190*	28 11 21	105 40 3
H-55	PCHSA-1	EL URRUTENO	153	40.4	100.0	0.5	1368	27 43 21	105 17
H-56	PCHSA-2	ESTACION CONCHOS	152	50.2	70.9	25.0	1231*	27 57 20	105 23 5
H-57	PCHSA-2	CUL. PUJIZ COATEMEL	151	10.2	72.8	0.0	1270*	27 56 34	105 20 5
H-58	PCHCA-3	SAN LEONARDO 1	150	17.9	81.0	14.0	1302*	27 25 53	104 54 0
H-59	PCHCA-4	SAN LEONARDO 2	70	21.6	40.4	12.0	1307	27 26 55	104 57 7
H-60	PCHVA-1	COL. BUFALO	150	62.1	93.9	19.2	1373*	27 17 6	105 10 5
H-61	PCHVA-2	PLAN DE AYALA	152	59.5	90.1	17.0	1385*	27 20 7	105 11 5
H-62	PCHVA-3	FELIFE ANGELES	200	10.6	83.6	2.0	1373*	27 15 55	105 12 4
H-63	PCHBU-2	SAN ISIDRO	200	44.7	108.6	33.0	1380*	30 2 24	106 40 3
H-64	PCHGOG-1	GOMEZ FARIAS	150	2.7	25.1	104.0	2170	29 20 21	107 46 2
H-65	PCHNA-13	COL. ADOLFO R. CORTINES	202	29.7	57.5	64.0	1893	28 52 52	107 29 2
H-66	PCHNA-14	LA TRASQUILA	152	72.0	84.0	0.5	1385	29 1 36	107 33 20
H-67	PCHVAL-6	SECC. EJIDO LOS LEONES	150	62.0	76.4	0.5	1330	28 43 47	105 55 3
H-68	PCHD-25	DELICIAS	265	21.7	41.6	121.0	1205*	28 11 6	105 28 38
H-69	PCHCH-5	ESTACION DIAZ	61	12.4	14.6	5.0	1297*	27 27 11	104 56 13
H-70	PCHCA-6	LA ENRAMADA 2	153	13.4	20.2	59.0	1287	27 30 15	104 56 24
H-71	PCHCOY-1	RODRIGENO	150	25.1	90.0	1.5	1200*	29 26 24	105 8 2
H-72	PCHSA-4	CAMPO MILITAR	300	100.0	119.0	70.0	1277	28 3 35	105 24 37
H-73	PCHCH-8	EJIDO ROBINSON	201	105.7	112.1	27.0	1430*	28 36 25	105 58 27
H-74	PCHROSA-1	BARRANCO LLANCO	400	60.9	73.5	70.4	1300*	28 27 44	105 36 31
H-75	PCHIZA-3	TRES CASTILLOS	251	53.0			2114*	29 32 40	107 43 45
H-77	PCHJZ-1	CIEN	200	45.7	51.3	47.0	1363*	27 12 21	104 51 0
H-83	PCHMA-1	COLONIA NICOLAS BRAVO 1	180	3.2	17.0	96.0	2150	29 21 10	107 55 3
H-84	PCHMA-2	COLONIA NICOLAS BRAVO 2	110	3.2	22.7	75.0	2150	29 16 32	107 54 7
H-85	PCHMA-3	COL. ALAMBILLO	125	4.7	9.8	88.0	2152	29 24 14	107 53 30
H-86	PCHGOF-2	PENA BLANCA	200	18.8	67.4	30.0	2166	29 17 24	107 43 17
H-87	PCHMA-5	EJIDO LA MARTHA	150	2.7	4.1	107.0	2144	29 21 10	107 55 2
H-89	PCHMA-6	EL FORVERIR DEL CAMPESIN	200	10.3	17.7	61.0	1715	29 25 3	107 45 45
H-90	PCHMA-7	SAN JOSE DE BABICORA	173	19.1	23.7	91.0	2166*	29 15 39	107 43 13
H-91	PCHMA-8	COLONIA LIBERTAD	200	5.7	24.2	103.0	2152	29 15 40	107 44 50
H-92	PCHMA-9	LA PINTA	254	41.8	42.7	72.6	2177	29 14 3	107 40 49
H-93	PCHCH-9	TABALAOPA	300	41.7	50.7	72.6	1353*	28 42 5	106 0 3

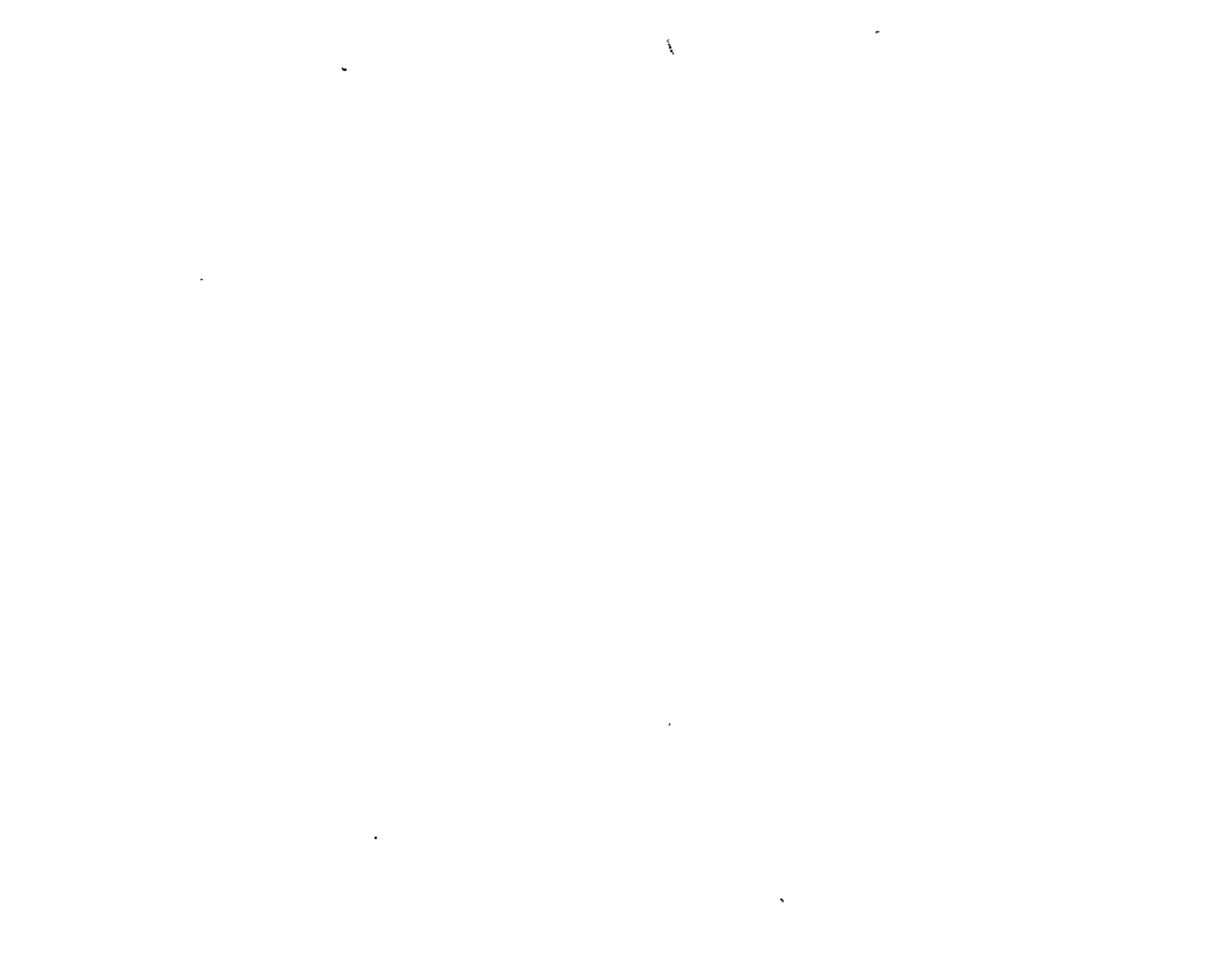
NOMBRE DE POZOS		NOMBRE	PROFUNDIDAD EN METROS	NIVELES EN METROS		CAUDAL l. p. s.	SITUACIÓN GEOGRÁFICA		
CODIGO	LOCALIDAD			ESTÁTICO	DINÁMICO		ELEVACIÓN m. s. n. m.	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE
98	PCHPA-2	TECNOLOGICO DE PARRAL	250	71.5	113.4		26 55 35	105 34 11	
99	PCHBU-3	PICARDO FLORES MAGON	251	23.1			26 57 7	106 58 59	
100	PCHBU-4	SAN ISIDRO 1	135	15.0	39.5	67.0	26 57 20	106 57 12	
101	PCHBU-5	SAN ISIDRO 2	262	14.3			26 57 12	106 55 5	
102	PCHBU-6	SAN ISIDRO 3	261	14.3			26 57 6	106 52 58	
105	PBBU-1	BARRANCO BLANCO	400	15.0*			28 26 15	105 35 20	
106	PDB-2	LA GARITA	410	12.1	39.1	105.0	28 8 18	105 34 17	
107	PDO-3	KILOMETRO 3	407	3.0			28 10 0	105 29 20	
108	PDB-4	NEOQUI	331	-1.0		55.0	28 16 42	105 28 40	
109	PBBU-5	BARRANCO BLANCO	425	43.2	43.2	75.3	28 26 50	105 30 20	
110	PDO-6	LA ESCUADRA	400	4.1			28 22 50	105 23 10	
111	PDO-7	NUOVO SAN LUCAS	400	3.1	7.8	12.4	28 21 25	105 34 20	
112	PDO-8	LAS PALMAS	282	19.6	42.9	30.6	28 30 29	105 35 20	
113	PDO-9	SAN DIEGO DE ALCALA	400	17.4	40.4	15.9	28 37 30	105 35 20	
114	PDO-10	COL. ABRAHAM GONZALEZ	400	20.6	39.8	4.8	28 13 14	105 22 24	
115	PDO-11	LA GALERA	400	13.0	15.0	10.0	28 42 16	105 35 20	
116	PDO-12	CONGREGACION ORTIZ 1	400	3.2	12.2	50.0	28 14 30	105 0 30	
117	PDB-12A	CONGREGACION ORTIZ 2	425	1.3	26.6	106.0	28 14 53	105 0 30	
118	PDB-12B	CONGREGACION ORTIZ 3	100	6.9	27.6	105.0	28 14 55	105 1 10	
119	PCB-13	COL. ORIBE DE ALBA 1	400	70.0*			28 5 27	105 27 10	
120	PDO-14	COL. GUADALUPE VICTORIA	400	6.7	23.2	23.3	28 19 20	105 2 10	
121	PDO-15	COL. ORIBE DE ALBA 2	400	109.3			28 4 27	105 21 20	
122	PDO-16	NCP. PEDRO CONTRERAS	400	13.7	21.8	10.0	28 32 20	105 21 20	
123	PDO-17	COL. ORIBE DE ALBA 3	409	112.3*			28 0 35	105 25 30	
124	PDO-18	LAGUNA SECA	400	72.9			27 48 30	105 42 10	
125	PDO-19	COL. DIVISION DEL NORTE	114	26.0	43.3	97.0	28 11 2	105 28 14	
269	PCHMA-10	PRESA DEL TORO	87	85.0			29 26 45	106 3 30	
		VALORES MINIMOS	61	-1.0	4.1	0.0	1139	26 55 35	104 51 0
		* * = PUZO TERFICO P. C. MEDIO	240	31.8	55.3	47.9	1501	28 55 5	106 26 42
		VALORES MAXIMOS	454	112.3	119.0	127.0	2224	31 33 20	108 10 51
		* * * T. O. T. A. L. * * * *	113	POZOS		4551.8 LPS	27095 METROS	PERFORADOS	

