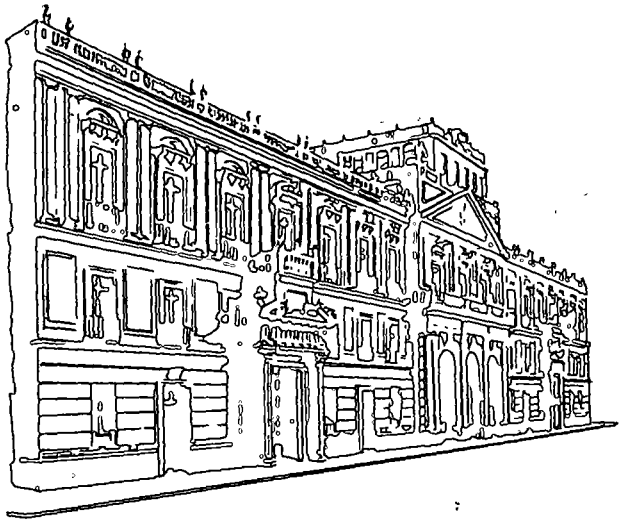


INSCRIPCIONES

CENTRO DE EDUCACION CONTINUA DE LA DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA, U. N. A. M.

Cuota de inscripción $ 3,500.00

La cuota de inscripción incluye:
- **una carpeta con las notas de los profesores**
- **bibliografía sobre el tema**
- **servicio de cafetería**
- **comidas**

Palacio de Minería Calle de Tacuba No. 5 México 1, D.F.

Horario de oficinas:
lunes a viernes de 9 a 18 h

Para mayores informes hablar a los teléfonos
521-40-20 521-73-35 512-31-23

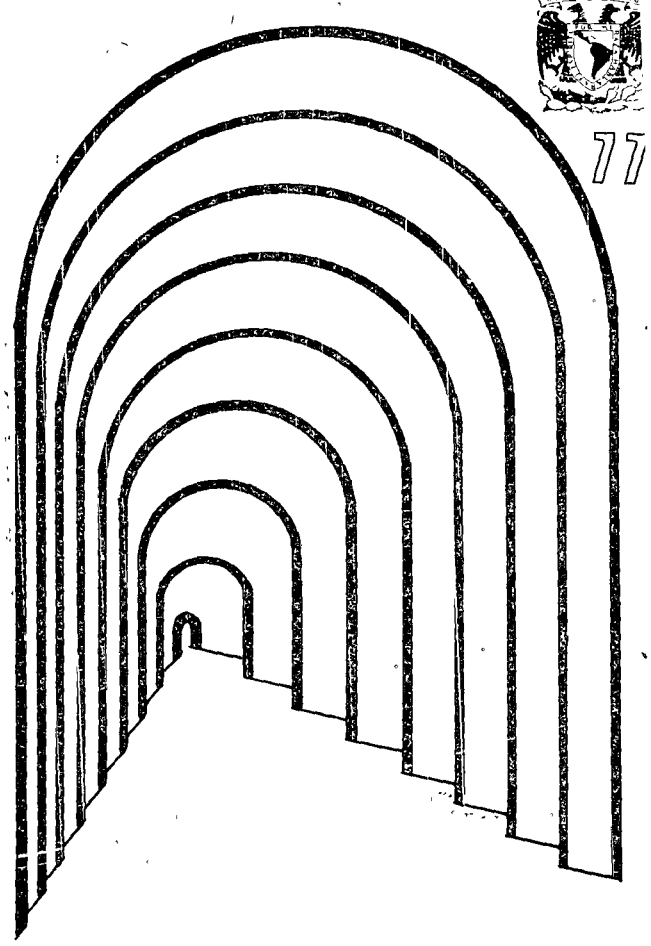
CONSTANCIA DE ASISTENCIA

La Facultad de Ingeniería de la U N A M, otorgará una constancia de asistencia a los participantes que concurran regularmente y que realicen satisfactoriamente los trabajos que se les asignen durante el curso

CIRCULA LIBRE DE PORTE
POR VIA DE SUPERFICIE
Y DENTRO DEL TERRITORIO NAL.
ART. 17 LEY ORGANICA DE LA U N A M

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, u n a m

Palacio de Minería
Calle de Tacuba No. 5
México 1, D.F.



77

CONSTRUCCION DE TUNELES

CURSO INTENSIVO

Duración: 45 h
Fechas: del 5 al 10 de septiembre
Horario: lunes a viernes de 9 a 13 h y de 14 a 18 h; sábado de 9 a 14 h

Coordinadores: Ings. Jorge Cabezut Boo y Roberto Sánchez Trejo

En colaboración con la Cámara Nacional de la Industria de la Construcción

* Con créditos académicos para la Especialización en Construcción

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, u n a m

PRESENTACION

El aprovechamiento de los recursos naturales del pais mediante la explotación de yacimientos mineros, la construcción de grandes obras hidráulicas, la construccion de vías modernas de comunicacion, así como la solución a las principales necesidades de los centros urbanos, tales como abastecimiento de agua potable, eliminacion de aguas negras, sistemas de transporte colectivo subterraneo, etc , plantean la necesidad de un mejor conocimiento de las tecnicas de diseño y construcción de túneles, los cuales, desde tiempos remotos, han presentado un reto para el hombre

A QUIENES ESTA DIRIGIDO

A todos aquellos ingenieros y tecnicos que trabajan en proyectos hidráulicos e hidroeléctricos, conduccion de agua potable, minería, carreteras, ferrocarriles, comunicaciones urbanas, ingeniería sanitaria, etc , y en general, a quienes participan, o se interesen en participar, en el proyecto y/o en la construcción de túneles

OBJETIVOS

Proporcionar a los asistentes los fundamentos necesarios para planear, diseñar, proyectar y construir un tunel, así como dar a conocer las diferentes tecnicas que han sido desarrolladas y que se relacionan con factores tales como condiciones geologicas, forma y dimensiones de la seccion transversal, proposito, etc

TEMARIO

I INTRODUCCION

Reseña historica
Clasificacion de túneles
- Tránsito
- Conduccion
- Minería

Clasiifcacion de roca
- Geológica
- Estructural
- Identificacion de clases de roca y suelo

II ESTUDIOS PRELIMINARES Y CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Estudios en la etapa de diseño
Análisis económico
Reconocimiento y exploración geologica
Factibilidad de alternativas
Estudios durante la construcción

III SEGURIDAD

Seguridad industrial
Leyes laborales
Riesgos profesionales
Prevención de accidentes

IV EXCAVACION

En roca
- Método convencional
  - Uso de explosivos y tecnicas de voladura
  - Ciclo basico
  - Protección contra caidos
  - Supervision
  - Rendimiento y velocidad de avance
- Por medios mecánicos
  - Tipos de máquina y equipos auxiliares
  - Cortadores
  - Rendimientos y velocidad de avance

En suelos blandos
- Escudo
- Aire comprimido

Tuneles inclinados
- Lumbreras
  - En roca
  - En terreno suave

Tuneles inclinados
Ventilación
Bombeo

V SOPORTE TEMPORAL

Cargas sobre sistemas de soporte
Ademes para excavaciones en roca
- Marcos
- Anclas
- Concreto lanzado

Experiencias y conclusiones

VI REVESTIMIENTO

Presion de roca
- Formas de presion
- Determinacion de la presion
- Presion hidrostática
- Mediciones

Diseño
- Convencional
- Interaccion roca-concreto
- Método del elemento finito
- Diseño de espesores
- Instrumentación

Construccion
- Sistemas constructivos
- Concreto
- Propiedades
- Producción
- Colocación

VII COSTOS Y CONTROL

Costos de excavación
- En roca fija
  - Método convencional
  - Perforación mecanizada
- En materiales blandos
- Comparativa de costos con los diferentes métodos
- Lumbreras

Costos de revestimiento
- Método convencional
- Concreto lanzado
- Dovelas
- Comparativa de costos con diferentes metodos
- Lumbreras

Costo de ademado

Costo de anclaje

Influencia de la sección y longitud del tunel en el costo

Sección del tunel como frontera de equipo de llanta contra vía

Control
- Introducción
- Control
- Control de avance
- Control de costos
- Control de calidad
- Control administrativo
- Control de recursos
- Controles gráficos

VIII MESA REDONDA

PROFESORES

ING. MARIO ALDAPE VELAZQUEZ
ING. JORGE A. CABEZUT BOO
ING. FERNANDO FAVELA LOZOYA
ING. JORGE GAMBOA CHAPARRO
ING. GUILLERMO GIL FLORES
ING. JOSE LUIS LEON TORRES
ING. RAUL LOPEZ CALVILLO
ING. MANUEL MENA FERRER
ING. ANDRES MORENO FERNANDEZ
ING. FRANCISCO NOREÑA CASADO
ING. ARNE SAMUELSON
ING. LUIS VIEITEZ UTESA

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de Ingeniería, unam

A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS DEL CENTRO DE EDUCACION CONTINUA

Las autoridades de la Facultad de Ingeniería, por conducto del Jefe del Centro de Educación Continua, Dr. Pedro Martínez Pereda, otorgan una constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso. Las personas que deseen que aparezca su título profesional precediendo a su nombre en el diploma, deberán entregar copia del mismo o de su cédula profesional a más tardar el SEGUNDO DIA de clases, en las oficinas del Centro, con la señorita Barraza, encargada de inscripciones, de lo contrario NO será posible.

El control de asistencia se efectuará a través de la persona encargada de entregar notas, en la mesa de entrega de material mediante listas especiales. Las ausencias serán computadas por las autoridades del Centro.

Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece el Centro están planeados para que los profesores expongan una tesis, pero sobre todo, para que coordinen las opiniones de todos los interesados constituyendo verdaderos seminarios.

Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso. Las personas comisionadas por alguna institución deberán pasar a inscribirse en las oficinas del Centro en la misma forma que los demás asistentes.

Con objeto de mejorar los servicios que el Centro de Educación Continua ofrece, se hará una evaluación del mismo a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos por parte de los asistentes; esto se hará al finalizar el curso.

ATENTAMENTE

ING. SALVADOR MEDINA RIVERO
COORDINADOR DE CURSOS ABIERTOS

SMR'edcs

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F. Tels.: 521-40-23 521-7[illegible]

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES
CENTRO DE EDUCACION CONTINUA
DIRECTORIO GENERAL

REGISTRO DE ASISTENTES Y PROFESORES.

NOMBRE DEL CURSO: _____ FOLIO [ ][ ][ ][ ][ ] (1–5) CLAVE ASOC. [ ] (6)

[ ][ ][ ][ ][ ] (8–13) [ ] (14–41)

NOMBRE(S) APELLIDO PATERNO APELLIDO MATERNO

REG. FED. CAUS. [ ][ ][ ][ ][ ][ ][ ][ ][ ][ ] (42–51) CED. PROF. [ ][ ][ ][ ][ ][ ][ ] (52–58)

TEL. PARTICULAR [ ][ ][ ][ ][ ][ ][ ] (59–65) TEL. OFICINA [ ][ ][ ][ ][ ][ ][ ] (66–72) EXTENSION [ ][ ][ ][ ] (73–7

MARQUE CON UNA CRUZ

ASISTENTE [ ] PROFESOR [ ] [ ] (77) [1] (80)

[ ] (8–41)

DOMICILIO PARTICULAR (CALLE. NUMERO Y No. INTERIOR)

[ ] (42–71) Z.P. [ ][ ] (72 73)

COLONIA

_____ [ ][ ] (74 75)

ESTADO

_____ [ ][ ] (76 77) _____ [ ][ ] (78 79) [2] (80)

TITULO PROFESIONAL ESPECIALIDAD

[ ] (41)

DOMICILIO DE OFICINA (CALLE, NUMERO Y No. INTERIOR)

[ ] (71) Z.P. [ ][ ] (72 73)

COLONIA

_____ [ ][ ] (74 75) [3] (80)

ESTADO

OCIACIONES A LAS QUE PERTENECE.

_____ [ ][ ] _____ [ ][ ]

_____ [ ][ ] _____ [ ][ ]

CONSTRUCCION DE TUNELES

(DEL 5 AL 10 DE SEPTIEMBRE DE 1977)

Fecha	Duración	Tema	Profesor
Sep. 5	9 a 10 a.m.	INTRODUCCION Reseña histórica, clasificación de túneles	Ing. Jorge Gamboa Ch.
	10 a 11 a.m.	INTRODUCCION Clasificación de roca	Ing. José Luis León T.
10	11 a 12 h. 12 a 13 h.	ESTUDIOS PRELIMINARES Y CONSIDERACIONES DE DISEÑO	Ing. Luis Vieitez U.
	13 a 14 h.	COMIDA	
	14 a 15 h. 15 a 16 h.	EXCAVACION En roca (método convencional)	Ing. Francisco Noreña C.
Sep. 6	9 a 10 a. m. 10 a 11 a. m.	EXCAVACION En roca (método convencional)	Ing. Francisco Noreña C. Ing. Carlos Castañeda N.
	11 a 12 h. 12 a 13 h.	EXCAVACION Técnicas de voladura	Ing. Arne Samuelson
	13 a 14 h.	COMIDA	
	14 a 15 h. 15 a 16 h.	EXCAVACION En roca (por medios mecánicos)	Ing. Jorge Gamboa Ch.
Sep. 7	9 a 10 a.m. 10 a 11 a.m.	EXCAVACION Túneles inclinados	Ing. Fernando Favela L.
	11 a 12 a.m. 12 a 13 h.	EXCAVACION En suelos blandos	Ing. Andrés Moreno F.
	13 a 14 h.	COMIDA	
	14 a 15 h.	EXCAVACION En suelos blandos	Ing. Andrés Moreno F.
	15 a 16 h.	SEGURIDAD	Ing. Raúl López C.

Fecha		Duración	Tema	Profesor
Sep.	8	9 a 10 a. m.	COSTOS Y CONTROL	Ing. Jorge A. Cabezut B.
		10 a 11 a. m.		
		11 a 12 h.	COSTOS Y CONTROL	Ing. Jorge A. Cabezut B. Ing. Luis R. Gorostieta
		12 a 13 h.	COSTOS Y CONTROL	Ing. Jorge A. Cabezut B.
		13 a 14 h.	COMIDA	
		14 a 15 h.	COSTOS Y CONTROL	Ing. Jorge A. Cabezut B. Ing. Luis R. Gorostieta
		15 a 16 h.	SOPORTE TEMPORAL	Ing. Guillermo Gil Flores
Sep.	9	9 a 10 a. m.	SOPORTE TEMPORAL	Ing. Guillermo Gil Flores
		10 a 11 a. m.		
		11 a 12 h.	REVESTIMIENTO	Ing. José Luis León T.
		12 a 13 h.		
		13 a 14 h.	COMIDA	
		14 a 15 h.	REVESTIMIENTO	Ing. Mario Aldape V.
		15 a 16 h.	REVESTIMIENTO	Ing. Manuel Mena F.
Sep.	10	9 a 12 h.	MESA REDONDA	
		12 a 13 h.	CLAUSURA, EVALUACION DEL CURSO, ENTREGA DE CONSTANCIAS.	
		13 a 14 h.	CONVIVIO	

'jdv 31/VIII/77

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

CONSTRUCCION DE TUNELES

INTRODUCCION PRIMERA PARTE

ING. JORGE GAMBOA CHAPARRO

SEPTIEMBRE DE 1977.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.

TUNELES - ANTECEDENTES HISTORICOS

LA CONSTRUCCION DE TUNELES SE REMONTA HASTA LOS TIEMPOS PREHISTORICOS, CUANDO EL HOMBRE PRIMITIVO, BUSCANDO ABRIGO Y PROTECCION CONTRA SUS ENEMIGOS, EXCAVO CUEVAS O BIEN AGRANDO ALGUNAS EXISTENTES.

EL TUNEL MAS ANTIGUO, ES QUIZA EL CONSTRUIDO EN LA ANTIGUA BABILONIA, HACE MAS O MENOS 4000 AÑOS, POR LA REINA SEMIRAMIS, O NABUCODONOZOR . ESTE TUNEL, PASANDO POR DEBAJO DEL EUFRATES COMUNICABA AL PALACIO REAL, CON EL TEMPLO DE JUPITER. SU LONGITUD ERA DE 1 KILOMETRO Y SU SECCION DE 3.6 x 4.5 M.

PARA LA CONSTRUCCION, EL RIO EUFRATES, FUE DESVIADO; LAS PAREDES DEL TUNEL FUERON DE LADRILLO PEGADOS CON UN MORTERO BITUMINOSO Y EL TECHO FORMADO POR UNA BOVEDA. ES DE SUPONERSE QUE PARA ESA EPOCA, LOS BABILONIOS TENIAN BASTANTE HABILIDAD EN LA CONSTRUCCION DE TUNELES, COMO PRODUCTO DE EXPERIENCIAS ANTERIORES.

EN JERUSALEM, EZEQUIAS, REY DE JUDEA, HACE 2,700 ANOS, CONSTRUYO UN TUNEL DE 200 M. DE LONGITUD Y CON SECCION DE 0.70 x 0.70 M., SERVIA PARA CONDUCIR AGUA DESDE UN MANANTIAL CERCANO. POR ESA EPOCA, LOS GRIEGOS CONSTRUYERON, PARA EL MISMO PROPOSITO UN TUNEL, DE 1,500 M. DE LONGITUD Y CON SECCION DE 1.8 x 1.8 M., EN LA ISLA DE SAMOS.

LOS ROMANOS EMPLEARON NUMEROSOS TUNELES EN SUS ACUEDUCTOS, ESPECIALMENTE INTERESANTE, ES EL CONSTRUIDO POR EL EMPERADOR ADRIANO PARA DAR AGUA A ATENAS, HACE 1,800 ANOS Y QUE, RECONSTRUIDO EN 1925, AUN PRESTA SERVICIOS; ANTES DE ESTE, SE HABIA PERFORADO UN TUNEL CARRETERO, EN LA COLINA DE POLISIPO, DE 900 M. DE LONGITUD Y 7.5 M. DE ANCHO, PARA EL CAMINO DE NAPOLES A POZZUOLI.

LA HABILIDAD DE LOS ROMANOS PARA EL TUNELEO LLEGA A MEXICO, A TRAVES DE LOS ESPANOLES, Y SE REFLEJA EN LA ENORME CANTIDAD DE GALERIAS CONSTRUIDAS EN NUESTRO PAIS PARA LAS EXPLOTACIONES MINERAS.

LA APARICION DEL FERROCARRIL, CON SUS LIMITACIONES DE PENDIENTE, INCREMENTO LA CONSTRUCCION DE TUNELES. EL PRIMER TUNEL PARA UN FERROCARRIL DE TRACCION ANIMAL FUE CONSTRUIDO EN FRANCIA PARA LA LINEA RUAN ANDRESSIEUX EN 1826 Y EN 1829, EN LA LINEA LIVERPOOL-MANCHESTER SE CONSTRUYO EL PRIMER TUNEL PARA UN FERROCARRIL CON TRACCION A VAPOR.

EN 1842, EL ING. BRUNEL TERMINO UN TUNEL DE 2 CARRILES BAJO EL RIO TAMESIS, EN LONDRES. EN ESTE TUNEL DE 150 M. DE LONGITUD CON SECCION DE 11.3 M. X 6.7 M., SE EMPLEO UN ESCUDO RECTANGULAR INVENTANDO POR EL PROPIO BRUNEL. GREATHEAD PERFECCIONO EL METODO USANDO UN ESCUDO CILINDRICO, CON TODO EXITO, EN LA CONSTRUCCION DEL TUNEL DE LA TORRE, BAJO EL MISMO RIO, UTILIZANDO DOVELAS DE HIERRO FUNDIDO COMO RECUBRIMIENTO.

LA NECESIDAD DE GRANDES TUNELES EXIGIO EL DESARROLLO DE NUEVAS TECNICAS Y HERRAMIENTAS Y ASI, DURANTE LA CONSTRUCCION DEL TUNEL DE MONT CENIS, ENTRE FRANCIA E ITALIA Y EMPEZANDO EN 1857, EL TALADRO HIDRAULICO FUE INTRODUCIDO Y FUE SEGUIDO POR LA PISTOLA NEUMATICA PERFECCIONADA POR SOMMELLIER, POR OTRA PARTE - LA DINAMITA FUE INVENTADA POR NOBEL EN 1864 Y, COMO RESULTADO, DE TODO LO ANTERIOR, EL NUEVO TUNEL FUE ABIERTO AL TRANSITO - DE TRENES EN 1871.

LA CONSTRUCCION DE LOS GRANDES TUNELES ALPINOS; GOTARDO, SIMPLON Y LOTSCHBERG EN SUIZA; SEMMENOG, TAUERN EN AUSTRIA; RONCO, COL-DI-TENDA EN ITALIA, ETC., PROPICIO EL DISENO DE EQUIPOS Y TECNICAS DE CONSTRUCCION MAS EFICIENTES QUE LAS PRECEDENTES Y ASI MISMO EL DESARROLLO DE LA TEORIA DE LA PRESION DE ROCAS, ANALISIS ESTRUCTURAL Y DIMENSIONAMIENTO DEL RECUBRIMIENTO DE - TUNELES.

CON EL ADVENIMIENTO DEL AUTOMOVIL Y LA CONSECUENTE CONSTRUCCION DE GRANDES AUTOPISTAS, HA SIDO NECESARIO PERFORAR UN GRAN NUMERO DE TUNELES CARRETEROS DE GRAN SECCION. LA MISMA NECESIDAD SE HA PRESENTADO EN LA CONSTRUCCION DE LOS GRANDES ACUEDUCTOS ACTUALES, SISTEMAS DE DRENAJES, PRESAS, PLANTAS HIDROELECTRICAS, ETC., SIN EMBARGO, ES EN LAS GRANDES CIUDADES EN DONDE EL INCREMENTO EN LA PERFORACION DE TUNELES HA SIDO MAS ESPECTACULAR CON LOS USADOS PARA LOS FERROCARRILES URBANOS (METRO), - DRENAJES, ETC., LA TENDENCIA GENERAL ES AL USO DEL SUB-SUELO, - PARA ALOJAR EN EL VIAS MASIVAS DE COMUNICACION, ENTRADA DE - BIENES Y SALIDA DE DESPERDICIOS, ALMACENAMIENTO DE MERCANCIAS,

ESTACIONAMIENTOS, TANQUES PARA LA REGULACION DE AGUAS DE LLUVIA ETC.

ASI PUES, PUEDE ASEGURARSE QUE LA PERFORACION DE TUNELES EN LAS GRANDES URBES APENAS COMIENZA.

UNA ESPECIAL ATENCION SE LE HA DADO EN EL ULTIMO CUARTO DE SI-- GLO A LOS METODOS RAPIDOS DE TUNELES CON UN CONTINUO PERFECCIO- NAMIENTO DE LOS EQUIPOS, TANTO PARA EL METODO CONVENCIONAL COMO CON ESCUDOS Y TOPOS.

ACTUALMENTE EL PROYECTO MAS AMBICIOSO EN EJECUCION ES EL TUNEL QUE LOS JAPONESES ESTAN HACIENDO PARA COMUNICAR SUS DOS ISLAS MAYORES HOKHAIDO Y HONSHU. EL TUNEL TIENE 34.5 KM. Y PASA BA- JO EL ESTRECHO DE TSUGARU.

CLASIFICACION DE LOS TUNELES.

LAS ESTRUCTURAS SUBTERRANEAS SE PUEDEN CLASIFICAR EN PRIMERA - INSTANCIA EN CUATRO CATEGORIAS;

A) AQUELLAS EMPLEADAS EN LA INDUSTRIA MINERA.

DENTRO DE ESTAS, ALGUNAS COMPRENDEN PASAJES MAS O MENOS - PERMANENTES QUE SIRVEN DE REDES DE TRANSPORTE DEL MINERAL - OBTENIDO Y OTRAS, EN LAS ZONAS DE EXPLOTACION, CAMBIAN CON- TINUAMENTE DE ACUERDO CON LAS VETAS; EN ESTAS ULTIMAS EL - SISTEMA DE SOPORTE, CUANDO LO TIENEN ES PROVISIONAL.

EXISTE UNA DIFERENCIA BASICA ENTRE LAS ESTRUCTURAS DESCRI-- TAS ANTES Y LOS TUNELES PROPIAMENTE DICHOS; EL PROPOSITO DE LA MINERA, ES LA EXPLOTACION DE LOS MINERALES, YLAS CAVIDA- DES HECHAS SON UN SUB-PRODUCTOS INDESEABLES, YA QUE CREAN - EL PROBLEMA ADICIONAL DE UN MANTENIMIENTO SUB-SECUENTE, PA- RA PREVENIR EL COLAPSO DEL SISTEMA ENTERO. POR OTRA PARTE LOS TUNELES SON CONSTRUIDOS CASI INVARIABLEMENTE COMO ESTRUC TURAS PERMANENTES, CUYO OBJETIVO BASICO, ES LA EXCAVACION - DE CAVIDADES ADECUADAS PARA EL TRANSITO O LA TRANSPORTACION, CUYO PRODUCTO INDESEABLE ES EL MATERIAL.

B) LA 2A. CATEGORIA DE ESTRUCTURAS SUB-TERRANEAS, ESTA CONSTI- TUIDA POR LOS TUNELES PROPIAMENTE DICHOS, CUYAS CARACTERIS- TICAS TIPICAS, FUERON DESCRITAS ANTES.

C) LA 3A. CATEGORIA COMPRENDE AQUELLAS ESTRUCTURAS SUBTERRA- -

NEAS QUE, O BIEN PUEDEN PROPORCIONAR PROTECCION CONTRA - ATAQUES AEREOS O PERSONAS, MATERIALES, Y AUN A FABRICAS ENTERAS DE IMPORTANCIA ESTRATEGICA, DESDE EL PUNTO DE VISTA MILITAR, O BIEN SIRVEN PARA ALOJAR INSTALACIONES COMO ES EL CASO DE CASAS DE MAQUINAS EN LOS SISTEMAS HIDROELECTRICOS.

D) FINALMENTE, EN LAS GRANDES CIUDADES HA SIDO INDISPENSABLE EL USO DE ESTRUCTURAS SUBTERRANEAS PARA DIFERENTES SERVICIOS, EJEMPLOS TIPICOS DE ELLAS SON ESTACIONAMIENTOS, GARAGES, BODEGAS, ETC.

TUNELES

LOS TUNELES PUEDEN SER DEFINIDOS DE UNA MANERA SIMPLE COMO - "ESTRUCTURAS SUBTERRANEAS AL TRANSPORTE DE PERSONAS O BIENES - Y CONSTRUIDAS, GENERALMENTE, SIN AFECTAR LA SUPERFICIE".

LAS DEMANDAS DE TRANSPORTES DE PASAJEROS Y BIENES SE HAN INCREMENTANDO NOTABLEMENTE EN LOS ULTIMOS TIEMPOS Y EL PROPOSITO DE LOS TUNELES ES ASEGURAR ESA TRANSPORTACION A TRAVES DE CIERTOS OBSTACULOS. ESTOS OBSTACULOS PUEDEN SER, MONTAÑAS, - RIOS, AREAS URBANAS DENSAMENTE POBLADAS, ETC.

DEPENDIENDO DE SU FINALIDAD, LOS TUNELES PUEDEN DIVIDIRSE EN 2 GRUPOS PRINCIPALES:

1.- TUNELES PARA TRANSITO Y
2.- TUNELES PARA CONDUCCION.

QUE A SU VEZ QUEDAN CLASIFICADOS COMO SIGUE:

1.- TUNELES PARA TRANSITO

A) TUNELES PARA FERROCARRIL

B) TUNELES PARA CAMINOS

C) TUNELES PARA PEATONES

D) TUNELES PARA NAVEGACION

E) TUNELES PARA METRO

2.- TUNELES PARA TRANSPORTE

A) TUNELES DE PRESION PARA CENTRALES HIDROELECTRICAS.
B) TUNELES PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA
C) TUNELES PARA DRENAJE
D) TUNELES PARA ALOJAR INSTALACIONES DIVERSAS, PARA SERVICIOS PUBLICOS; ENERGIA, COMUNICACIONES, ETC.
E) TUNELES PARA TRANSPORTE DE MERCANCIAS Y MATERIALES EN CIUDADES Y PLANTAS INDUSTRIALES.

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

CONSTRUCCION DE TUNELES

ESTUDIOS PRELIMINARES Y CONSIDERACIONES DE DISEÑO

ING. LUIS VIEITEZ

AGOSTO DE 1977

2. ESTUDIOS PREVIOS Y CONSIDERACIONES DE DISEÑO.

2.0 Antes de tratar el tema de este capítulo, conviene resaltar algunas características inherentes a la construcción de túneles.

2.0.1 De todas las áreas de construcción pesada, la de obras subterráneas y túneles es la más riesgosa, porque contiene muchos imponderables. Sin embargo, el contratista siente una especial atracción por ella, quizá porque, como el buscador de oro, siempre espera que detrás de un gran riesgo puede encontrarse una jugosa ganancia.

2.0.2 Las decisiones que han de tomarse en la planeación y en el cálculo del costo de este tipo de obras, son de carácter complejo, dado que deben considerar y ponderar aspectos tan disímbolos -- como por ejemplo el impredictible comportamiento de una geología heterogénea, la selección del método de tuneleo más adecuado, o las consecuencias, en el avance, de la descompostura de un determinado equipo.

Para ilustrar mejor lo que esto significa, véase la figura 1, en la que se presentan, en forma gráfica, los datos estadísticos del Bureau of Reclamation de EEUU sobre concursos de obras de distinto tipo, efectuados entre 1965 y 1970. Para cada tipo se presenta el valor del concurso como porcentaje del valor calculado por el cliente. La diferencia entre el valor medio del concurso y el cálculo del cliente es máxima en el caso de túneles. También en este caso, es máxima la dispersión de valores respecto al valor medio.

Esta información, como otras sobre el mismo tópico, revelan que existe un alto grado de incertidumbre entre los contratistas y los propietarios en el momento de estimar las dificultades y el costo de construcción, cuando de túneles se trata.

2.0.3 En túneles, más que en cualquier otra obra de ingeniería, el método de construcción determina el diseño y viceversa. Es decir, hay una alta dependencia entre los dos. Pero además, por ser obras que están enteramente "encerradas" en un ambiente natural, -en un ambiente geológico-, al que se tiene poco o ningún acceso de antemano, su construcción depende de la reacción de ese ambiente, la cual, en gran medida, se va conociendo conforme se manifiesta, y no antes. Es por ello, que el diseño en túneles está dado sólo en parte previo a la construcción, porque durante ésta es posible que reacciones no previstas del ambiente geológico obliguen a ajustar o incluso modificar radicalmente el diseño previo.
Es necesario aceptar, pues, que, diseño -construcción- geología, es una relación de interdependencia dinámica, que se mantiene viva, en evolución, durante toda la ejecución de una obra subterránea, de un túnel. En varios casos esta relación persiste -especialmente la de los dos extremos de la terna; durante la operación de la obra.

2.0.4 Aceptar estas características, inherentes a las obras de túneles, no es, como pudiera suponerse, cosa fácil. Todos los esfuerzos que se hacen en el presente por perfeccionar los métodos de contratación en este tipo de construcción tienen, primero, que vencer la resistencia a aceptarlas, y es que hacerlo, supone aceptar también una responsabilidad compartida del cliente, el proyectista y el constructor, y ésto no siempre se hace evidente a priori.

2.0.5 No se piense por ésto que el panorama es pesimista. Todo lo contrario. El número de obras de túneles promete multiplicarse enormemente en el futuro inmediato (ver tabla 1) y en todo el mundo hay gente dedicada a encontrar respuesta a los problemas que hoy todavía se plantean dentro de las diversas

facetas de estos trabajos de la Ingeniería civil. En todo lo que va del siglo los adelantos han sido notables, pero los han sido más en los últimos diez años y habremos de ver progresos sorprendentes en los años por venir.

2.0.6 La Ingeniería de Suelos y la de Rocas, la Ingeniería Geológica, la Investigación de Operaciones, la Ingeniería Mecánica, son solo algunas de las muchas ramas que están aportando nuevos elementos al "arte de las obras subterráneas".
En este capítulo van a esbozarse las secuencias de trabajo que actualmente se siguen, o están en vías de desarrollo, en geotecnia para definir el ambiente geológico en que se va a desarrollar determinada obra subterránea, acotar su intervención en el diseño y valorar su respuesta durante la construcción.

2.1 El Método Geotécnico.

2.1.0 El método que Karl Terzaghi ideó y utilizó con éxito en muchos problemas geotécnicos, está basado en la observación. Peck (1969) lo ha bosquejado en la siguiente forma:

1. Exploración suficiente para establecer, cuando menos, la naturaleza, la disposición y las propiedades de los diferentes estratos que interesan, en forma no necesariamente detallada.
2. Definición de las condiciones más probables y de las desviaciones más desfavorables que se conciban respecto a esas condiciones. En esta definición frecuentemente la geología juega un papel importante.
3. Establecimiento del diseño, basándose en una hipótesis práctica de comportamiento previsto bajo las condiciones más probables.
4. Selección de las cantidades o parámetros que deben observarse durante la construcción, y cálculo de sus valores previstos sobre la base de la hipótesis práctica.

5. Cálculo del valor de los mismos parámetros en las condiciones más desfavorables que permita suponer la información disponible del subsuelo.
6. Elección anticipada de la acción a seguir o de la modificación del diseño para cada desviación significativa previsible de los datos de las observaciones respecto a aquellos presupuestos a partir de la hipótesis práctica.
7. Medición de los parámetros que deben observarse y evaluación consiguiente de las condiciones reales.
8. Modificación, en su caso, del diseño para adaptarlo a las condiciones reales.

   Cabe mencionar que los resultados de la observación pueden también utilizarse más allá de los requerimientos inmediatos del proyecto, es decir, para perfeccionar el estado del conocimiento en el diseño y la construcción, en este caso, de túneles.

2.1.1 Llevado al problema del diseño y la construcción de obras subterráneas, y, en particular, de túneles, el método opera a base de procedimientos y herramientas desarrolladas por la Ingeniería de Suelos, la Ingeniería de Rocas, la Ingeniería Geológica, la Investigación de Operaciones y el Análisis de Costos. Toda esta ensalada ha de ir, por supuesto, bien sazonada con una buena dósis de sentido común, de buen criterio y de intuición ingenieril.

2.1.2 Estudios previos a la construcción.

La exploración previa a la construcción debe ir encaminada a obtener información de aquellos aspectos geológicos que habrán de afectar la operación de tuneleo.

El primer paso es establecer un marco geológico general del área echando mano de toda la información disponible: Mapas, aerofotografías e información sobre experiencia previa de tuneleo en la zona. Deberá además, llevarse a cabo un reconocimiento

geológico general, lo que se llama vulgarmente "caminar la geología".

Así pueden quedar establecidos un rango probable de tipos de rocas, de estructuras (geológicas), de regímenes de agua subterránea, de grado de fracturación y de intemperización, de condiciones probables a nivel de túnel, así como una historia geológica tentativa.

Especial atención deberá ponerse, desde los primeros estudios, a identificar y evaluar los riesgos potenciales, los rasgos geológicos críticos, que, en un momento dado, pueden causar retrasos o paros de la obra, que pueden originar problemas de seguridad o de estabilidad, o que pueden requerir medidas especiales para poder continuar las operaciones de tuneleo. Además se delimitarán las zonas donde la información geológica es inadecuada o donde se carece de ella.

Una vez dado este primer paso se podrá elaborar un programa más detallado de exploración, ahora sí enfocado a delinear la geología faltante y a determinar, con la precisión que permita el estado del conocimiento, a qué grado los rasgos geológicos críticos y los riesgos que se anticipan realmente van a encontrarse a nivel de túnel; también habrán de verificarse las condiciones promedio que el túnel habrá de encontrar durante su construcción.

Cording et al. (1975) recomiendan que el informe, previo a la construcción, de las condiciones a nivel de túnel, contenga los siguientes datos:

1. Introducción
   a) Alcance. Propósito
   b) Descripción del área y del proyecto
2. Rasgos geológicos de importancia Ingenieril
   a) Marco geológico general. Tipo de rocas. Estructura. Breve historia geológica
   b) Descripción de la calidad de la masa de roca (RQD y grado de fracturación.)

c) Grado de intemperización o alteración

d) Juntas o diaclasas, fracturas por cortante, y zonas de cortante.

(1) Sistemas de diaclasas: orientación y características de las familias de diaclasas, foliación, planos de estratificación.

(2) Orientación y características de las fallas y zonas de cortante y otras superficies de falla con caras pulimentadas por deslizamientos previos (slickensided) o cubiertas por material descompuesto.

(3) Localización de las principales fallas y zonas de cortante.

e) Cubierta de roca, contornos de la roca basal y propiedades significativas de los suelos, si habrán de encontrarse condiciones de frentes mixtos (parte suelo y parte roca), si tendrán que excavarse lumbreras en estos materiales o si se preve la consolidación y el asentamiento consiguiente de los suelos que se encuentren sobre el túnel.

f) Resumen de las zonas de baja calidad a lo largo del túnel.

g) Propiedades significativas de la roca intacta.

(1) Resistencia a la compresión

(2) Dureza

(3) Flujo plástico

(4) Tenacidad a desintegrarse

(5) Capacidad de expansión

(6) Propiedades del material de relleno en juntas y fracturas y del de otras zonas de suelo.

(a) Flujo plástico

(b) Expansibilidad

(c) Plasticidad; granulometría

(d) Resistencia al corte residual

h) Estado de esfuerzos en sitio

i) Condiciones de agua subterránea

j) Interpretación de resultados

3. Historia de construcciones anteriores en el área del Proyecto

Casos, resumen de datos de sondeos y pruebas.

4. Condiciones probables del terreno al nivel del túnel.

a) Clasificación del terreno al nivel del túnel (calidad de roca, procentajes esperados de diferentes tipos y calidades de terrenos)

b) Naturaleza y extensión de movimientos potenciales de roca y de sobreexcavación para los trazos dados.

(1) Efectos de las diaclasas, las fallas y zonas de cortante y las zonas descompuestas.

(2) Efecto de los esfuerzos en sitio.

(3) Efecto del agua subterránea

c) Infiltraciones de agua estimada.

(1) Máxima infiltración en la frente

(2) Máximas infiltraciones a lo largo del túnel (rangos de gasto por longitud de túnel o por zonas definidas de terreno a nivel del túnel).

(3) Presión de agua.

d) Riesgos en el tuneleo.

Resaltar los rasgos que se anticipa que pueden provocar colapso, requerir medidas de emergencia, acarrear cambios importantes en los métodos de excavación o en los sistemas de soporte, poner en peligro vidas y propiedades, o disminuír o interrumpir el ritmo del tuneleo. (Ej. gases, altas temperaturas y entradas de agua, zonas decomprimidas, zonas con esfuerzos residuales, valles enterrados, cavernas y Karst, etc.)

5. Métodos de diseño y de construcción.

a) Tipo de soporte inicial y amplitud de las cuñas y bloques de roca que deben soportarse, capacidades de carga requeridas, orden y tiempo de instalación.

b) Procedimientos de soporte especiales (excavación por etapas, pre soporte).

c) Métodos de excavación (requisitos de tronadas cuidadosas posibilidad del empleo de máquinas tuneladoras).

d) Diseño del revestimiento final (bloques de roca que se deben soportar, otras condiciones de carga, criterio de carga de diseño, capacidad de carga prevista del revestimiento, factores que pueden deteriorarlo)

6. Instrumentación. Observaciones.

a) Comportamiento que debe registrarse y observarse a lo largo del tiempo, incluídas las observaciones rutinarias suplementarias.

b) Métodos de medición y registro, especificaciones, coordinación con construcción.

c) Criterios que han de usarse para evaluar la información. Métodos para modificar el diseño y la construcción en base a los resultados de las observaciones.

2.1.3. El resultado final de un programa de exploración previa a la construcción no es sólo obtener un resumen de las condiciones de la roca en el sitio, sino también interpretar estas condiciones en términos de su significación en el diseño y la construcción del túnel. Este resultado es de fundamental utilidad tanto para el cliente-proyectista como para el constructor.

Muchas de las reclamaciones en la construcción de túneles provienen no de cambios o condiciones imprevistas en la geología, sino más bien de cambios de construcción que se hicieron necesarios cuando el comportamiento del túnel y los problemas constructivos no fueron debidamente previstos a partir de los datos geológicos disponibles.

Esta situación es explicable, algunas veces, si se toma en -- cuenta el carácter frecuentemente burdo y aproximado que guarda el estado actual del conocimiento, pero muchas otras revela, en cambio, una incompleta comunicación entre el proyectista y las brigadas de exploración, entre el ingeniero y el geólogo o entre el encargado del diseño y el responsable de la-- construcción.

Estas lagunas de comunicación desaparecen, al menos en gran-- medida, si los datos de la exploración previa a la construc-- ción se presentan en forma tal que describan con claridad las condiciones de terreno que se preven al nivel y a lo largo -- del túnel, que detallen las suposiciones que se han hecho en- relación con la construcción, y que resalten el efecto que -- las condiciones diferentes de la roca pueden tener en determinados procedimientos de excavación y de soporte. Es decir,-- presentar tan sólo los registros de los barrenos y trabajos-- de exploración es dar un panorama muy limitado de las condi-- ciones del terreno al nivel del túnel. Estos registros ad--- quieren verdadero significado cuando se correlacionan con -- otros barrenos y resultados de exploración y finalmente se interpretan.

El informe cuyo formato se acaba de presentar es el más recomendable para garantizar una buena comunicación entre las partes que intervienen en el diseño y construcción de un túnel.

La prueba de que se reconoce cada día más la importancia de - que esta comunicación sea efectiva es que, en los últimos --- años, se están promoviendo con mucho ímpetu disciplinas como- la Ingeniería Geológica o Geología del Ingeniero. Los ras--- gos geológicos detallados, especialmente los que tienen sig-- nificación estructural (ingenieril) son por lo general obje-- to de estudio del geólogo ingeniero. Los mecanicistas de suelos y de rocas, por lo común, saben poco de las estructu ----

ras geológicas, y los geólogos no tienen la preparación para evaluar sus consecuencias mecánicas.

2.1.4 Hasta ahora se ha tratado el tema de estudios previos a partir del caso más general, que es el de túneles en roca y en frentes mixtos (parte roca y parte suelo). La exploración previa en el caso de túneles en suelo debe considerar que interesa además de la estabilidad propia deltúnel y su integridad, que el tuneleo mismo no cause movimientos alrededor de la excavación que provoquen asentamientos en las vecindades del túnel que causen perjuicios a construcciones, instalaciones o propiedades. Los túneles en roca pueden ser fuente de daños a terceros, por el uso de explosivos que causen vibraciones inaceptables, por la consolidación y el asentamiento de suelos que descansen sobre la roca en que se tunelea cuando aquellos tiendan a drenar hacia la excavación, por el abatimiento de niveles freáticos, al haber filtraciones hacia el túnel.

Los efectos en estructuras vecinas, cuando de tuneleo en suelos se trata, depende de estos factores:

1. Volumen de suelo perdido (esta perdida se produce inmediatamente alrededor del túnel), su ubicación y distribución alrededor de la periferia del túnel y su relación con los procedimientos de excavación y soporte.
2. Cambios volumétricos en la masa de suelo que rodea el túnel.
3. Distribución de los desplazamientos laterales y verticales dentro de la masa de suelo.
4. Volumen y forma de la hondonada que, por asentamiento, se forma en la superficie del terreno; asentamiento máximo y límite de los asentamientos significativos y de los desplazamientos laterales.
5. Sensibilidad de las estructuras a los movimientos; movimientos admisibles.

6. Medidas empleadas para evitar o disminuir los daños a -- construcciones, instalaciones o propiedades. Recimentaciones. Tratamientos por inyección de lechadas y de --- productos químicos.

O sea que en túneles en suelos, generalmente con más frecuencia que en túneles en roca, el aspecto de daños posibles en propiedad ajena reviste particular importancia y debe tratarse con todo detalle en el informe de estudios previos a la-- construcción.

Por lo demás, el informe es recomendable que tenga un formato semejante al ya tratado, o sea:

1. Introducción (Descripción del área del proyecto y del -- proyecto mismo.)
2. Rasgos del Perfil de Suelos.
   a) Estructura y distribución de los suelos.
   b) Propiedades significativas.
      (1) Propiedades índice
      (2) Resistencia al corte
      (3) Compresibilidad y expansibilidad
      (4) Extruibilidad
      (5) Permeabilidad
   c) Resumen de las zonas de suelos problema o de baja calidad.
   d) Historia de cargas
   e) Condiciones de agua subterránea
   f) Interpretación de resultados.
3. Historia de Construcciones Anteriores en el Area del Proyecto. Levantamiento de construcciones e instalaciones-- en el área que puedan verse afectadas por el tuneleo.
4. Condiciones probables del terreno al nivel del túnel.
   a) Naturaleza y calidad de los suelos
   b) Infiltraciones de agua
   c) Riesgos en el tuneleo. Atención especial a la presencia de suelos problema (suelos que corren o que fluyen,

suelos que se extruyen, suelos que se hinchan) y a las consecuencias previsibles, (daños al túnel mismo y daños a terceros).

5. Métodos de Diseño y de Construcción.
   a) Revestimiento primario. Soportes temporales.
   b) Tratamientos especiales (abatimiento del nivel freático, inyección de productos químicos, congelación, recimentación)
   c) Métodos de excavación (escudos, aire comprimido).
6. Instrumentación. Observaciones.
   a) Comportamiento del túnel y desempeño de las máquinas tuneladoras en su caso.
   b) Movimientos alrededor del túnel y en la superficie.
   c) Criterios que han de usarse para evaluar la información dada por las mediciones. Métodos para modificar el diseño y la construcción en base a los resultados de las observaciones.

(Nota: En la exposición oral se comentarán algunos ejemplos que ilustren la importancia del informe previo a la construcción).

2.2. ANALISIS ECONOMICO.

2.2.0 El análisis económico, cuyo punto medular es la estimación del costo, se hace por procedimientos tradicionales, tal como se explica en su oportunidad en este curso (capítulo 7) Hay, sin embargo, investigaciones recientes que pretenden complementar estos procedimientos para manejar aspectos de incertidumbre y riesgo que éstos dejan de lado.

2.2.1 Aquí se va a comentar un trabajo de investigación aplicada que se está realizando en el Massachusetts Institute of Technology (MIT) para desarrollar un modelo práctico de análisis de costo de túneles, que pretende complementar los procedimientos tradicionales, haciendo intervenir aspectos que éstos no están en posibilidad de manejar debidamente.

Se considera que los procedimientos tradicionales de análisis no dan la importancia suficiente a las consecuencias que en el tiempo y en el costo de ejecución tienen las incertidumbres geológicas; en cambio, se le presta mucha atención a la evaluación sistemática de estrategias alternativas; o se inclinan más a repasar una y otra vez las repercusiones en tiempo y costo que tienen las variaciones en rendimiento, aún cuando la geología resulte ser la prevista.

El Modelo de Costo de Túnel (MCT) como se le llama, ayuda al ingeniero que hace la estimación de costos, a suplir estas deficiencias. Primero, le permite evaluar las que parecen ser las dos incertidumbres críticas en tuneleo — la geología a lo largo del túnel, y el ritmo de avance—; Segundo, el modelo le proporciona una herramienta rápida, eficiente y precisa de estudiar localizaciones alternativas de túnel y opciones de construcción.

El modelo cumple estos objetivos combinando el conocimiento y la experiencia práctica, acumulados por Ingenieros--

(proyectistas), contratistas y geólogos, las técnicas de probabilidad y simulación y la velocidad y eficiencia de las computadoras.

Se ha diseñado el modelo para que sea adaptable a los requerimientos de contratistas, evaluadores de costos, ingenieros (proyectistas) o clientes, que suelen tener todos diferentes propósitos y necesidades. Posee además, flexibilidad suficiente para aceptar nuevos datos conforme se vayan produciendo.

2.2.2. Los modelos de costo de túnel anteriores, estaban enfocados, al igual que los métodos tradicionales de estimación de costos, a los aspectos técnicos cuantificables del tuneleo que influyen en el costo y el avance. El nuevo modelo (MCT) va más allá, y trata explícitamente el área de incertidumbre y riesgo.

El MCT evalúa cuantitativamente las incertidumbres propias de una obra subterránea, y tiene el detalle necesario para auxiliar en la preparación de estimaciones de costo y de ofertas para concurso. El modelo emplea técnicas de probabilidad subjetiva (o "grado de confiabilidad") y de simulaciones Monte Carlo de las operaciones de construcción de túneles para determinar distribuciones de costos de ejecución y de tiempos de construcción. Su aplicación, por el momento, se limita a túneles en roca.

Dos son las fuentes principales de incertidumbre en las estimaciones que toma el modelo en cuenta: 1) la incertidumbre en la predicción de las condiciones geológicas y 2) La incertidumbre en la estimación de los costos y del rendimiento de las actividades de construcción.

Para ajustarse lo más posible al proceso que siguen los ingenieros y constructores de hoy para estimar el costo en relación con la construcción de un túnel, el MCT se divide en tres partes principales o submodelos: el submodelo geo

lógico, el submodelo de construcción y el submodelo de simulación del proceso de tuneleo.

El submodelo geológico restructura la información geológica disponible en términos de enunciados probabilísticos de la geología al nivel del túnel. El submodelo de construcción calcula velocidades de avance y costos mediante la simulación de ciclos de las actividades de construcción bajo diferentes condiciones geológicas. El submodelo de simulación del tuneleo genera muchos perfiles probables de las condiciones del terreno a lo largo del trazo del túnel, basados en la información del submodelo geológico; a partir de ellos simula la construcción del túnel en cada uno de estos perfiles, acudiendo a las estimaciones de velocidades de avance y de costos por ciclo producidos por el submodelo de construcción.

Como cada perfil reproduce una interpretación posible de las condiciones al nivel de túnel, la simulación del tuneleo en realidad produce muchas estimaciones del túnel terminado. Estas estimaciones forman una distribución de probabilidades del costo total y de la duración total del proyecto.

Esta distribución es además una medida de la incertidumbre en la estimación; más aún, los resultados consiguientes del modelo aclaran las fuentes de esta incertidumbre.

Los usuarios pueden entonces interpretar estos resultados para buscar procedimientos alternativos de construcción que mejoren el costo y el tiempo y que disminuyan los riesgos de su proyecto.

2.2.3 A continuación se va a exponer, en forma condensada, el ejemplo que presenta uno de los investigadores que han desarrollado el modelo.

Simulación del tuneleo.

La figura 3 presenta un perfil geológico prealpino en el que las formaciones son principalmente de calizas y de lutitas.

El modelo abarca una longitud de túnel de 4,000 m. ubicado en dicho perfil; la sección recta del túnel es la mostrada en la figura 4.

El plegamiento recumbente produce una geología relativamente complicada, sin embargo, esta complejidad se compensa con la topografía abrupta que permite dejar en buena parte al descubierto afloramientos de los estratos. La figura 3 es, pues, un facsímil representativo del tipo de información disponible para este túnel-- en los documentos de concurso.

Los números en círculo, en la figura 3, corresponden a áreas específicas de incertidumbre en la interpretación geológica, cuya relación aparece en la tabla 2.

La información en la figura 3, y en la tabla 2, se utiliza para - definir unidades, estados y segmentos geológicos adecuados para - asignar probabilidades a los estados y a las unidades y para elegir métodos de construcción y procedimientos convenientes a cada- estado geológico descrito.

La figura 5 es un ejemplo de la descripción de una unidad geológica en forma de un árbol de posibilidades.

Cada característica, enunciada en la parte superior, se valúa en- forma paramétrica; los rangos de valores son ramas del árbol. Un estado geológico determinado está representado por una combina--- ción única de ramas que llegan finalmente a uno de los nodos de - la extrema derecha. El árbol completo es el conjunto de características posibles de una unidad geológica. Cada unidad geológica tiene un árbol determinado. Las probabilidades que se asignan a- cada rama están basados en la opinión que el geólogo expresa so-- bre su posibilidad o grado de ocurrencia.

La tabla 3 es un ejemplo del proceso empleado (proceso de Markov) para expresar la posibilidad de que una determinada unidad geológica, o un determinado defecto geológico mayor, ocurra en determinado segmento o tramo del túnel y se extienda hacia otro segmento contiguo, cuando el geólogo no está plenamente seguro de su ubicación y de su amplitud.

De nuevo en el ejemplo del modelo de simulación, baste para la -- discusión, resumir lo siguiente:

Se definen seis unidades de lutita y ocho unidades de caliza. Para reproducir probabilísticamente las características de estas catorce unidades, se especifican cincuenta y seis estados geológicos independientes y se asignan probabilidades adecuadas a la descripción del geólogo. Así por ejemplo, el siguiente estado tendría una alta probabilidad de describir la unidad de lutita cercana a la estación que representa una zona de falla del estrato de lutitas. (Est. 0+850)

Foliación	:	Sí
Gas presente.	:	Sí
Fallas o capas de arcilla	:	Falla
R.Q.D.	:	Se supone bajo
Infiltración de agua	:	Alta
Resistencia a la compresión	:	Baja

Para tener en cuenta la incertidumbre, otros estados se incluyen en la descripción probabilística de esta unidad; sin embargo la posibilidad de que la describan realmente es menor que la del estado presentado arriba.

Para reproducir los estratos y rasgos de la figura 3 y las incertidumbres de la tabla 2, se han definido 28 tramos de túnel, que se muestran en la parte inferior de la figura 3. Para cada tramo o segmento se construyen tablas de Markov como la de la tabla 3.

Estrategia de construcción.

La estrategia elegida para el ejemplo supone dos frentes de ataque simultáneo. La roca en zonas no falladas, se excava a sección completa por barrenación y voladura. Como soporte se emplea concreto lanzado y pernos de roca; cuando el RQD se espera que sea bajo, se instala malla junto con los pernos. El agua excesiva se controla mediante inyecciones. No se emplean barrenos exploratorios.

En zonas de falla se excava por el método de sección superior y banqueo y con soporte de marcos metálicos. Se efectúan barrenos

de exploración y el agua excesiva se controla también mediante inyecciones.

Se introducen parámetros probabilísticos de construcción (dependientes e independientes de la geología), utilizando rangos de valores. Además, para las variables de construcción que dependen de la geología (por ejemplo, velocidad de penetración en la barrenación, espesor de concreto lanzado, espaciamiento de pernos, etc.), se introducen valores independientes para cada uno de los 56 estados geológicos a los que pertenece cada variable.

Los parámetros independientes de la geología son, por ejemplo, descomposturas mecánicas, descarrilamientos, productividades, frecuencia de avance de instalaciones, tiempos de arranque de operaciones.

Por ejemplo, la tabla 3 comprende una parte de la información de construcción que da la sobrexcavación esperada, en cm., para un ataque a sección completa con barrenación y voladura, en caliza.

Los números de los nodos finales corresponden a los nodos finales del árbol descriptivo de la caliza en la figura 5. Nótese que los valores optimista, más probable y pesimista, se emplean para reproducir incertidumbres independientes de la geología, tales como la variación en productividad. Las diferencias en sobrexcavación atribuibles a la geología están representadas por los diferentes conjuntos de valores correspondientes a cada grupo de nodos finales.

Rutinas de Simulación.

Las tres rutinas de simulación que comprende el MCT son:

1) Simulación de ciclos de actividades de construcción en ambientes geológicos homogéneos y uniformes. Cada ambiente viene definido por un estado geológico. Se obtienen así distribuciones de costo y tiempo de ciclo para cada estado geológico.
2) Simulación de perfiles de túnel. El propósito es elegir un estado geológico que describa las condiciones en cada tramo o segmento de túnel.

3) Simulación de los ciclos de las actividades de tuneleo en los diferentes perfiles producidos en 2. El propósito es obtener las distribuciones deseadas de costo y tiempo de tuneleo totales.

1) Simulación de los ciclos de construcción. Esta simulación se efectúa mediante el submodelo de construcción; éste usa de momento tres redes o sistemas representativos de otros tantos métodos constructivos (sección completa; media sección superior y banqueo; y máquina tuneladora o "topo").* Como cada método constructivo puede utilizarse en más de un conjunto de condiciones geológicas y como las condiciones geológicas influyen en los valores de algunas variables de construcción, las simulaciones se llevan a cabo para cada método en cada estado geológico aplicable.

En el submodelo de construcción cada red o sistema contiene una multiplicidad de trayectorias que representan las actividades individuales de excavación, rezaga, soporte, manejo del agua o drenaje y barrenación de exploración.

Por lo tanto, cada trayectoria del sistema simulada contiene actividades asociadas al método. Cada una de estas actividades puede describirse en términos de una o más ecuaciones de desempeño, de costo o de tiempo. Estas ecuaciones contienen las variables de construcción como parámetros. Se logra así un lazo de unión entre condiciones geológicas, método empleado, y costo y velocidad de avance del túnel a este nivel de actividad.

Las ecuaciones de desempeño dan por resultado el número de metros de avance por ciclo. Las de tiempo, el lapso de tiempo requerido para cumplir cada actividad, los tiempos sumados dan el tiempo total por ciclo. Las ecuaciones de costo producen valores del costo variable por actividad,

* En desarrollos más recientes se incluyen otros métodos constructivos como ataque por excavaciones parciales múltiples.

que, sumados, dan el costo variable total por ciclo. Cada corrida a lo largo de la trayectoria produce un conjunto de resultados en metros avanzados, tiempo y costo variable.
Cada valor de tiempo y longitud de avance se almacena junto con el valor de costo del ciclo como un punto para una corrida de simulación. Como algunos de los parámetros de construcción en las ecuaciones de actividad son probabilísticos, conforme se repiten las simulaciones el número de veces que el usuario haya especificado, se obtiene una distribución de muchos puntos que representan los costos y tiempos de ciclo. Para mayor claridad véanse las figuras 6 y 7.
La figura 6 muestra la distribución de tiempo del ciclo obtenida simulando la construcción a través de un estado geológico caracterizado por una caliza de alta resistencia a la compresión, sin fallas ni capas de arcilla, con un RQD medio y con infiltración de agua baja. La figura 7 es la distribución obtenida de simular la construcción a través de una caliza de baja resistencia, que contiene capas de arcilla y que manifiesta infiltración de agua excesiva.
Distribuciones de este tipo habrán de producirse para cada uno de los 56 estados geológicos que se han especificado para reproducir probabilísticamente las características de las catorce unidades en que se excavará el túnel.
Asimismo, se producen distribuciones de costo para los ciclos de construcción simulados en cada estado geológico.
La simulación de construcción en un estado geológico equivale a la simulación de tuneleo en un material homogéneo.
La dispersión en una u otra de las distribuciones de las figuras 6 y 7 por consiguiente, no son atribuibles a la geología, sino a tres causas: 1) Las variables probabilísticas de construcción (variables de tiempo, como lo que se tarda en instalar un perno; variables técnicas, como la cantidad de sobrexcavación). 2) Las actividades de mantenimiento que se efectúan en determinados ciclos; y 3) accidentes o retra-

sos inesperados simulados en determinados ciclos.

La media de la distribución en la figura 6 es 7.9 horas por ciclo en la fig. 7, 11.3 horas por ciclo. Esta diferencia sí es atribuible a la geología, en particular, al mayor tiempo requerido para inyectar y para instalar soporte adicional en la caliza menos competente.

El promedio de avance por ciclo en la figura 6 es de 3.25 m; y en la figura 7, de 2.64 m.

2) Simulación de perfiles geológicos posibles del túnel. La simulación la efectúa el modelo de simulación del túnel, con la información que le proporciona el submodelo geológico. Este construye funciones inversas de distribución acumulativa a partir de las probabilidades asignadas a los estados dentro de las unidades geológicas (Ver fig. 5) a partir de las tablas de probabilidad de Markov (Tabla 2) reordena los tramos o segmentos de acuerdo con relaciones de dependencia o de independencia, para establecer el orden en que los segmentos son simulados. Finalmente el submodelo geológico construye funciones inversas de distribución acumulativa para las probabilidades de cada renglón de cada tabla de Markov.

El modelo de simulación del túnel evalúa los segmentos en el orden establecido por el submodelo geológico.

Elige la tabla de Markov a utilizar (la del tramo en cuestión si éste es independiente y la del inmediato anterior si es independiente) e introduce en la función inversa de distribución acumulativa respectiva un número aleatorio (generado de una tabla de números aleatorios) y elige así la unidad geológica a ser simulada dentro del segmento correspondiente. Elegida la unidad, el modelo de simulación va a la función inversa de distribución acumulativa referente a los estados geológicos dentro de esta unidad, e introduce otro número aleatorio para determinar el estado que describirá la unidad.

Este estado pasa a ser la descripción de las condiciones geológicas que habrán de encontrarse en el tramo en cuestión y en el perfil geológico considerado.

El modelo de simulación repite el proceso para cada segmento del túnel hasta completar un perfil. Después empieza de nuevo para simular otro perfil y así sucesivamente hasta contar con el número de perfiles especificados por el usuario. La figura 8 muestra tres de estos perfiles, basados en las descripciones probabilísticas de geología, incluídas las 14 unidades y los 56 estados geológicos.

Representan tres de las muchas interpretaciones posibles de las condiciones al nivel del túnel. Nótese que las condiciones a lo largo del trazo se expresan en términos de los estados particulares presentes en cada uno de los segmentos.

3) Simulación de las Actividades en el Túnel. La simulación de las actividades de tuneleo en los diferentes perfiles geológicos son producidos en la rutina final de simulación del MCT.

Se genera un costo total y un tiempo de ejecución total para cada perfil geológico. ¿Cómo?, simulando ciclo por ciclo la construcción del túnel en cada perfil, y reteniendo para cada ciclo el tiempo total y el costo directo, así como la longitud de avance, una vez que se ha simulado la construcción total del túnel de esta manera, el modelo de simulación suma los costos directos de construcción, calcula los indirectos y añade los costos de instalación y equipo para obtener el costo de construcción total; asimismo se suman los tiempos de cada ciclo y se añaden los de movilización e instalación, los de demoras y se añaden los de movilización e instalación, los de demoras y los de demovilización para obtener el tiempo total de construcción.

Para calcular los tiempos de cada ciclo y los costos, el modelo recurre a los datos generados por el submodelo de actividades de construcción (por ejemplo figuras 6 y 7)

Para cada estado geológico encontrado en un perfil el modelo de simulación del tuneleo se dirige a la distribución correspondiente de tiempo del ciclo o de costo.

También "muestrea" probabilísticamente de estas distribuciones -- (usando la función inversa de distribución acumulada y los núme-- ros aleatorios) y obtiene un valor de tiempo y de costo que repre senta el tiempo y el costo de un ciclo de las actividades de cons trucción.

Para un nuevo segmento en el perfil con un nuevo estado geológico automáticamente el modelo identifica las distribuciones correspon dientes y opera de nuevo como arriba se ha dicho.

Se recomienda correr al menos varios cientos de simulaciones para obtener una buena tendencia de la distribución del costo y del -- tiempo de construcción totales. La figura 9 presenta el resulta- do de 300 simulaciones para el ejemplo aquí tratado.

El costo directo medio del túnel simulado es $ 8.54 millones con- una desviación estándar de $ 680,000. El costo varía entre $ 7.3 millones y $ 10.5 millones.

El tiempo de construcción está entre 218 días y 305 días con una- media de 251 días. La forma de la distribución de puntos, como-- un puro, indica, como era de esperarse, una alta correlación en-- tre el costo total y el tiempo total de construcción.

La distribución en sí, es un indicador de la incertidumbre en las estimaciones, atribuíbles a 1) condiciones geológicas, 2) activi- dades de construcción y 3) confiabilidad en el equipo de construc ción. El usuario puede interpretar esta distribución para eva--- luar su grado de riesgo al formular una estimación de costo y --- tiempo para el túnel en proyecto.

2.2.4. La capacidad del modelo para simular costos de tuneleo, tiempos de eje cución y riesgos le permite:

1. Ayudar a ingenieros y a organismos en la localización preliminar y en los estudios de factibilidad de proposiciones de túneles en- roca;
2. Ayudar a ingenieros, contratistas y organismos en la preparación- de estimaciones detalladas de proyecto o de oferta de túneles en- roca;

3. Ayudar a evaluadores de costos y a contratistas en la ponderación de varias alternativas de construcción tales como cambiar el número de frentes, el programa de construcción o el método de tune--- leo;
4. Verificar las ventajes de proposiciones de ahorro en dinero tales como la estandarización de las dimensiones de la sección y de los espesores de revestimiento.

2.3 ESTUDIO GEOLOGICO.

2.3.0 En el inciso 2.1, al enumerar los estudios y reconocimientos que anteceden al diseño y la construcción de un túnel, se destacó la importancia del estudio geológico, particularmente en el caso de túneles en roca.

En este inciso se van a comentar las características que el estudio geológico debe tener para que cumpla adecuadamente su función de marco de referencia y de fuente de conocimiento en la investigación previa de las condiciones en que se anticipa va a efectuarse el tuneleo y en las que va a trabajar la estructura del túnel durante su construcción y durante su operación o funcionamiento.

2.3.1 El estudio geológico, previo a la construcción y el diseño de un túnel, debe prestar una esmerada atención a todos los rasgos geológicos, (tanto los más evidentes como los menos conspicuos y de más detalle), que puedan influir en la velocidad de avance y en los costos de construcción, cualquiera que sea el método de tuneleo que se emplee.

El proceso del estudio geológico es como el juego de armar un rompecabezas del que no se sabe bien, ni se conoce de antemano, su diseño. Una primera apariencia se forma en las primeras visitas al lugar; desde entonces se van obteniendo piezas clave, unas aisladas, otras que embonan con otras más para describir partes enteras del mosaico. La búsqueda de nuevas piezas se orienta a partir de las ya encontradas y de las áreas que van quedando delineadas; varias piezas, que no guardan aparente sentido con el resto, o se almacenan en espera de un acoplamiento posterior o se desechan cuando es evidente su inconexión.

Es un proceso que normalmente mejora su eficiencia conforme avanza, es decir, a medida que embonan más piezas.

Ya se ha comentado en el inciso 2.1 que el mosaico muchas veces continúa formándose durante la construcción e incluso hay, en oca

siones, piezas claves que se manifiestan sólo hasta que la obra está en funcionamiento.

La primera apariencia y el mosaico final guardan mayor parecido cuanto mayor es el número de piezas clave embonadas que se revelan en las primeras visitas.

La tabla 5 presenta una lista recordatorio o ayuda memoria de los pasos a seguir en la obtención de datos (de piezas clave) con el estudio geológico para llegar a evaluar las condiciones probables a nivel de túnel (el mosaico probable).

El estudio geológico del área donde se pretende localizar un túnel, por lo general se lleva a cabo en tres etapas: En la etapa inicial, se efectúa un reconocimiento general, utilizando los mapas geológicos y topográficos y las fotografías aéreas disponibles del área y posiblemente imágenes de radar o de fotografía infrarroja. Se pretende obtener una primera impresión, por gruesa que sea, de las condiciones geológicas aparentes y planear las investigaciones y etapas subsecuentes.

La segunda etapa requiere una investigación más detallada, porque está enfocada a determinar la viabilidad o factibilidad de un trazo en particular. A este nivel se consideran las diversas alternativas de línea, basándose en la comparación de las condiciones geológicas dentro de la ubicación general de la ruta de túnel propuesta. La buena práctica recomienda sondeos con obtención de muestras (corazones de roca), prospecciones geofísicas, y pruebas de laboratorio en esta etapa.

Una vez elegido el trazo del túnel, se prosigue con la tercera etapa, que comprende investigaciones adicionales, especiales y más detalladas, cuyos datos habrán de ayudar al diseño final y a la estimación de costos del túnel.

2.3.2 Geomorfología y Geología a Profundidad.

Algunos rasgos morfológicos aparentes en la superficie tienen relación o conexión con rasgos geológicos a profundidad, otros no. El geólogo avezado y el buen geólogo ingeniero, deben estar siempre "a la caza" de los rasgos que puedan proyectarse a profundidad. Ello requiere sólidos conocimientos de geología superficial, de geomorfología y de geología estructural.

Mucha de la superficie del terreno está cubierta por vegetación o por los productos de la erosión y de la intemperización, que han sido transportados a distancias más o menos grandes del punto de origen. La tarea del geólogo, que pretende determinar la geología de la roca basal a lo largo de un determinado trazo de túnel, con frecuencia se torna muy difícil porque los afloramientos han quedado cubiertos por la vegetación y los sedimentos superficiales, por lo que debe apoyarse, en gran medida, en una interpretación inteligente del origen y significado de varios rasgos topográficos para llegar a evaluar las condiciones de la roca a profundidad.

Areas planas, extensas, de bajo relieve, que por lo común están cubiertas completamente por depósitos superficiales, no permiten la interpretación de detalles de la geología de la roca basal por exámen de los rasgos superficiales. (En estos casos el único recurso es esperar información de sondeos directos y de prospección geofísica).

Sin embargo, en muchas otras regiones,-por fortuna las de más interés para un geólogo de túneles-, el relieve topográfico es suficientemente explicativo y las formas geomorfológicas son lo suficientemente típicas como para aprender mucho de la geología de la roca basal, aún cuando sólo existan unos cuantos afloramientos.

Las figuras 10 y 11 muestran ejemplos esquemáticos de algunos rasgos topográficos o fisiográficos superficiales que revelan características de la roca basal.

2.3.3 Mapas Geológicos y Perfiles en el Area del Túnel.

No obstante la elegancia y el alto grado de refinamiento de las técnicas modernas para fotografiar o detectar las condiciones del terre

no desde el aire, éstas no pueden substituír enteramente a las investigaciones llevadas a cabo desde tierra, que incluyen levantamientos detallados de la geología superficial, trabajos de geofísica, perforaciones con obtención de muestras y ensayos en sitio de la roca bajo áreas cubiertas, así como los ensayes en laboratorio de los ejemplares de roca recuperados en el lugar.

Un objetivo principal en la elaboración precisa y completa de un mapa geológico por el eje de un túnel debe ser la construcción de una sección longitudinal que indique con el mayor detalle posible el tipo de condiciones geológicas que el túnel podrá encontrar al excavarse. Los sondeos con obtención de muestras y la prospección geofísica son de gran ayuda para la construcción de dicha sección. Es un grave error que el geólogo adscrito a estos trabajos de planeación y diseño efectúe una labor de adivinanza más allá de los límites razonables que le conceda la información disponible, pero es igualmente una falta el que el ingeniero (proyectista) pida al geólogo que interprete la geología de la roca basal sin contar con un estudio geológico cuidadoso y completo.

La precisión de la proyección a nivel de túnel de los rasgos geológicos superficiales aparentes, es máxima en regiones de rocas sedimentarias donde los afloramientos abundan y es mínima en regiones de geología compleja donde el suelo o el aluvión ocultan todos o la mayor parte de los afloramientos de la roca basal. Es como leer en un caso un documento claro y sencillo y, en el otro, un artículo de la prensa clandestina, que, para descifrar su verdadero significado, debe leerse "entre líneas".

Es por ello, que el uso de mapas con un alto grado de interpretación, en regiones de geología compleja y de cubierta superficial muy extendida, debe considerarse, para la etapa de planeación y diseño, como arriesgado, en el mejor de los casos, y debe acudirse a ellos sólo para la identificación de estructuras regionales y de tipos de rocas.

Por consiguiente, un buen mapa geológico verdaderamente útil para el estudio geológico de un proyecto de ingeniería en general, o de un túnel en particular, es aquel que hace una clara distinción entre lo-

que se conoce (afloramientos; cortes al descubierto en laderas naturales o en tajos de vías de comunicación) y lo que se infiere o se adivina. Es decir debe ser un mapa preparado en el campo, con la ayuda de mapas topográficos de base, de fotografías aéreas y de detección remota (imágenes de radar o de temperaturas por infrarrojo), que muestre la ubicación exacta y la geología detallada de los afloramientos de roca y las características y distribución de la cubierta superficial. Este mapa es además la base para planear inteligentemente la exploración adicional de las condiciones de la roca bajo superficie a partir de perforaciones de muestreo y de prospecciones geosísmicas. Exploración adicional que, como ya se ha dicho, debe ir enfocada exclusivamente a encontrar "nuevas piezas del mosaico" para que sea verdaderamente útil y económica. Planear y realizar las exploraciones de detalle sin un mapa geológico de base, como el mencionado y sin una clara idea de lo que verdaderamente interesa conocer más en detalle es malgastar tiempo, dinero y esfuerzo.