VALORES ESTIMADOS

* ON
NO.

ZONA	CONDICIÓN GEOLÓGICA	ÁREAS DE ESTUDIO	ZONA DE EXPLOTACIÓN	CANTIDAD DE POZOS	REPARACIÓN ANUAL (MILLONES DE M ³)	EXTRACCIÓN ANUAL (MILLONES DE M ³)	CONDICIÓN GEOMORFOLOGICA	POTENCIAL	AL EXPLORAR	
									CAUDAL MEDIO POR POZO (L.P.S.)	CAUDAL MEDIO POR POZO (L.P.S.)
8-1	Medio-Alturas	7000*	0	10*	-	10*	Subexplotada	155*	80*	
8-2	Cuenca del Río del Carmen (Villa Ahumada)	2200	0	10*	-	10*	En explotación	50*	60*	
8-3	Valle de Juárez	500*	200*	10*	-	10*	Subexplotada	-	-	
8-4	Villa Aldama	5062	3000*	576	45	54	En equilibrio	0	-	
8-5	Jiménez - Camargo	4000*	1800*	1990*	-	375*	Sobreexplotada	0	-	
8-6	Casas Grandes - Jans	5500	2349	681	140	150	Sobreexplotada	5	-	
8-7	Cuauhtémoc	7000	2300	1949	100	98	Subexplotada	45	10	
8-8	San Buenaventura	2432	865	127	43	32	Subexplotada	20	10	
8-9	Samalayuca	1128	1948	99	30	18	Subexplotada	30	25	
8-10	Palomas	1400*	900*	134*	-	33*	Subexplotada	20*	30*	
8-11	Resolución	800*	800*	236*	-	10*	Subexplotada	15*	20*	
8-12	Cuenca del Río del Carmen (Flores Magón)	5000*	3200*	218*	-	5*	Subexplotada	85*	30*	
8-13	Álta Babicora	5000*	1152*	75*	-	0*	Subexplotada	30	100*	
8-14	Baja Babicora	3500*	576*	216*	-	15*	Subexplotada	65*	30*	
8-15	Villa López	1000*	35*	280*	-	57*	Sobreexplotada	0	0	
8-16	Villa Coronado	400*	10*	10*	-	13*	En equilibrio	0	0	
8-17	Parral	500*	50*	10*	-	2*	En equilibrio	0	0	
8-18	Mesa Miñaca	166*	30*	30*	-	3*	Subexplotada	5*	50*	
8-19	El Sauz	3150*	2000*	480*	-	75*	Subexplotada	100*	60*	
TOTAL		50038	21126	7828	378	1848		651		
CONFIRMADO		23427	9013	3402	378	352		125		
ESTIMADO		26611*	12113*	4426*	-	1497*		526*		

- (1) La disponibilidad de aguas subterráneas se aprovechará con los pozos que se construyeron en el programa de rehabilitación del distrito de riego No. 7, Valle de Juárez.
- (2) Las condiciones geohidrológicas permiten recomendar la sobreexplotación del acuífero en este volumen.





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

PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

EQUIPOS DE BOMBEO

Ing Luis Matus Zaráte

Junio, 1981



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 hierro 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, excepto 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

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:

$$\frac{\text{rpm } 1}{\text{rpm } 2} = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\sqrt{C_1}}{\sqrt{C_2}} = \frac{\sqrt[5]{HP_1}}{\sqrt[5]{HP_2}}$$

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 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.

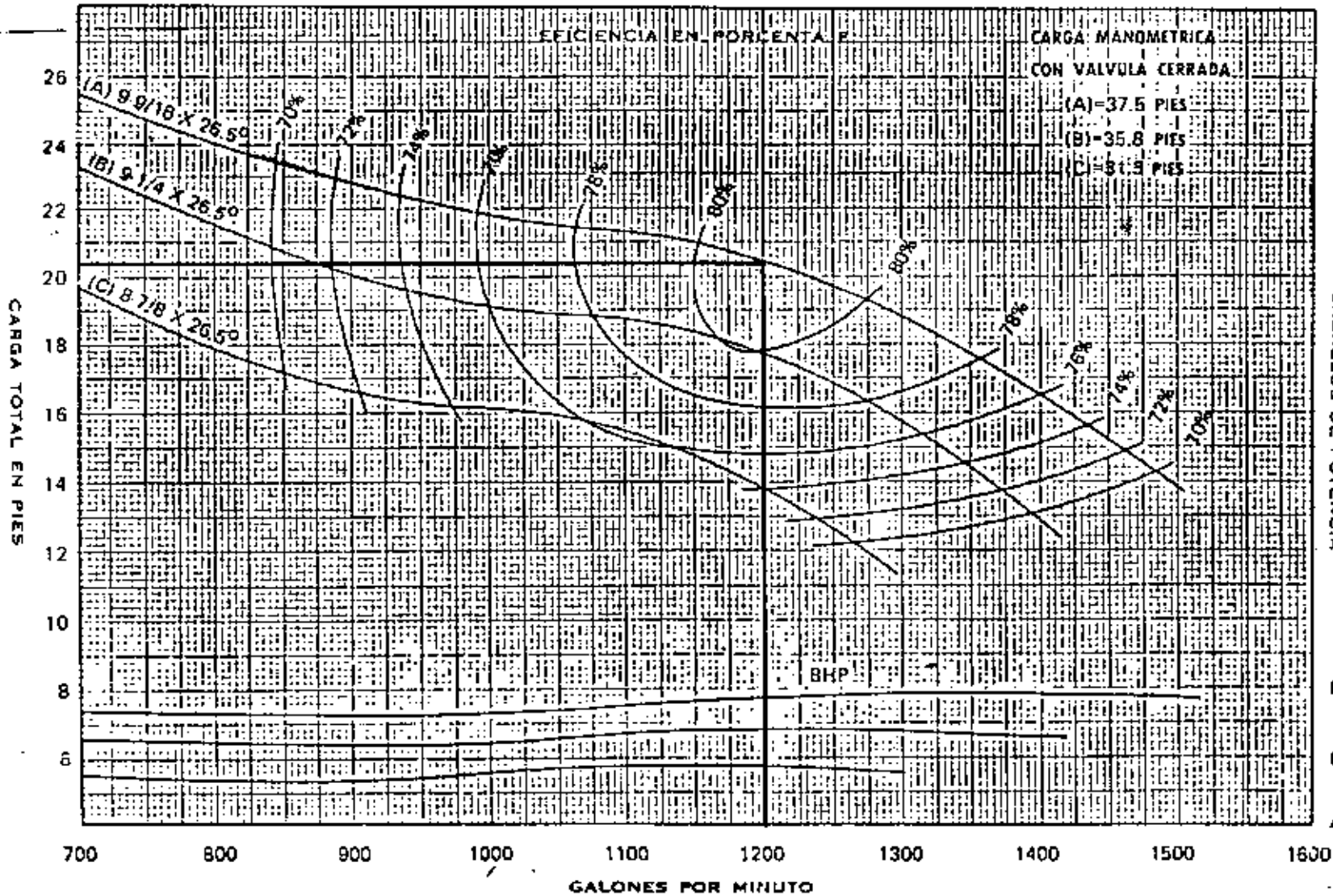
Curvas características de los impulsores. - La Mayoría de las Empresas que fabrican las bombas verticales tipo turbina, han formulado sus propias especificaciones y bajo las mismas han fabricando sus modelos de impulsores para que funcionen con eficiencia ante cualquier combinación de gasto y carga, 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.