Como los mapas geológicos, las secciones o perfiles geológicos se elaboran con grados variables de certidumbre. Un perfil en un área de amplia cubierta en superficie y de compleja geología de la roca basal es, por lo general, hipotético en alto grado, de manera que las condiciones reales que vaya a encontrar el túnel pueden diferir notablemente de las proyecciones inciertas y muy subjetivas que haya hecho sobre la base de una información de superficie muy pobre. Si aparecen estos tipos de perfiles en el estudio geológico de un proyecto de ingeniería, -de un túnel-, pueden dar lugar a interpretaciones erróneas por parte del proyectista que va a diseñar o del contratista que va a construir.

En la preparación de perfiles geológicos que vayan a usarse en proyectos de ingeniería, incumbe al geólogo señalar explícitamente, o hacer notar mediante símbolos y explicaciones en el texto, el grado de aproximación, -o de incertidumbre- de sus proyecciones. Un buen ingeniero con experiencia sabrá entender que hay que dejar márgenes a lo inesperado o impredictible, (Veáse el inciso 2.2 donde se explica un modelo que intenta evaluar estos márgenes).

No está por demás insistir en que los mapas y los perfiles geológicos preparados sólo a partir de fotografías o imágenes aéreas pueden contener serios errores, y que la planeación de proyectos de ingeniería-que se base en consideraciones geológicas que no tengan el respaldo-- de una verificación cuidadosa de los datos en el campo (lo que en el-inciso 2.1.2 se llamaba "caminar la geología, sentir la geología"), es en el mejor de los casos un procedimiento tosco y por tanto poco - confiable.

En años recientes se han obtenido excelentes resultados en el reconocimiento geológico o estudio geológico al aplicar tres nuevas técni-- cas de detección desde el aire que complementan muy bien las fotografías aéreas, ellas son: 1) imágen oblicua de radar, 2) imágen térmica radiométrica y 3) fotografía a color-infrarroja.

La 1) tiene particular utilidad para interpretar la configuración del terreno y de los afloramientos de la roca basal en regiones cubiertas por selva o bosque espesos. De las imágenes de radar no se pueden -- construir mapas o mosaicos a escala real por la oblicuidad de las tomas, pero complementar los mapas topográficos y los mosaicos fotogramétricos y fotointerpretados, estos sí a escala. La 2) utiliza un -- sistema radiométrico sensible que responde a pequeñas diferencias en-la radiación térmica captada, proveniente de la tierra.

Los registros se suelen tomar un poco antes de la puesta de sol y -- después de ésta para que resalten más los materiales de distinta temperatura y diferente emisividad.

El método es especialmente sensible a diferencias en temperaturas del suelo y del aluvión provocadas por diferencias en las temperaturas de los cuerpos de agua subterránea que contienen, y es útil para identificar rasgos bajo la superficie, como zonas de falla, saturados con-- agua freática.

La 3) fotografía a color infrarroja utiliza una película altamente -- sensible a las longitudes de onda cercana al infrarrojo, de manera -- que utilizada con filtros especiales produce imágenes con colores altamente contrastantes, lo que ayuda a delimitar, por las diferencias-

de color tan marcadas, rasgos geológicos que no se descubren en las fotografías de color o de blanco y negro convencionales.

2.3.4. Prospecciones geofísicas.

Las prospecciones geofísicas proporcionan una valiosa ayuda en la determinación de las condiciones geológicas que existen bajo la superficie. Son particularmente útiles cuando el levantamiento de geología superficial produce datos incompletos o poco concluyentes en cuanto a las condiciones geológicas de la roca basal.

Miden cantidades físicas y especialmente diferencias en estas cantidades que obedecen a diferencias de estructura, de litología o de condiciones hidráulicas en el arreglo de las rocas bajo la superficie.

Las principales técnicas de prospección geofísica pueden clasificarse generalmente en estas categorías: 1) Medición de las variaciones de los campos magnéticos y gravitacional de la tierra; 2) medición de las diferencias de reacción de los materiales de la tierra a campos de fuerza artificialmente inducidos por impulsos eléctricos o sísmicos que se introducen a las masas de roca en la superficie terrestre o cerca de ella; y 3) medición de corrientes eléctricas generadas espontáneamente por cuerpos geológicos. Varios tipos de prospección geofísica están encaminados a identificar una o varias "anomalías" es decir, desviaciones respecto a las respuestas promedio obtenidas de las mediciones de los campos de fuerza. El geólogo, en cooperación con el geofísico, debe interpretar o evaluar el significado o la importancia práctica de esas anomalías.

La tabla 6 es un resumen de los métodos geofísicos empleados en el estudio geológico.

Todo método geofísico puede fácilmente llevar a falsas interpretaciones si no está debidamente calibrado dentro del ambiente en que se va a aplicar. Por una parte deberán conocerse, en forma directa, (a partir de unos cuantos sondeos o de afloramientos) el tipo de materiales -suelos o rocas-, presentes en el lugar, y determinar

el rango de valores de respuesta que en cada material da el método a-a aplicar correspondiente. Por otra parte, deberán evaluarse con---- cuidado las perturbaciones o distorsiones que pueden ocasionar en las mediciones algunos elementos o características del área en estudio. Por ejemplo, los registros en los métodos eléctricos son sensibles a-corrientes parásitas o a corrientes de inducción desde líneas de energía o desde tuberías por donde circulan fluídos.

Las mediciones en los métodos sísmicos se alteran por ruidos provocados por maquinaria de construcción, por ejemplo. La forma del campo-de fuerzas inducido por cualquiera de ellos está influída por la topografía del terreno; cuanto más irregular sea ésta, más influirá en la forma del campo.

Es por ello muy importante determinar qué factores de ajuste, qué índices correctivos deberán aplicarse a las mediciones para que su in-- terpretación dé debido peso a las características propias del lugar - que influyen en los resultados.

Por ser los métodos geofísicos un tema ampliamente tratado en la literatura especializada, no se va a entrar aquí en los detalles de su -- tecnología.

La tabla 7 enlista algunos valores de velocidades de ondas sísmicas-- longitudinales (de compresión) en algunos materiales naturales.

Los métodos sísmicos son particularmente apropiados para determinar - la litología y los rasgos estructurales en un ambiente geológico da-- do.

Los métodos eléctricos se utilizan también para delinear perfiles litológicos y especialmente en la localización de niveles freáticos y - de zonas fracturadas y fallas enterradas, cuando están saturadas de-- agua.

Un posible uso de las mediciones gravimétricas en el estudio geológico aplicado a proyectos de ingeniería es la identificación de zonas - extensivamente alteradas que pueden presentar densidades menores que-las de las rocas originales.

Las líneas de fuerza magnética en el campo terrestre tienden a concentrarse en los materiales ferromagnéticos y en los paramagnéticos, ---

mientras que se dispersan en sustancias diamagnéticas como la sal de roca y la anhidrita.

Las prospecciones geofísicas son métodos relativamente económicos y sencillos que pueden abarcar, en corto tiempo, grandes extensiones de terreno y que tienen la enorme ventaja de destacar rasgos geológicos a profundidad a partir de operaciones que se realizan en la superficie, o muy cerca de ella.

Se pueden alcanzar distintos niveles de detalle. Primero se pueden efectuar reconocimientos generales por barrido con uno de los procedimientos que permita una prospección contínua.

Después se ubican los demás procedimientos (incluídos los sondeos con recuperación de muestras y los ensayos de campo) en las zonas que el barrido descubra como más importantes.

A este nivel, uno o varios de los procedimientos geofísicos se aplica en densidad, para cubrir con más detalle las zonas de mayor interés.

Para que su interpretación sea verdaderamente efectiva, la prospección geofísica debe operar por zonas de características propias. Estas zonas quedan definidas en los levantamientos de geología superficial y en las sucesivas etapas del reconocimiento geológico.

La proyección a nivel del túnel de los rasgos geológicos superficiales requiere una interpretación y un conocimiento de los aspectos de la geología en tres dimensiones.

No sólo los rasgos que se encuentran en superficie sobre la línea del túnel, sino otros que se observan a uno y otro lado de la misma, a veces a considerable distancia, pueden tener reflejo a la profundidad del túnel. Esta visión tridimensional puede obtenerse muchas veces con la ayuda de prospección geofísica.

La precisión de la proyección será menor cuanto más profundo será menor cuanto más profundo sea el túnel. La tabla 8 da grados de confianza en la proyección lateral o a profundidad, para profundidades no mayores de 700 m.

2.3 5. Perforaciones con obtención de muestras.

La tecnología de las perforaciones y la obtención de muestras no es objeto de esta exposición y el lector deberá consultar la literatura especializada que existe al respecto.

Se verán aquí más bien las características que el sondeo con obtención de muestras debe cumplir para que sea útil al estudio geológico en relación con el proyecto de un túnel.

Antes sólo se acostumbraba a hacer sondeos en los portales y pocos o ninguno a lo largo o en la vecindad de la línea del túnel. Esta actitud está cambiando mucho porque, por una parte hay una tendencia general a producir y a exigir estudios geológicos cada vez más detallados previos al diseño y la construcción del túnel, y por la otra, está en auge la perforación de túneles con máquinas tuneladoras, y la decisión de emplear y adquirir uno de estos equipos tan caros necesariamente debe basarse en una evaluación cuidadosa de las condiciones geológicas.

Los sondeos, por lo general, se justifican durante las etapas de factibilidad y de diseño, sin embargo, en zonas de cubierta superficial extensa, que enmascara las condiciones bajo tierra, o donde existe una geología compleja, puede ser indicado efectuar sondeos aún durante las etapas preliminares de reconocimiento.

Los sondeos son medios directos y muy prácticos para tener acceso a la geología subterránea y, por lo tanto, para evaluar sus condiciones. Con ellos no sólo se pueden obtener corazones de roca o de suelo, sino que la perforación puede aprovecharse para conducir pruebas de agua, o prospecciones geofísicas, e incluso para fotografiar o televisar sus paredes, para efectuar ensayos con presurómetro o para dejar instalados instrumentos de observación.

Como los sondeos son trabajos relativamente costosos y, a veces, tardados, si son muy profundos, es fundamental tratar de obtener de ellos el máximo aprovechamiento.

Debe de empezarse por especificar sondeos sólo para cumplir con objetivos muy claros que fijen de común acuerdo el geólogo que reali-

za el estudio geológico y el ingeniero que tiene a su cargo el diseño del túnel. Las muestras o corazones de roca tiene verdadero sentido obtenerlos cuando contribuyen a la interpretación de las condiciones geológicas, conjuntamente con otras fuentes de información como son los mapas geológicos de base, las fotografías aéreas y los sistemas de detección remota, las pruebas geofísicas, de presión y de agua y las fotografías dentro del barreno, y los levantamientos en socavones o galerías piloto y en otros túneles, minas o excavaciones subterráneas vecinas.

Se puede obtener mucha información de la perforación misma y de las muestras que de ella se extraen, si se lleva un registro cuidadoso de las operaciones de perforación, si se hace un levantamiento detallado de las muestras usando propiedades índice cuantificables y si los resultados se interpretan no aisladamente sino a la luz del resto de la información geológica con que se cuenta hasta el momento.

Se obtienen mejores y más íntegras muestras con brocas de diámetros grandes que con brocas chicas. Un diámetro práctico adecuado es el NWX para barriles sencillos o el NWM para barriles dobles que da 3" de perforación y 2 1/8" de muestra.

La fig. 12 es una forma recomendable de registro para un sondeo con obtención de muestras o corazones de roca.

Además de las descripciones geológicas comunes, deben anotarse, el índice de calidad de las rocas (RQD); el porcentaje de recuperación; el grado de intemperización; la inclinación de las capas o estratos, de la esquistosidad y de las diaclasas (con respecto al eje de la muestra); las condiciones en que se encuentran las superficies de las diaclasas; los niveles del agua subterránea, temperatura y calidad de la misma (en casos particulares, medición de la velocidad y de la orientación del flujo). Son de interés primordial todos los datos que el perforista registre sobre el desarrollo de la perforación, como son: equipo, broca y fluído de perforación utilizados, velocidad de avance de la perforación en cada tramo, fugas o pérdidas del fluído de perforación, resurgencias de agua, burbujeo de gas, derrumbes en la perforación, zonas en las que se ha utilizado ademe o cementación pa-

ra poder seguir perforando, zonas en las que la perforación tiende a cerrarse.

No cabe duda que el porcentaje de recuperación de muestra es función del cuidado y la eficiencia con que se lleven a cabo las operaciones de sondeo. Es, por consiguiente, fundamental que el geólogo valore-cualitativamente el trabajo de sondeo, para evitar interpretaciones-erróneas acerca del porcentaje de recuperación de muestra en rela---ción con las condiciones de las masas de roca basal.

Las zonas de roca de baja calidad pueden identificarse en los corazones extraídos de la perforación al evaluar el RQD que, como se sabe, es la suma de las longitudes de los tramos de muestra, en estado sano o compacto, de 10 cm. de longitud o mayores, dividida entre la -- longitud total avanzada y expresada la relación en porcentaje. Se-- ha visto que el RQD es un índice más sensible y consistente de la calidad general de una roca que el porcentaje de recuperación total. Pero como todo índice, si no se valúa y se utiliza con criterio puede llevar a interpretaciones erradas.

Por ejemplo, si el testigo se ha roto por el manejo o por el procedimiento de perforación (cuando se aprecian superficies de fractura recientes y regulares en lugar de diaclasas naturales), se juntan los pedazos partidos y se cuentan como una pieza entera, siempre que alcancen la longitud requerida de 10 cm.

En el caso de rocas sedimentarias o rocas metamórficas, la estratificación y la esquistoridad son nuevos elementos de discontinuidad que hay que saber juzgar al evaluar el RQD, por ello este índice suele-- ser menos exacto en este tipo de rocas que en rocas ígneas, o en rocas sedimentarias de estratificación gruesa. En pizarras y en otras rocas fácilmente alterables a la intemperie, la determinación del -- RQD debe hacerse inmediatamente después de extraer los núcleos y antes de que comience el desmenuzamiento y disgregación al aire.

Evidentemente este índice es muy rígido para la roca cuando la recuperación es escasa, si bien una escasa recuperación suele indicar -- una pobre calidad de la roca.

Pero esto no siempre es cierto, sin embargo, ya que un equipo de perforación o una técnica deficiente puede también dar lugar a una recuperación escasa. Por esta razón se requiere utilizar barril doble de diámetro mínimo NX (54 mm), siendo fundamental una adecuada vigilancia de la perforación.

Mucho cuidado con manejar índices RQD valuados directamente de registros del encargado del sondeo en el campo, sin haber analizado oportuna y cuidadosamente las muestras, y sin tener en cuenta todo el resto de la información que proporciona un estudio geológico bien desarrollado.

Indice de calidad RQD (%)	Calidad
0 - 25	Muy mala
25 - 50	Mala
50 - 75	Regular
75 - 90	Buena
90 -100	Excelente

Las zonas de baja calidad que se hayan determinado con el RQD y a partir del análisis cuidadoso de las muestras, debe interpretarse si obedecen a intemperismo, a zonas de fallamiento o de corte, a zonas fracturadas, a diaclasas paralelas a la muestra, a hojeado de la roca por desmenuzamiento a lo largo de planos anteriormente intactos de estratificación o de foliación, o bien a rotura de la muestra durante la perforación.

Conviene tomar fotografías en color de las cajas de muestras, tan pronto éstas se coloquen en las mismas; tomar una foto de las muestras mojadas y otra de las muestras secas es muy recomendable. Al registro del sondeo deben acompañarse estas fotografías así como un resumen de los resultados de las propiedades más significativas determinadas en ensayes de laboratorio.

Con frecuencia no aparecen anotados en el registro del sondeo dos -- rasgos geológicos muy significativos.(1) La presencia y naturaleza-- de materiales blandos y de materiales alterados; y(2) la orientación (rumbo y echado) de los conjuntos de diaclasas y de las discontinuidades mayores.

Se cuenta actualmente con técnicas de muestreo que permiten recuperar las zonas blandas o alteradas, y orientar las muestras. El programa de sondeos debe planearse para que los rasgos antes dichos queden bien determinados, aún si las consideraciones de costo obligan a reducir el número de sondeos. No hay que olvidar que la estabilidad de un túnel depende en gran medida de estos rasgos (zonas blandas y- orientación de las discontinuidades).

Hay técnicas suplementarias de fotografía o tomas televisadas, dentro del barreno que pueden ayudar grandemente en determinados casos- a precisar los rasgos dichos.

Acaba de desarrollarse una nueva técnica, prometedora, que consiste- en introducir, dentro del barreno, un dispositivo cilíndrico forrado en el perímetro con una lámina delgada. El cilindro se expande contra las paredes y en la lámina quedan "grabadas" las fracturas y discontinuidades. Como el dispositivo es fácilmente orientable, se puede tener un esquema de éstas en tres dimensiones.

(En la exposición oral se comentarán algunas técnicas para obtener-- muestras con altas recuperaciones y muestras orientadas, así como algunas pruebas de agua).

2.4.5. Sondeos de Exploración y Galerías de Reconocimiento.

En los párrafos anteriores, se ha comentado el asunto de los sondeos en relación con el estudio geológico previo a la construcción. Como este estudio, en varios casos, no proporciona todas "las piezas del- mosaico" en esta etapa, debe continuar acumulando nueva información- y perfeccionando la antecedente en las siguientes etapas. Es por -- ello frecuente que se efectúen sondeos también en la etapa de cons-- trucción.

Como en esta etapa el túnel mismo representa un acceso a la geología a profundidad, algunos sondeos se recomienda realizarlos desde el túnel. Son sondeos de exploración de las condiciones geológicas prevalecientes alrededor del túnel y principalmente hacia adelante de la frente de ataque. De esta manera se pretende ahorrar toda la barrenación estéril que suele tener un sondeo perforado desde la superficie. Sin embargo, la ejecución de sondeos desde el túnel supone, muchas veces, interferencias con las actividades normales de tuneleo, por lo que su uso se limita, por lo general, sólo a verificar condiciones que se presume puedan plantear situaciones de riesgo importante. Por otro lado, la interpretación de un sondeo horizontal o subhorizontal es frecuentemente más difícil que la de un sondeo vertical porque requiere más habilidad para orientar las muestras y para representar con claridad el efecto de sus rasgos en tres dimensiones. Algo más sobre este aspecto va a comentarse en el inciso 2.5.

Tener acceso a la geología a nivel de túnel, con, llámese socavones, túneles pilotos o galerías de reconocimiento antes de excavar el túnel definitivo, es una alternativa de exploración que debe ponerse en práctica siempre que sea posible.

Otras obras de ingeniería permiten ejecuciones parciales para ponerlas en servicio por tramos, en forma escalonada. Un túnel no; tiene que estar completamente terminado, incluso sus instalaciones, para dar el servicio que de él se requiere.

Muchas veces cuando la longitud y la profundidad del túnel son grandes, el estudio geológico no puede contar más que con unos cuantos sondeos directos a lo largo de la línea o cerca de ella. Si, además, la geología es compleja y los afloramientos están enmascarados por depósitos superficiales, la incertidumbre será alta en cuanto a la interpretación de las condiciones geológicas de la roca basal. En estas circunstancias se torna cada vez más conveniente la posibilidad de efectuar una galería de reconocimiento, y, si el túnel en cuestión es de sección recta grande 60 a 100 m2. como lo es un túnel carretero, la alternativa se hace prácticamente indispensable; más aún si se contempla el empleo de máquinas tuneladoras.

La sección recta de una galería de reconocimiento puede variar entre unos 6 y unos 15 m2., dependiendo del proyecto del que forma parte - y del programa y del equipo de que se disponga para llevarla a cabo. En el caso de túneles carreteros puede considerarse que la galería - de reconocimiento tendrá una sección recta del 10% de la del túnel. Si se acepta que el precio de un túnel es proporcional a su sección- (en realidad se encarece en mucha mayor proporción al aumentar la -- sección, sobre todo si el terreno es de mala calidad), la galería no ha de costar más del 10% del túnel. No hay más que repasar la experiencia en construcción de túneles para descubrir que hay infinidad- de casos en que las condiciones no previstas, particularmente las -- geológicas, han incrementado el presupuesto original en más del 10%. Al tener esto presente se debe admitir que una galería de reconoci-- miento es [illegible] en muchos casos. Además, ofrece ventajas co- laterales [illegible] la principal que es la de descubrir de ante- mano las [illegible] geológicas a nivel de túnel. Estas ventajas -- colaterales son [illegible] y pueden incidir muy favorablemente en- el costo de [illegible] entre otras, se pueden enumerar las siguien--- tes:

- Contribuír a la ventilación durante la construcción y, en su ca-- so, en el futuro durante la operación. Combinándose con las lumbre- ras (pozos verticales o inclinados) y con los crucesos o ventanas de ataque (horizontales o en pendiente) pueden constituír una valiosa - vía de ingreso de aire puro y de expulsión de aire viciado.
- Servir de drenaje para que las aguas no penetren en el túnel o pa ra que desde éste tengan fácil salida. Para cumplir con este fin se estudiará, en cada caso, si la galería debe ir por encima, por deba- jo o al mismo nivel que el túnel principal.
- Ayudar a la rezaga (alojando en la galería una banda transporta-- dora o dando una vía de acceso alternativa al equipo de excavación)- o a la entrada de materiales (concreto p.ej.) para el revestimiento- o para el movimiento de maquinaria y medios auxiliares.
- Servir, en caso necesario, para, desde la misma hacer refuerzos--

(tratamientos de consolidación por inyecciones, anclajes, etc.) en el - túnel principal, en los tramos que sean más difíciles por sus caracte-- rísticas geológicas o geotécnicas o por la presencia de agua. Para --- ello suele convenir que la galería de reconocimiento vaya a cota más alta que la clave del túnel.

- Puesto el túnel en operación y dispuesta convenientemente, la gale-- ría auxiliar puede servir para alojar conducciones diversas de agua o-- de electricidad. También para contener oleoductos o gasoductos. Instaladas estas conducciones separadas por completo del túnel principal, su vigilancia y conservación resultará más cómoda y segura. Puede también dar acceso a trabajos de reparación o mantenimiento del túnel princi--- pal.

- Servir como túnel de socorro, para poder llegar al lugar del siniestro, (accidente, incendio) en forma rápida.

- La galería de reconocimiento no es preciso que vaya paralela y próxima al túnel en todo su recorrido. Puede limitarse a ciertos tramos.--- Puede combinarse, como ya se dijo, con los pozos y ventanas de ataque. Puede servir ulteriormente, al ser ensanchada, como elemento de partida de la construcción de otro túnel que se hiciese al resultar insuficiente el principal que se construye. Muchos proyectos de túneles viales - comprenden dos túneles más o menos cercanos y paralelos, uno de ellos-- podría iniciarse con galería de reconocimiento y ensancharse después,-- buscando obtener varias de las ventajas anotadas.

Cabe hacer notar que la galería de reconocimiento, aunque de pequeña -- sección, es en sí misma un túnel que requiere apoyarse en estudios geotécnicos y en una planeación propias.

Bien es verdad, que sus dimensiones le ayudan a que cualquier incidente geológico se presente en general en menor magnitud que como se manifestaría en el túnel principal, pero también es cierto que muchas condiciones adversas las puede encontrar por sorpresa y que, por ello, pueden-- ocasionar más daño que si hubiesen sido previstas. Las entradas súbi-- tas de agua a presión por diaclasas y cavidades y el arrastre consi---- guiente de rocas descompuestas en arenas o arcillas pueden ser tan se-- rios en un caso (galería de reconocimiento) como en el otro (túnel principal). Todos estos aspectos deben ponderarse junto con los correspondientes al procedimiento de excavación y de soporte y al costo, antes--

I – PANEL

J. GERMÁ BOSELLO
Dr. Ingeniero de Caminos, C. y P.
Autopistas Vasco-Aragonesa, C.E.S.A.

ALTERNATIVAS EN EL TRAZADO DE LOS TUNELES

1. EL TUNEL, SOLUCION OBLIGADA O ALTERNATIVA

El túnel como obra pública puede aparecer como solución primaria o como alternativa entre otras soluciones. En el primer caso podemos citar por ejemplo los túneles de descarga de una central subterránea o el paso de una vía de comunicación carretera o ferrocarril, a través de una barrera montañosa importante. El túnel, como alternativa de la excavación a cielo abierto, se presenta a menudo en obras viarias y en canales cuando el trazado de la obra lineal discurre a lo largo de laderas abruptas o en laderas cuya pendiente o inestabilidad hacen más aconsejable la excavación en túnel que a media ladera.

Tanto en uno como en otro caso, túnel obligado o túnel opcional, el primer problema que se plantea es el tanteo del trazado. El trazado ha de estudiarse dentro de unos límites más o menos amplios, en función de multitud de factores que se entrelazan e interfieren de tal forma, que la evaluación del peso aplicable a cada uno de ellos constituye la principal tarea del ingeniero proyectista, por tener que cuantificar las distintas soluciones o alternativas en términos de economicidad (costo y plazo) y de seguridad, en la construcción y en la explotación de la obra.

2. COMPORTAMIENTO DEL TERRENO

Las condiciones naturales del terreno que ha de atravesar el túnel constituyen el factor condicionante de mayor entidad. Ahí radica precisamente la dificultad del estudio previo de todo túnel, pues, al tratarse de una obra subterránea, no es posible llegar a conocer el subsuelo como en las obras de superficie y menos como en obras subterráneas localizadas, por ejemplo cuevas de centrales hidroeléctricas, en las que se puede alcanzar el interior del terreno con suficiente densidad de trabajos de reconocimiento, galerías, pozos, sondeos, etc. En consecuencia, resulta difícil poder estimar con suficiente precisión cómo será el comportamiento del terreno durante la construcción de la obra y de ahí fijar premisas para el desarrollo del proyecto de construcción.

En un estudio de túnel, el reconocimiento desde la superficie acota sus posibilidades en cuanto la cobertura aumenta a partir del contorno de medios, y en caso de terrenos geológicamente complejos, con meros reconocimientos las predicciones son casi poco fiables.

Tampoco es posible conocer datos suficientes para prever con certeza seguridad cómo va a comportarse el terreno ante la excavación, cuando el túnel alcanza longitudes que hacen invivible, por razones de costo y de tiempo, el detallado reconocimiento geológico estructural y geomecánico que sería necesario para ello.

Por otra parte, en construcción de túneles son prácticamente irrelevantes los parámetros geomecánicos de Coulomb (rozamiento y cohesión) y los ensayos realizados sobre testigos de rocas. Tampoco aportan demasiada luz las encomiables tentativas de clasificación de las estructuras rocosas, propugnados con vistas a estimar a priori el comportamiento de la excavación, la cuantía de los sostenimientos y el revestimiento necesario, aunque procedan de numerosos datos estadísticos muy ingeniosamente elaborados y procesados. Pues en cuanto entramos en el dominio de la mecánica de las rocas nos falta el eslabón perdido entre los datos y las soluciones de proyecto "the missing link", como decía el ingeniero Denkhaus en el Coloquio del Simposio Internacional de Oslo de 1.969, de la Sociedad de Mecánica de las Rocas, al comentar el recién aparecido índice, R.Q.D. del profesor Deere.

Entre parámetros geomecánicos, índices de calidad estadísticos, resultados de ensayos y la definición del proyecto final de una obra subterránea, existe una gran laguna que únicamente puede ser salvada por la intuición y la experiencia del ingeniero. No en balde el construir túneles se llama todavía arte y no técnica. Arte de oficio, no de estética.

3. FLEXIBILIDAD FUNCIONAL DEL TRAZADO

La flexibilidad de trazado que permita encajar el túnel en las zonas de mejor terreno posible, viene condicionada por la funcionalidad de la obra. En autopistas las condiciones geométricas del trazado son muy estrictas. Cualquier modificación del trazado en planta de un tramo en túnel, puede repercutir en varios kilómetros, por lo que es muy difícil, prácticamente imposible, modificar el trazado del túnel una vez iniciada la fase de construcción de las obras.

Por el contrario en galerías y túneles hidráulicos existe una mayor flexibilidad de trazado, siendo así más fácil la adaptación del proyecto inicial a los condicionantes del terreno y caben además modificaciones posteriores aún en fase de construcción. Por ejemplo, es posible facilitar la evacuación de las aguas durante la construcción de una galería de presión, estableciendo rasantes en contrapendiente hacia las ventanas de ataque laterales (fig. 1 Perfil longitudinal galería de Presión del Salto de Cambaronesa). Algunas veces se puede esquivar una zona de mal terreno introduciendo un zigzag en planta (fig. 2 Galería de Presión de Bao Pte Bilbao), o buscar un cierto provecho de la traza variando laterales, con el fin de establecer galerías de ataque intermedias.

Fig. 1 - Perfil longitudinal Galería de Presión del Salto de Camba-Conso.

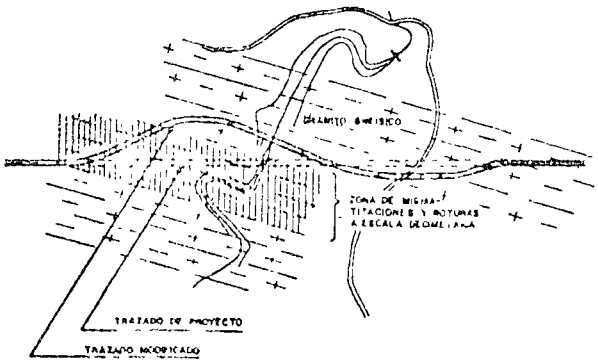


Fig. 2 - Galería de Presión de Rio-Pte Bibey

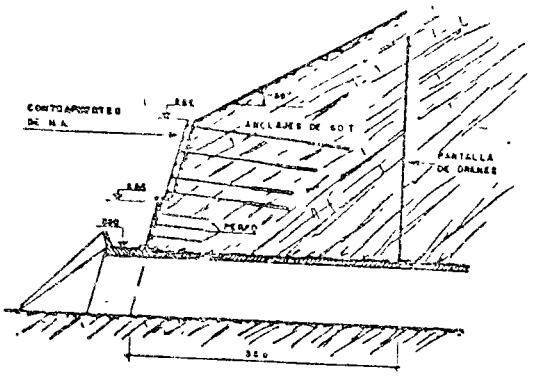


Fig. 3 - Embocadura del Túnel de Zaldívar-Lado de Urmia.

Vista de las embocaduras del Túnel de Zaldívar (lado de Urmia) de la Autopista Bilbao-Behovia.

4. EMBOCADURAS

Las características de las posibles zonas de embocaduras, son otro factor que debe considerarse con atención desde el primer momento del estudio del trazado, pues casi siempre es posible, dentro de ciertos márgenes, situar las boquillas en las mejores zonas dentro de la franja de terreno que permita el proyecto en su conjunto. En este aspecto no debemos olvidar que el túnel más barato no es forzosamente el más corto, ya que un aumento de longitud del túnel puede quedar sobradamente compensado al situar las embocaduras en terrenos mejores. La variación de coste total por unidad de longitud de túnel puede variar de 1 a 3 fácilmente, y más aún en los tramos inmediatos a la bocas, donde las condiciones geomecánicas del terreno suelen ser las más desventajosas, por tratarse de capas superficiales generalmente de rocas más meteorizadas y existir empujes longitudinales de la ladera muchas veces diametrales.

Las embocaduras de túneles de gran sección son temas que requieren estudios detallados y en algunos casos dan lugar a obras de consolidación de cierta entidad.

5. ACCIDENTES GEOLOGICOS SINGULARES - TUNELES PROFUNDOS

Del estudio geologico de la zona, a nivel de estudio previo, deberían resultar factores condicionantes para la elección del trazado más conveniente y eludir en todo lo posible las zonas singulares de mal terreno, y en especial los accidentes tectónicos longitudinales. La mayor dificultad estriba en el conocimiento previo suficientemente fiable de las condiciones, naturaleza y probable estabilidad de la excavación, así como la determinación de las condiciones hidrogeologicas del macizo, capa freática, caudales y presión del agua subterranea, que es previsible encontrar. Estos aspectos se toman francamente problemáticos cuando se trata de túneles muy profundos.

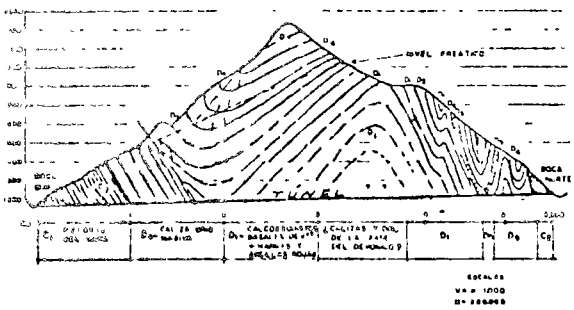


Fig. 4 - Perfil geológico longitudinal del Túnel del Cadí.

6. EL PROYECTO EN FUNCION DE LOS PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION

El punto de vista de la ejecución de la obra tiene gran influencia en el proyecto de los túneles. Realmente no se puede proyectar un túnel sin pensar en los procedimientos aplicables a su ejecución. Como a su vez, estos dependen del plazo de ejecución disponible y de las condiciones naturales del terreno, el proyectista viene obligado a suponer un determinado procedimiento de construcción aunque luego el constructor emplee otro, que es lógico suponer, ha de proporcionar ventajas concretas al ser adoptado en la ejecución de la obra.

Por estos motivos no es conveniente ser excesivamente optimistas en cuanto a la estimación del comportamiento del terreno, a no ser que se tengan elementos de juicio suficientes para ello, pero en caso de duda es mejor partir de hipótesis más bien conservadoras. En alguna ocasión hemos establecido en los Pliegos de Condiciones la obligatoriedad de realizar la excavación en dos fases, corona y banco, con hormigonado de la bóveda antes de la excavación del banco. En efecto, el equipo de maquinaria de obra para un túnel a excavar a plena sección, con máquinas de elevado coste y equipos estudiados para velocidades de avance elevados, es totalmente inadecuado en obras donde sea probable la aparición alternativa de tramos de bueno y mal terreno.

7. GALERIAS DE AVANCE O DE RECONOCIMIENTO

Con el fin de conocer suficientemente el terreno a efectos del proyecto y de la construcción, no cabe duda que la ejecución de una galería de avance, o mejor dicho de reconocimiento, a todo lo largo del trazado o paralelamente a él, es el medio más eficaz para evitar sorpresas durante la construcción. La dificultad estriba en su coste y, a veces, en ocasiones, en su plazo. Si la programación general lo permite, es deseable este método que antiguamente se usaba casi siempre, en los últimos decenios se dejó de emplear, y recientemente se ha vuelto a poner en práctica en algunos túneles profundos, de gran sección transversal en terrenos complicados (por ejemplo túneles de autopistas alpinas). En nuestra opinión, si el plazo lo permite, las ventajas que resulta de un reconocimiento directo del terreno pueden compensar el coste de una galería previa, realizada durante la fase de proyecto.

8. TUNELES GEMELOS

Por último, quizás merezca la pena dedicar un momento a los túneles gemelos o túneles dobles, tan frecuentes en las obras de autopistas.

En más de una ocasión hemos conocido serios problemas derivados de una excesiva proximidad entre túneles paralelos. El criterio general del trazado, en cuanto a separación de calzadas, se ha mantenido hasta puntos excesivamente cercanos al tramo en túnel. Precisamente en las zonas de las embocaduras, donde peores suelen ser las condiciones geomecánicas, es donde menor suele ser la separación entre túneles.

La separación entre ejes debiera ser en todo caso suficiente para que, en la estructura rocosa, pudiesen ser independientes las zonas de efecto bóveda del terreno correspondiente a cada túnel. Para lograr tal independencia de funcionamiento no es posible dar reglas generales. Las normas usuales son de carácter empírico, pues la complejidad del discontinuo rocoso es tal que, por lo general, no se deja traducir a un modelo matemático que tenga suficiente semejanza con la realidad.

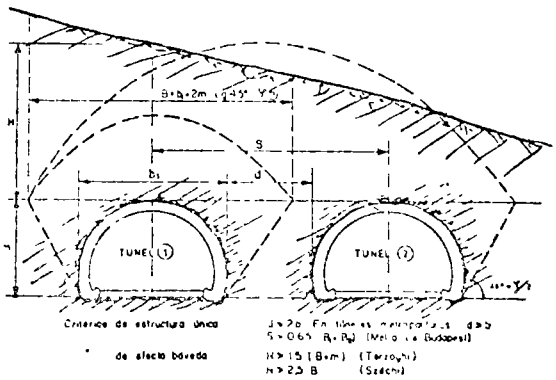


Fig. 5 - Túneles gemelos.

Como consecuencia de ser necesaria una amplia separación entre túneles, no sólo en planta sino también en alzado, resulta muchas veces inconveniente situar los túneles gemelos en una misma ladera, pues la exigencia de la obligada diferencia de niveles entre rasantes de las dos calzadas afectaría a tramos excesivamente largos, a ambos lados del túnel. En los valles relativamente estrechos puede ser buena solución la colocación de calzadas separadas en márgenes distintas.

9. CONCLUSIONES

- El proyecto de un túnel requiere un conocimiento lo más detallado posible del terreno a atravesar.
- El conocimiento del terreno no consiste en la búsqueda de parámetros geotécnicos, ni en ensayos de laboratorio, ni en índices de calidad de la roca, sino en la definición de la naturaleza del terre-

no, de la geometría de las discontinuidades y de las condiciones del agua freática.

Las galerías de reconocimiento o de avance en toda la longitud del trazado son muy convenientes, especialmente en túneles profundos.

- El proyecto del túnel no puede desligarse de los problemas y procedimientos de su construcción.

  Es importante situar adecuadamente las embocaduras y condicionar, en lo posible, el trazado a la localización de zonas aptas para el emboquillamiento.

  Es preciso proyectar el trazado de forma que las coberturas mínimas de terreno sean suficientes para evitar dislocaciones y hundimientos del terreno.

- Entúneles paralelos la separación entre ejes debe ser suficiente para evitar interferencias peligrosas entre ellos.

- En túneles de autopistas el trazado de la carretera debe supeditarse, en lo posible, a los condicionantes propios de la obra del túnel y no al revés.

- En autopistas la mejor solución alternativa es evitar los túneles, siempre que esto sea económicamente posible.

F. MUZAS LABAD

Dr. Ingeniero de Caminos C. y P.
Cimentaciones Especiales, S.A.
Procedimientos RODIO

CONDICIONANTES DEL TUNEL URBANO

Me ha sido encomendado por el Relator General, la tarea de comentar los condicionantes de proyecto del túnel urbano, y debo manifestar, en primer lugar, que si he aceptado el encargo se debe a la amistad que nos une, pues considero que hay muchos compañeros de gran experiencia que podrían haberse ocupado de ello con evidente derecho y, desde luego, con mejor fortuna.

Hoy día, el túnel urbano es, quizá, el tipo de obra que plantea los más graves problemas a la Ingeniería Civil. No creemos sea necesario justificar su importancia actual como solución para mejorar las comunicaciones y los servicios públicos en áreas congestionadas, pero conviene indicar que en el futuro se generalizarán cada vez más ante la necesidad de no ocupar espacio urbano y de transferir al subsuelo todos aquellos servicios, no necesarios en superficie, que perturben la vida urbana, con objeto de conseguir mayor calidad de vida. Este hecho, perfectamente previsible, hace que la problemática del túnel urbano haya pasado internacionalmente a un primer plano de interés técnico, social y económico.

Los túneles urbanos pueden tener distinta finalidad, que permite clasificarlos en túneles de comunicación, colectores visitables y galerías de servicios, siendo, con mucho, los más importantes los destinados al Metro.

En general, todos ellos presentan una serie de particularidades propias, como son su rigidez de trazado, el número relativamente elevado de conexiones con la superficie y las grandes secciones que, a veces, se precisan en áreas de acceso público, como ocurre con las estaciones de Metro y los centros de enlace y trasbordo.

El trazado en planta se encuentra condicionado por necesidades de servicio y por imposiciones urbanísticas; pero, a pesar de esta poca flexibilidad, deben ser analizados, con todo detalle, las posibles alternativas para no crear en el subsuelo puntos negros de confluencia, análogos a los existentes en superficie. Este es el caso de muchas ciudades antiguas que han experimentado un desarrollo radial, y en las que la disposición de cinturones resulta muy ventajosa.

La rigidez del trazado en alzado es consecuencia de la limitación de pendientes y de la existencia de puntos singulares de paso obligado, como sucede cuando hay que salvar corrientes fluviales o enlazar a cotas previamente establecidas, o cuando existen limitadas posibilidades de acceso desde la superficie.

A todas estas particularidades de los túneles urbanos en sí, hay que añadir las propias del medio en que va a ser construido.

Las condiciones geológicas del terreno se caracterizan, en la mayoría de los casos, por la diversidad y heterogeneidad de las forma-

ciones a atravesar. En general, se trata de suelos (con sus características mecánicas propias) muchas veces alterados o manipulados, constituyendo rellenos artificiales. En cuanto a las condiciones hidrogeológicas, es también frecuente la presencia de niveles freáticos y de aguas colgadas, naturales o procedentes de fugas de la red de abastecimiento y saneamiento.

El reconocimiento del terreno presenta dificultades evidentes, compensadas, en cierto modo, por la existencia de una valiosa experiencia local. La importancia de estos trabajos no puede discutirse, pero conviene decir que un estudio incompleto del terreno puede tener graves repercusiones económicas.

A todas estas características del medio en el que va a construirse el túnel, hay que añadir las particularidades de la presencia, en superficie, de edificaciones y estructuras, y, en profundidad, de cimentaciones, canalizaciones y servicios, restos de obras antiguas y defectos subterráneos naturales o artificiales, como cavernas, minas, pozos, etc., a veces abandonados o desconocidos. Las dificultades para conseguir información adecuada al respecto son bien conocidas de todo el que, alguna vez, ha tenido relación con obras urbanas de cualquier tipo.

La presencia de edificaciones, estructuras y canalizaciones subterráneas en la proximidad del nuevo túnel, adquiere una importancia fundamental debido a la repercusión o los efectos que en ellas puede tener la nueva obra, tanto en lo que se refiere a estabilidad como a los asientos y movimientos que se pueden inducir.

Toda construcción subterránea suele requerir operaciones capaces de causar daños en las estructuras cercanas. Estas operaciones peligrosas son principalmente la excavación, la modificación del nivel freático y la transmisión de vibraciones. En el túnel urbano concurren, en general, todas ellas, particularmente en los túneles de Metro. La obra requiere una excavación que, inevitablemente, ocasionará movimientos del terreno que pueden ser incompatibles con las estructuras cercanas. El túnel supone un drenaje permanente del nivel freático, que modificará el estado de presiones efectivas en el terreno y que, incluso, puede provocar su erosión interna. Las vibraciones dependen del método de ejecución en la fase constructiva, y de la finalidad del túnel durante la explotación de la obra y pueden provocar compactaciones del terreno (en suelos granulares), daños en los edificios próximos y molestias para sus ocupantes.

La elección del trazado de cualquier túnel debe hacerse contemplando, no sólo los factores anteriores, sino también las posibilidades de los diversos métodos de ejecución, sin olvidar las ventajas de su combinación, con adecuados tratamientos previos del terreno. Tratándose de túneles urbanos, estas posibilidades de los métodos de ejecución están íntimamente ligadas con la perturbación de la vida en superficie, y, principalmente, con los efectos de la obra sobre las estructuras cercanas. La consideración de estos efectos es de importancia fundamental, a pesar de las enormes dificultades que existen para ello como consecuencia del estado de nuestros conocimientos técnicos y la incertidumbre sobre el proceso de deformación que han experimentado las estructuras ya construidas.

El ideal es poder adoptar un trazado en el que la mayor parte del túnel mantenga toda su sección en formaciones geológicas similares y reconocidas por la experiencia como que presentan el mínimo número de problemas para la excavación subterránea y la vida urbana.

A la optimización del proyecto se llega mediante un equilibrio entre la calidad, la seguridad y el coste de las obras; pero, con un concepto de coste mucho más amplio que el habitual, pues, además de la incidencia de los plazos y gastos de explotación, es obligado considerar nuevos parámetros como los costes y beneficios sociales. En muchos casos, la alternativa entre el túnel superficial o profundo se decide por la conveniencia de eliminar riesgos innecesarios.

Con esta exposición hemos pretendido resumir brevemente las peculiaridades del proyecto de un túnel urbano. El estudio constituye un proceso de aproximaciones sucesivas con reconsideración constante de cada decisión anterior. El estudio previo debe sentar las bases de etapas posteriores; pero siempre quedan planteadas incertidumbres, algunas de las cuales no se despejan hasta la ejecución de la obra. Por ello, tiene primordial importancia que en el proyecto se establezcan pronósticos, previsiones y criterios de actuación para tratar de evitar la multitud de problemas que pueden presentarse, problemas que suelen traducirse en encarecimiento de la obra, y, a veces, desgraciadamente, en costosos daños, demandas judiciales y retrasos en la construcción.

El estudio de un túnel se completa con aspectos que corresponden a las otras sesiones de este Simposio. Creo que durante el mismo deberíamos meditar sobre toda la problemática general y, principalmente, sobre los defectos que presenta el tratamiento actual, tanto a escala nacional como internacional, y de cuya situación todos, de alguna manera, somos responsables. Es deseable una mayor coordinación entre especialistas, faltan normativa, bancos de datos, centros de documentación, reglamentación y legislación urbanas, y es precisa la colaboración a todos los niveles necesaria que, ante el reto futuro que supondrá el desarrollo previsible del túnel urbano, es tarea común obtener calidad y seguridad y administrar bien los enormes recursos que el país tendrá que poner en juego.

de decidir la construcción de una galería de este tipo. Por otra parte, la galería debe ser un túnel sujeto a una inspección especialmente detallada y cuidadosa, apoyada en levantamientos geológicos precisos y en mediciones en instrumentos diversos que permitan acotar las condiciones geológicas que va a encontrar el túnel principal. Al evaluar éstas, habrá que hacer justa consideración de los efectos de escala, al extrapolar al túnel principal lo observado en la galería y también, en determinados casos, de los efectos que en la zona del túnel haya podido producir la excavación de la galería misma.

2.4 Factibilidad de Alternativas.

En relación con este inciso se acompañan las ponencias de los ingenieros J. García Rosello y de F. Muzas Labad, del Primer Simposio Nacional sobre Túneles, celebrado en Madrid, España, en diciembre de 1974.
Se discutirán algunos aspectos en la exposición oral.

2.5 Estudios durante la Construcción.

2.5.0 Durante la construcción se podrá hacer una comparación de las condiciones geológicas que se predicen en el estudio geológico, con las condiciones reales aparentes que se observan en el túnel. Es un repaso, ante la realidad, de los principales aspectos anotados en el informe geológico (véase inciso 2.1) para evaluar su validez. De esta manera se podrán tomar nuevas decisiones en relación con la selección del soporte en la frente o con respecto a la modificación del soporte mismo y de algunas de las operaciones de construcción.

Los afloramientos en el túnel permiten mapear las características más significativas de las discontinuidades que son difíciles de determinar a partir de sondeos hechos en la etapa previa a la construcción. Es importante anotar la continuidad, las irregularidades u ondulaciones de los bordes y el tipo y espesor del relleno que se descubran a lo largo de diaclasas, fallas y zonas de cortante. Deben de identificarse cuanto antes, y dibujarse, las diaclasas que muestren una orientación preferencial y que por ello for-

men familias o conjuntos. Cada familia debe nombrársele con un número. Las desviaciones significativas respecto a una familia deben quedar también anotadas.

La figura 13 es un ejemplo de formato de registro geológico y-- la figura 14 un ejemplo del levantamiento geológico de una frente de túnel.

El geólogo debe observar la geología del tramo de túnel y de la frente correspondientes en cuanto termine la ventilación, inmediatamente después de la voladura, y durante los trabajos de -- amacizado y de iniciación del soporte. Si éste es a base de -- concreto lanzado, la geología quedará oculta una vez que éste-- se aplique. El geólogo debe prestar especial atención a esta-- blecer relaciones entre las condiciones geológicas aparentes en el túnel y los requerimientos de soporte o ademe.

2.5.1 Los aspectos relacionados con la construcción que deberán observarse y registrarse en detalle, para poder "llevarle el pulso"- al túnel, son los siguientes:

1. Dimensiones de la sección del túnel.
2. Longitud avanzada por ciclo
3. Sobrexcavación: Forma del perímetro, tamaño de la zona sobre excavada.
4. Métodos de excavación.

Voladura: Diagrama de barrenación, consumo de explosivos total, por retardo y por barreno; espaciamiento y carga de los barrenos del perímetro; distribución de retardos; longitud de los barrenos y del taco; cambios en los procedimientos.

Toda esta información suele aparecer en un informe normal de barrenación y carga, pero hay a veces modificaciones hechas por-- el sobrestante o el cabo de barrenación que no se anotan y que- es importante que queden registrados.

En el caso de máquinas tuneladoras se indicará: dimensiones del túnel; empuje y par de torsión del cabezal de la máquina; tipo, número, distribución y dimensiones de los cortadores; velocidad de avance durante la operación de la máquina; tiempo de trabajo efectivo de la máquina; número y localización de los cortadores cambiados en el día; tamaño (graduación) de los pedazos de rezaga.

5. Soporte o ademe: peso, espaciamiento, tiempo de instalación en el ciclo, método de instalación.

a) Marcos metálicos.-Primero anótese: peso, tamaño, forma, tipo de acero, número de piezas en cada marco, espaciamiento entre marcos, apoyo de los postes, espaciamiento del retaque o "castigo"; acuñamiento del retaque (anotar si los marcos están "castigados" en el arranque del arco o abajo), espaciamiento y colocación de "separadores" y "tirantes", distancia a la frente en el momento de instalar los marcos, tiempo de instalación, tipo de placas de asiento y de pernos, número de pernos, plomeo de los marcos.

Después: obsérvese evidencias de carga excesiva sobre los marcos o de trabajo inadecuado de los mismos: separación entre placas de unión entre secciones, aflojamiento o aplastamiento del retaque, flambeo del alma, alabeo de los patines, marcos fuera de línea o de plomo y otras evidencias de grandes deflexiones o deformaciones.

b) Pernos de anclaje: Primero: peso, longitud, diámetro y tipo de acero; tipo de anclaje; método para obtener el anclaje; método de protección del ancla; método para dar apoyo en la superficie del barreno; dimensiones de las placas de apoyo, tuercas, roldanas, coples, cuerdas; tensado de las anclas, espaciamiento de las mismas; tiempo de instalación; distancia atrás de la frente; método de soporte entre anclas (malla, tiras de acero, concreto lanzado, pernos cortos).

Anclas "Perfo", anclas de adherencia y anclas de resina: peso, diámetro y longitud de las piezas; mortero, lechada y resina utilizadas en la inyección (mezclas, aditivos); dispositivo de inyección; procedimiento de instalación; patrón de anclaje. Tiempo después -

de instaladas debe verificarse que las anclas no están sueltas,- que el producto adherente ha fraguado y, mediante pruebas selectivas de extracción, que dan la capacidad de carga requerida.
Después: para pernos no inyectados evidencia de incrementos de - carga al tomar forma de comal las placas de apoyo, rotura de ancla (por lo general en la zona de cuerda cerca de la embocadura) placas o tuercas sueltas
c) Concreto lanzado. Primero: cantidad pasada por la máquina;-- porcentaje de rebote; espesores; espesores sobre protuberancias- y en rebajes o nichos; propiedades del material (dosificación,-- tipo y porcentaje de acelerante, resistencia con el tiempo, compatibilidad acelerante cemento); tiempo de aplicación; prepara-- ción de la superficie; temperatura del concreto lanzado; efecto- de las entradas de agua en el concreto lanzado; distancia a la-- frente, espesor aplicado en cada capa; distancia de la boquilla- a la superficie donde se aplica; adherencia, característica de-- la superficie donde se aplica.
Después: observar grietas y desprendimientos especialmente cerca de la frente; tamaño de las grietas (ancho, largo, espesor, co-- rrimentos); localización de las mismas; mídanse cambios con el-- tiempo como indicador del deterioro del ademe; evidencias de poca o ninguna adherencia, abombamientos y vacíos y movimientos de la roca; relacionar las grietas con la geometría del túnel, el-- tipo de soporte, la geología.
d) Método de soporte en la frente: agujas, tablestacas, pernos- inyectados, concreto lanzado, ademe de madera o metal.

6. Método de excavación por etapas. Sección superior y banqueo; galerías piloto y ensanche. Soporte de las excavaciones parciales y extensión del mismo a la excavación total.

7. Condiciones del agua. Localización, duración y volúmenes de- los flujos por diaclasas y fallas o por barrenos; humedad en las- zonas sobrexcavadas; presión; gasto de agua de la frente y en el túnel.

8. Inyecciones. Mezclas, método de aplicación, tiempo de inyec-- ción, espaciamiento, profundidad y localización de los barrenos-- de inyección, presiones; gastos; fugas por diaclasas o por barrenos adyacentes.
9. Equipo para instalar soportes y para hacer barrenos. Procedimiento. Duración del ciclo.

2.5.2 Instrumentación.

Las mediciones que se hagan durante la construcción, pueden usarse para ayudar a ésta. Pueden servir para verificar si el diseño es el adecuado o puede señalar áreas en las que conviene hacer modificaciones.

La instalación de instrumentos se justifica en estos casos: grandes cavernas (casas de máquinas, depósitos subterráneos); exca--- vaciones y túneles en una geología compleja y difícil; geometría- complicada de cavidades; procedimientos de construcción comple--- jos; donde haya la posibilidad de causar grandes movimientos que- puedan afectar la estabilidad de la obra misma o sus vecindades o que puedan provocar daños a terceros; o donde se necesite recabar información de cargas sobre ademes o revestimientos para utilizar la en el diseño de futuros tramos de la misma obra, o de futuras- obras.

Al igual que los otros sistemas de adquisición de información (mapeo, sondeos, prospección geofísica), la instrumentación debe planearse y programarse para aclarar o complementar alguna parte del resto de la información, así como para aportar nuevos aspectos -- (nuevas piezas del mosaico). Por consiguiente, debe concebirse-- teniendo en cuenta primero que nada el conjunto y, después, las-- partes a las que va estar más directamente relacionada.

En un túnel, (especialmente en uno excavado a sección completa) - la instrumentación queda por lo general instalada después de que- ha pasado la frente, por lo que registra sólo una porción de la-- respuesta de la roca a la excavación. Más aún, el soporte ini--- cial suele aplicarse antes de que se interpreten o quizá de que--

se tomen las primeras mediciones. Por consiguiente no hay oportunidad para influír en la decisión respecto a la elección del soporte en la sección, sobre la base de las mediciones de la instrumentación. Estas pueden ser muy útiles, en cambio, para indicar en qué momento se estabilizan los movimientos de la roca, que debe ser el momento adecuado para colocar el revestimiento definitivo. Si los movimientos no se estabilizan (el caso de rocas blandas que fluyen), entonces sí se puede modificar el soporte temporal -o el definitivo-, en base a las mediciones. Pero quizá el mejor uso de estas observaciones, en una situación así, es la de poder modificar oportunamente el soporte de futuras secciones en las que se espera que se planteen situaciones semejantes.

En túneles pequeños la economía reside más bien en la compatibilidad entre las condiciones del terreno, el sistema de ademe y de revestimiento, y los métodos constructivos. Es claro sin embargo, que en ocasiones puede haber ahorros importantes al usar ademes más ligeros o al reducir o eliminar el refuerzo en el revestimiento final.

En grandes túneles y cavernas, aparte de la compatibilidad mencionada, puede llegarse a proyectos económicos si se logran mejoras en el diseño de los revestimientos. Para ello deben estimarse las cargas de roca, la interacción roca-ademe-revestimiento y la capacidad última de los revestimientos y ademes, mediante mediciones de cargas, esfuerzos y deformaciones.

En ocasiones se puede reducir la carga de roca, instalando pernos o anclas, desde la frente hacia adelante, que evitan o reducen el aflojamiento alrededor de la excavación. Mediante mediciones puede confirmarse la utilidad de este sistema que puede reducir considerablemente los requerimientos de ademe provisional.

El comportamiento observado mediante mediciones, de zonas de revestimiento sin refuerzo puede derivar economías importantes en el diseño del revestimiento final.

Las figuras 16 a 20 muestran esquemas de instalación de instrumentos en túneles.

2.5.3 Detección de las Condiciones Geológicas adelante de la frente del túnel.

A este respecto se van a presentar, a continuación, algunas de las conclusiones de un informe del Laboratorio de Investigación sobre Caminos y Transporte de Inglaterra (Transport and Road Research Laboratory TRRL) publicadas en la revista Tunnels & Tunneling en enero de 1977.

1. Las investigaciones o estudios previos a la construcción no proporcionan, en el estado actual del conocimiento, suficiente información acerca de las condiciones del terreno como para que el tuneleo proceda con completa seguridad.

Debe darse todo el apoyo posible para perfeccionar los métodos de investigación previa, pero aún así, es necesario también aplicar algún método de detección de las condiciones del terreno adelante de la frente del túnel, durante la construcción del mismo, para remediar las deficiencias de la información previa y así reducir los riesgos de causar perjuicios tanto al personal como a la obra.

2. La detección de las condiciones adelante de la frente es sólo una fase de todo el proceso de recopilación de información sobre el terreno para el tuneleo, y debe integrarse con las otras fases para lograr el máximo beneficio.

Debe obtenerse la máxima ventaja de la información derivada de etapas anteriores para diseñar el sistema de detección.

3. Al presente, la barrenación y el sondeo hacia adelante se han utilizado más bien en circunstancias difíciles cuando se anticipaba mal terreno o cuando las consecuencias de un accidente se suponían graves. Los métodos geofísicos se han empleado en plan experimental (desde la frente o desde barrenos perforados a partir de ella); hasta donde se puede asegurar, no se han llevado todavía a un nivel práctico.

4. La razón de que no se haya usado más ampliamente la barrenación o sondeo hacia adelante es que no se cuenta, en la mayoría de los-- casos, con equipo adaptado al túnel. Se reconoce que se requiere-- mayor labor de investigación y desarrollo en este campo y en particular de desarrollo industrial.

5. Debe admitirse que ninguno de los métodos de detección adelante de la frente, por sofisticados que estos resulten, ya sea por son-- deo, por geofísica o por una combinación de ambos, son capaces de-- garantizar con absoluta seguridad las condiciones que es dable en-- contrar más allá de la frente del túnel.

2.5.4 De estas conclusiones debe derivarse que es necesario aplicar métodos de detección adelante de la frente para completar la informa--- ción de las condiciones geológicas que se anticipa va a encontrar-- el túnel. Si estas condiciones se estima que son particularmente-- difíciles y que implican riesgos al personal o a la obra, la aplicación de dichos métodos es indispensable.

Queda mucho por perfeccionar en estos métodos para adaptarlos mejor al espacio y a las condiciones de trabajo dentro del túnel, pero no por eso deben desecharse.

Son métodos que se aplican en interés de la economía y la seguridad de la obra por lo que debe recurrirse a ellos cuantas veces se estime necesario y la interpretación de sus resultados debe ser cuidadosa pero oportuna para que cumplan su propósito.

Es recomendable aprovechar los fines de semana para llevar a cabo-- las investigaciones de este tipo en modo a no estorbar las operaciones normales del túnel. Se procurará explorar en esos días una longitud algo mayor que la que va a avanzar el túnel durante la semana y en tantos puntos de la frente y con la inclinación que convenga-- de acuerdo a la estructura geológica aparente y a las condiciones-- que se anticipan y se quieren verificar. Para la generalidad de -- los casos, en que se quiere detectar la presencia de agua, o de material muy quebrado o alterado, basta con efectuar barrenos sin extracción de núcleos, con una perforadora "track drill" o equivalente.

Para exploración de más detalle se requerirá extraer núcleos o muestras lo que implica una operación más delicada y por lo tanto más--- lenta.
Se usarán entonces máquinas del tipo "rotaria" con barriles muestreadores, o del tipo de barrena espiral con sacamuestras Denison o Shelby. En uno u otro caso, el registro detallado de los incidentes de la perforación y de la velocidad de avance y comportamiento de la -- misma es de gran utilidad para la interpretación.
En muchos casos de materiales triturados o descompuestos, para evi-- tar el derrumbe o el cierre de la perforación, habrá que ingeniárselas para "encamisar" o ademar, mientras se perfora, con tubería metálica o con lodo.
En otros casos (arenas) aún ademada la perforación, el agua canali-- zada a través de ella puede alcanzar gradientes críticos que provo-- quen la erosión y el arrastre de material, pudiendo resultar la misma perforación el origen de una vía de agua y suelo más importante.
En estos casos debe perforarse desde una mampara estanca, y los ba-- rrenos deben tener aditamentos de filtro y de válvulas o llaves que- permitan "cerrar" oportunamente la fuga.
Las mediciones de presión y gasto de filtración que se hagan en ba-- rrenos de exploración pueden ser útiles para diseñar un eventual tratamiento de impermeabilización.

2.5.5 En el túnel de ferrocarril de Seikan, de 50 km. de largo, en Japón-- se habla de barrenos horizontales, con extracción de núcleos, de 800 m. de largo, hechos con máquinas rusas y americanas. Las perforaciones se hacen desde nichos o galerías laterales al túnel. Se puede-- uno imaginar los problemas de guía y orientación de la línea de ba-- rrenación que deben tener y las dificultades de interpretación con-- siguientes. Pero los riesgos adelante son muchos, por estar una buena parte del túnel bajo el mar sin posibilidad de intentar conocer-- la geología desde la superficie, de ahí que las necesidades de información sean imperiosas y ésta deba ser obtenida con gran anticipa--- ción para poder planear los procedimientos constructivos con sufi--- ciente oportunidad. Un túnel de servicio, algunas galerías piloto y varias lumbreras inclinadas de acceso han ayudado a ir completando - el mosaico geológico.

En casos menos excepcionales la barrenación deberá hacerse de longitudes entre 15 y 50 m. casualmente 100 m. Durante la semana deberá procurarse, interrumpiendo lo menos posible las operaciones del túnel, adelantar uno o dos barrenos una longitud de uno a dos diámetros del túnel, en cada ciclo, o una vez por día, según lo amerite el caso.

En determinados proyectos, la mejor exploración adelante se obtendrá a partir de una galería de reconocimientos, como ya se explicó en el inciso 2.3.6.

En toda exploración para detectar las condiciones geológicas adelante de la frente del túnel es indispensable la interpretación de un geólogo experimentado, de preferencia que sea uno de los que haya intervenido en las demás fases del estudio geológico.

2.5 Para concluír, unas últimas frases:

"El ingeniero tiene un deber fundamental: minimizar lo imprevisto (la incertidumbre)"

"La predicción es un paso clave en el proceso de crear (construír) y mantener en operación una obra de ingeniería"

Ello es más notorio y más crítico en la construcción de túneles, pero el ingeniero cuenta cada día con más armas para cumplir con ese deber y dar ese paso. De esta manera el tuneleo se aleja cada vez más de la esfera del juego de azar, -de arriesgarlo todo-, y se acerca más a la esfera del dominio pleno de la ingeniería.

No dejará, sin embargo, de conservar el embrujo de penetrar en los ámbitos más recónditos de la naturaleza con una combinación acertada de arte y de técnica.

TABLA 1. Estimación (que se considera conservadora) de la Demanda de Túneles en la Década 1970 1979.
(Datos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos OCDE)

Son datos de una encuesta a la que respondieron dieciocho países.

(1)	Longitud total	628,000 km.
(2)	Volumen de Excavación	6,031 millones m3.

En la década 1960-1969 los valores correspondientes fueron:

(1)	Longitud total	431,000 km.
(2)	Volumen de Excavación	3,912 millones m3.

El incremento se estima por tanto que será de 46% en (1) y de 54% en (2).

El costo estimado para excavación subterránea entre 1970 y 1979 (datos de 15 -- países) es de 54,000 millones de dólares que representa un incremento de 100%-- sobre los 26,600 millones de dólares gastados durante 1960-1969.

El 97% de la longitud y el 89% del volumen de la estimación 1970-1979 corresponden a obras orientadas a la minería.
Sin embargo, para construcción no minera se harán 21,000 km. de túneles con un volumen de 675 millones de m3. Lo que representa un 62% de incremento en longitud y un 136% de aumento en volumen, ya que en el período 1960-1969 las cifras respectivas fueron 13,000 km. y 286 millones de m3. Los costos estimados para excavación subterránea orientada a la construcción son 28,500 millones de dólares que es un 240% mayor que la década pasada y que fue de 8,400 millones de dólares.

Segmento	Segmento del que depende		Tabla de probabilidad de Markov	
J	-		Falla	No falla
			0.8	0.2
			También falla	No falla
K	J	Falla	0.6	0.4
		No falla	0.0	1.0

TABLA 3. Tablas de probabilidad de Markov

(Moavenzadeh, MIT, 1974)

TABLA 4. EJEMPLO DE INFORMACION SOBRE UN PARAMETRO DE CONSTRUCCION. (Moavezadeh, 1974).

Sobrexcavación en Centímetros.

Aplicable en Nodos Terminales	Optimista	Más Probable	Pesimista
De 1 a 4	10	13	18
De 5 a 16	13	15	20

TABLA 5. (Wahlstrom, 1973)

Lista Ayuda Memoria para la Recopilación de Información en el Estudio Geológico del Sitio Propuesto para un Túnel.

La información deberá presentarse en mapas y perfiles, cortes columnares y en-- tablas, gráficas y diagramas, junto con texto, descripciones e interpretaciones en el cuerpo de un informe que acompañe los mapas y los perfiles.

I. Depósitos superficiales.
Determínense las características y el origen de los depósitos superficia-- les y localícense los diversos tipos en el mapa geológico. Examínense en- particular los depósitos superficiales de origen local para determinar la- litología y estimar la competencia o calidad de la roca basal originaria.

II. Geomorfología.
Examínense los rasgos topográficos y clasifíquense por tipo y origen. --- Préstese atención en particular a las formas y a su distribución ya que re flejan la litología de la roca basal, la estructura subterránea y la alte- ración. Si es posible, correlaciónese lo escarpado de las laderas con la- calidad o competencia de la roca basal.

III. Identifíquense las unidades geológicas y mapéense los afloramientos. Hágan se anotaciones cuidadosas de la mineralogía megascópica y la "estructura"-- elemental de cada unidad. Coléctense muestras para exámenes petrográficos- en el laboratorio y, si es posible, para medir sus propiedades ingenieriles.
a. Para rocas ígneas, anótense las estructuras elementales originales, pla nas y lineales, sí están presentes, particularmente las de alineación y es- tratificación fluidales.
b. Para rocas sedimentarias hágase lo posible para medir y preparar un per fil estratigráfico que muestre a detalle los espesores y las litologías de- los estratos individuales así como las inconformidades y discordancias.
Si fuese necesario, porque sea crítica la recolección de información, úsen- se barrenos con recuperación de núcleos.

c. En afloramientos de rocas metamórficas anótese la litología y las estructuras elementales y préstese particular atención a los tipos y actitudes de la foliación, el clivaje y la alineación o linearidad. En terrenos metamórficos complejos búsquense capas de litología y estructura elemental evidentes que puedan servir para definir relaciones estructurales. Anótense y mapéense los pliegues mayores y menores.

IV. Identifíquense todos los rasgos de anisotropismo secundario como diaclasas, fallas y pliegues y localícense en el mapa geológico con símbolos y anotaciones apropiadas.

a. Para fallas inténtese determinar rumbo, echado y dirección y magnitud del desplazamiento relativo de los bloques adyacentes. Préstese particular atención al ancho y a las características de la roca afectada en relación con fallas.

b. Por su importancia principal para el ingeniero encargado de evaluar las técnicas de excavación y la cantidad y tipo de soportes, los estudios y levantamientos de diaclasas en el campo, deben hacerse con todo cuidado. Las diaclasas que interesan son las que se espera que existan en el cuerpo de la roca a profundidad, y debe tenerse cuidado de eliminar del análisis las diaclasas que resulten del intemperismo superficial, glaciación, o fallas de talud (Nota: estas últimas diaclasas sí son importantes para la estabilidad de los portales y primeros metros de túnel, y para túneles situados relativamente cerca de laderas o pendientes).

Inténtese identificar sistemas o familias de diaclasas y anótense y dibújense sus tendencias. Préste atención y regístrense espaciamientos de diaclasas, extensión lateral y vertical del diaclasado en cada sistema, rugosidad o planaridad de las diaclasas, y relativa persistencia de sistemas de diaclasas que se intersecten.

Los datos deberán pasarse a representaciones estercográficas adecuadas. El análisis estadístico por computadora a veces ayuda en el estudio de los datos sobre diaclasas.

c. En rocas plegadas anótese el tipo de pliegues y préstese especial atención al movimiento o desplazamiento de capas adyacentes, el desarrollo de-

fracturas en las crestas, en los valles y en los , así como el comportamiento de capas menos competentes entre capas más competentes.

V. Inténtese evaluar las condiciones del agua subterránea. Localícese, mapéese y estímese la cantidad de agua que aflora de manantiales. Hágase especial mención de los manantiales termales que pueden revelar altas temperaturas a profundidad. Evalúese, hasta donde sea posible, la permeabilidad secundaria relacionada con fracturas y disolución de calizas.

VI. Estímense las posibilidades de gas a profundidad. Préstese especial atención a la eventual presencia de gas metano explosivo en o derivado lutitas o calizas carboníferas. El bióxido de carbono viene por lo común asociado con manantiales, en zonas de actividad volcánica, y puede estar presente en grandes cantidades a profundidad.

VII. Estímense las temperaturas de la roca al nivel del túnel. Las altas temperaturas están muy localizadas generalmente en zonas de reciente actividad volcánica u orogénica, y pueden detectarse por manantiales termales en superficie.

VIII. Localícense áreas donde las prospecciones geofísicas y los barrenos con muestreo pueden contribuír al mejor conocimiento de la geología de la roca basal y a correlacionar los resultados con otros datos del estudio geológico.

TABLA 6. RESUMEN DE METODOS GEOFISICOS DE PROSPECCION A PROFUNDIDAD.

I. Métodos Sísmicos que utilizan temblores artificialmente inducidos, por lo general por medio de explosivos o de impactos de masas pesadas.
   A. Método de refracción
   B. Método de reflexión (grandes profundidades; exploración petrolera)

II. Métodos de gravimetría que miden variaciones en el campo gravitacional terrestre relacionadas con la estructura geológica subterránea.

III. Métodos de Magnetometría que miden variaciones o contrastes en la susceptibilidad magnética de las rocas.

IV. Métodos Eléctricos.
   A. Métodos que miden potenciales naturales o espontáneos
   B. Métodos que miden caída de potencial en la corriente transmitida entre electrodos.
   C. Métodos que miden distorsiones o anomalías en campos eléctricos o magnéticos naturales o inducidos.

V. Métodos basados en la medición de la radioactividad de las rocas.

VI. Métodos que registran anomalías en la recepción de ondas electromagnéticas (ondas de radio) transmitidas desde fuentes emisoras introducidas en barrenos.

TABLA 7. (F. Press 1966)

Algunas velocidades de ondas sísmicas longitudinales (de compresión) en materiales naturales.

Material	Velocidad en Km/seg.
Aluvión	0.5 - 2.1
Arcilla	1.1 - 2.5
	0.3 - 0.6
Arena	0.2 - 2.0
Tilita (glacial)	0.4 - 1.7
Granito, monzonita cuárcica, granocliorita	4.6 - 6.0
Gabro, diabasa, basalto	5.0 - 6.7
Arenisca, lutita	1.4 - 4.5
Caliza	
blanda	1.7 - 4.2
dura	2.8 - 6.4
cristalina	5.7 - 6.4
Anhidrita, yeso, sal	3.5 - 5.5
Pizarra	3.5 - 4.4
Esquisto y gneiss	3.5 - 7.5

TABLA 8. (Wahlstrom, 1973)

Niveles de confiabilidad en la proyección a profundidad o lateralmente de los rasgos geológicos observados en superficie.