JACUZZI-UNIVERSAL, S. A.

MÓNTERREY, 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 caballaje.

Díam. Tazón 1 1/4 Plg.
 Núm. Tazón 3361, C.I.
 Núm. Impulsor 3360,
 FIERRO XJ-2

Area del Ojo del Impulsor 35.6 Plg.2
 Tipo Impulsor CERRADO
 K = 18.2

RENDIMIENTO POR ETAPA

Curva No. 12X 22
 R.P.M. 1160
 Tazón 12XC

La eficiencia está basada en el bombeo de agua limpia, a una temperatura que no exceda de 30°C. (86°F.) y que esté libre de gas, aire o abrasivos, y con los impulsores ajustados apropiadamente y los tazones sumergidos.

CABALLOS DE POTENCIA

8
6
4

FIGURA No. 1

12XC
 SECCION 2130
 DICIEMBRE 15 DE 1970

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:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\sqrt{C_1}}{\sqrt{C_2}} = \frac{\sqrt[3]{HP_1}}{\sqrt[3]{HP_2}}$$

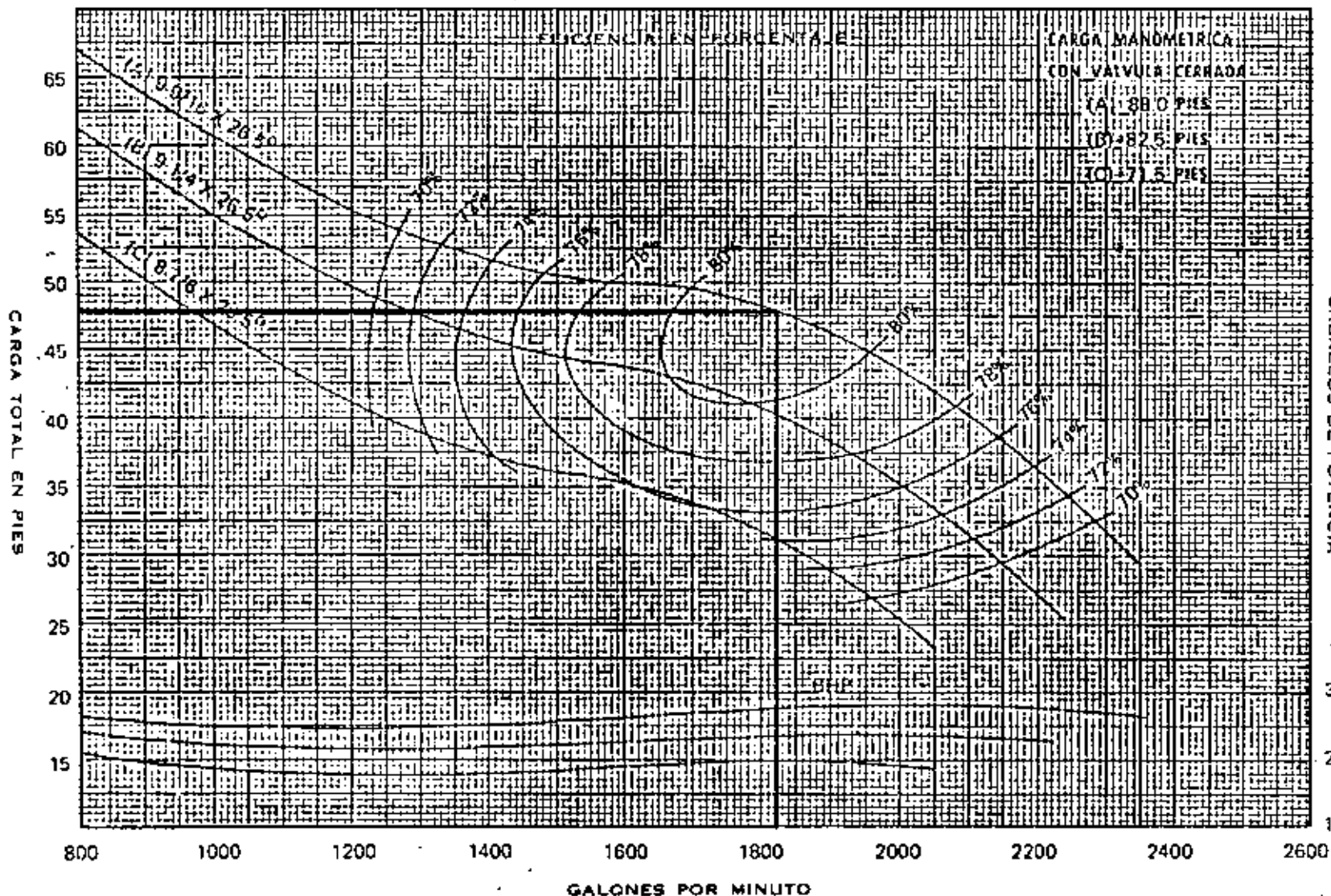
Ejemplo:

Un impulsor de 242.88 mm (9 9/16") de diámetro proporciona 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 si se cambia el diámetro a 225.42 mm (8 7/8")?.



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 cobillaje.

Diám. Tazón 1 1/4 Plg.
Núm. Tazón 3361, C.I.
Núm. Impulsor 3360.
TIPO IMPULSOR
CERRADO
K = 18.2

RENDIMIENTO POR ETAPA	
Curva No.	12X-20
R.P.M.	1760
Tazón	12XC

La eficiencia está basada en el bombeo de agua limpia, a una temperatura que no exceda de 30°C. (86°F.) y que esté libre de gas, aire o abrasivos, y con los impulsores ajustados apropiadamente y los tazones sumergidos.

CABALLOS DE POTENCIA

FIGURA No. 2

12XC

SECCION
2120

DICIEMBRE
15 DE 1970

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. - 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

3. - 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 períodos cortos, sufrirán graves daños, estos da

ños 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 lps. (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.

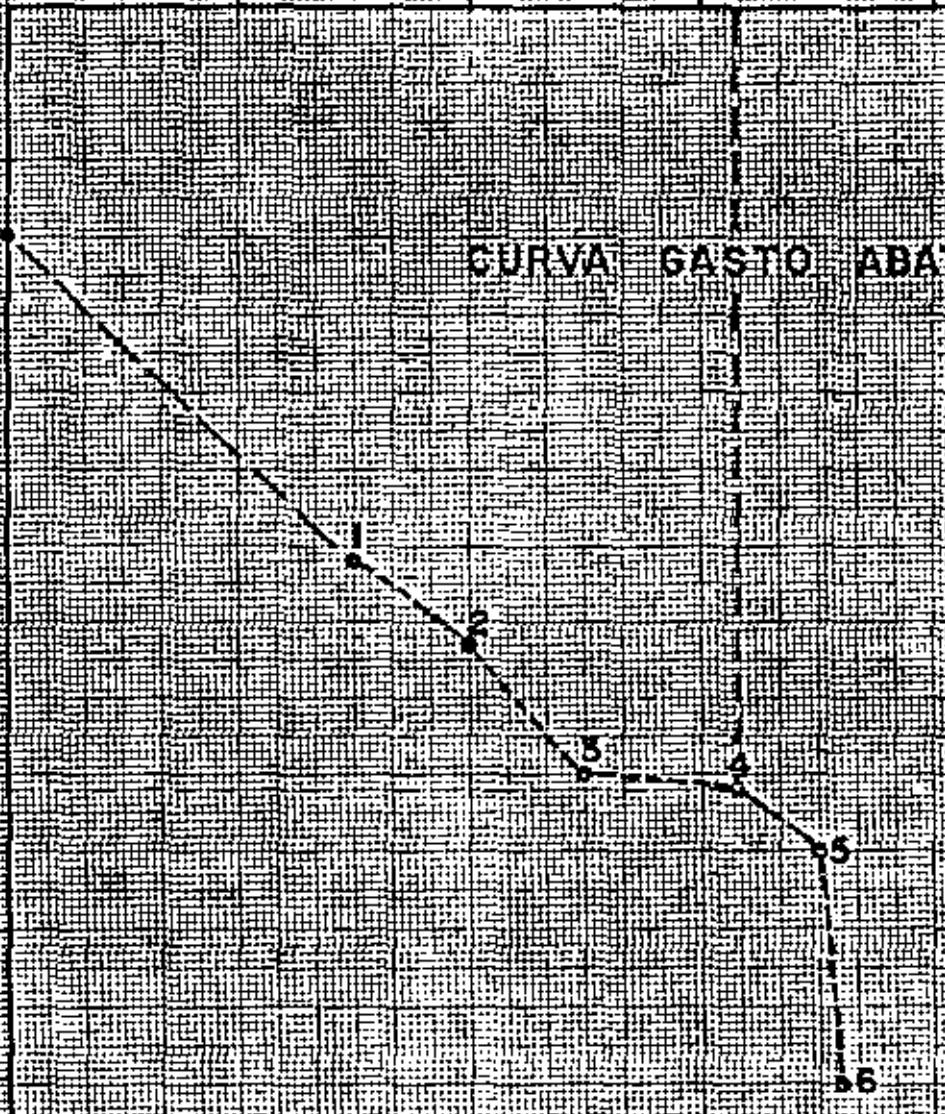
GASTO (lps)

10 20 30 40 50

Nivel 14.75

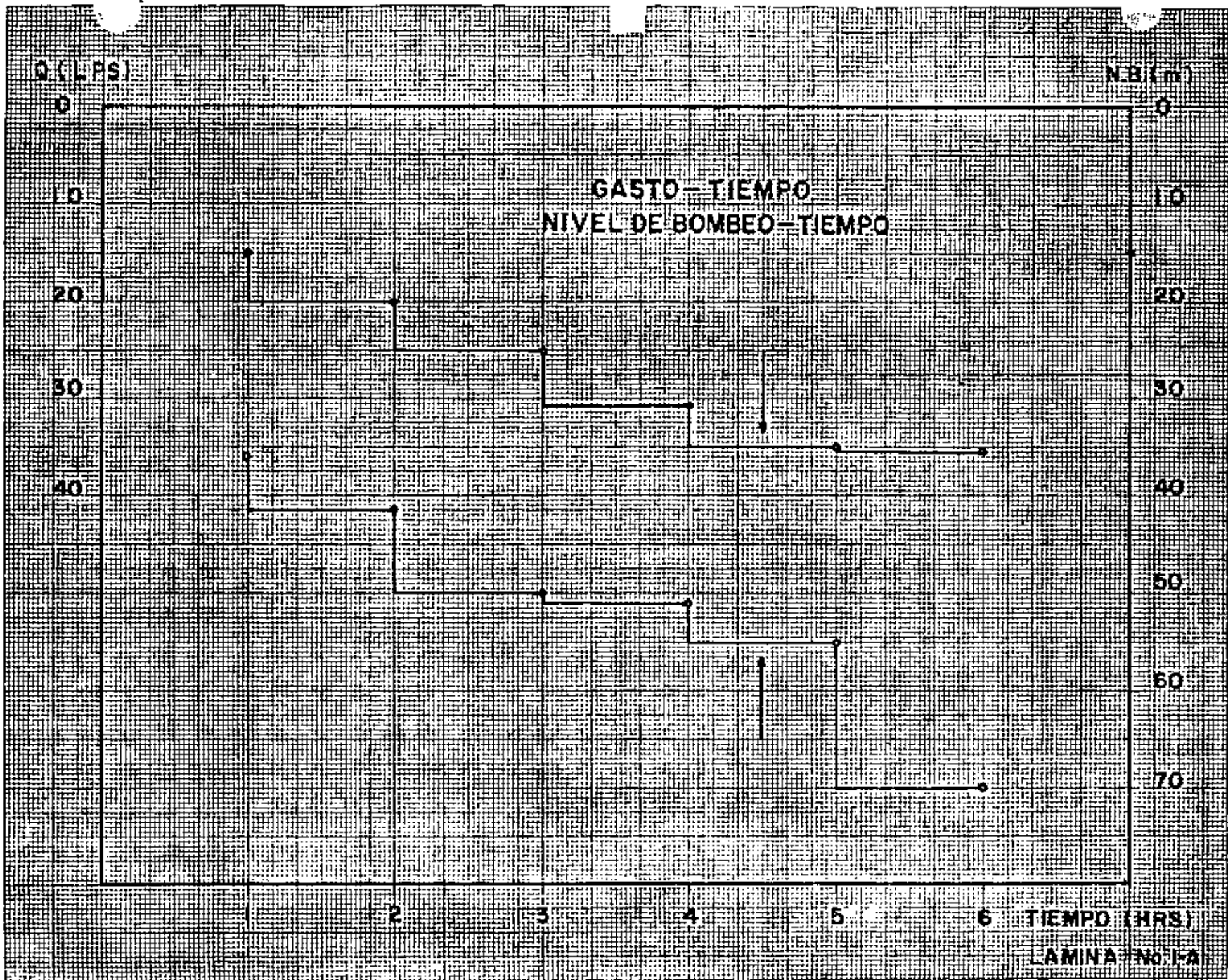
NIVEL DE BOMBEO (m)
0
20
30
40
50
60
70

CURVA GASTO ABATIMIENTO



ESTACION	N.B. (m)	Q (lps)
1	37	15
2	45	20
3	50	25
4	52	31.5
5	55	35
6	70	56

LAMINA No 1



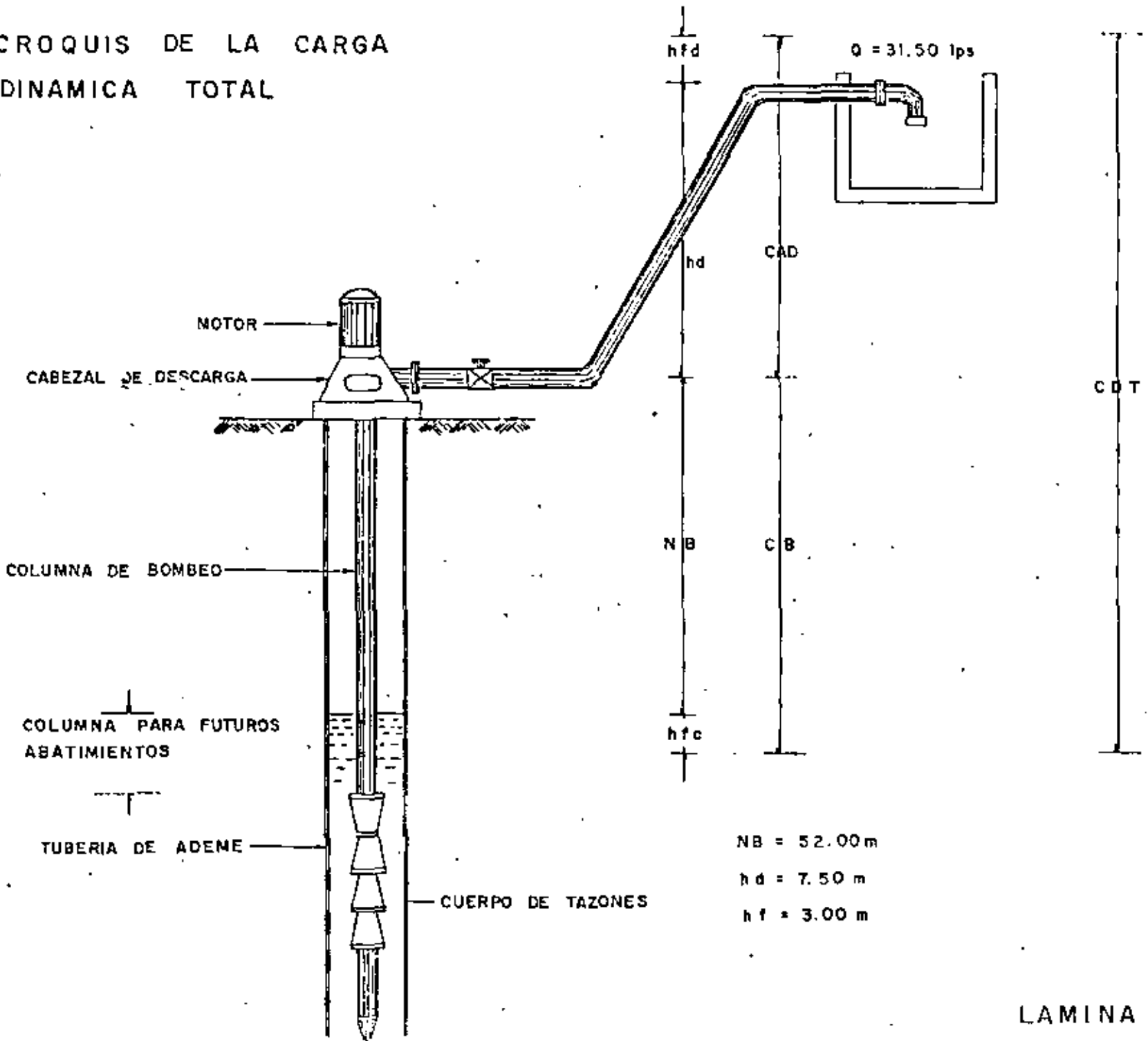
e). - CARGA ADICIONAL EN LA DESCARGA (CAD). - Es la carga que tiene que vencer la bomba a partir de su cabezal hasta el punto libre del sistema y comprende el desnivel topográfico ó carga estática de descarga (h_d), las pérdidas por fricción en la tubería de conducción y en los dispositivos instalados 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:

$$CDT = CB + CAD$$

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.

CROQUIS DE LA CARGA
DINAMICA TOTAL



III. - CALCULO Y SELECCION DE UN EQUIPO DE BOMBEO. -

A. - Condiciones de servicio. -

- a). - Gasto de explotación (Q) = 31.50 l. p. s.
- b). - Nivel dinámico o de bombeo (NB) = 52.0 m.
- c). - Desnivel topográfico (h_d) = 7.50 m.
- d). - Pérdidas por fricción en la tubería de descarga y dispositivos instalados (h_{fd}) = 3.00 m
- e). - Tipo de Energía = Eléctrica, 13,200 volts, en alta tensión.
- f). - Tipo de Lubricación: Aceite.
- g). - Líquido a manejar: Agua Limpia
- h). - Diámetro libre del ademe y su longitud = 304.8 mm - - (12") y 150.0 m.
- i). - Profundidad total del pozo = 150.0 m.