I. Proyección con la máxima confiabilidad.

A. Fallas aisladas y marcadas, zonas de falla o zonas diaclasadas con fronteras planas y bien acusadas de rumbo y echado conocidos por haberse medido en afloramientos o en barrenos.

B. Estratos sedimentarios no plegados y no fallados de espesor constante cuyos detalles estratigráficos están disponibles en los exámenes de superficie o bajo superficie.

C. Coladas de lava o de materiales piroclásticos en las que los espesores de las capas individuales no varían apreciablemente de un lugar a otro.

D. Grandes intrusiones ígneas monolíticas, particularmente grandes cuerpos de granito.

II. Proyecciones con apreciable confiabilidad.

A. Fallas maestras de tendencias conocidas en regiones de complejidad geológica moderada.

B. Ssistemas de diaclasas asociados a fallas maestras.

C. Conjuntos de rocas sedimentarias, rocas piroclásticas o coladas de lava falladas o plegadas pero con actitudes claramente entendibles, de espesor constante y cuya geometría de plegamientos y fallas es conocida.

D. Conjuntos de rocas metamórficas guresos, no fallados o moderadamente fallados, de estructura regional conocida.

III. Proyecciones con cierta reserva respecto a la precisión de la proyección.

A. Falla secundaria en áreas de afallamiento complejo.

B. Sistemas de diaclasas asociados de fallas subsidiarias o secundarias.

C. Rocas estratificadas plegadas o falladas en las que la geometría de fallas y fracturas es conocida sólo parcialmente.

D. Conjuntos de rocas estratificadas con discordancias angulares.

E. Conjuntos de rocas estratificadas altamente lenticulares.

F. Intrusiones ígneas transversales como diques y "stocks"

G. Intemperización localizada a lo largo de zona de fracturamiento.

H. Alteración destructiva a profundidad por soluciones templadas a calientes de una diversidad de orígenes.

I. Sistemas o familias de diaclasas aparentemente no relacionados a fallas maestras o a fallas secundarias.

J. Intrusiones ígneas lenticulares en rocas metamórficas.

K. Inclusiones lenticulares de rocas metamórficas en cuerpos ígneos.

L. Intrusiones ígneas concordantes como los sills.

IV. Proyecciones dudosas.

A. Fallas o sistemas de diaclasas maestras o subsidiarias, que no afloran en superficie ni se encuentran en los barrenos y que se supone están presentes por los resultados de prospecciones geofísicas de superficie o del análisis de la cubierta de roca y de los rasgos topográficos.

B. Zonas alturadas de formas irregulares y de controles estructurales desconocidos.

C. Rocas estratificadas con estratigrafía y tendencias poco o mal conocidas.

D. Rasgos de superficie identificados sólo por mapeo de muestras lavadas o de resíduos de roca y suelo.

V. Proyecciones muy dudosas.

A. Proyecciones basadas en hipótesis derivadas del conocimiento de la historia geológica del área.

B. Proyecciones basadas en la teorización e imaginación del geólogo sin una adecuada investigación en el terreno.

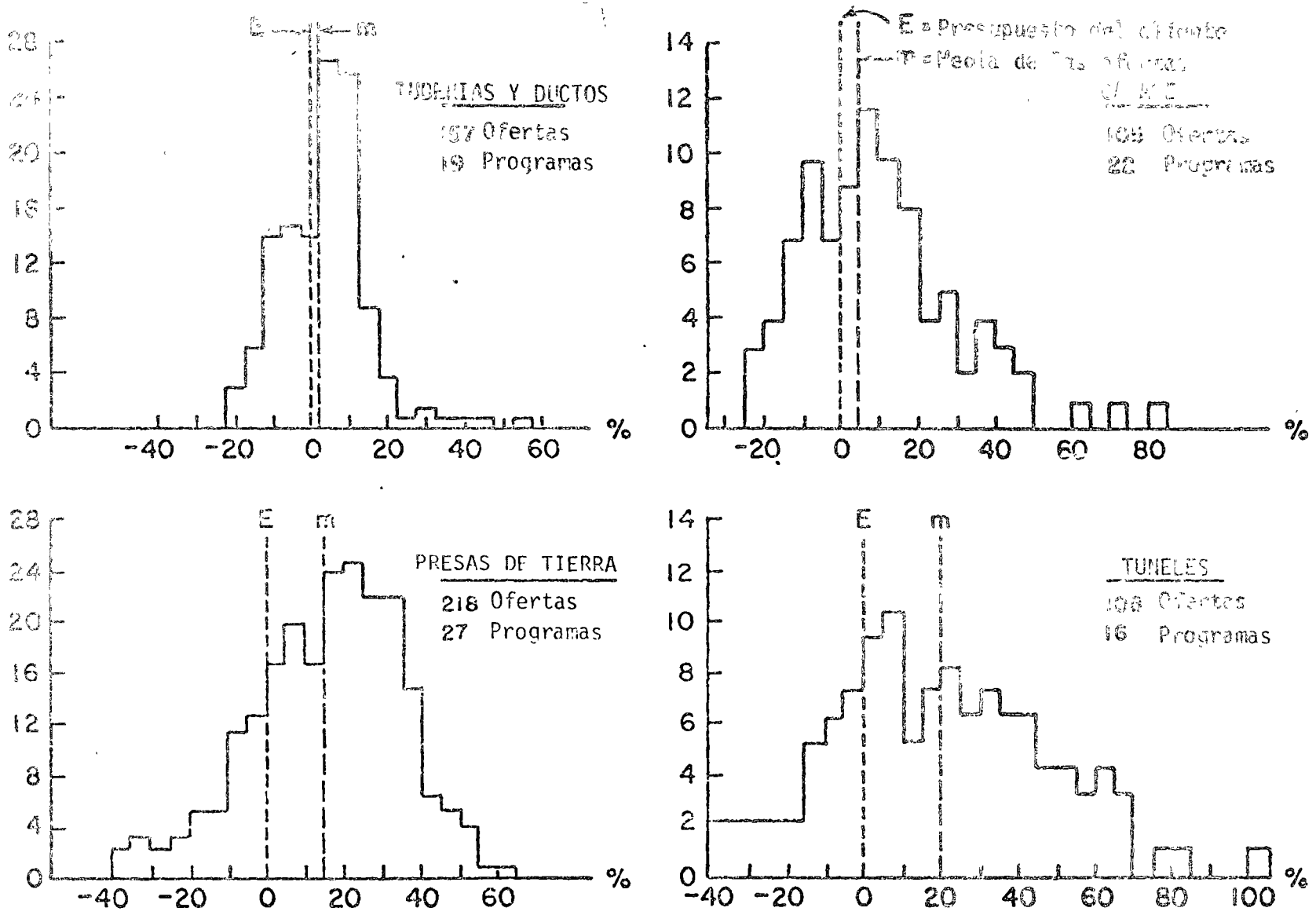


Fig. 1 Datos de Ofertas para concursos de obras de Construcción Pesada de cuatro tipos (Proyectos de Bureau of Reclamation 1965-1970)

Los histogramas muestran el número de ofertas contra las diferencias en porciento respecto al presupuesto del cliente.

(Moavenzadeh, MIT, 1974)

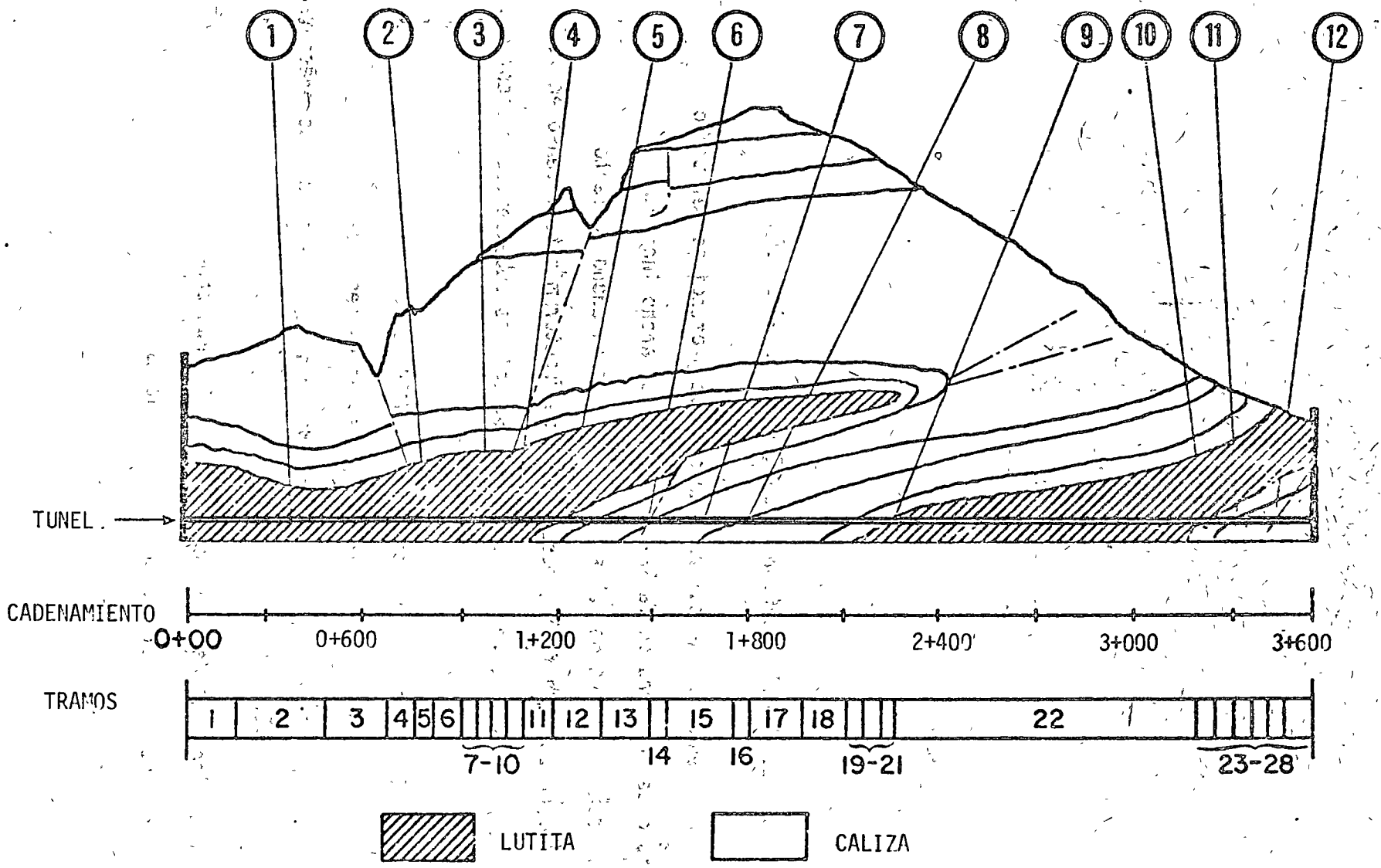


FIGURA 3. Ejemplo de Túnel por similar

(Moavenzadeh, MIT, 1974)

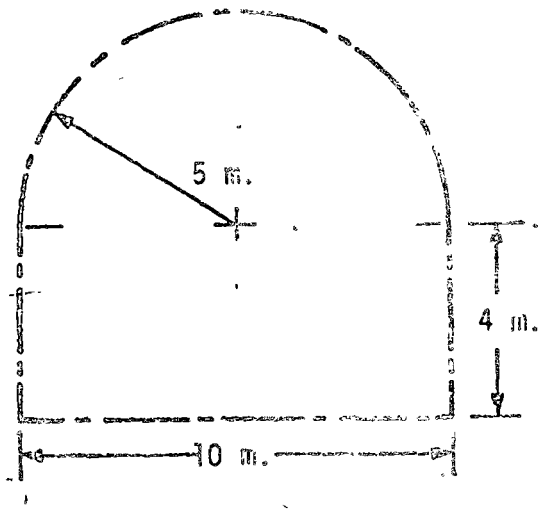


Figura 4. Sección recta del túnel.

TABLA 2. IDENTIFICACION DE INCERTIDUMBRE GEOLOGICA

1. Posibilidad de estratos de caliza buzando a la profundidad del trazo
2. Posibilidad de una zona de falla importante; su ancho incierto
3. Posibilidad de una zona de falla menos importante; ancho incierto
4. Posibilidad de zona de falla; posibilidad de fracturamiento intenso en la lutita debido a efectos de frontera; posibilidad de calizas subyacentes presentes al nivel del túnel.
5. Localización incierta del contacto entre lutitas y calizas
6. Localización incierta de la transición a caliza calcedónica
7. Caliza interestratificada con lutita que tiene alta probabilidad de presentarse como capas de arcilla.
8. Localización incierta de la transición a caliza más sana
9. Localización incierta del contacto caliza-lutita
10. Espesor incierto del estrato de lutitas
11. Características inciertas de la caliza
12. Posibilidad de zona de falla.

(Moavenzadeh, MIT, 1974)

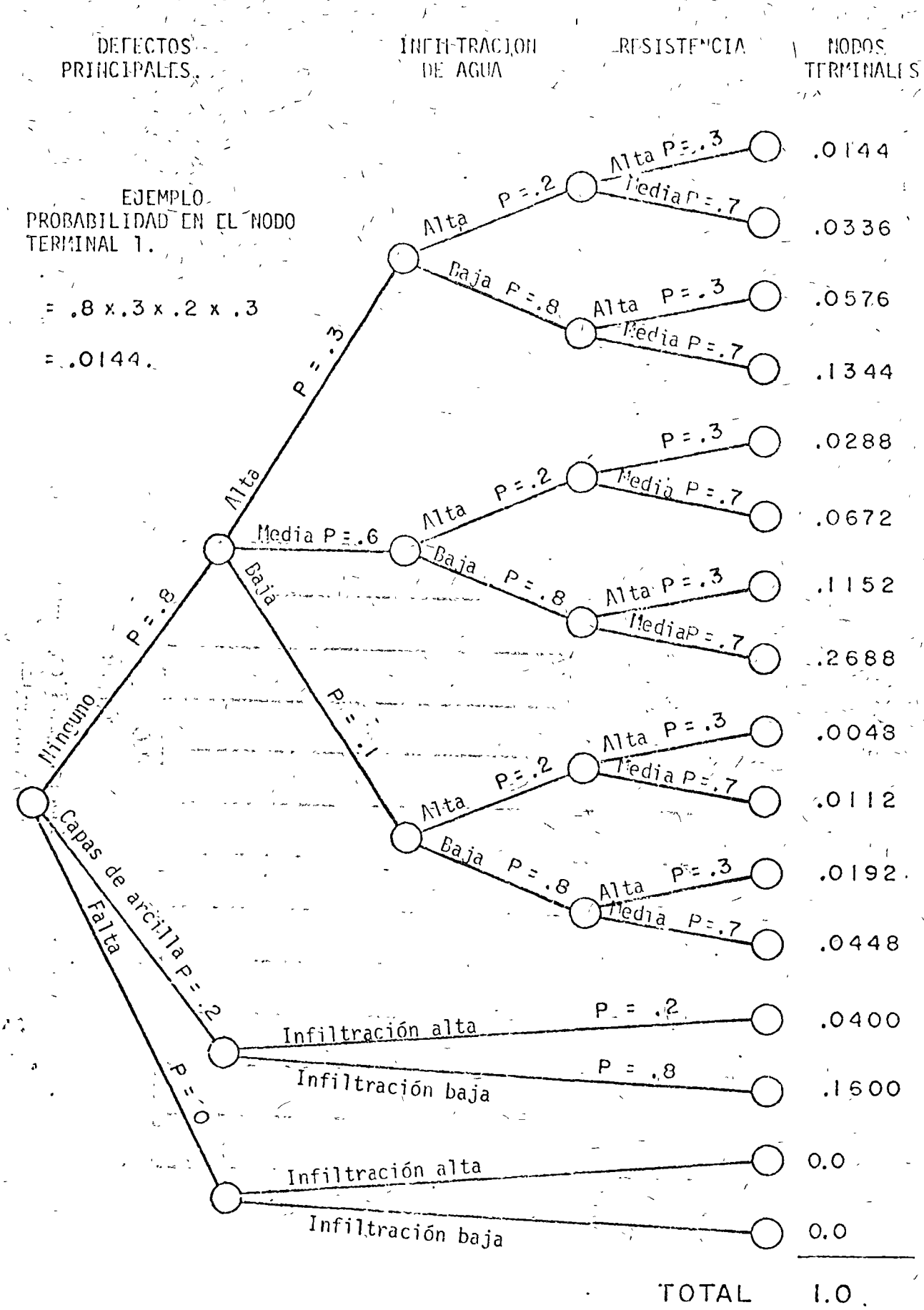


FIG. 5. Asignación de Probabilidades a las Descripciones y Estados Geológicos

(Moavenzadeh, MIT, 1974)

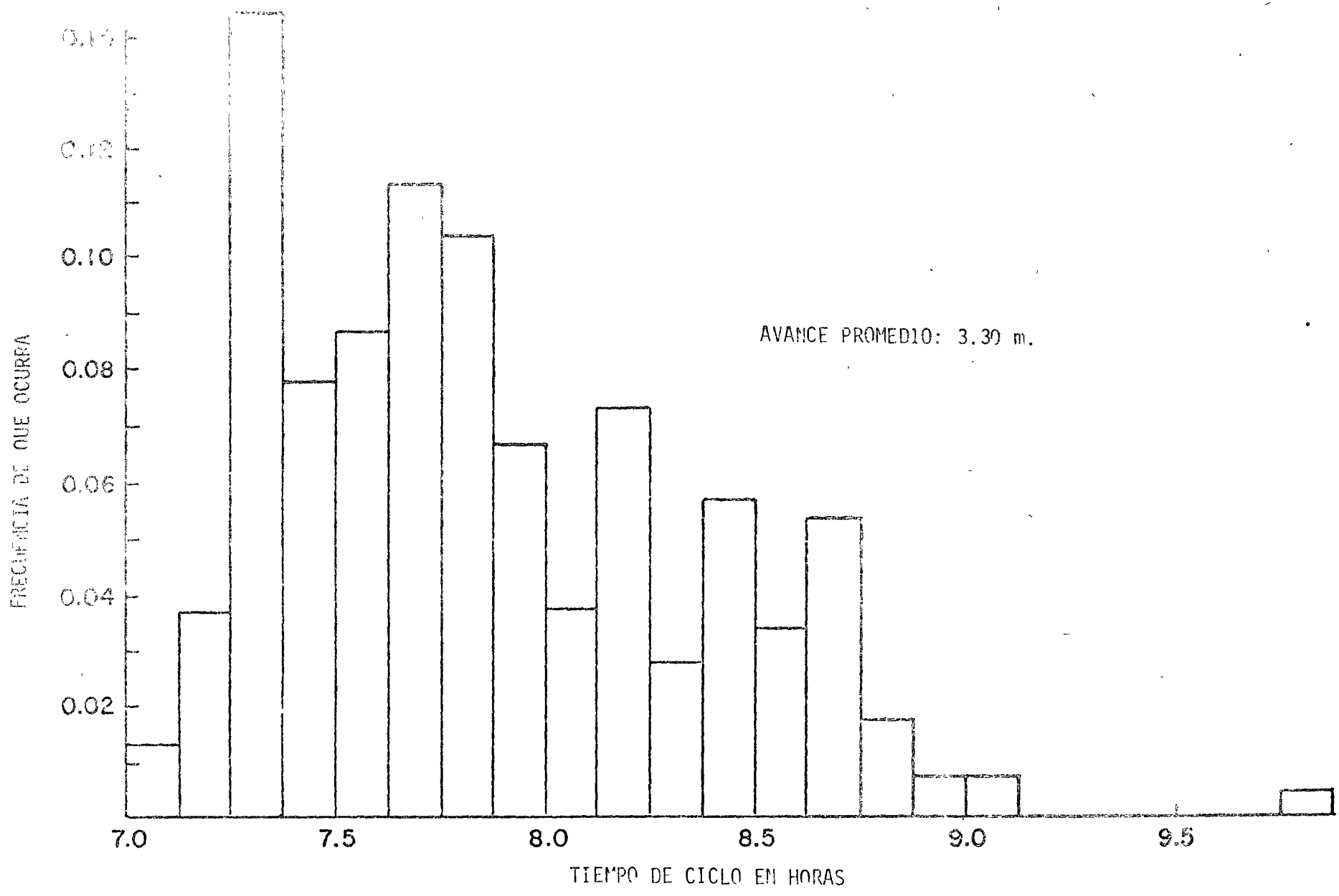


Figura 6. Distribución del Tiempo de Ciclo Bajo.
Condiciones favorables

(Moavenzadeh, MIT, 1974)

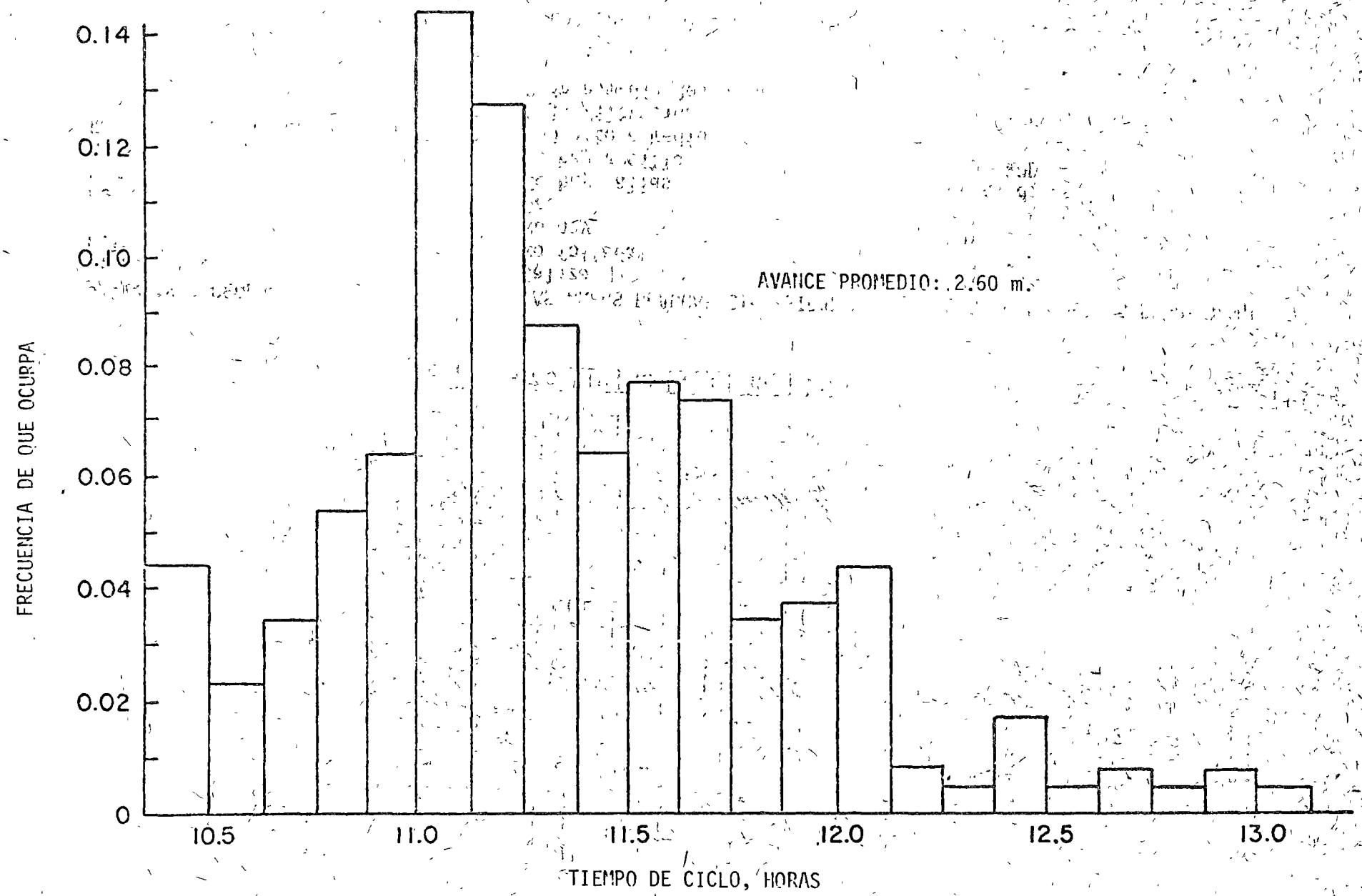
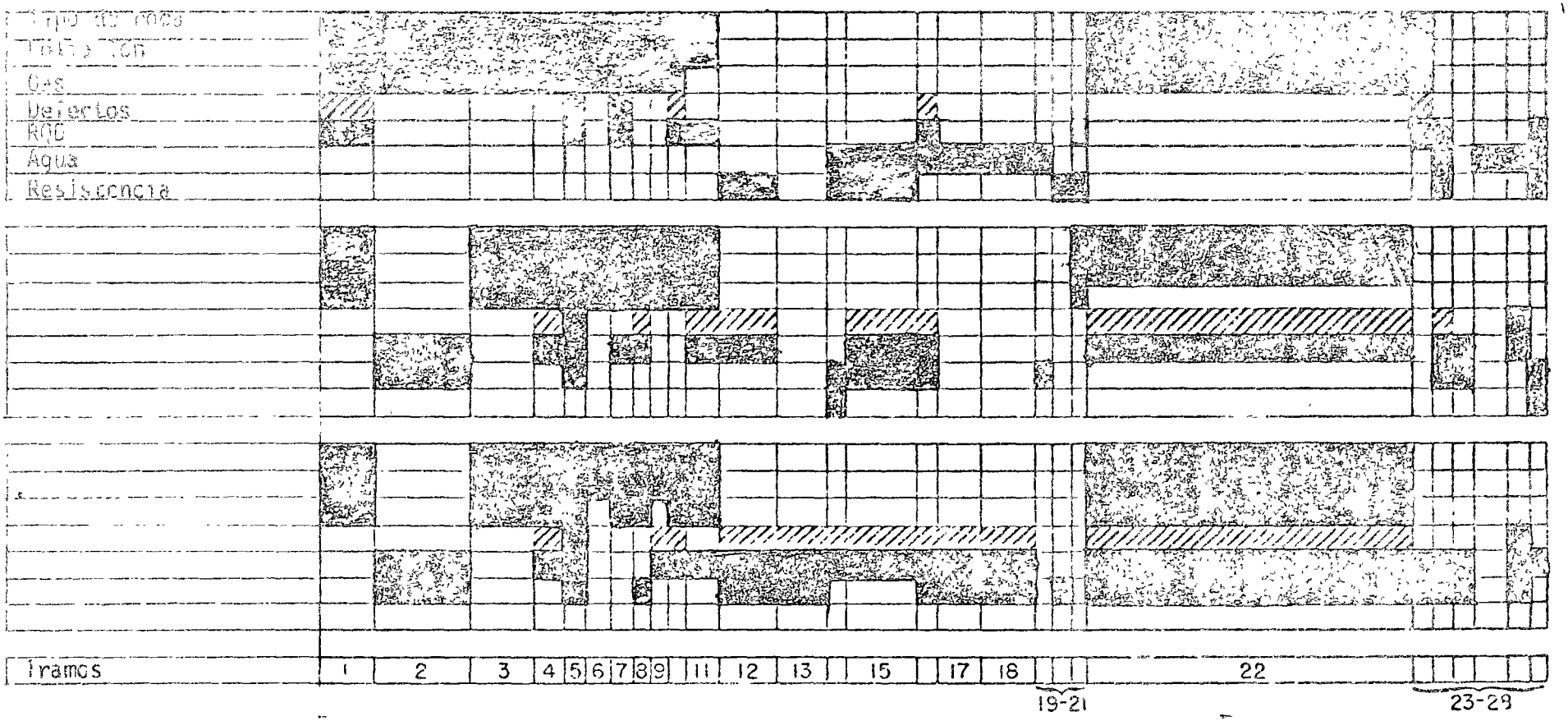


Figura 7. Distribución del Tiempo de Ciclo Bajo Condiciones Adversas

(Moavenzadeh, MIT, 1974)



PARAMETROS GEOLOGICOS	LAS AREAS BLANCAS SIGNIFICAN	LAS AREAS NEGRAS SIGNIFICAN
Tipo de roca	Caliza	Lutita
Foliación	No foliada	Foliada
Gas	No hay	Hay gas
Defectos	Gas	Fallas (negro)
RQD	No hay fallas	Capas de arcilla
Agua	No hay arcilla	Bajo RQD
Resistencia a la compresión	RQD alto a medio	Alta infiltración
	Baja filtración	Resistencia alta
	Baja a media Resistencia	

Fig. 8. Resultados de tres simulaciones geológicas (Moavenzadeh, MIT, 1974.)

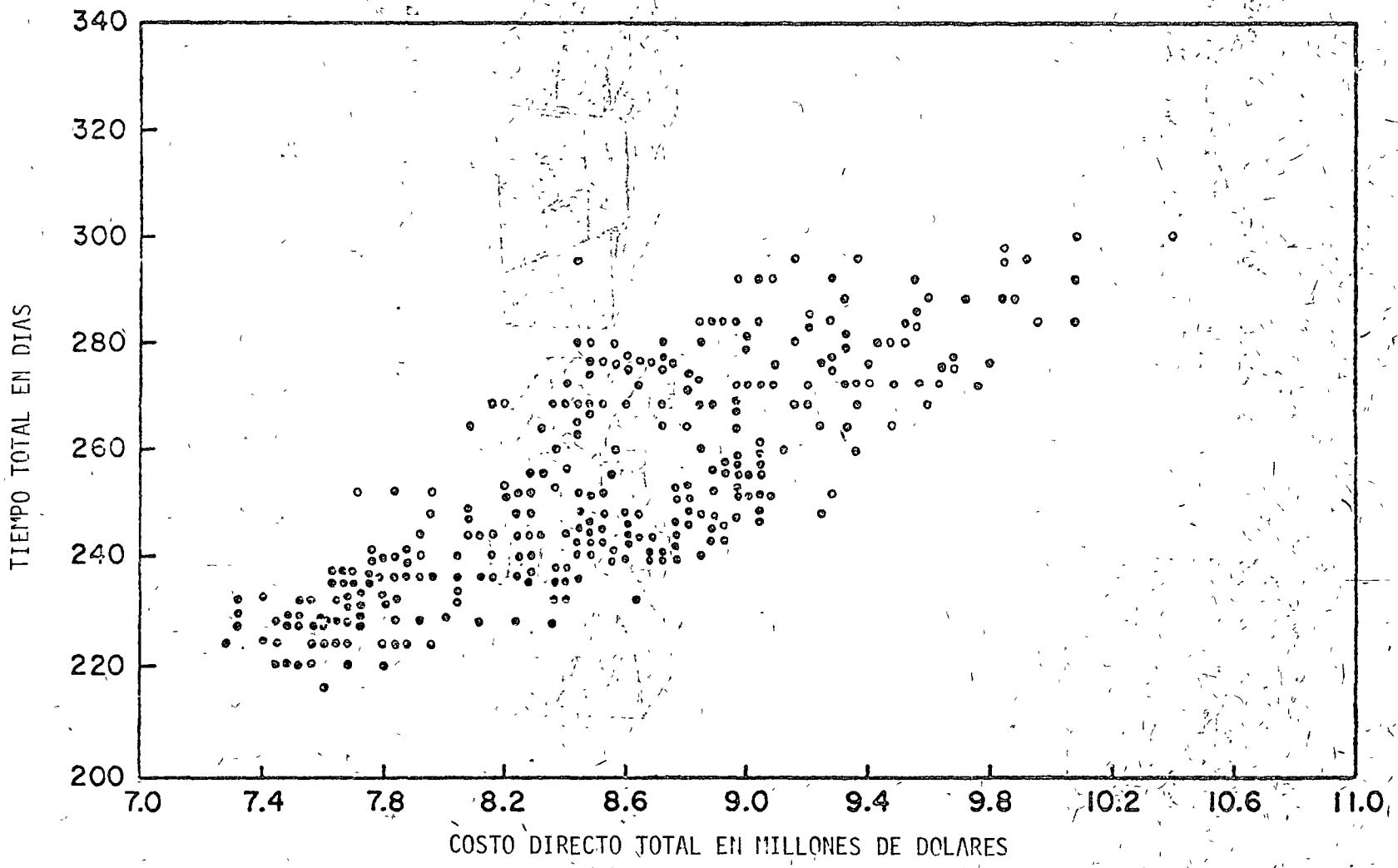


Fig. 9. Diagrama de Costo.- Tiempo
Resultados de 300 Simulaciones de Tuneleo

(Moavenzadeh, MIT, 1974)

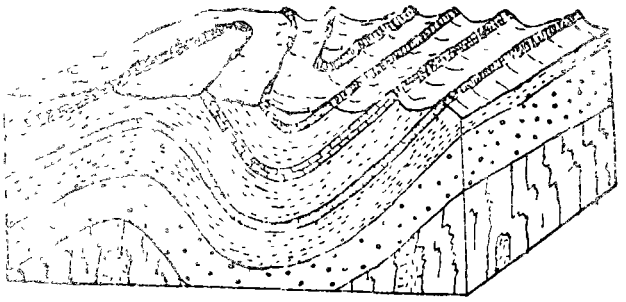


Fig. 10
C. Paisaje formado por la erosión de anticlinales y sinclinales en rocas sedimentarias.(Wanlstrom, 1973)

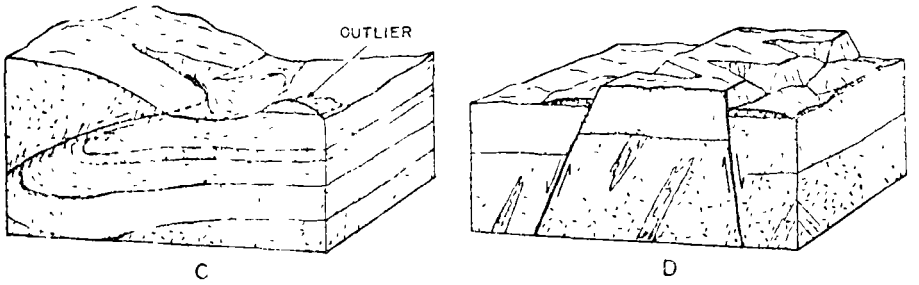


Fig. 10 A. Escarpe lineal de falla desarrollado por erosión a lo largo de una falla de corrimiento. Nótese el afloramiento de roca dura aislado por la erosión.
B. Pilar tectónico (Horst) con valles de arroyos labrados en el -- bloque levantado. (Wahlstrom, 1973)

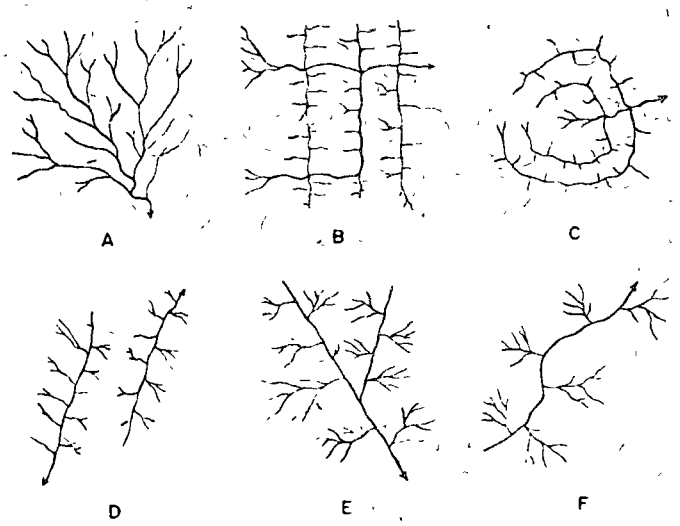


Fig. 11. Algunas redes de drenaje. A Red de drenaje dendrítico desarrollada por erosión de rocas de casi igual resistencia a la erosión. B. Drenaje en escalera en rocas estratificadas plegadas o falladas. Los arroyos se encuentran entre las costillas paralelas. C. Drenaje anular desarrollado sobre un domo en rocas estratificadas. D. Red de drenaje asociada a plegamientos en rocas estratificadas. E. Drenaje en un área fallada. Los arroyos son esencialmente rectos en los valles cortados en fallas. F. Drenaje desarrollado a lo largo de una falla de corrimiento aplanada. (Wahlstrom, 1973)