B. - Cálculo del Equipo de Bombeo:

1. - 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 proveer 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. - CÁLCULO 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:

$$CDT = CB + CAD = 54.60 + 10.50 = 65.10 \text{ m.}$$

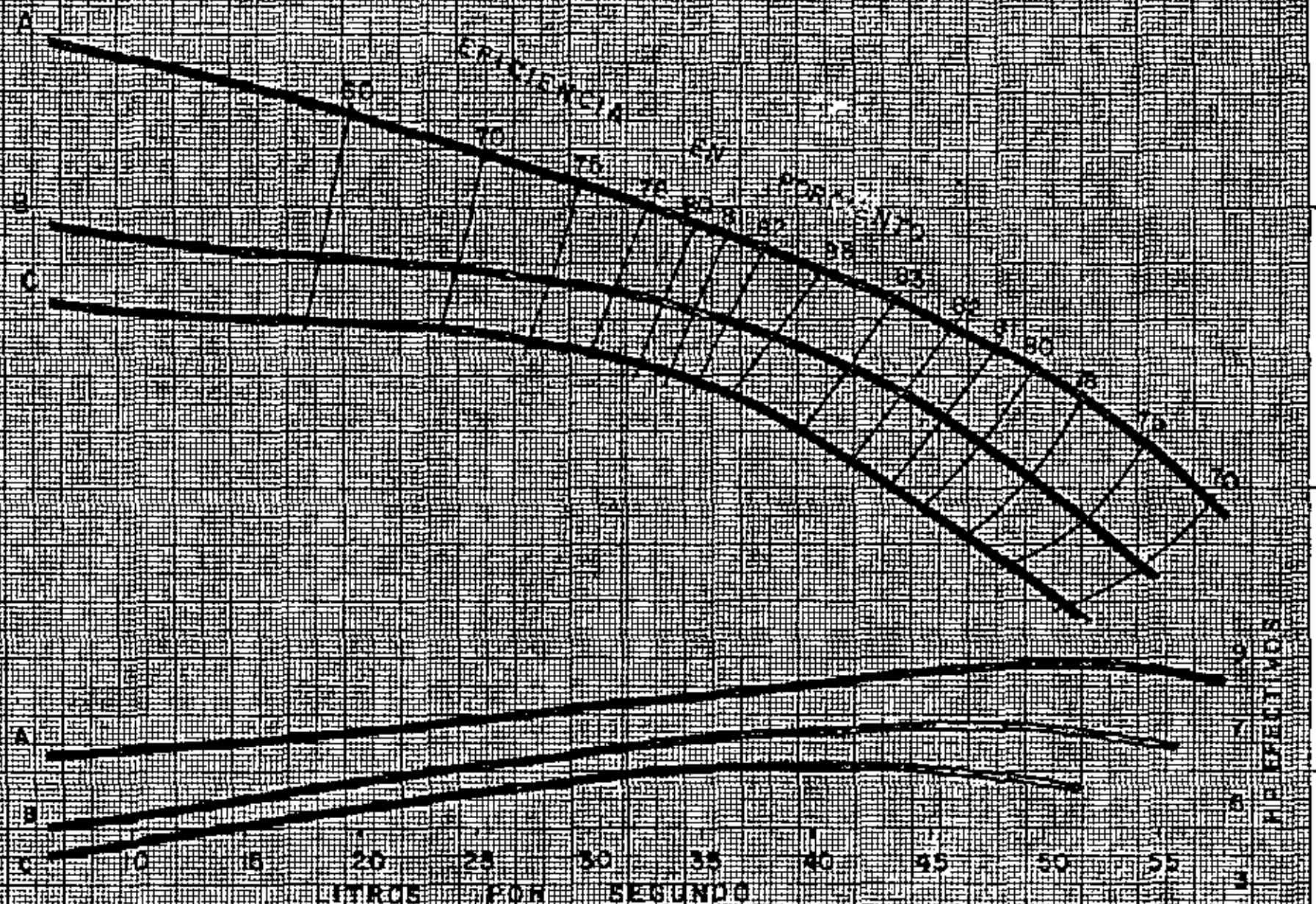
De donde se deduce que se tendrá que seleccionar una bomba

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").

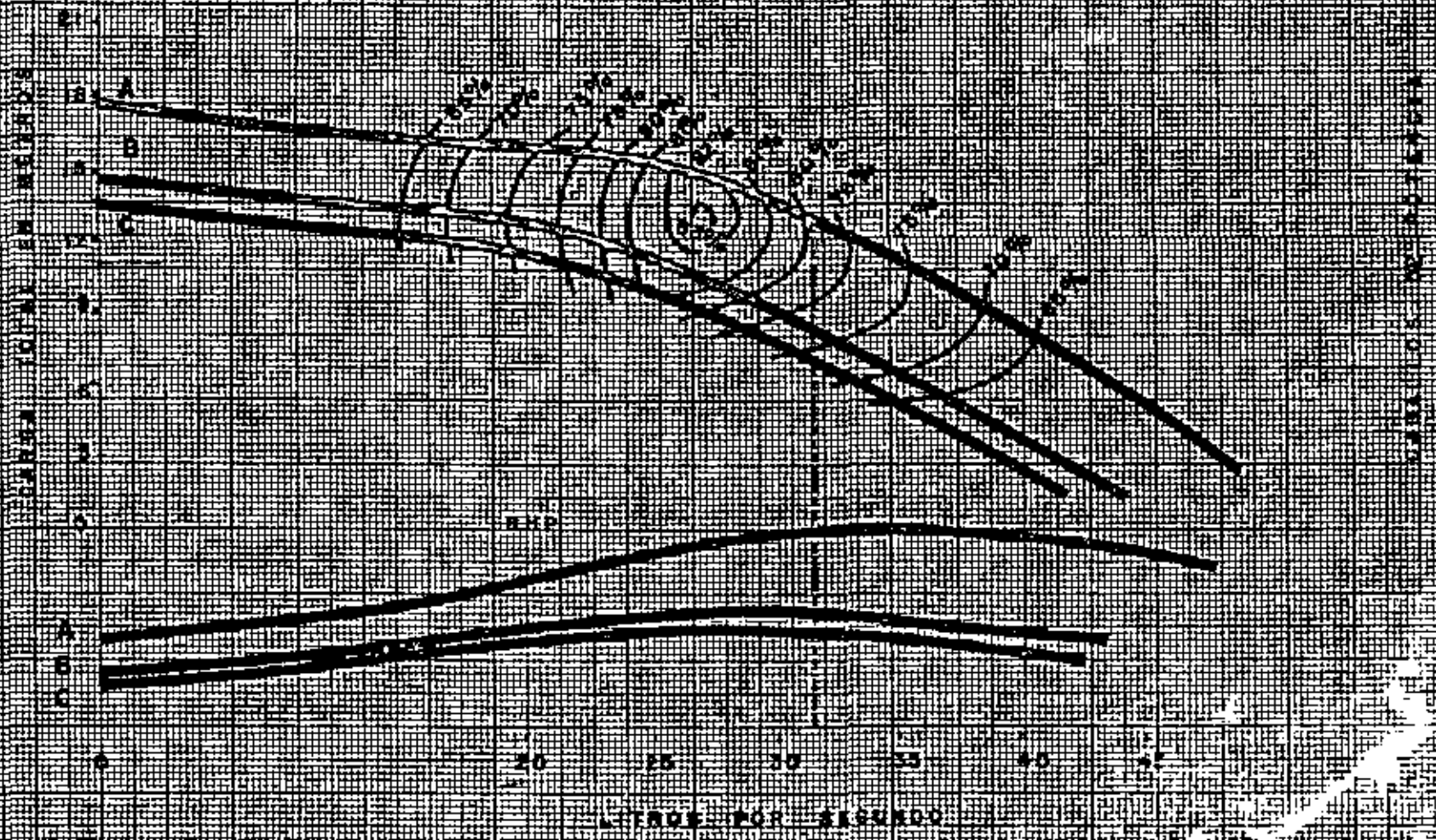
La curva A indica el diámetro máximo de fabricación del impulsor, la C el diámetro máximo de recorte y la B el corte medio y se emplean para ajustar el gasto y la carga.