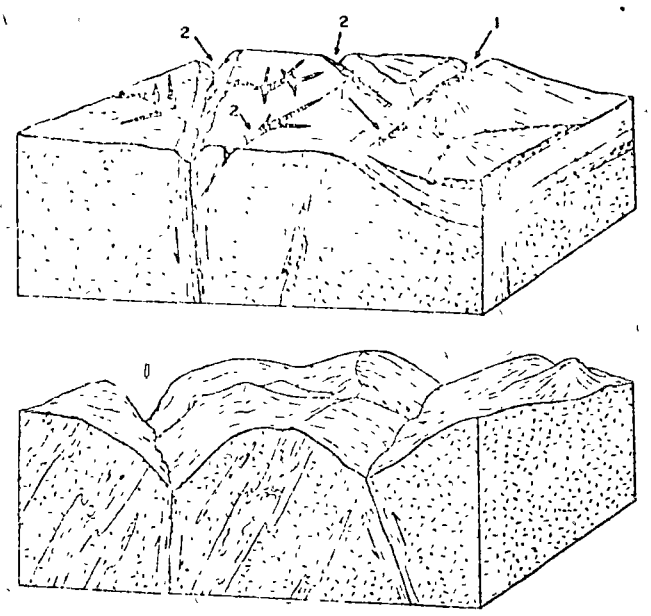
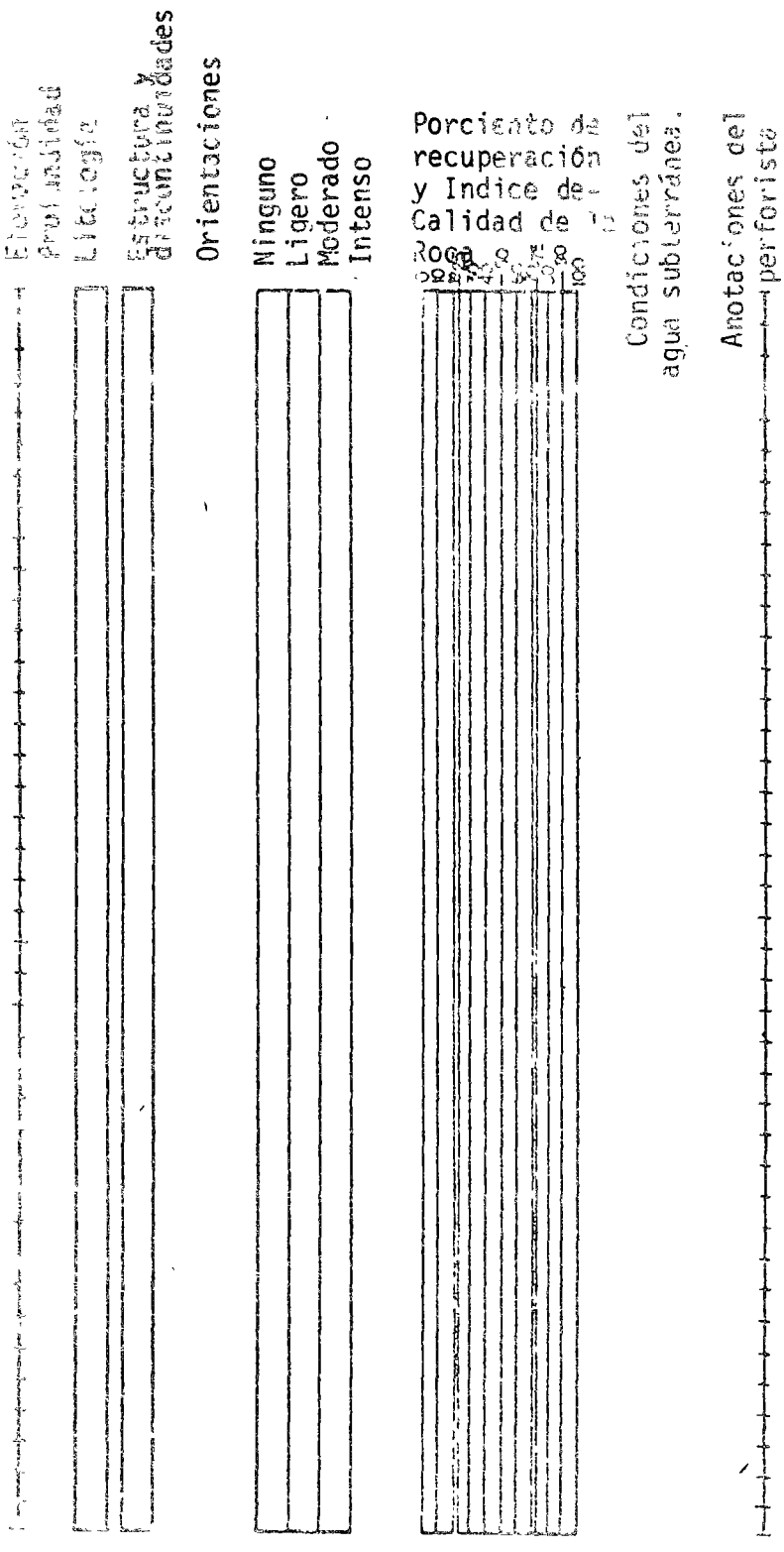


Fig. 11 E. Valles lineales cortados por arroyos en zonas de falla y en rocas blandas sedimentarias.
a) La superficie del terreno es de relieve bajo. 1 = Valle que sigue el rumbo de la capa. 2 = valles que siguen las trazas de fallas.
b) Valles profundos labrados en zonas de falla en una región montañosa de rocas cristalinas.
(Wahlstrom, 1973)

Barreno No. _____
Obra _____
Registrado por _____



Leyenda

Litología

Descripción de intemperismo

Ninguno

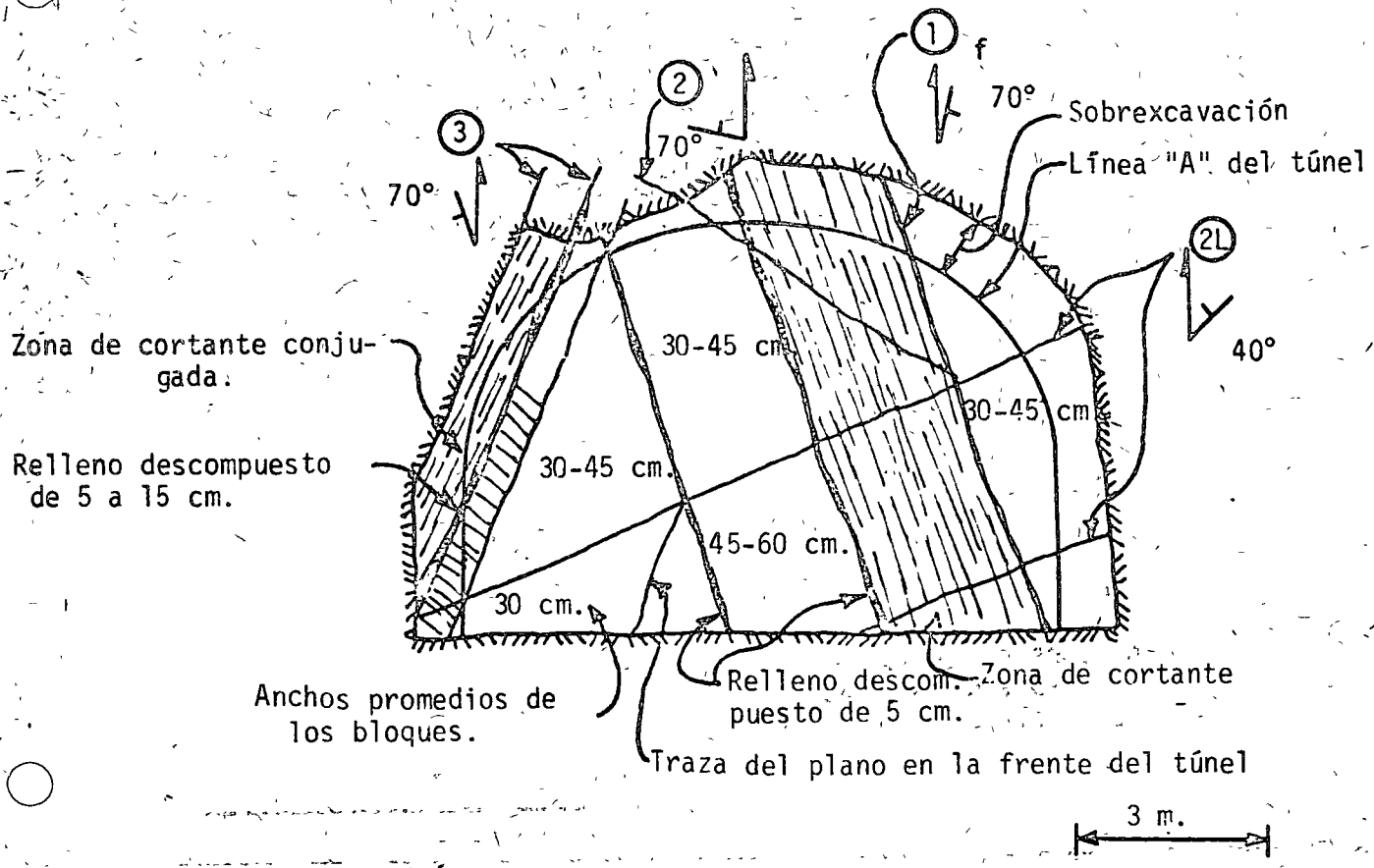
Ligero

Moderado

Intenso

Discontinuidades

Fig. 12. Forma de registro de un barreno con recuperación de muestras (núcleos, corazones) (Cording, 1975)



Número de familia de diaclasas

Rumbo relativo al avance

Dirección de avance

Foliación

Angulo verdadero del echado.

Notas: Calidad del túnel: Zonas de cortante conjugadas y de foliación de pobre calidad se combinan para formar una cuña grande y potencialmente inestable en la clave. Las zonas de cortante han causado también gran sobrexcavación en clave.

Fig. 14. Ejemplo de levantamiento o mapeo geológico de una frente de túnel en roca.

RESUMEN DE GEOLOGIA DEL TUNEL

Página _____ de _____

Cadenamiento _____ Levantado por _____ fecha _____

Fecha de excavación: _____

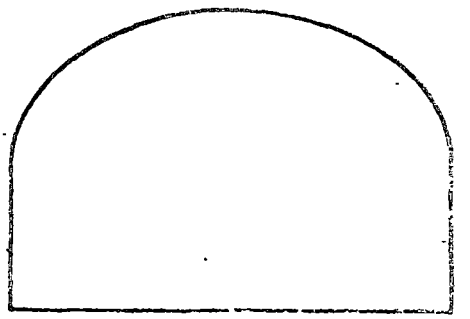
Fecha en que se instaló el ademe: _____

Tipo de ademe: _____

Instrumentos en esta estación: _____

Notas:

Dificultades de construcción;
localización de desprendimientos;
calidad del ademe colocado, etc.



Calidad de la roca: _____

Tipo de roca: _____

Intemperismo: _____

Agua: _____

Características de las diaclasas: _____

Zonas de cortante: _____

Localización, orientación de diaclasas y fallas principales: _____

_____

Sobrexcavación. _____

Fig. 15. Ejemplo de registro de la geología del túnel.

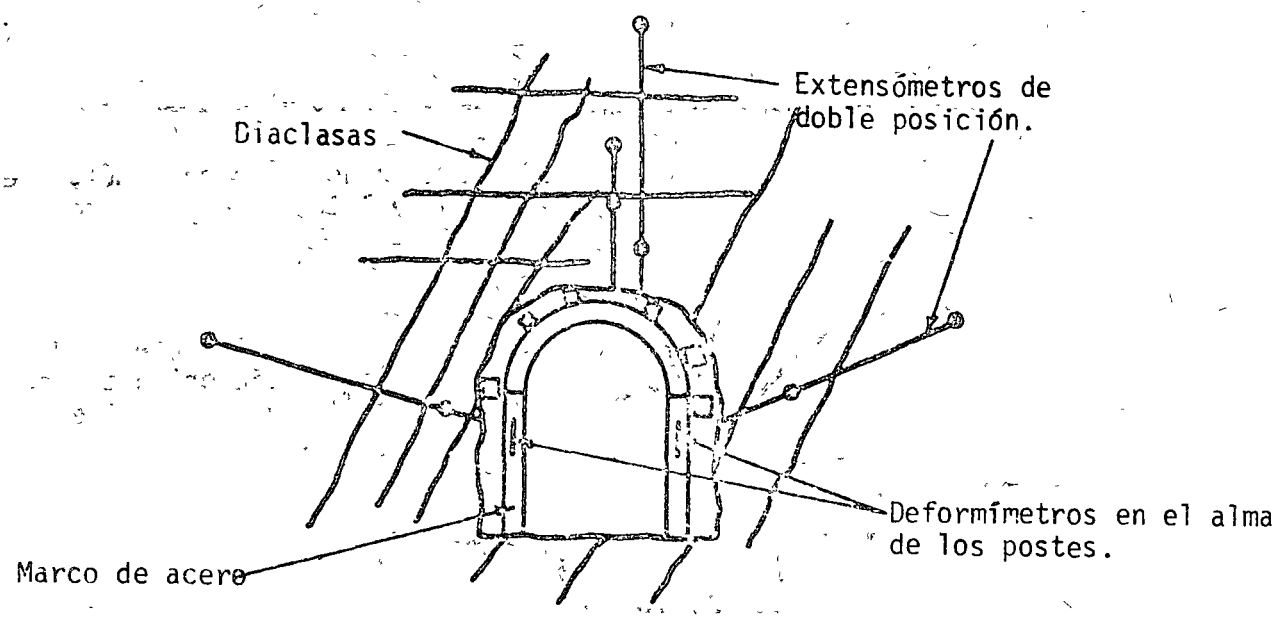


Figura 16.A. Instrumentación en un túnel profundo en roca con ademe de marcos metálicos.

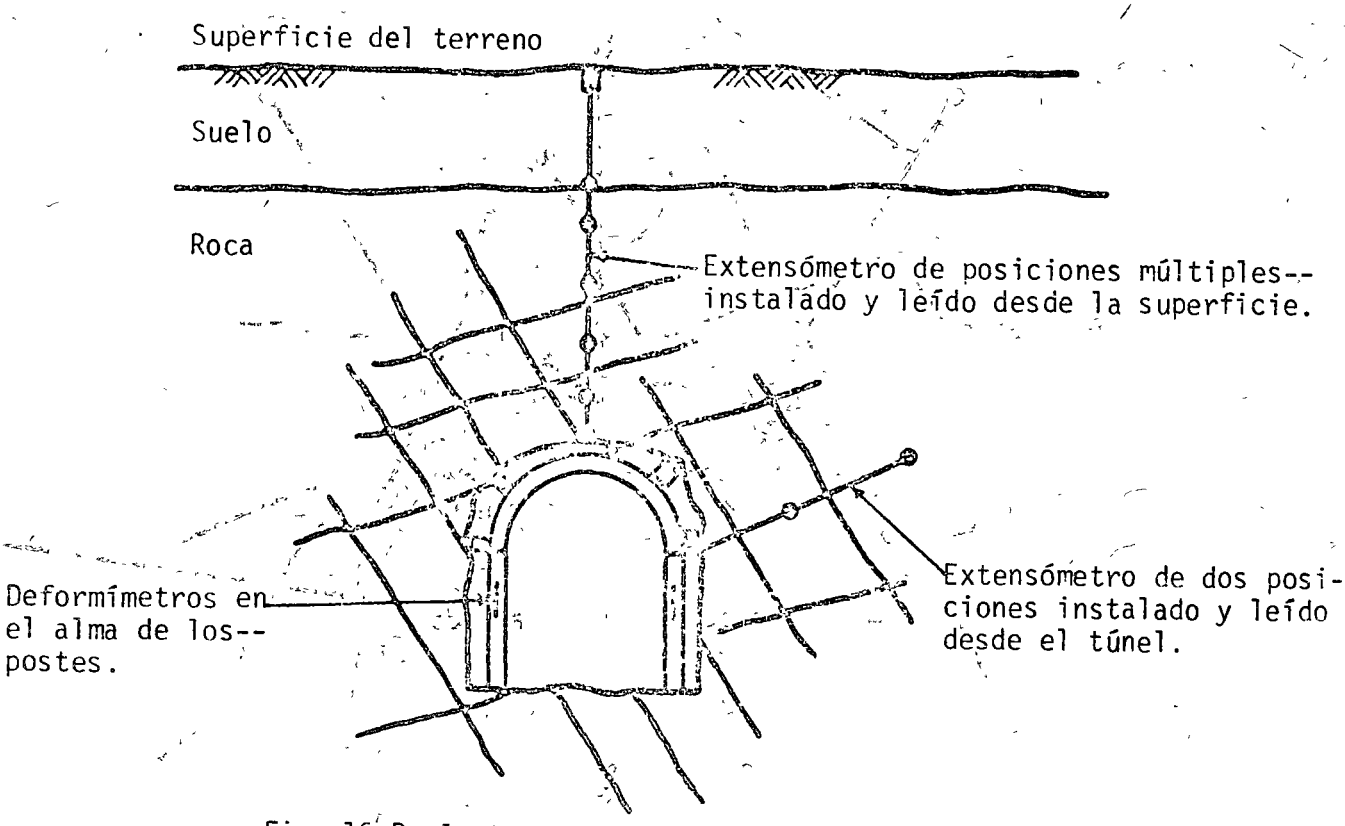


Fig. 16.B Instrumentación de un túnel poco profundo en roca, con ademe de marcos metálicos.

(Cording, 1975)

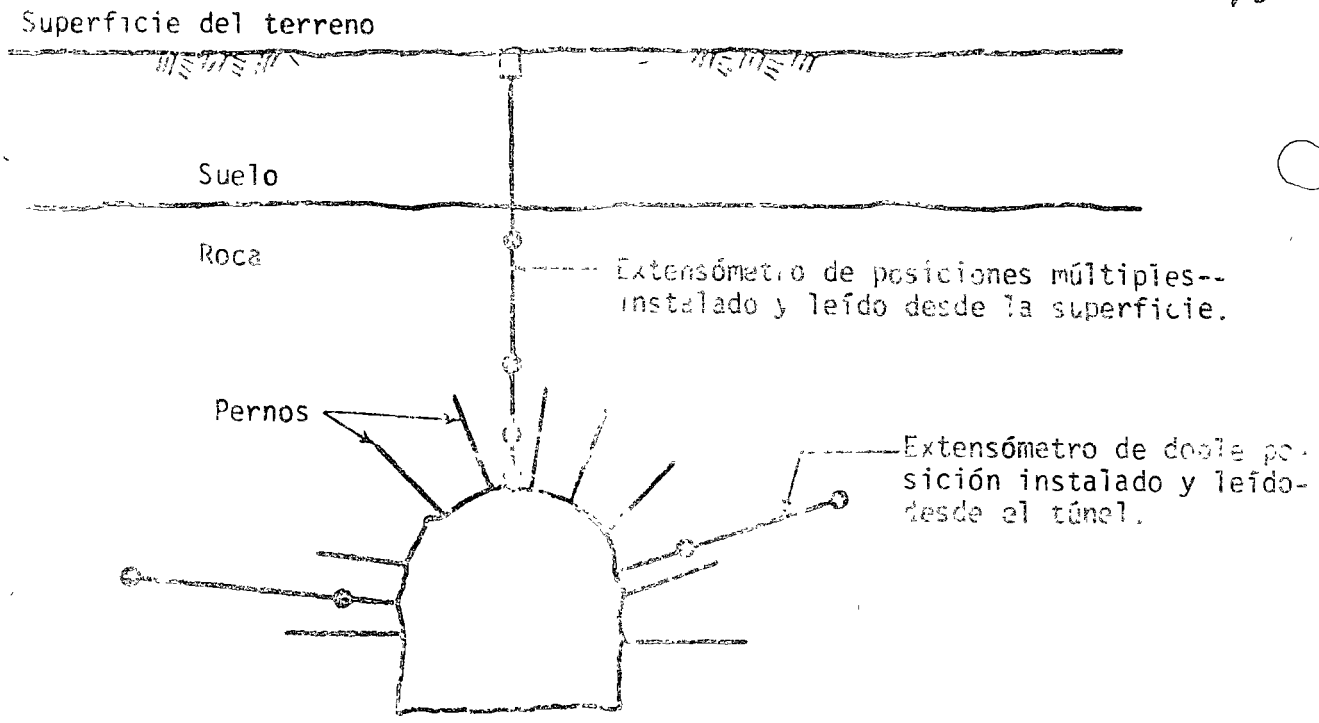


Fig. 17A. Instrumentación de un túnel somero en roca, ademado con pernos

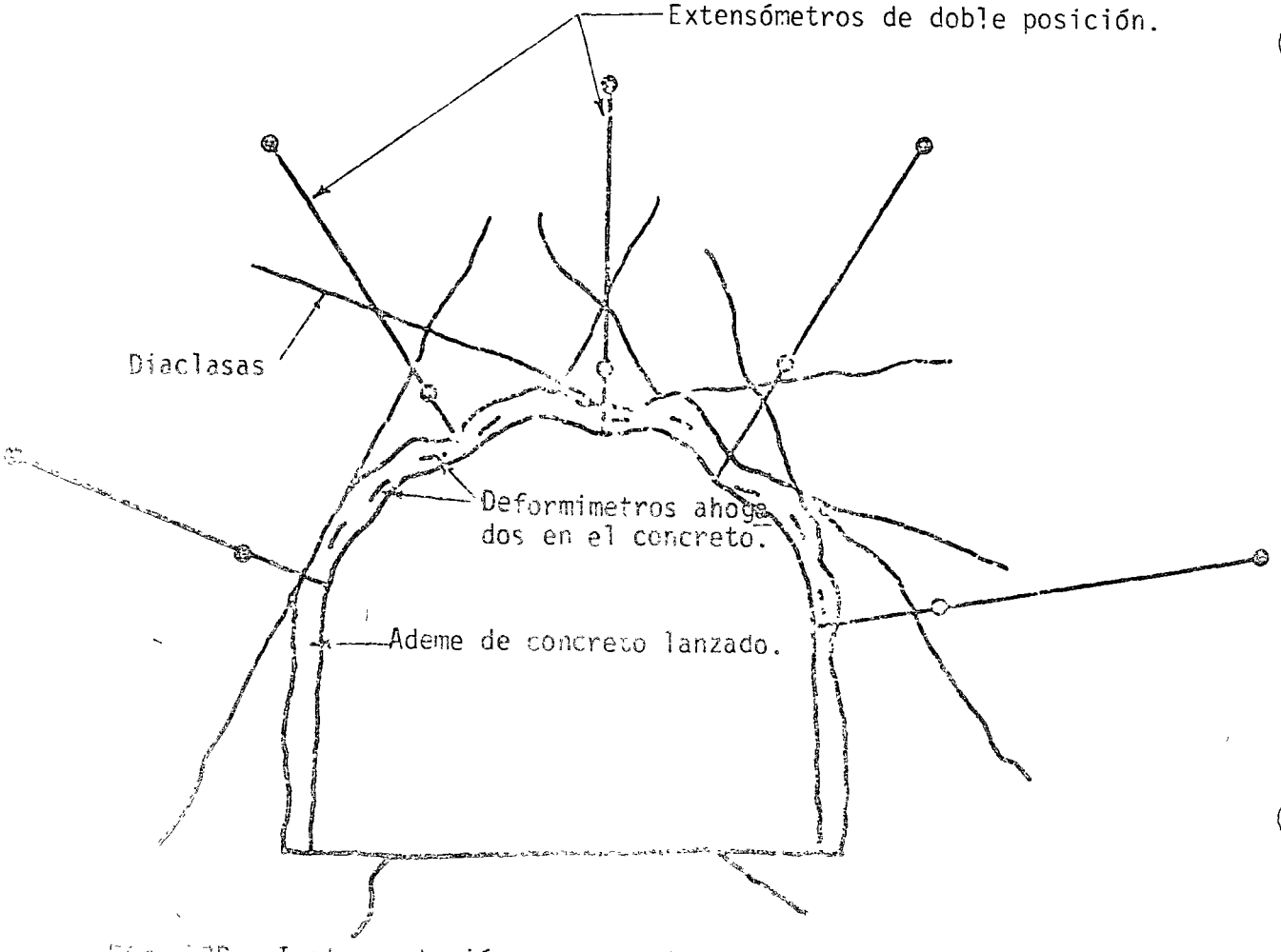


Fig. 17B. Instrumentación para un túnel ademado con concreto lanzado.
(Cording, 1975)

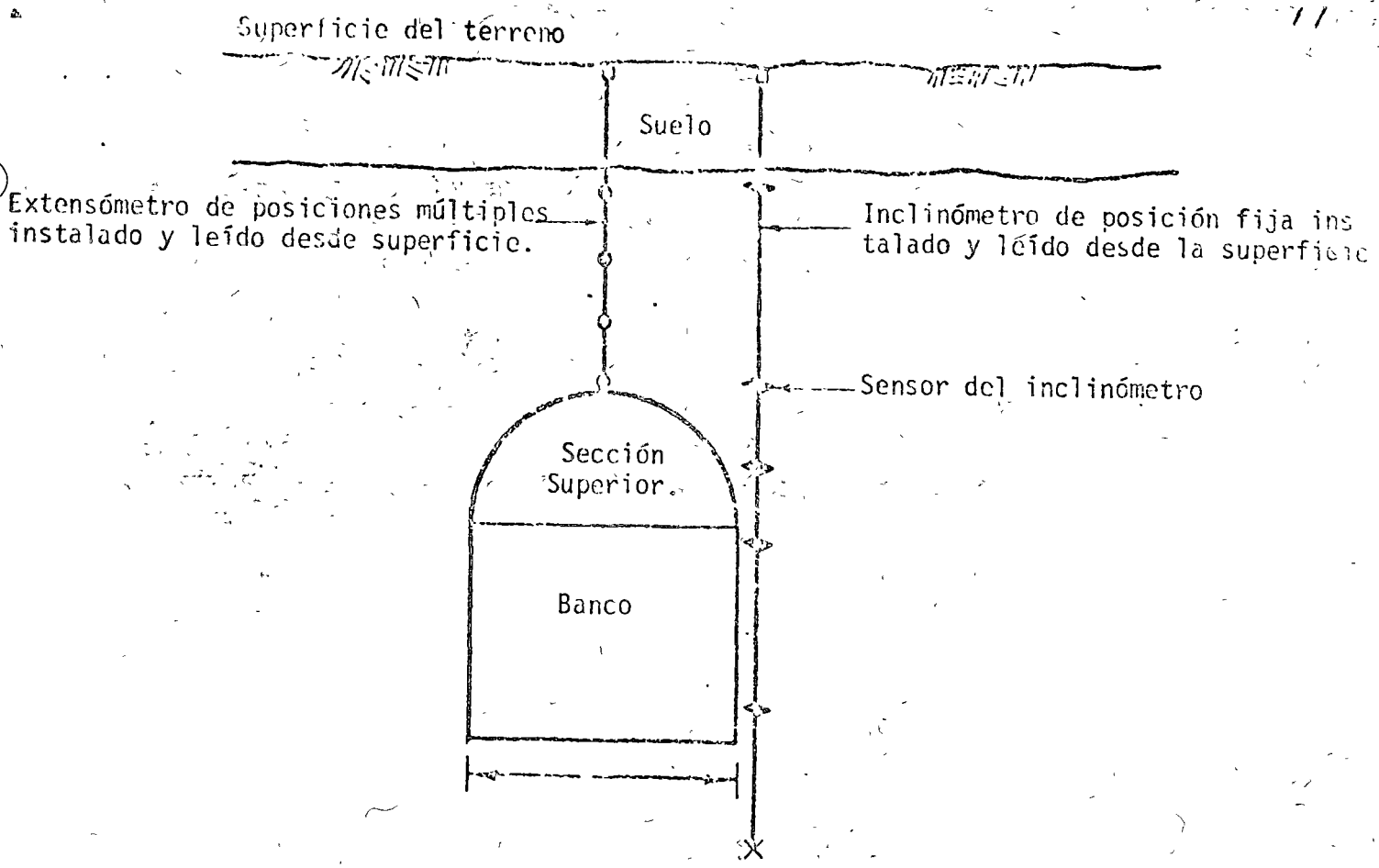
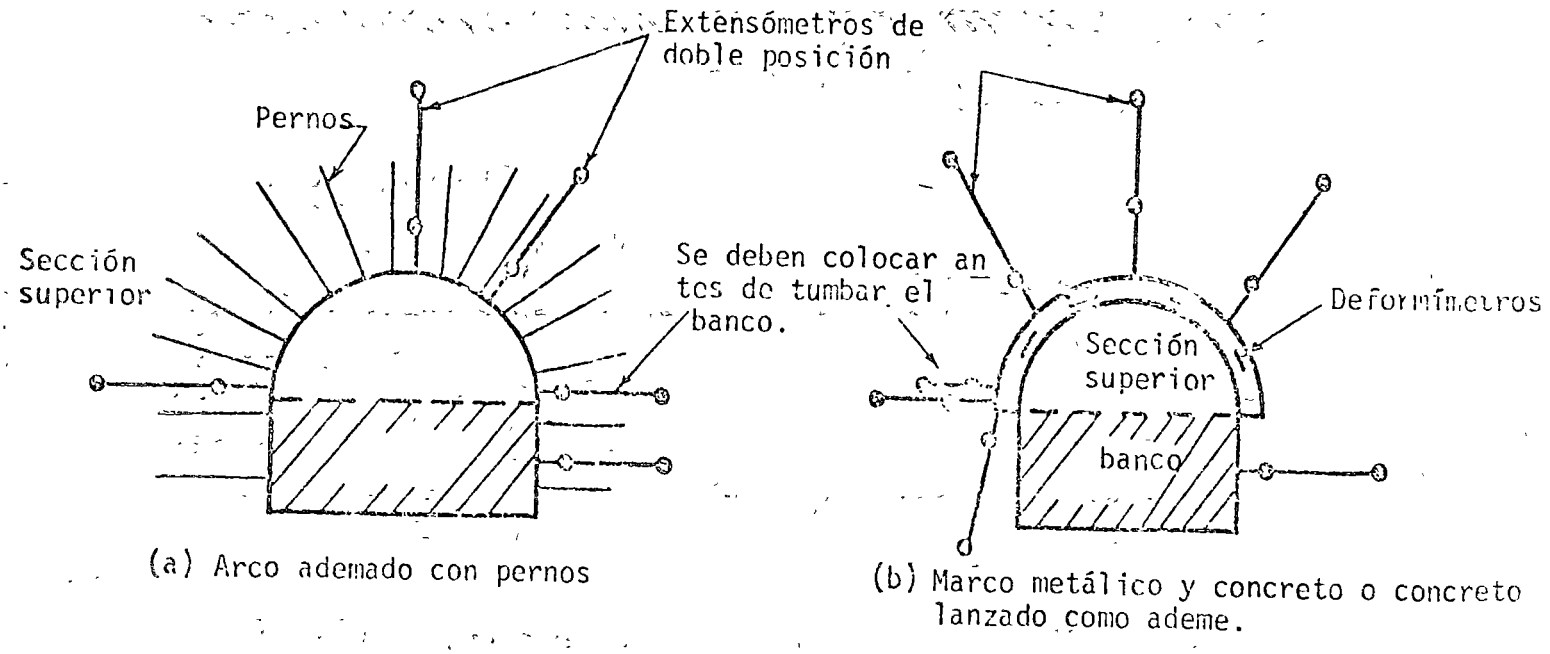


Fig. 18A. Instrumentación para un túnel somero en roca, con paredes altas.

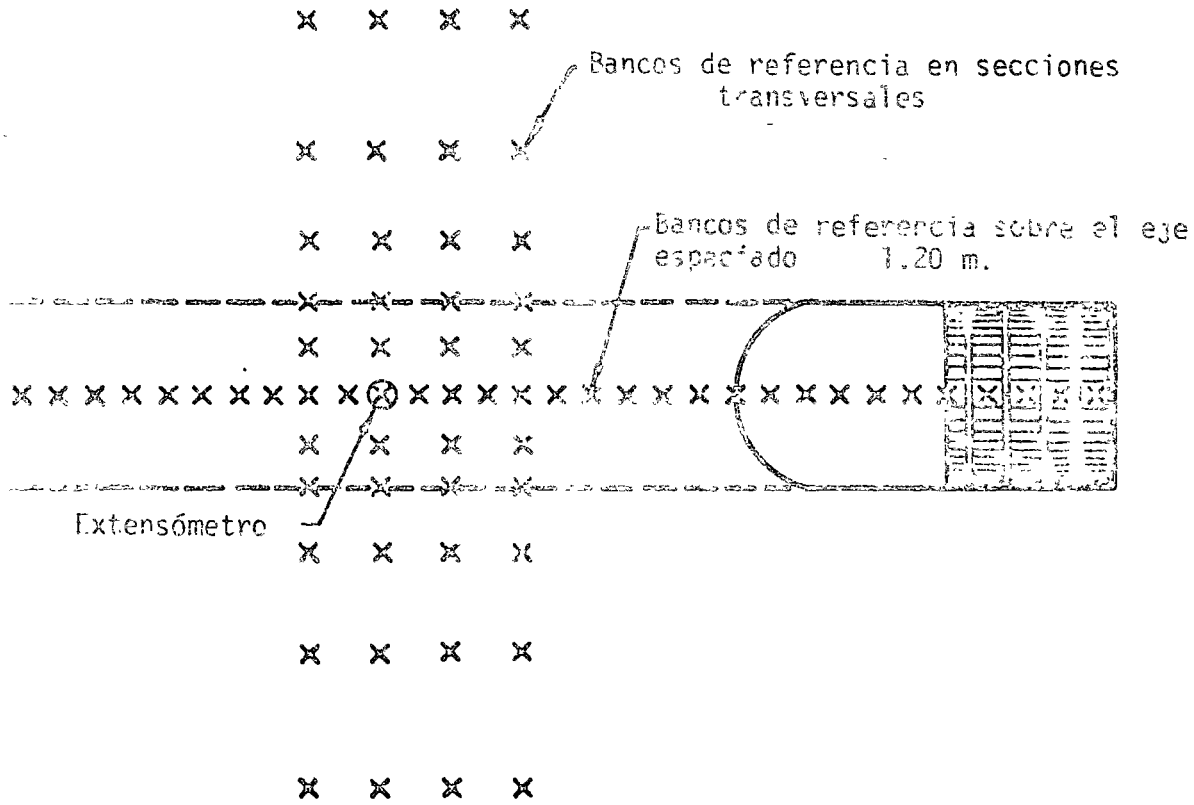


(a) Arco ademado con pernos

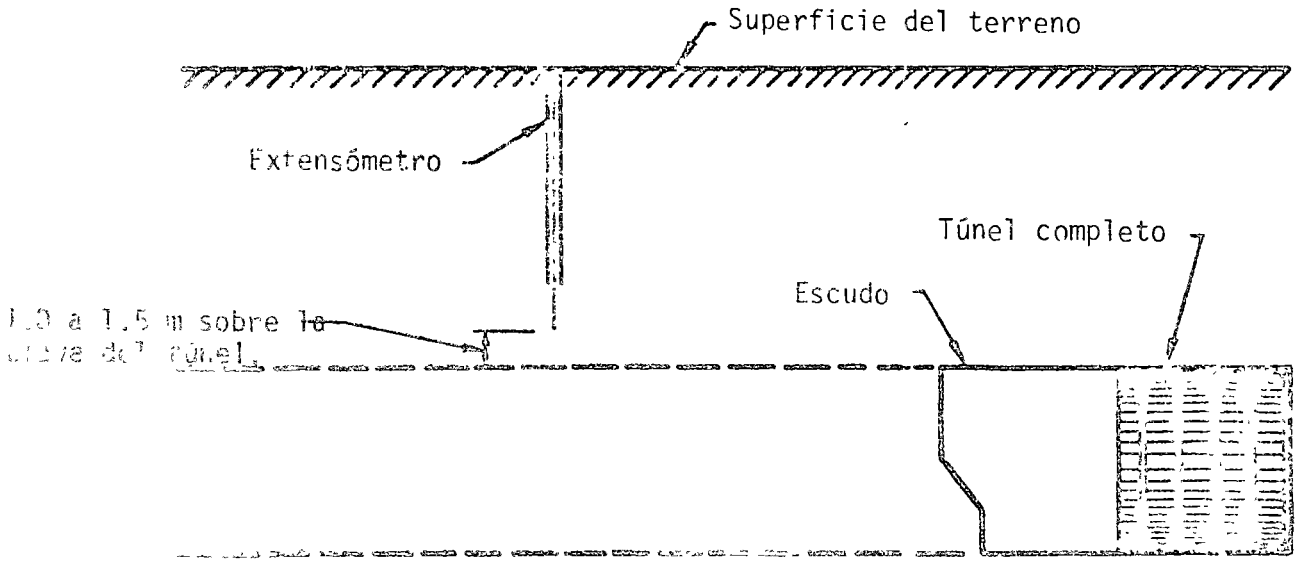
(b) Marco metálico y concreto o concreto lanzado como ademe.

Fig. 18B. Instrumentación para medir el comportamiento de una excavación en sección superior y banqueo.

(Cording, 1975)



Planta



Perfil

Fig. 19. Instrumentación sencilla para detectar el origen de la perdida de suelo, en un túnel excavado con escudo.

(Cording, 1975)

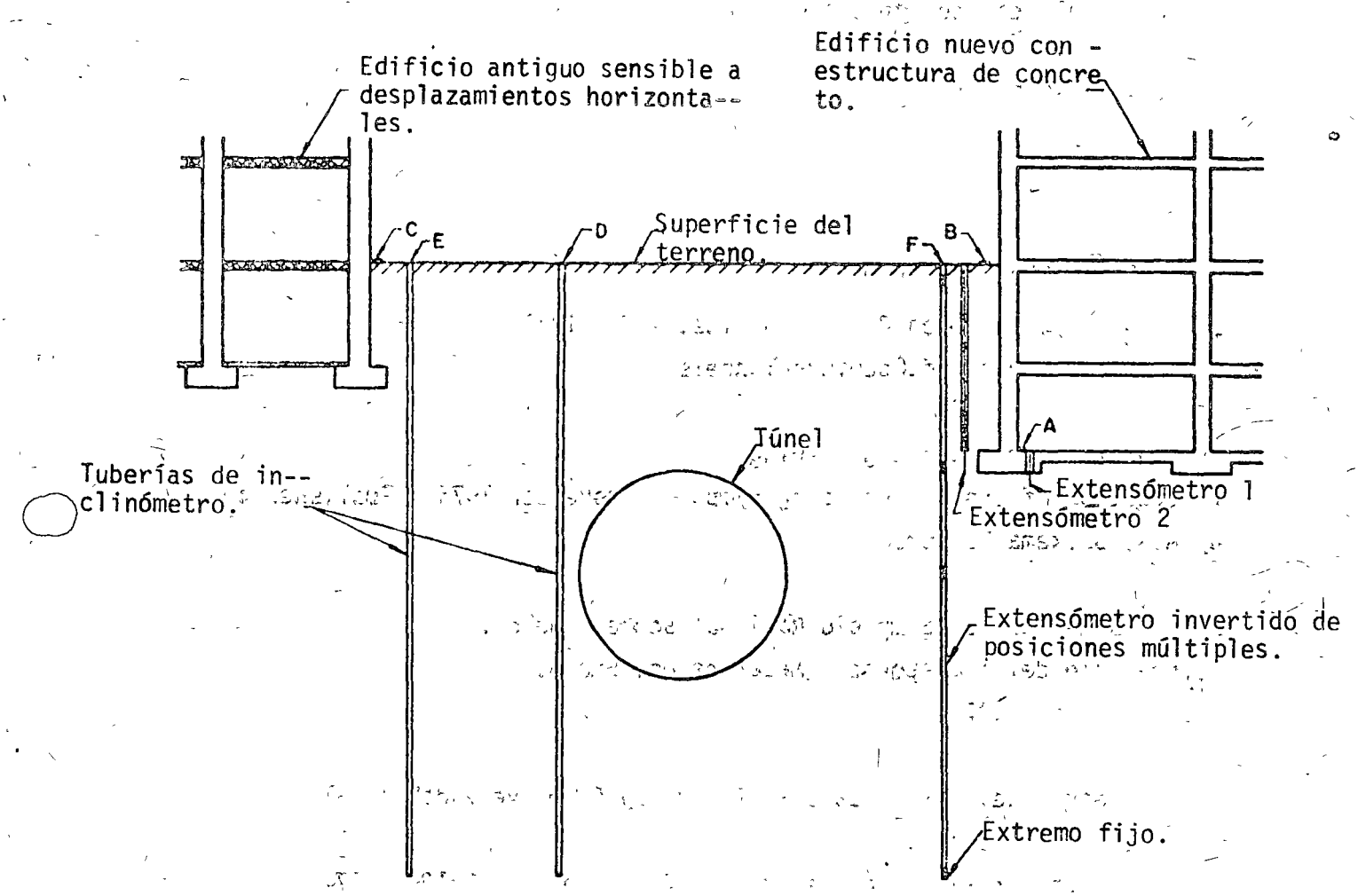


Fig. 20. Instrumentación para túneles en suelo que puedan afectar estructuras vecinas. (Cording, 1975)

BIBLIOGRAFIA.

"Methods for Geotechnical Observations and Instrumentation in Tunneling".
Ed. Cording et al. Department of Civil Engineering. University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana Illinois.
The National Science Foundation Dic. 1975.

- "Tunneling in Rock".
  Ernest E. Wahlstrom
  Elsevier, 1973.

- "Design Methods in Rock Mechanics"
  Sixteenth Symposium on Rock Mechanics. ASCE, 1977.
  Session 3 Underground Openings-Tunnels.

- "Exploration for Rock Engineering"
  Proceedings of the Johannesburg Symposium November 1976. Published in 1977 by A.A. Balkema Rotterdam.

- Memorias del Primer Simposio Nacional sobre Túneles.
  Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo.
  Madrid, España 1975.

- Tunnel Cost Model: Professional Papers by F. Moavenzadeh et al.
  School of Engineering.
  Massachusetts Institute of Technology Cambridge, MA 02139, 1974.

- Memoria de las Obras del Drenaje Profundo del Distrito Federal, D.D.F. 1976.
  Memoria Técnica de las Obras de Drenaje Profundo del Distrito Federal. Túnel, S.A. de C.V., 1977.

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

CONSTRUCCION DE TUNELES POR EL METODO CONVENCIONAL

ING. FRANCISCO NOREÑA CASADO

ING. CARLOS E. CASTAÑEDA NARVAEZ

SEPTIEMBRE DE 1977.

INTRODUCCION

El ingeniero o contructor se enfrenta en múltiples ocasiones a la necesidad de desplantar una estructura o a efectuar diversos trabajos de ingeniería en formaciones rocosas, o bien de alojar elementos estructurales dentro de túneles o davernas excavados en este tipo de formaciones. La necesidad y ubicación de un proyecto determina que no siempre es posible situar los elementos estructurales de manera que su cimentación quede alojada en lo que pudiéramos considerar como roca sana.

Dada la geología de nuestro país, el ingeniero mexicano encontrará con mucha frecuencia, que tiene que construir sobre o dentro de formacions ígneas del tipo extrusivo, como son basaltos, andesitas, riolitas, etc. Ninguna de estas formaciones presenta en general características homogeneas, aún dentro de las áreas realtivamente pequeñas en los mantos que las forman. Diferencias morfológicas, agrietamientos, intrusiones de otras rocas e infinidad de accidentes, nos obligan a estudiar el comportamiento del manto en conjunto, dentro de las áreas de influencia de las estructuras impuestas. La estratificación, la mineralización, la estructura son, entre otros, factores importantes que hacen cambiar el aspecto y comportamiento ante el efecto de explosivos, de este tipo de formaciones.

Todos los factores anteriores nos obligan a efectuar estudios muy profundos y ser muy cuidadosos para fijar los procedimientos adecuados de excavación.

La acción indebida de los explosivos, o la exposición prolongada de una excavación abierta al intemperismo, pueden hacer cambiar las características de resistencia de una formación en una o varias direcciones. Es por esto,

que debemos ser cuidadosos en los sistemas de excavación y, fundamentalmente, cuando éstas deben hacerse a base de explosivos. En general, las formaciones de roca sana, debido a las fuerzas de cohesión tan grandes que las mantienen en su estado original, requieren de fuerzas externas muy grandes para romperlas, de aquí la importancia de los agentes explosivos que se citan en el presente trabajo.

La idea fundamental de estas notas, así como la exposición oral es ofrecer a los asistentes de este curso de túneles, reglas prácticas basadas en experiencias en todo el ciclo completo de una excavación subterránea. Por último se hace destacar, por separado las características y propiedades de los explosivos, así como las técnicas más importantes para iniciar la voladura.

Es importante destacar que este capítulo tratado por separado, proporcionan una idea de la excavación de túneles por el sistema, convencional, pero analizado en conjunto con todos los capítulos de este censo, dá una idea muy completa de la forma en que se realizan las excavaciones subterráneas en nuestro país.

CICLO BASICO DE TRABAJO

En los trabajos de excavación subterránea, las operaciones que se realizan son sucesivas, aunque en algunos casos puede haber traslape de las mismas, pero en muchas ocasiones estos traslapes de operaciones para reducir tiempo, resulta contraproducentes, pues las operaciones hechas de esta manera crean cierto grado de interferencia que se traduce en bajo rendimiento por ciclo.

Así, las operaciones del ciclo son:

1.- Barrenación y limpieza de la misma.

2.- Carga de explosivos y conexos, retiro voladura.

3.- Ventilación.

4.- Rezaga.

5.- Movimiento de equipo, maniobras varias y topografía.

6.- Ademe y soporte temporal (cuando se requieren).

7.- Bombeo (cuando se requiera).

EQUIPOS UTILIZADOS EN EL CICLO BASICO

Para la barrenación por el método convencional que es el que nos ocupa, se utiliza una plataforma de operación y perforaderas neumáticas y perforaderas de las cuales las más usuales son las llamada "JUMBO".

Los equipos más usuales para efectuar la carga, son principalmente de tres tipos:

a).- Sobre rieles, dentro de los que destacan los rezagadores.

b).- Sobre orugas siendo los más importantes los cargadores frontales, las palas y excavaderas.

En lo referente a acarreo existe una gran variedad de equipos y su selección depende de muchos factores, pudiendo clasificarse en dos grandes grupos:

a).- Sobre rieles (locomotoras diesel, eléctricas y carros mineros).

b).- Sobre llantas (camiones ligeros y pesados).

Dentro del equipo auxiliar podemos considerar lo siguiente:

a).- Bombas horizontales, verticales, etc.

b).- Transformadores.

c).- Cambios California, Car-Passer.

d).- Laderas fijas, pisos deslizantes, pisos navajo, etc.

Para la conducción de fluídos y energía, podemos considerar 4 grupos.

a).- Tubería de Aire comprimido.

b).- Tubería para agua de barrenación.

c).- Tubería para ventilación.

d).- Conducciones eléctricas.

d.1).- Alumbrado (normalmente monofásico de 110 V).

d.2).- Energía trifásica de alta y baja tensión (220-44- V).

d.3).- Líneas telefónicas.

Para las plantas generadoras de energía se pueden enmarcar en tres aspectos principales.:

a).- Corriente eléctrica.

b).- Casa de compresores.

c).- Casa de bombas.

Y finalmente, dentro del equipo de emergencia podemos considerar:

a).- Equipo contra incendio.

b).- Detectores de gases.

c).- Planta de emergencia para energía eléctrica.

d).- Transformadores.

e).- Bombas de todos tipos.

METODOS CONVENCIONALES EN LA EXCAVACION DE TUNELES

Hace algunos años las dimensiones de un tunel que se iba a perforar y el tipo de material a través del cual se iba a abrir, infuían en la selección del método de perforación; sin embargo, recientemente, el tipo del equipo disponible con el que se va a efectuar la perforación,ha venido a constituir el factor de mayor importancia cuando se trata de determinar el étodo de perforación. A continuación se describen los cuatro tipos de - perforación que se emplean con más frecuencia en la perforación de túneles.

METODO DE FRENTE COMPLETO.- Este es el método más usado en la actualidad. Como su nombre lo indica, en este método se emplea una barrenación para sacar de una sola vez el área total del frente. Es usual a tocar túneles con áreas menores de 80 m2. por este procedimiento. Sin embargo, desde la aparición y perfeccionamiento de la perforadora "JUMBO" y las máquinas rezagaderas verdaderamente eficientes, este sistema ha sido adoptado para túneles de todas las medidas. El carruaje de perforación o "JUMBO" con las plataformas extendidas y los taladros en posición de operar llenar practicamente todo el tunel, y por lo tanto, la operación de sacar la rezaga debe terminarse antes de comenzar la siguiente perforación. Aunque así parezca, esto retraza el trabajo ya que en la actualidad las modernas máquinas rezagaderas limpian muy rápidamente el material quebrado y la perforación puede comenzar casi tan pronto como la perforadora gigante esté en posición. Es importante destacar que el diseño de esta perforadora "JUMBO" y de la serie de barrenos que se va a perforar es en si un verdadero arte.

El tiempo y el cuidado que se empleen con él, qudarán bien recompensados con la operación fácil y rápida cuando comience el cuele o avance.

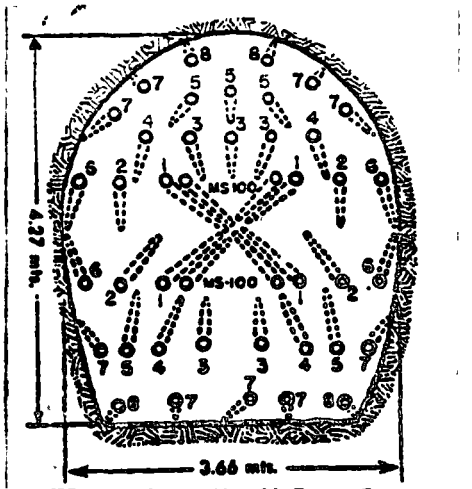


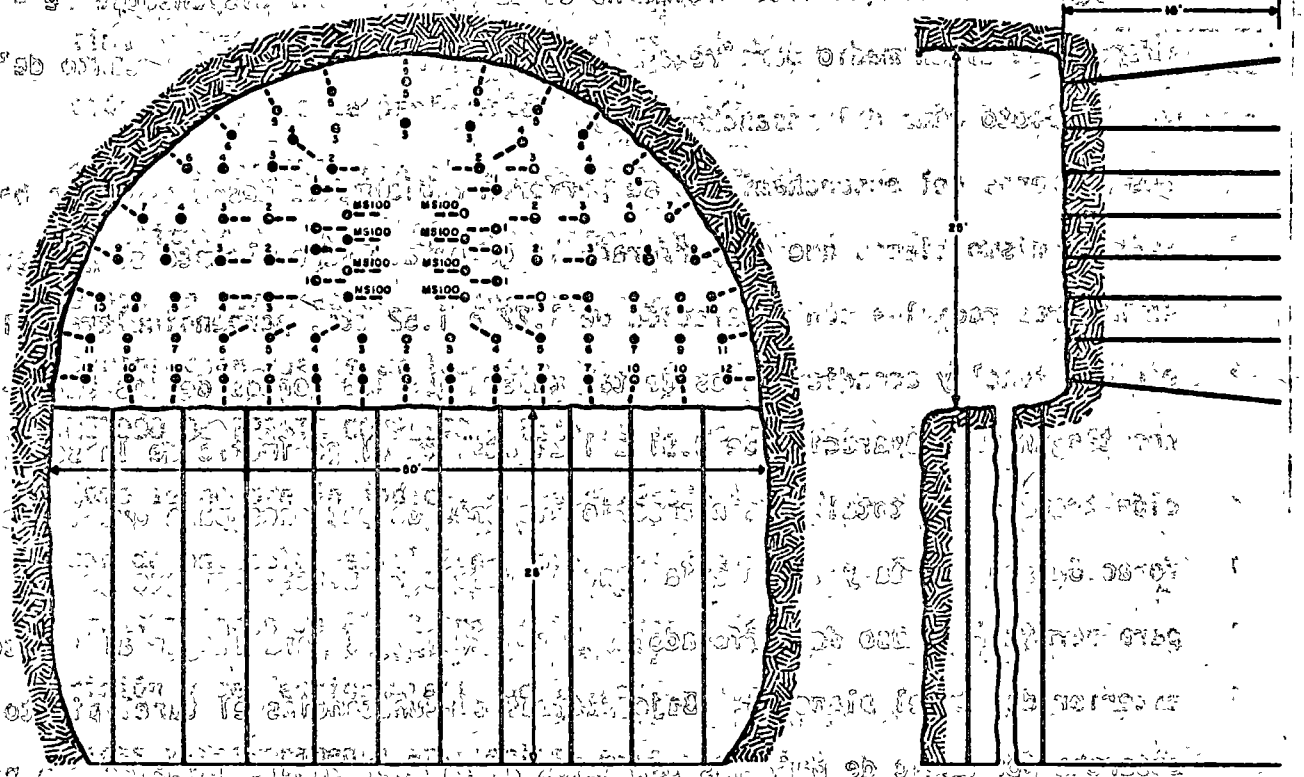
FIG. 68.—Barrenación del Frente Completo con Perforadoras Montadas en "Jumbo" Usando Cuña Piramidal Doble.

En la figura anterior se puede observar un tunel de sección completa de 15.63 m2. de sección.

METODO DE GALERIA Y BANQUEO.- Este método se ha venido utilizando durante muchos años en material suelto. Consiste en perforar una galería en la parte superior del tunel, de 2.50 mts. aproximadamente de alto y tan ancha como vaya a ser el tunel. La parte baja o restante se saca de uno o más escalones obarcos. En el banco queda generalmente una barrenación atrás del frente de la galería superior.

La barrenación de la galería superior consiste en una cuña V o piramidal con sus necesarios barrenos auxiliares y de emparejamiento; en otras palabras, es una barrenación típica de socavación o galería. La perforación se hace ordinariamente desde barras o columnas y puede efectuarse mientras se saca la rezaga si la barrenación anterior fue cargada o disparada de manera que la mayor parte de la rezaga fue lanzada fuera del barco. En el barco se pueden utili-ar tanto barrenos horizontables como verticales; en el primer caso los barrenos pueden perforarse tan pronto como sea rezagada la parte superior del banco; en el segundo caso la perforación debe deternerse hasta que se haya despejado toda la rezaga.

La siguiente figura ilustra una barrenación típica de galería superior y bancos empleando barrenos verticales en el banco.



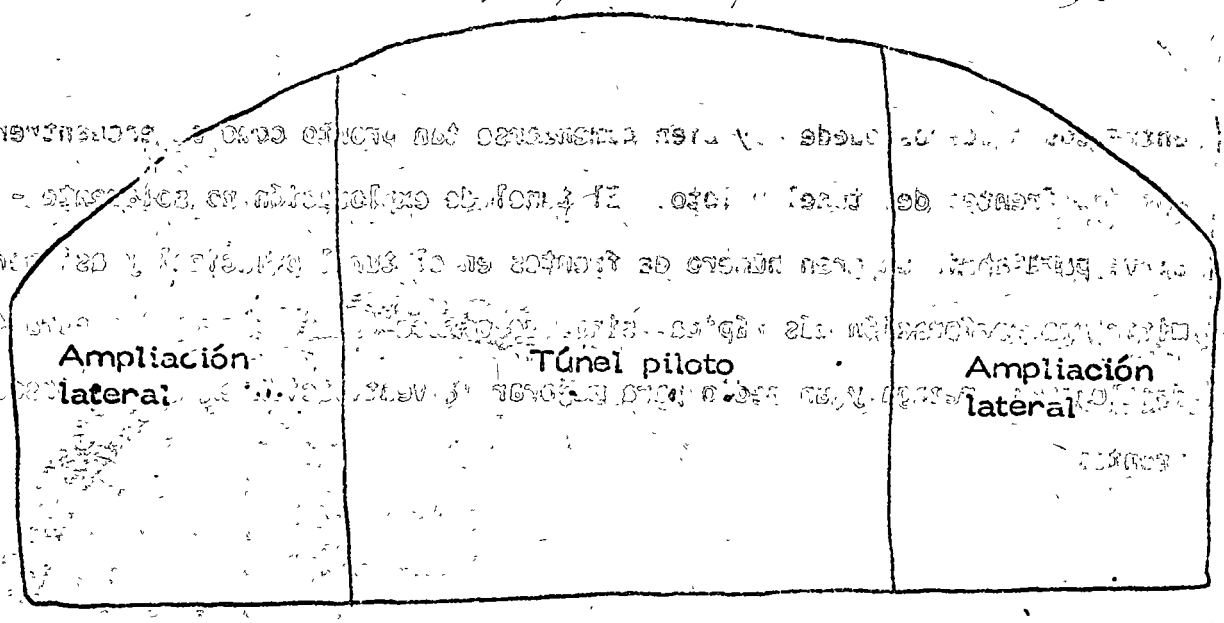
Cuando en el banco se usan barrenos horizontales, se acostumbra algunas veces cargar con bastante dinamita los barrenos cebados con estopines "MS" de manera que la roca del primer disparo en el banco sea lanzada hacia arriba para encontrar con la roca de la cuña de la galería y evitar un lanzamiento excesivo hacia afuera.

METODO DE GALERIA CENTRAL O TUNEL PILOTO.- Este método se ha venido usando en la perforación de muchos grandes túneles. Se abre una galería de 2.44 por 2.44 mts. o de 3.05 por 3.05 mts. en el centro del tunel proyectado, de acuerdo con los sistemas usuales. La perforación puede hacerse con "JUMBO"

o por medio de columnas o barras. Como regla general, esta galería se abre atravesando de lado a lado el tunel en proyecto antes de iniciar el ensanchamiento aunque esto último no es absolutamente indispensable se - dispone de algún medio para rezagar al mismo tiempo el material tanto del tunel piloto como del ensanchamiento.

Los barrenos del ensanchamiento se perforan radialmente desde postes o barras al mismo tiempo que es perforada la galería. Generalmente se perforan en hileras radiales con separación de 1.22 a 1.52 mts. perpendiculares al eje del tunel y acondicionados de tal manera que los fondos de los barrenos tengan una separación de 0.91 a 1.22 mts. en el perímetro de la sección transversal total. Es necesario disponer de patrones para que la perforación sea exacta y la galería central debe ser suficientemente grande para permitir el uso de perforadoras bastante largas para llegar al límite exterior del tunel planeado. Bajo ciertas circunstancias el tunel piloto se ensancha por medio de barrenos paralelos al eje del tunel, abiertos con perforadoras de diamante. Esto es particularmente necesario cuando la sobreexcavación presenta un problema de importancia.

Cuando se hace el disparo de las hileras radiales, es práctica común volar algunas hileras de barrenos de la mitad inferior antes que la mitad superior a fin de dar a los barrenos cortos laterales una mejor oportunidad para romper. Cada barrenación constará de varias hileras radiales; la primera se - carga con estopines eléctricos instantáneos, la segunda con estopines eléctricos del primer retardo, la tercera con estopines del segundo retardo, y así sucesivamente. La siguiente figura muestra la forma de utilizar este sistema



Túnel piloto y ampliaciones laterales

METODO DE TUNEL EXPLORADOR.- En los grandes túneles ferrocarrileros de ha usado este método, combinándose frecuentemente con el método de tunel piloto que acaba de describirse. Se perfora, una pequeña galería de, digamos 2.44 por 2.44 mts. paralelo al tunel principal y como a 15.24 a 22.86 mts. de distancia del mismo; esta galeria es llamada "Tunel de Exploración". Generalmente su excavación se adelanta considerablemente a la del tunel principal teniéndose de está manera aviso oportuno de cualquier cambio de importancia en la formación de la roca, para así poder alterar a tiempo el método empleado con el tunel principal. Además a intérvalos de más o menos 457 mts. se abren cruceros que parten del tunel explorador hata la linea que lleva el tunel principal ofreciendo así dos frentes más desde los cuales puede perforarse el frente del tunel piloto o el frente total principal. Cuando se emplea el método del tunel piloto, el ensanchamiento de la sección que está

entre dos cruceros puede muy bien comenzarse tan pronto como se encuentren los dos frentes del tunel piloto. El tunel de exploración no solamente - sirve para abrir un gran número de frentes en el tunel principal y así per mitir una perforación más rápida, sino que ofrece también un camino para - desalojar la rezaga y un medio para mejorar la ventilación en los diversos frentes.

BARRENACION

Las barrenaciones normalmente se nombran por el tipo de cuña que se utiliza para abrirlas, por ejemplo, una barrenación con cuña en V o una barrenación con cuña piramidal. El tipo de cuña empleada, la longitud de la barrenación y el número de barrenos por disparo dependen del tamaño del frente que se esté trabajando y de la dureza del material que se debe romper, además del equipo disponible para el trabajo.

Cabe hacer la aclaración que en frentes muy pequeños, la barrenación puede consistir únicamente en la cuña, lo que se denomina un par de ayudantes y los barrenos de tabla, en tanto que en frentes grandes, la barrenación puede incluir la cuña varios juegos de ayudantes, varias líneas de segundos - ayudantes, y los barrenos de tablas.

Desde que se inventó la pólvora y dada la cantidad de gases que se liberan en la explosión de una masa de explosivos, se vió la posibilidad de fracturar roca, mediante el uso de los mismos. Ya hacia el siglo XVIII se trataron de relacionar la carga Q de explosivo y la masa de roca que puede fracturarse por el mismo. Así la primera fórmula empleada por Vauban $Qe=KV^3$ representa a V que era el diámetro superior del cráter que se formaba al hacer la voladura. Sin embargo en 1725, Belider dió una fórmula empírica para calcular la carga en función del volumen excavado y de la superficie resultante. Esta fórmula era de la forma $QK2V = K3V^3$ donde V era el espesor del barreno y la superficie libre de un corte (pata) y K2. y K3. son constantes que dependen del tipo de roca. Esta fórmula, sin embargo, no tomó en cuenta, sino un solo tipo de explosivo que en esa época era la pólvora negra. Así posteriormente aparecen otras fórmulas como la de Hofer y algunas más.

Ya más moderna, casi contemporánea es la fórmula de Frankel que expresa:

$$hd2 = \frac{50^{3.3}\ Vmax^{3.3}}{S^{3.3}\ Hd^{2/3}}$$

donde V es la distancia máxima entre el barreno al frente del corte (pata).

S es un fractor de volabilidad que es una medida de la facilidad que tiene una roca para ser volada.

H Es la profundidad del barreno.

h Altura de carga.

d Diámetro del barreno.

O sea que hd2 representa la carga (Q) para un grado de compactación del explosivo.

Esta fórmula se ha utilizado en muchos países europeos desde el año de 1940 y ha dado buenos resultados para una especie de explosivo equivalente al de la dinamita mexicanaj extra 40%. Se ha encontrado en la práctica que el exponente es demasiado chico, por lo tanto dos cargas muy bajas para distancia entre barrenos y el frente de corte mayores de 3 M. Esta fórmula con algunas correcciones, producto de la práctica de los ingenieros, daba buenos resultados cuando se hacían voladeras de una sola fila de barrenos.

Sin embargo, para poder calcular bien una voladura, es necesario y conveniente tomar en cuenta algunos principios básicos para la fracturación de la roca, que fundamentalmente han sido desarrollados en Suecia. Así los métodos de cálculo de este método Sueco tiene dos orígenes de apoyo:

a).- La ley de concordancia o de amplificación conforme.

b).- Voladuras sistemáticas llevadas a cabo para comprobar deducciones teóricas.

Al detonar una carga Q colocada encima de un manto de roca homogénea, parte de la roca directamente bajo la carga, queda machacada o triturada, y ade-

más en la roca circundante se produce una fragmentación en piezas mayores de manera que se forma un crater dk y diámetro L. Repitiendo esta prueba con una carga uniformemente ampliada, es decir mayor, el crater que se forma de acuerdo con Brogerg también quedaría ampliado en todas direcciones en la misma proporción que el aumento lineal de carga de manera que:

$$\sqrt[3]{\frac{Q}{Q}} = \frac{L}{L}$$

Y esto quiere decir que si el largo, ancho y altura de la carga se aumentan en cierto factor b, el diámetro y la profundidad del crater se incrementarán por el mismo factor b.

Una simple consecuencia de esta Ley, es que la carga por metro cúbico de roca fragmentada será la misma, y si las pruebas se hacen a gran escala o a escla pequeña.

En procesos puramente elásticos, esta Ley se lleva a cabo con gran precisión. Es interesante hacer notar que la fórmula más vieja Qe= K/V3 es la que sirve de base en este tipo de pruebas y proporciona un simple tipo de conexión entre carga y una longitud, que en algunos casos puede ser la distancia de mínima resistencia entre barreno y borde de la excavación.

El consumo de explosivos por metro cúbico se ha encontrado que puede alterarse considerablemente por las condiciones geométricas del corte.

El problema de calcular la carga de explosivos en una voladura como una función de todas las variables que pueden influenciar el resultado, se puede dar en la forma siguiente: Q = f (V, K, E, h, d, s. y, u, ci). Donde Q es la carga (cantidad) que se requiere para fracturar la roca V, K, E, h, d, son magnitudes geométricas; s, y, u, son factores del explosivo, c, son fractores que dependen de la roca, del grado de fijación de la misma, etc. Sin embargo, para determinar experimentalmente la función f, fue necesario reducir el número de variables. Este trabajo ha sido desarrollado esencial-

mente en laboratorio y en pruebas en pequeña escala, que han llevado a ciertas conexiones entre la pata)v) y un fractor $\frac{Q}{V3}$ que es proporcional a la carga específica en gramos por metro cúbico.

Esta relación es de la forma $Q = K2\ V^2 = K_3\ V3 + K_4\ V4$. Los coeficientes K2, K3 dependen de las propiedades elastoplásticas de la roca, y K4 del peso de la roca que se va a excavar.

Esta fórmula se ha visto que es fundamental en la mecánica de rocas y se ha probado que es aplicable a un rango muy ampli de la investigación, extendiéndose desde patas de V= 0.01 M. hasta V=10 M. con cargas que pueden variar de 1 a 50 millones de kilogramos. A continuación se muestra una tabla aplicando dicha fórmula para distintos valores de V, expresada en metros, y los coeficientes K2 = 0.07 Kg/M3 = 70 Kg/M3; K3 = 350 gr/m3 y K4= 4 gr/m3 son valores de roca granítica obtenidos por experiencia:

Vm	$Q/V^3 = 70/V + 350 + 4V$		gr/M3
0.01	7000 + 350 + 0.04	=	7350.05
0.10	700 + 350 + 0.4	=	1050.40
0.30	233 + 350 + 1.2	=	284.2
1.0	70 + 350 + 4	=	424
10	7 + 350 + 40	=	397
100	0.7 + 350 + 400	=	750.7
1000	0.07 + 350 + 4000	=	4350.07

No obstante las tablas anteriores y las recomendaciones descritas, es necesario hacer énfasis en aspectos que son de suma importancia para la barrenación, la carga y la voladura de las excavaciones subterráneas.

Al planear una excavación con el uso de explosivos, debe definirse en primer término el coeficiente de barrenación la resistencia del material que se va a remover, y la longitud de barrenación. Estos datos hay que recalcar, resultan básicos para preparar correctamente los diagramas de barre-

nación. En una excavación subterránea, el 30% del costo de la operación total está en la barrenación y por tanto su influencia en el costo es muy fuerte. Por otra parte, de la barrenación que se realice, depende la selección de los equipos. La cantidad de barrenos necesarios para voladura, depende del diámetro de los barrenos, de la resistencia del material, del tipo de los barrenos, de la resistencia del material, del tipo de cuña que se elija y de la fragmentación deseada.

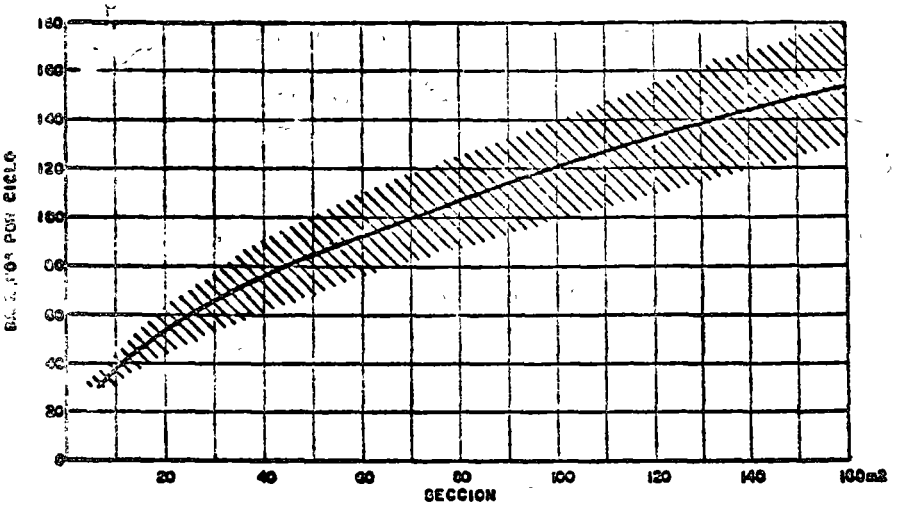
Las figuras 1 y 2 nos ayudan con el número de barrenos por voladura, el coeficientede barrenación en valores promedios relacionados con la sección neta del frente, y que se han obtenido en base a la experiencia.

Con estos datos se puede seleccionar el diagrama de barrenación deseado y el tipo de cuña más adecuado.

Hay que destacar que la barrenación teórica no es siempre solución económica, ya que si se incrementa el coeficiente de barrenación, o la cantidad específica de explosivos, puede obtenerse mayor avance y balancear el volumen de rezaga con la capacidad de equipo disponible para removerla.

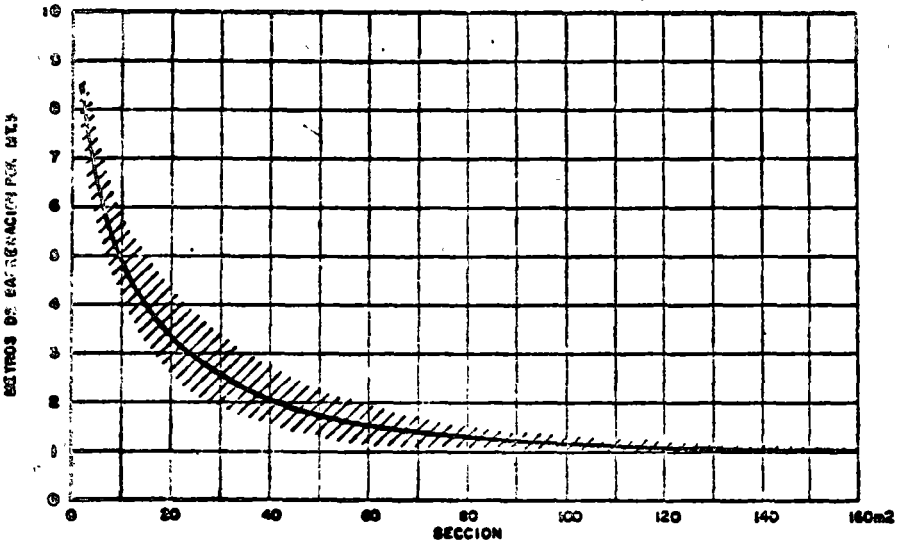
Para determinar la cantidad de explosivos, la figura 6 juestra valores prácticos medio como una función del área neta excavada. Esa gráfica nos proporciona una manera rápida y muy acertada de la forma de calcular la cantidad de explosivos por tronada. De otra manera se puede calcular esta cantidad de otra manera, considerando la carga de fondo con densidad d2/gr/M y definiendo como fondo del barreno una longitud de aproximaddamente 1.3V, la caña debe cargarse con 40% a 100% de dicha densidad y debe dejarse de 0.5 a 1.0 M. para taco. Si este cálculo se puede realizar, debe componerse con el valor obtenido por la gráfica y hacer las correcciones necesarias (Ver Fig.).