ALTURA EN METROS



TAZON IOMA PEERLESS T-3A 1760 RPM

EFICIENCIA EN TORNEO



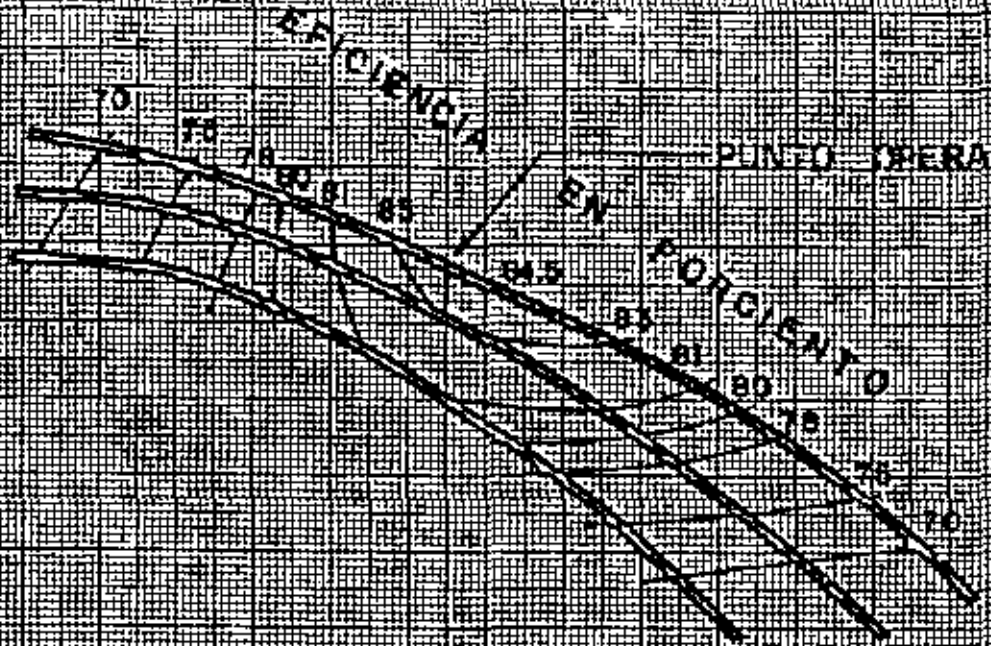
TAZON TOLS JACUZZI UNIVERSAL

1760 RPM

CARGA EN METROS POR TAZON

14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1

A
B
C
D
E



IMPULSOR

A
B
C
D
E



LITROS POR SEGUNDO

CONSUMO POTENCIA POR TAZON

TAZON 10 LC FAIRBANKS MORSE 1760 RPM

En la curva del impulsor seleccionado en el diam.: A proporción 31.50 lbs, 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. - CÁLCULO 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 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:

$$HP = \frac{31.50 \times 65.10}{76 \times 0.83} \times 1 = 32.50$$

5. - SELECCION DEL DIÁMETRO 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 Ips (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. (ó 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.

$$h_{fc} = 0.037 \times 57.95 = 2.14 \text{ m. (real)}$$

TABLA DE SELECCION DE FLECHAS

Diámetro de flecha	CABALLAJE PERMISIBLE A UNA VELOCIDAD DE:									Empuje total en libras
	3500	2900	1760	1460	1170	960	880	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#

LAMINA N° 4

8. - CALCULO DE LA CARGA DINAMICA TOTAL REAL.

$$CDT = CB + CAD$$

$$CB = NB + h_{fc} = 52 + 2.14 = 54.14 \text{ m.}$$

$$CAD = 10.50 \text{ m. anteriormente calculado.}$$

Por lo tanto, la carga dinámica total real será:

$$CDT = CB + CAD = 54.14 + 10.50 = 64.64 \text{ m.}$$

9. - CARGA REAL POR TAZON: Carga real por tazón o carga por paso = $\frac{CDT}{\text{No. pasos}} = \frac{64.64}{6} = 10.77 \text{ m.}$

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:

$$HP = \frac{Q \cdot CDT}{76 \times E_f} \cdot Ge = \frac{31.50 \times 64.64}{76 \times 0.83} \times 1 = 32.28$$

CARGA EN METROS POR TAZON

14
13
12
11
10
9
8
7
6
5

A
B
C

A
B
C

EFICIENCIA

PUNTO OPERACION REELIMINAR

PUNTO OPERACION DEFINITIVO

EN
APROXIMADO

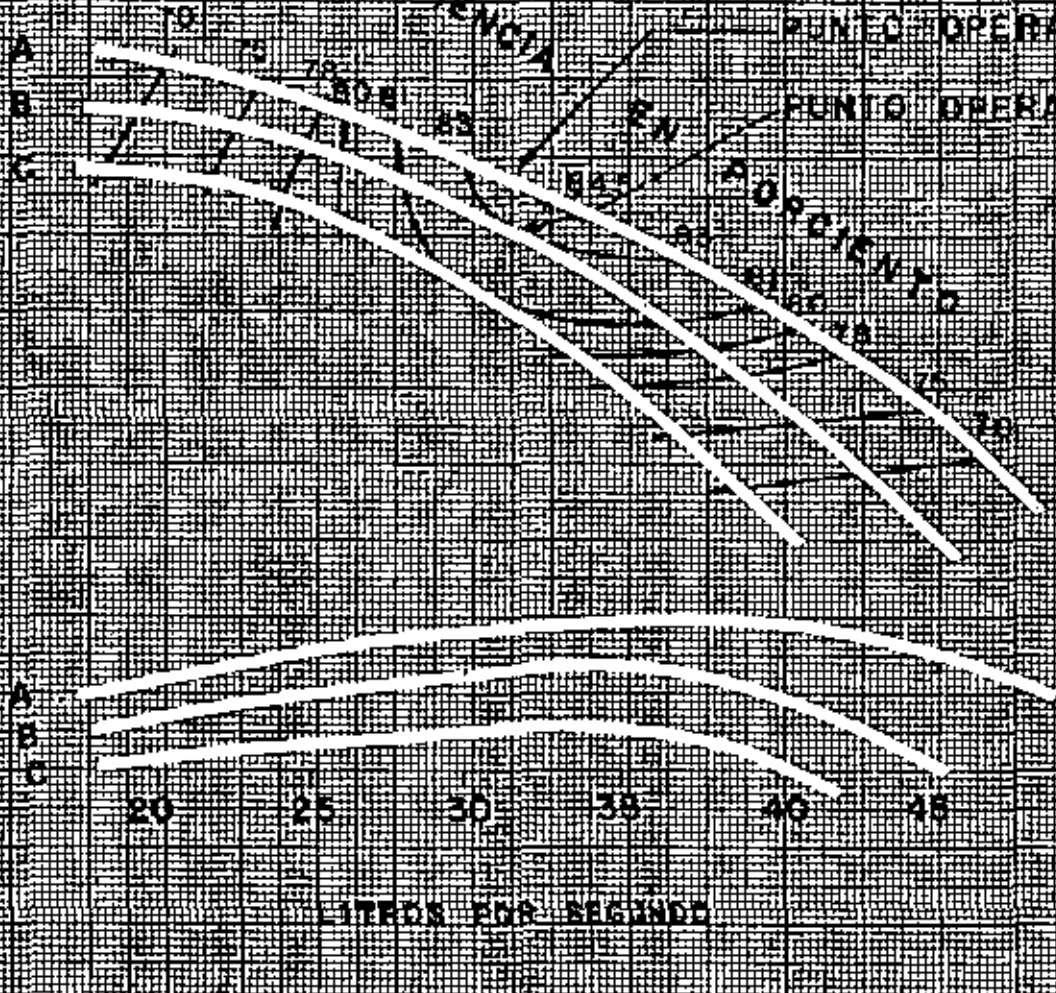
20 25 30 35 40 45

LITROS POR SEGUNDO

TAZON IOLD FAIRBANKS MORSE 1760RPM

CONSUMO POTENCIA POR TAZON

60
50
40



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:

$$\text{Pérdida de potencia} = h_{\text{HP}} = \frac{57.95 \times 0.53}{30.40} = 1.00 \text{ HP.}$$

12. - CONSUMO TOTAL DE POTENCIA:

$$\text{HP}_t = \text{HP} + h_{\text{HP}} = 32.28 + 1.0 = 33.28$$

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.

PERDIDA DE POTENCIA EN LA FLECHA POR CADA 30.4 Mts. (100 pies) DE LONGITUD.

RPM.	DIAMETRO DE LA FLECHA									
	CMS.: 1.9	2.54	3.01	3.81	4.28	4.92	5.5	6.19	6.82	7.46
	PULG: 3/4	1	1-3/16	1-1/2	1-11/16	1-15/16	2-3/16	2-7/16	2-11/16	2-15/16
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
870		.26	.36	.56	.69	.92	1.2	1.4	1.7	2.1
730		.22	.31	.48	.58	.77	1.0	1.2	1.4	1.7
690		.21	.29	.45	.55	.74	.92	1.13	1.32	1.61
575		.17	.24	.38	.46	.61	.77	.95	1.10	1.34
490		.15	.21	.32	.39	.52	.65	.81	.94	1.14
430		.13	.18	.28	.34	.46	.57	.71	.81	1.00
390		.12	.17	.26	.31	.42	.52	.64	.75	.91

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.

CARACTERISTICAS MOTORES ELECTRICOS

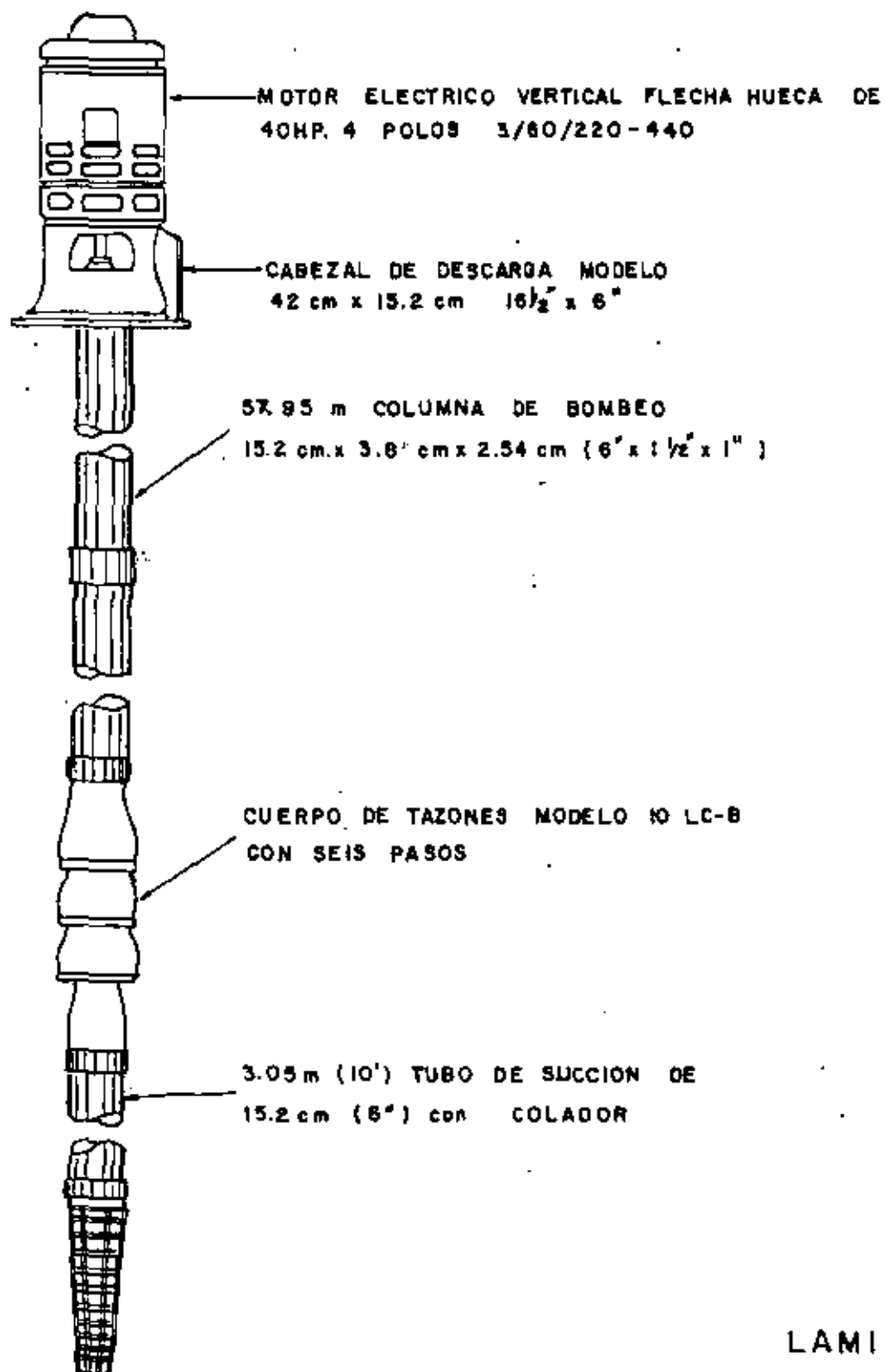
14c

208 220/440, 550 Volts

HP CP	RPM (Sinc.)	Armaçón	Modelo	Diámetro Base (Pulg.)		Empuje axial (Lbs.)
				Normal	Alterná	
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	—	1560
	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	A286UP	28KA758PX	12	16 1/2	1800
10	3000/3600	256UP	25KA102PX	10	—	1100
	1500/1800	256UP	25KA104PX	10	—	1700
	1000/1200	A286UP	28KA106PX	12	16 1/2	2280
	750/900	365UP	36KA108PX	16 1/2	20	2200
15	3000/3600	256UP	25KA152PX	10	—	1300
	1500/1800	A286UP	28KA154PX	12	16 1/2	2000
	1000/1200	A326UP	32KA156PX	12	16 1/2	2800
	750/900	365UP	36KA158PX	16 1/2	20	2400
20	3000/3600	A286UP	28KA202PX	12	16 1/2	1500
	1500/1800	A286UP	28KA204PX	12	16 1/2	2400
	1000/1200	326UP	32KA206PX	16 1/2	20	3280
	750/900	365UP	36KA208PX	16 1/2	20	2800
25	3000/3600	A286UP	28KA252PX	12	16 1/2	1650
	1500/1800	A326UP	32KA254PX	12	16 1/2	2600
	1000/1200	A405UP	40KA256PX	16 1/2	20	3680
	750/900	A405UP	40KA258PX	16 1/2	20	3100
30	3000/3600	A326UP	32KA302PX	12	16 1/2	1800
	1500/1800	A326UP	32KA304PX	12	16 1/2	2900
	1000/1200	A405UP	40KA306PX	16 1/2	20	4080
	750/900	A445UP	44KA308PX	20	20	3500
40	3000/3600	A326UP	32KA402PX	16 1/2	12	2000
	1500/1800	A365UP	36KA404PX	16 1/2	12	3400
	1000/1200	A445UP	44KA406PX	20	16 1/2	4800
	750/900	A445UP	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	A445UP	44KA506PX	20	16 1/2	5160
60	3000/3600	A365UP	36KA602PX	16 1/2	20	3000
	1500/1800	A405UP	40KA604PX	16 1/2	20	4300
	1000/1200	A445UP	44KA606PX	20	16 1/2	5620
75	3000/3600	A405UP	40KA752PX	16 1/2	20	3000
	1500/1800	A405UP	40KA754PX	16 1/2	20	4800
	1000/1200	A445UP	44KA756PX	20	16 1/2	6720
100	1500/1800	A445UP	44KA104PX	20	16 1/2	5500
125	1500/1800	A445UP	44KA122PX	20	16 1/2	6300
150	1500/1800	A445UP	44KA154PX	20	16 1/2	6900

LAMINA Nº 7

BOMBA TURBINA VERTICAL
LUBRICADA POR ACEITE



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:

$$\text{Alargamiento de la flecha} = \frac{CDT \times S \times Pe \times K}{2'500,000 \times As} = \frac{212.02 \times 190 \times 1.0 \times 9.0}{2'500,000 \times 0.785}$$

$$\text{Alargamiento de la flecha} = 0.17 \text{ pulgadas}$$

Para determinar los valores de Xc y Ac, se consulta la Lámina No. 10, de donde se obtiene:

$$\begin{aligned} Xc &= \text{Peso neto del agua entre la columna y el tubo cubreflecha} \\ &\text{menos el factor de empuje de la bomba} = 11.29 - 9.0 \\ &= 2.29 \text{ lb/pie.} \end{aligned}$$

$$Ac = 6.65 \text{ pulg.}^2$$

Substituyendo estos valores, se tendrá:

$$\text{Alargamiento de la columna} = \frac{CDT \times S \times PE \times Xc}{2'500,000 \times Ac} = \frac{212.02 \times 190 \times 1 \times 2.29}{2'500,000 \times 6.65}$$

$$\text{Alargamiento de la columna} = 0.00554 \text{ pulgadas}$$

$$\text{Alargamiento relativo} = 0.17 - 0.00554 = 0.1645 \text{ pulgadas}$$

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.

$(K \times \text{CDT})$ = Empuje hidráulico.

$(W \times S) + (K_a \times \text{No. de pasos})$ = Carga estática.

$(W \times S)$ = Peso de la flecha

$K_a \times \text{No. de pasos}$ = 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:

$$\text{Empuje total} = (9.0 \times 212.02) + (2.8 \times 190.0) + (11.2 \times 6) = 2507.38 \text{ lbs.}$$

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

FACTOR por columna	
Diámetro de flecha (Pulg.)	Peso (W) lb/pie
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

LAMINA Nº 9

TABULACION 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
2½x¾	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
7x3	12.51	4.17	8.34	8.60
7x1½	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

¾"	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

Una vez determinado el valor del alargamiento relativo de la flecha, se compara con el del juego axial del tazón seleccionado, 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 alarga-- miento 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 fle-- cha flexible, o bien por banda y poleas. Normalmente se utiliza la transmi-- sión 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 to-- tal 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 in-- terna.

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)

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

$$\text{Total de Pérdidas} = 7 \text{ HP} + 16.25 \%$$

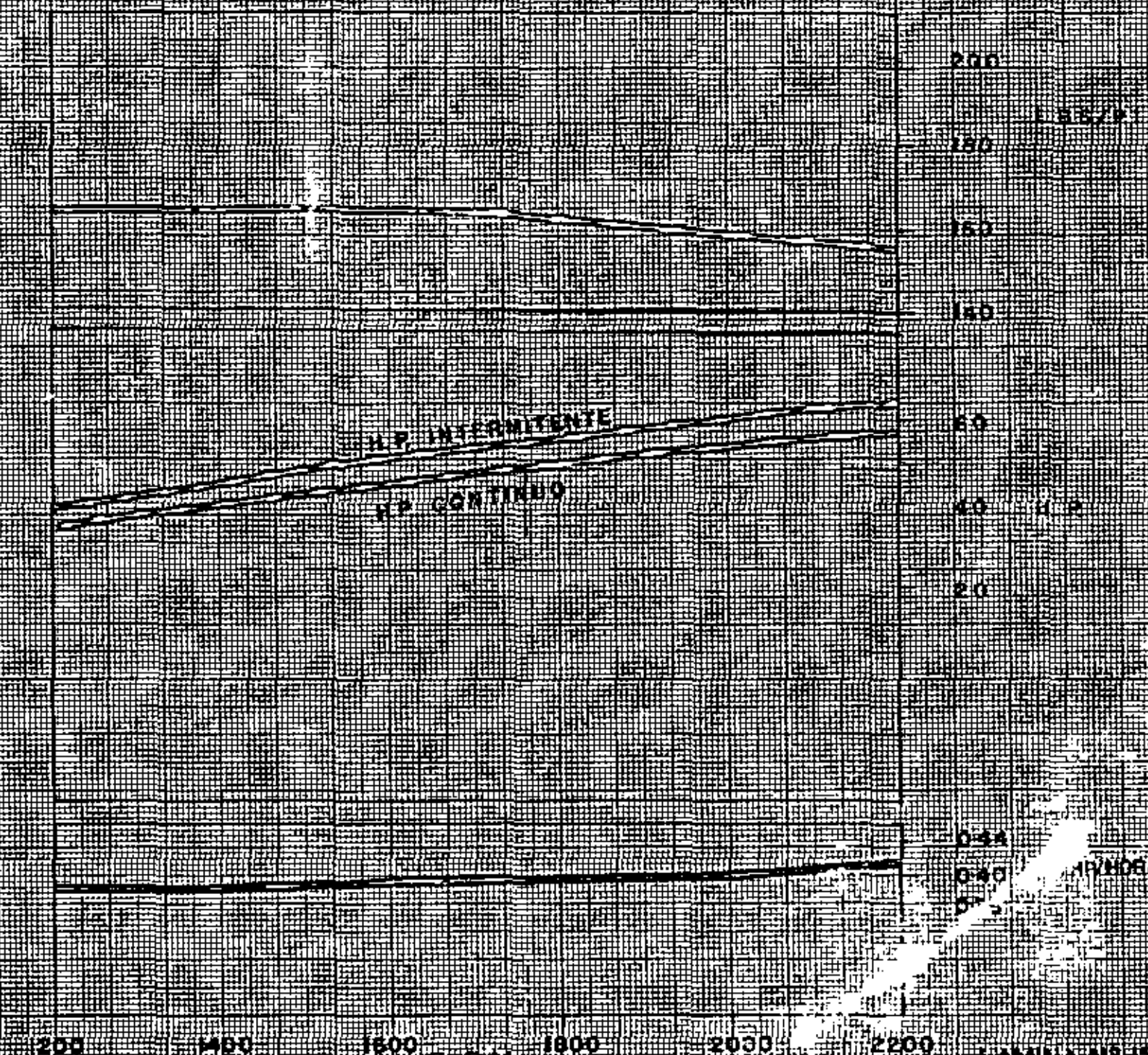
De acuerdo con lo anterior y dado que no se conoce la potencia nominal del motor (HPn), a la potencia efectiva que demanda la bomba - incluyendo las pérdidas por transmisión deberá agregársele las pérdidas -- antes mencionadas.

$$\text{HPn} = \frac{34.28}{100\% - 16.25\%} + 7 = \frac{34.28}{83.75\%} + 7 = 41 + 7 = 48.0$$

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 --



diámetro de la base del motor eléctrico, o del cabezal de engranes determinará el modelo del cabezal de descarga.

Para seleccionar la relación de engranes del cabezal hay que tener en cuenta las velocidades de operación de la bomba y -- del motor, que para este caso son de 1760 y 1760 rpm., respectivamente, por lo que la relación será 1 : 1. Para diferentes velocidades se consulta directamente las tablas que -- proporcionan los fabricantes (Lámina No. 14).

d). - SELECCION DE LA FLECHA FLEXIBLE. -

El siguiente paso es el de determinar el modelo de la flecha flexible, misma que se escogerá de acuerdo con la velocidad a que trabaje el motor y con la potencia efectiva que demanda la bomba incluyendo las pérdidas por transmisión. De acuerdo con lo anterior, de la Lámina No. 15, se obtiene que la flecha modelo 31 a 1750 rpm resiste 43 HP., suficiente para los 34.25 HP efectivos que demanda la bomba.

Por lo que finalmente el equipo de bombeo accionado por un motor de combustión interna quedará integrado por:

Un motor marca Lister, Modelo HRW4

Un cabezal de engranes Marca US, Modelo 31,
relación 1: 1.

Una flecha flexible Modelo 31.

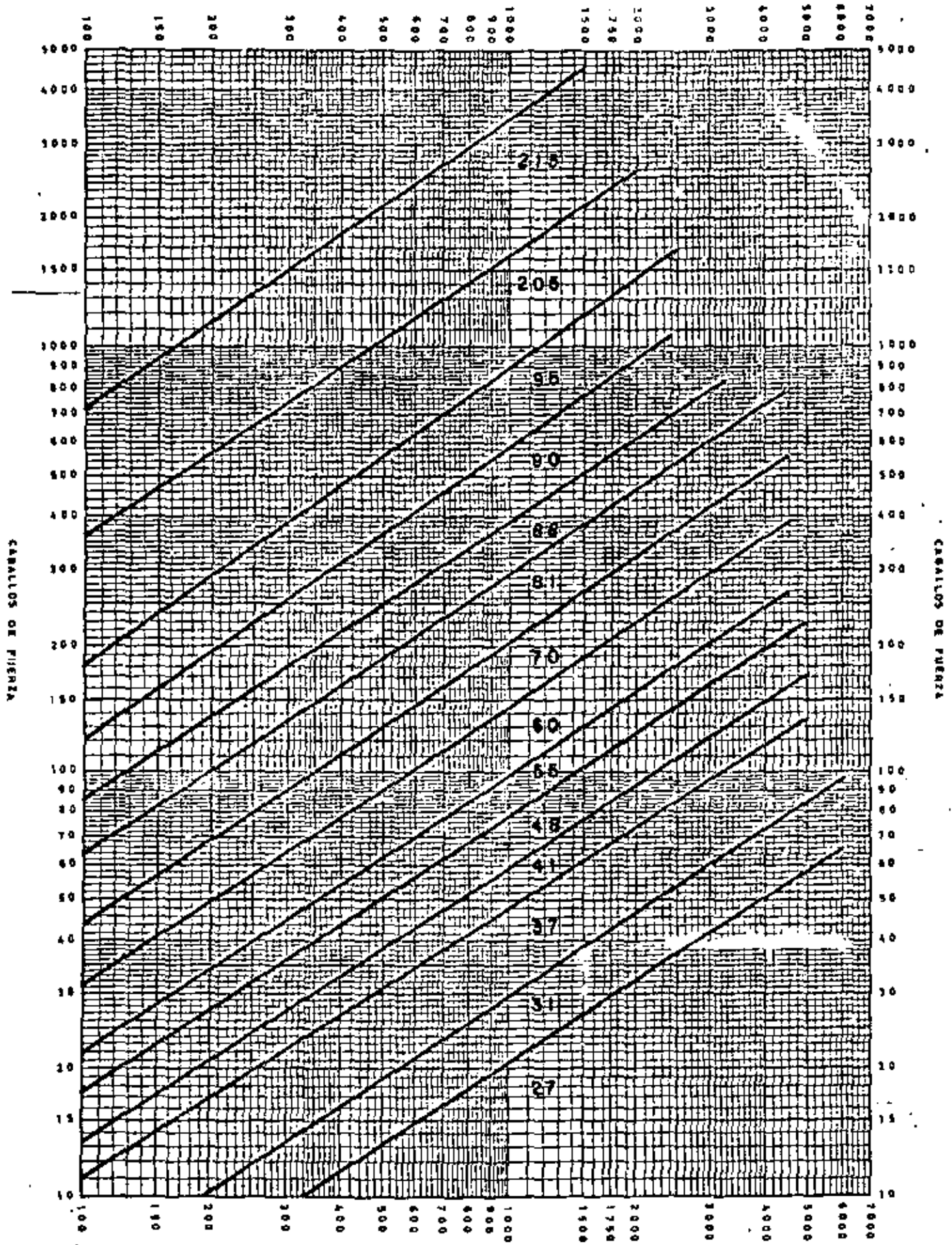
RELACION CAB. ENGRANADOS

RPM	RPM. Bomba									
	3450	2900	2000	1760	1460	1160	970	870	730	
Motor	RELACION DE VELOCIDADES CAB. ENG.									
3500	1:1	6:5	7:4	2:1						
3400										
3300										
3200	10:11	11:10								
3100				7:4						
3000	5:6		3:2							
2900	5:6	1:1			2:1					
2800	4:5									
2700			4:3							
2600	3:4	10:11		3:2	7:4					
2500			5:4							
2400		5:6	6:5	4:3						
2300	2:3	4:5				2:1				
2200		3:4	11:10	5:4	3:2					
2100				6:5		7:4				
2000	4:7		1:1	11:10	4:3	7:4	2:1			
1900		2:3		11:10						
1800	1:2		10:11	1:1	5:4	3:2		2:1		
1700		4:7	5:6		6:5	3:2		2:1		
1600			4:5	10:11	11:10	4:3				
1500		1:2	3:4	5:6	1:1				2:1	
1400				4:5		6:5				2:1
1300			2:3	3:4	10:11	11:10				
1200			4:7	2:3	4:5	1:1				
1100					3:4	10:11	11:10			
1000			1:2		2:3	5:6	1:1	11:10		
900				1:2				1:1	5:4	4:3
800							5:6	10:11	11:10	6:5
700					1:2			4:5	10:11	1:1
600						1:2		2:3	5:6	5:6
500		4:7					1:2		2:3	3:4

LAMINA N° 14

TABLA PARA SELECCION DE FLECHAS PERMISIBLES

REVOLUCIONES POR MINUTO



REVOLUCIONES POR MINUTO

Támina Nº 15