Para estimar el número de perforistas debe considerarse que su rendimiento



NUMERO DE BARRENOS EN FUNCION DE LA SECCION.

FIG.1



LONGITUD DE BARRENACION POR M3. EN FUNCION DE LA SECCION.

FIG.2

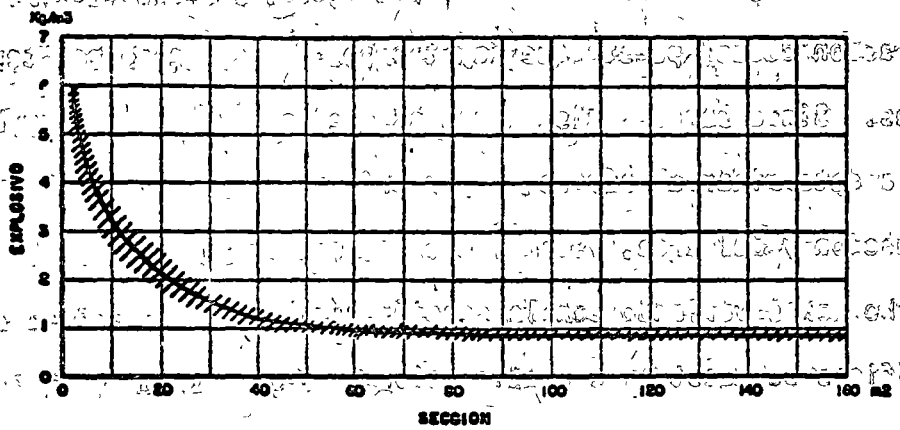
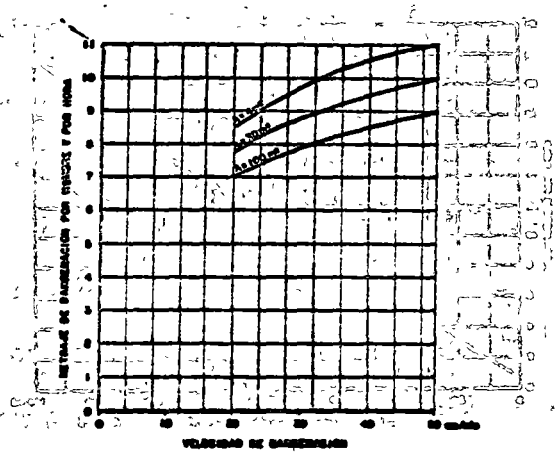


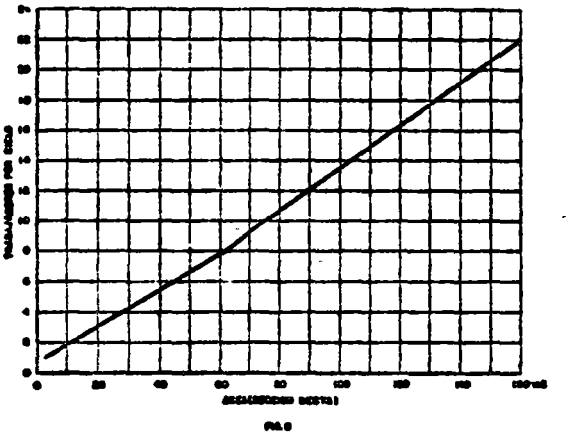
FIG. 6

En general, los barrenos de tabla para roca sana deben cargarse con una carga lo mejor repartida a lo largo del barreno, de 0.2 a 0.3 Kg./m.



depende de la longitud de barrenación por ciclo, para sección y velocidad de perforación dadas, puesto que hay tiempos fijos que se repiten entre detonaciones. Sin embargo, existen tablas que nos ayudan con muy buena aprixímación a determinar el número de perforistas en función de la velocidad de barrenación y del área, y también el número de perforistas normal por ciclo de ocho horas variando con la sección neta.

Estas gráficas se muestran a continuación



Para estimar el número de perforistas, debe considerarse que su rendimiento depende de la longitud de barrenación por ciclo, para sección y velocidad de perforación dadas, puesto que hay tiempos fijos que se repiten entre detonaciones. Sin embargo, con la ayuda de las figuras 7 y 8 puede tenerse una idea aproximada. La primera indica las horas de perforista en función de la velocidad de barrenación y del área y la otra el número de perforistas normal por ciclo de ocho horas variando con la sección neta.

Ya conocidos la sección, el número de perforistas, la longitud total y velocidad de barrenación, así como la profundidad media y los cambios de fierro, los tres tiempos del ciclo pueden obtenerse con ayuda de los nomogramas del artículo 6:04-1 del Manual Atlas Copco.

ALIVIO DE LA CUÑA

Las barrenaciones normalmente se nombran por el tipo de cuña que se utiliza para abrirlas, por ejemplo, una barrenación con cuña en V o una barrenación con cuña quemada. El tipo de cuña empleada, la longitud de la barrenación y el número de barrenos por disparo dependen del tamaño de la frente que se está trabajando y de la dureza del material que se debe tomper, además del equipo disponible para el trabajo. En frentes muy pequeñas, la barrenación puede consistir únicamente de la cuña, un par de ayudantes y los barrenos de tabla; en tanto que, en frentes grandes, la barrenación puede incluir la cuña, varios juegos de ayudantes, varias líneas de segundos ayudantes y los barrenos de tablas.

Es imposible mostrar barrenaciones específicas que satisfagan todas las condiciones que se encontrarán bajo tierra. Al trabajar una frente puede ser necesario cambiar el patrón de barrenación varias veces debido a las diferentes formaciones que se localicen.

La práctica usual al hacer las barrenaciones es barrenar la cuña de tal modo que rompa aproximadamente 2 pulg. más que el resto de la barrenación. Esto proporciona más alivio en el fondo del barreno facilitando que el resto de los barrenos rompan hasta el fondo. En barrenaciones con cuña de ángulo, los primeros ayudantes nunca deben tener más de 2 pies de bordo en el fondo del barreno. Cuando se utiliza una cuña quemada, es necesario tener cuidado que los primeros ayudantes queden lo suficientemente retirados de la cuña para que no se propaguen, pero lo bastante cerca para que puedan romper sin congelar la cuña. Por lo general, el primer ayudante debe tener un fondo de aproximadamente 12 pulg. de la cuña, pero en terreno duro, los barrenos"arrastradores" pueden tener su fondo hasta 6 pulg. del fondo de los últimos barrenos de cuña. Los barrenos próximos y paralelos a la cuña

usualmente se llaman "primeros ayudantes".

Cuando se emplean fulminante y mecha para iniciar las barrenaciones, es imposible asegurar que dos barrenos disparen simultáneamente, a menos que se junten o casi lo hagan, pueden disparar a la vez por propagación. Puesto que en la práctica es difícil que se realice lo anterior, todos los barrenos cargados deben cebarse separadamente, y en barrenaciones con cuñas en ángulo debe hacerse cualquier esfuerzo para que algunas parejas de barrenos disparen en el mismo instante, la experiencia indica que sólo de este modo puede obtenerse la máxima eficiencia en voladura, especialmente en roca dura.

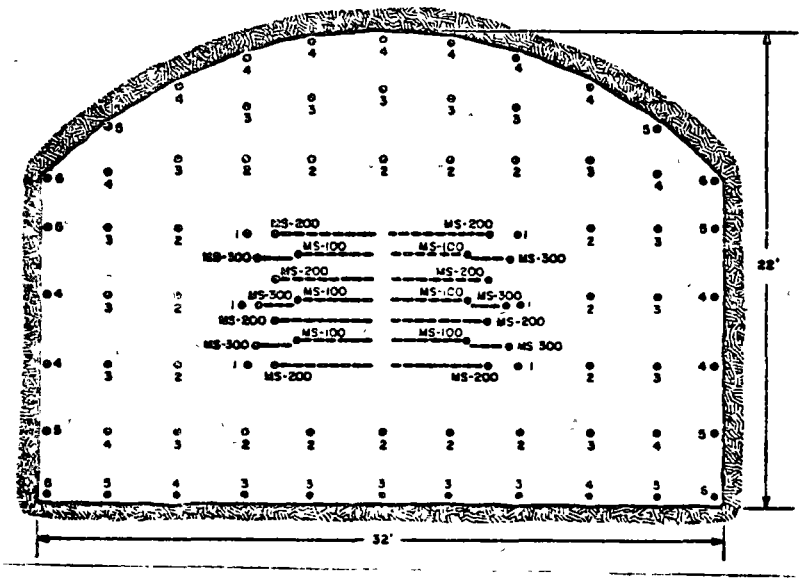
La forma de asegurar que dos o más barrenos disparen prácticamente al mismo tiemo, es utilizando estopines eléctricos de retardo, los cuales se explicará su funcionamiento más adelante. También, a menudo es deseable emplear retardos en cuñas en V colocados para proporcionar una secuencia de disparo de pequeños intervalos en los diferentes pares de barrenos. Este método usualmente mejorará la fragmentación y reducirá el lanzamiento de materiales de la cuña.

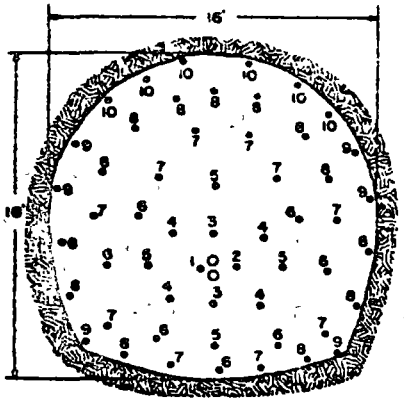
Después de haber disparado la cuña, el resto de la barrenación rompe hacia la abertura proporcionada; para la obtención de los mejores tiempos, el método de disparo eléctrico es el recomendado para retardar la barrenación. Después de abrir la cuña, pueden cebarse con el mismo período de retardos grupos de barrenación que no interfieran entre sí. Para evitar esta superposición en los períodos de retardo, también es recomendable usar estopines eléctricos de retardo.

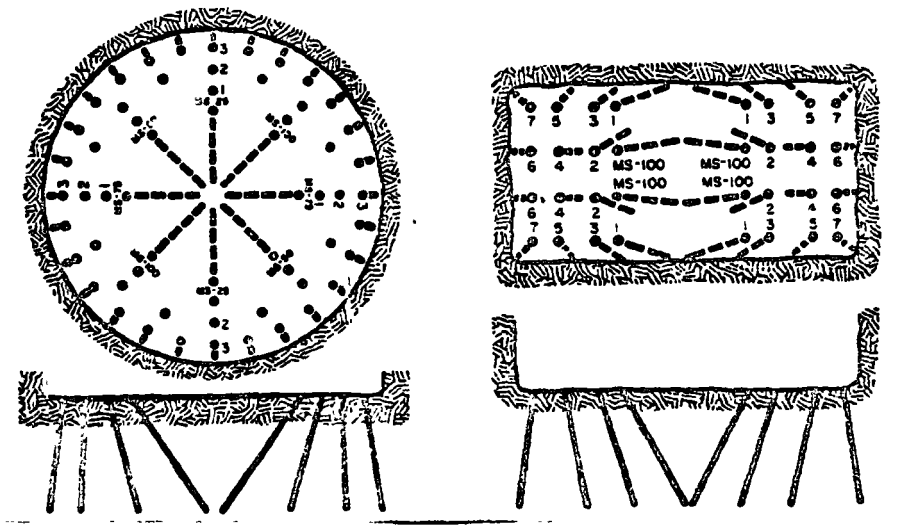
Si se dispara con mecha, la secuencia de barrenación está determinada por el recorte de ella. En este caso, el tiempo de disparo de cada barrenación

es aproximado a causa de la variable velocidad y quemado de la mecha. Sin embargo, si el procedimiento de encendido de mechas se maneja adecuadamente, se obtiene el orden del disparo deseado.

En cualquier caso, la secuencia debe arreglarse de tal modo que cada barreno subsecuente en la rotación de disparos, sea aquel que tengan el menor bordo y el mayor espacio hacia el cual puede romper. A continuación se muestran varias barrenaciones donde se puede observar la secuencia de disparo.







CUÑAS

Ya en los párrafos anteriores se ha estado mencionando contínuamente una abertura en el terreno sólido, generalmente en el centro de la cara, que se necesita para poder avanzar en cualquier frente. A esta abertura se le llama "CUÑA", y es importantísimo en cualquier perforación de túneles, ya que sin una buena cuña los barrenos no se pueden romper con efectividad. Por tal motivo, haremos una referencia especial a esta abertura en los párrafos siguientes.

Existen en general, tres tipos de cuñas:

a).- La cuña en ángulo dentro de las que destacan la cuña triangular, la de abanico y la cuña piramidal.

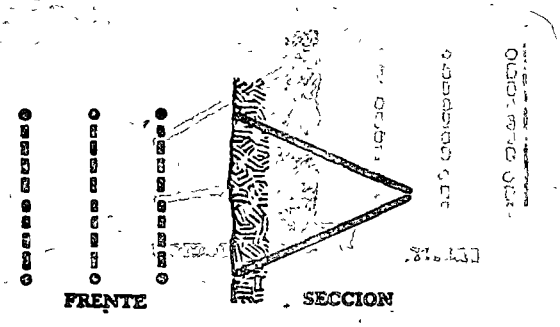
b).- La cuña quemada o fragmentada.

c).- Combinaciones de las otras dos.

Las cuñas en ángulo se basan en que los barrenos se hacen formando un ángulo con la frente para proporcionar la mayor libertad de movimiento que sea posible para la roca quebrada. Este procedimeqnto en épocas pasadas, era el más popular para todos los tamaños de frente; sin embargo, para pequeños frentes, el uso del equipo de barrenación de alta velocidad, así como las

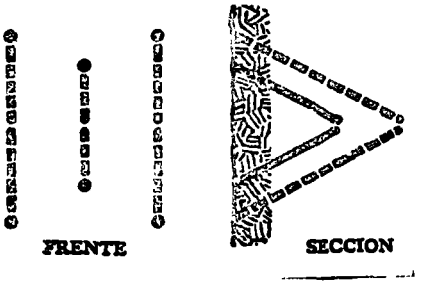
mejoras en el equipo de razaga y acarreo, han hecho más deseable incrementar la longitud de barrenación, y este incremento es tal que las cuñas en ángulo no rompen satisfactoriamente la roca, sin tomar en consideración que en la actualidad la tendencia es eliminar el uso de cambios de acero en la barrenación y emplear acero unitario. Este tipo de cuñas utilizan menos barrenos por disparo y usualmente su consumo de explosivos es menor por pie de avance. Una desventaja es que la V de roca formada por la cuña puede salir lanzada desde la frente en piezas grandes que puedieran dañar el maderamen. El uso de anclas en lugar de maderamen ha reducido esta objeción a las cuñas en ángulo en muchas operaciones. En donde sea necesario reducir el lanzamiento de roca grande y ayudar a romper una cuña en ángulo profundo, pueden emplearse pequeñas cuñas en V.

Cada cuña en V consiste de dos barrenos hechos a partir de dos puntos tan retirados, como sea posible sobre la frente, para ajustarse o casi hacerlo en los fondos de los barrenos, como se puede apreciar en la siguiente figura.

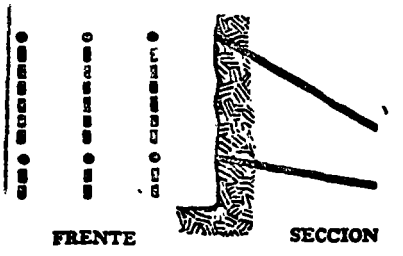


La cuña puede consistir de una V o varias V, perforadas paralelamente una a la otra. Las cuñas en V en los cañones pueden hacer horizontales o verticales, dependiendo de cual posición permite el mayor ángulo entre barrenos de la estructura o estratificación de la roca, y sobre el tipo de equipo de

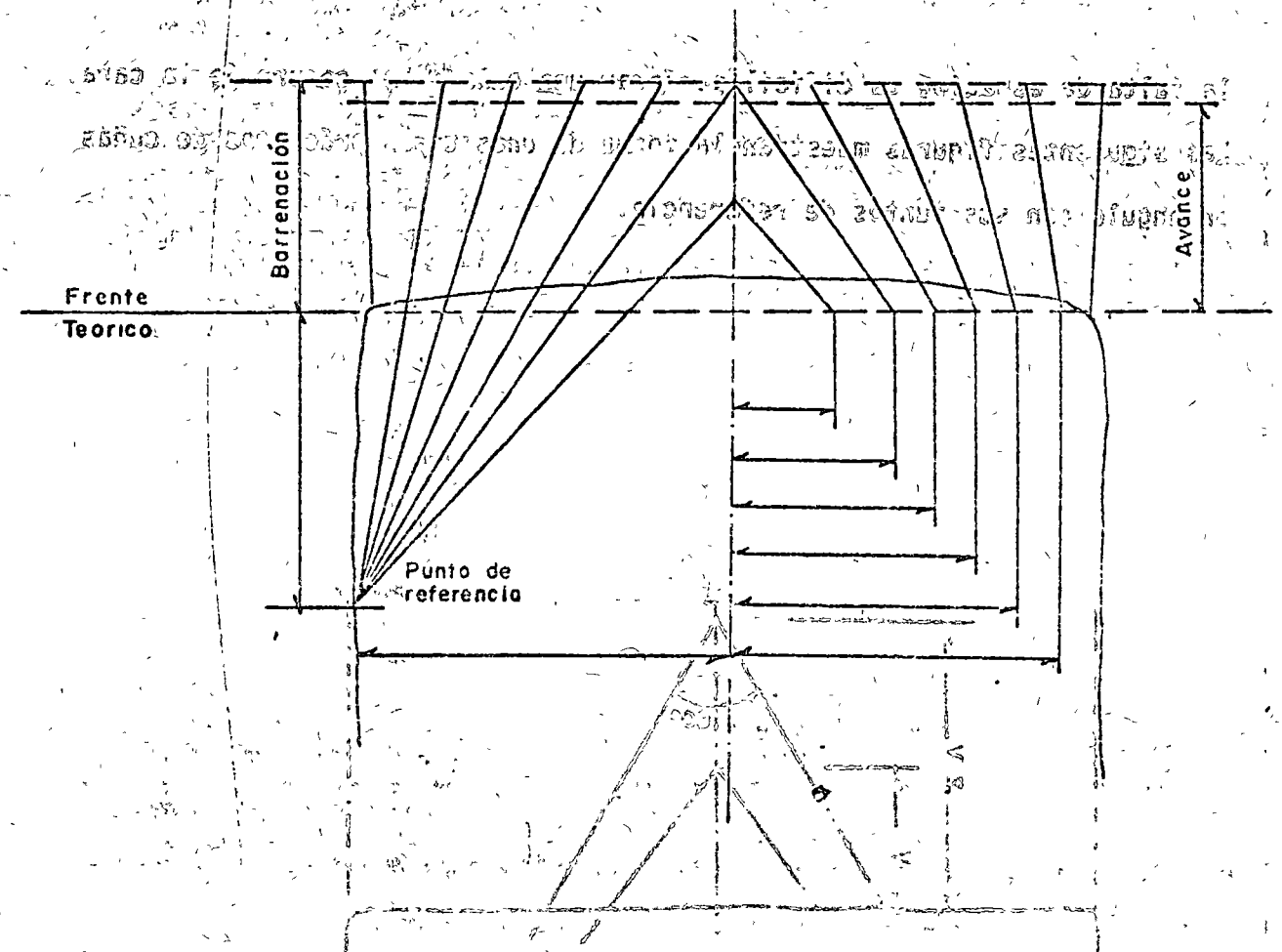
barrenación disponible. En barrenaciones más profundas o en rocas muy difíciles de romper las cuñas pueden ser VV, conociéndose como cuña chica la que está más adentro, como se puede apreciar en la siguiente figura.



Una modificación de la cuña en V es la conocida como cuña"martillo".

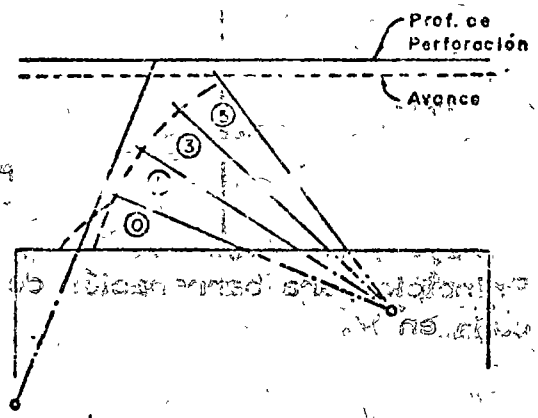


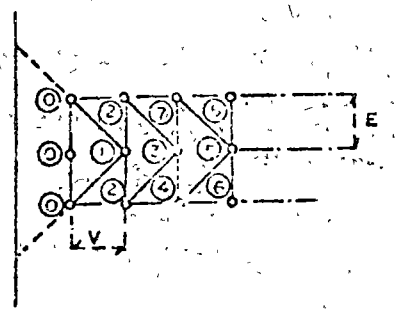
La cuña martillo como se puede apreciar en la figura es la más común, aunque puede encontrarse en la parte superior o a un lado de la barrenación. Es particularmente útil en pequeños frentes, donde la barrenación se efectúa con frecuencia con pistola montada en piernas y donde debido a



A continuación se muestran el esquema de perforación de una cuña en abani-

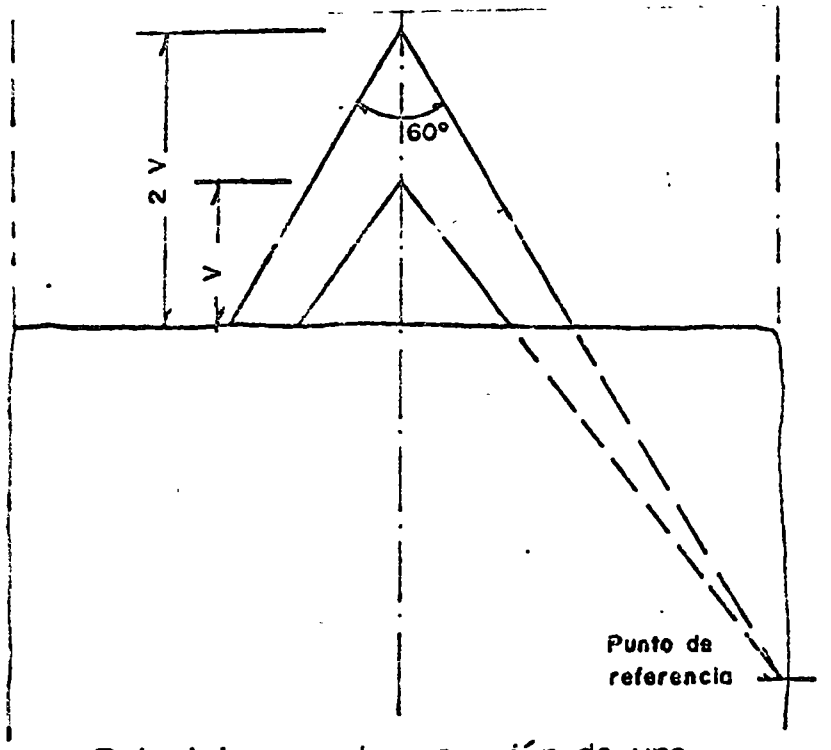
c





Construcción del esquema de perforación para un cuele en abanico.

la falta de espacio, es difícil perforar una cuña en el centro de la cara. Las siguientes figuras muestran la forma de unos tipos prácticos de cuñas en ángulo con sus puntos de referencia.



Principio para barrenación de una cuña en V.

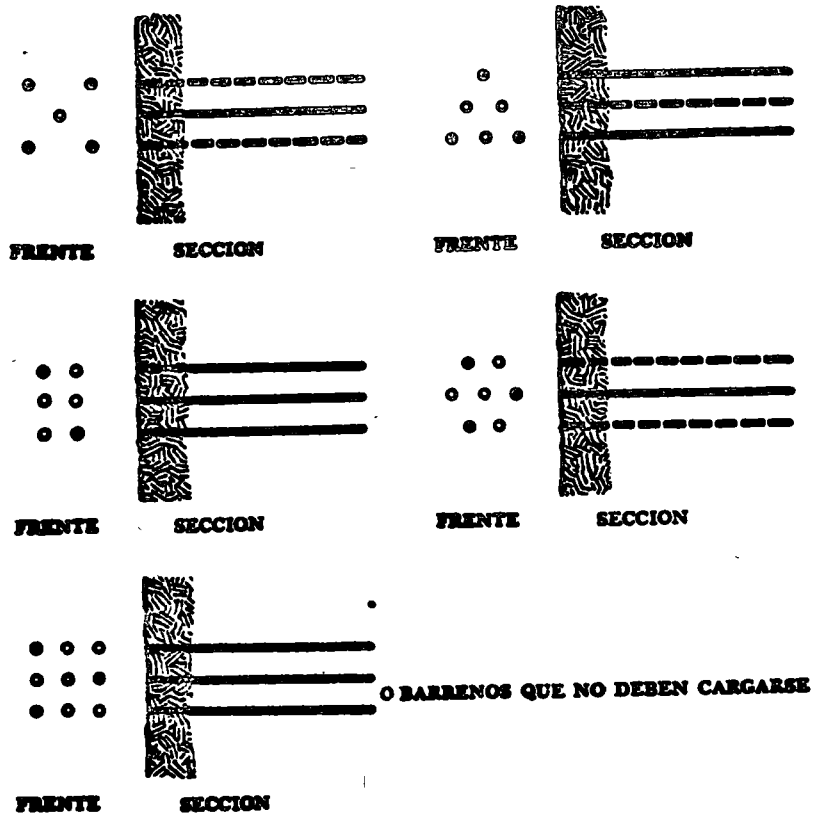
Las cuñas quemadas o fragmentadas, consisten en hacer varios barrenos muy próximos entre sí y perpendiculares al frente, y en la que solamente algunos de ellos se disparan para romper hacia el espacio abierto, proporcionado por los barrenos vacios. En la actualidad este tipo de cuñas se utilizan casi exclusivamente para frentes pequeños. Las cuñas quemadas hacen posible aumentar la profundidad de la barrenación mucho más de lo que es posible con cuñas en ángulo. Las cuñas quemadas por lo general, necesitan más barrenos por disparo y un factor de pólvora más elevado; sin embargo, el aumentar el avance por disparo proporciona mayores economías, ya que se puede tomar ventaja de la profundidad óptima de barrenación, acomodándose así al cilco más económico de barrenación, voladura y rezaga.

Es de lo más importante que los barrenos de una cuña quemada se hagan exactamente paralelos y a la distancia adecuada. También, la cuña quemada debe perforarse aproximadamente de 6 a 12 pulgs. más larga que los otros barrenos de la voladura. Al hacer barrenos paralelos con pistolas montadas sobre jumbos o piernas, se requiere una habilidad considerable.

Las cuñas quemadas pueden perforarse en cualquier parte del frente, con los barrenos apuntando, según se desee, pero siempre paralelos uno con respecto del otro. Así, la roca quebrada que sale de la cuña puede dirigirse hacia el punto donde produzca el menor daño al maderamen. Normalmente, la cuña se perfora perpendicular a la cara y algo del centro de ella; por razones de seguridad, la posición debe variar de disparo a disparo para evitar la necesidad de barrenar la siguiente cuña en el fondo de la cuña anterior.

Fundamentalmente, todas las variaciones de la cuña quemada utilizan el mismo principio, a diferencia de las cuñas en ángulo, que están diseñadas para

romper una pirámide o un cono de material, las cuñas quemadas se diseñan para romper y pulverizar la roca, rompiéndola en pequeños fragmentos que salen lanzados por la voladura para dejar una abertura más o menos en li_ nea. Las siguientes figuras muestran varios de los patrones más comunes:



La práctica usual, es dejar uno o más barrenos descargados, para proporcionar espacio abierto hacia el cual puedan romper los barrenos que si tienen carga.

VOLADURAS CONTROLADAS

En la actualidad, se emplean numerosas de voladuras controladas para regular el sobrerompimiento que se considera sobre todo, que es una función de la geología.

Todas las técnicas que se describen a continuación tienen un objetivo común, reducir y distribuir mejor las cargas explosivas para minimizar la fatiga y la fractura de las rocas más allá de la linea de excavación neta, con lo que también se conseguirá economizar la sobre excavación.

Los nombres descriptivos asociados con las técnicas de voladuras controladas, son numerosos, y en algunos casos, aún confusos y por ello poco conocidas. Aspecto importante de recalcar es el hecho de que estas técnicas se deben emplear cuando se conozca bien y con pruebas de campo la geología del futuro rompimiento.

No es realista pensar, por ejemplo, que la misma técnica de voladura se hará igualmente buena en formaciones ígneas macivas que en depósitos sedimentarios altamente estratificados.

Las técnicas de voladuras controladas se agrupan generalmente en cuatro categorías:

1).- Barrenación en linea (Line Drilling).

2).- Voladuras amortiguadas (Cushion Blasting).

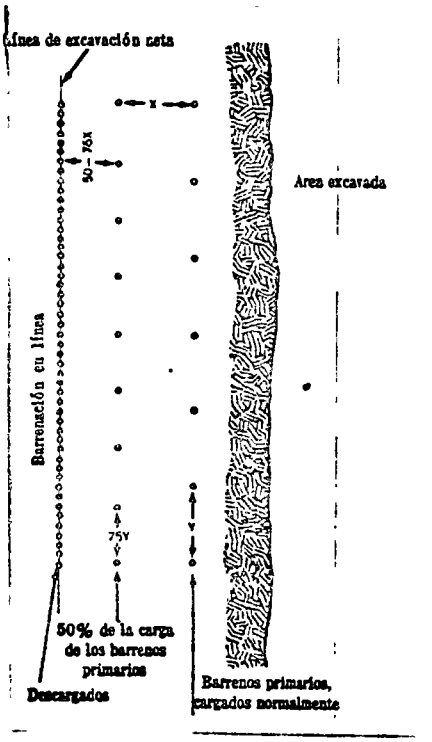
3).- Voladuras suaves (Smooth Blasting).

4).- Precorte (Pre-Shearing).

BARRENACION EN LINEA

La barrenación en linea consiste en una hilera sencilla de barrenos de

pequeño diámetro sin cargar, y muy próximos entre sí, a lo largo de la linea de excavaciones. Esto ocasiona un plano de debilidad contra el cual puede romper el disparo primario. También causa que se reflejen algo de las hondas de choque originadas por la voladura, lo que reduce la práctica y la fatiga de la pared terminada.



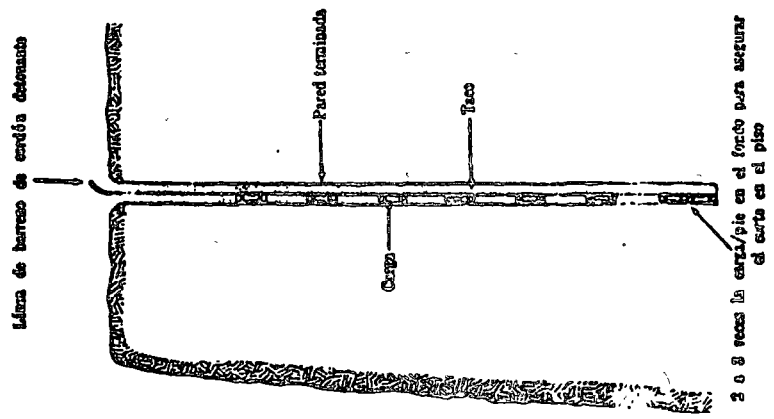
La figura anterior muestra el patrón y procedimiento típico para efectuar la barrenación en linea.

La barrenación en linea es aplicable en área en donde aún las ligeras cargas de los explosivos, asociada con otras técnicas de voladura controlada, pueden causar daño más allá del límite de excavación.Entre barrenos cargados si es que se utiliza, la barrenación en linea provoca el corte y proporciona resultados mejores. Se puede afirmar que este procedimiento es el más indicado para formaciones homogéneas en donde los planos de estratificación, juntas y vetas, son mínimas.

Las desventajas al utilizar la barrenación en linea, en formaciones muy homogéneas, es que no arroja buenos resultados, y los costos de barrenación son elevados a causa de los pequeños espaciamientos requeridos. Debido a que la barrenación en linea necesita de un gran número de barrenos en espacionamientos más bien cortos, ésta se vuelve tediosa y los resultados son a menudo poco satisfactorios a causa de una mala alineación de los barrenos.

VOLADURAS AMORTIGUADAS

Esta técnica es también llamada de voladuras perfiladas. Igual que la barrenación en linea consiste en una hilera sencilla de barrenos a lo largo de la linea de excavación neta. Los barrenos de una voladura amortiguada se llenan con cargas ligeras y bien distribuidas, completamente retacadas y disparadas después de efectuar la voladura principal. El taco "amortigua" el choque en la pared terminada al disparar y minimiza las fracturas y esfuerzos en la misma. Al disparar los barrenos amortiguados con un recargo mínimo entre ellos, la detonación tiende a cortar la roca entre barrenos y dá una pared tersa, con un mínimo de sobrerompimientos. Obviamente, entre más grande es el diámetro, mayor es el efecto de amortiguamiento.



La figura anterior muestra la colocación de las cargas para una voladura amortiguada.

Las voladuras amortiguadas ofrecen ciertas ventajas que influyen en un mayor espaciamiento entre barrenos, reduciéndose los costos de perforación; mejores resultados e informaciones consolidadas y los resultados pueden observarse en el disparo, lo que permite el ajuste de las cargas si fuera necesario antes de reanudar. También, cuando se carguen los barrenos amortiguados se puede obtener una ventaja completa de la información geológica ganada al efectuar los disparos principales. Finalmente, una mejor alineación de los barrenos con diámetros grandes, permite barrenos más profundos.

Existen sin embargo, ciertas limitaciones a las voladuras amortiguadas. Estas son: la necesidad de retirar el area excavada antes del disparo y también no son prácticas para cortar esquinas a 90° sin utilizar otras técnicas de voladuras controladas. También, el sobrerompimiento producido por los disparos principales en algunas ocasiones tumba completa o parcialmente la banqueta que debe dispararse con amotiguamiento, requiriendo por lo tanto varios ajustes de carga para diferentes barrenos.

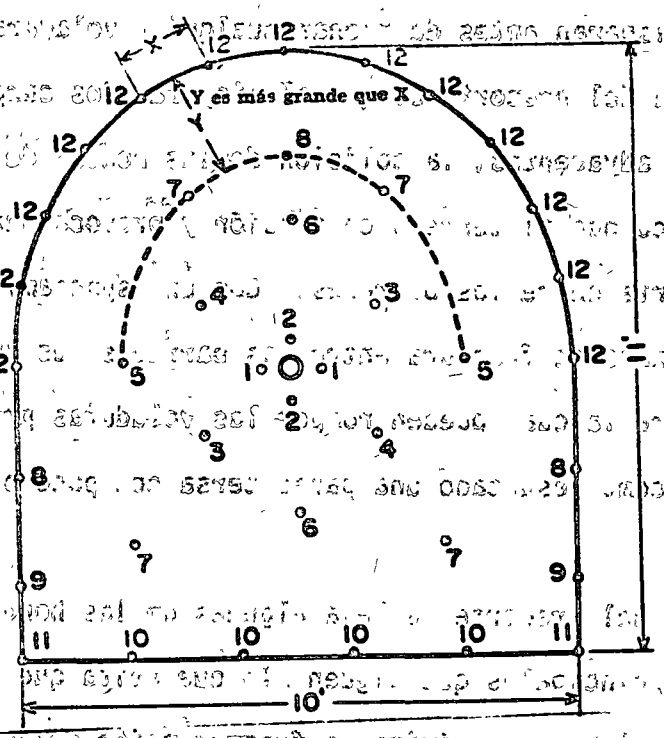
VOLADURAS SUAVES

Las voladuras suaves son conocidas como perimetrales o perfiladas, y es el método mayormente aceptado para controlar el sobrerompimiento en frentes y rebajes bajo tierra. Esta técnica tiene aplicación tanto a cielo abierto como en trabajos subterráneos.

El principio básico de las voladuras suaves, es el mismo que para las voladuras amortiguadas: Se perforan barrenos a lo largo de los límites de la excavación y se cargan ligeramente para tumbar el bordo final.

Al disparar con retardo mínimo entre barrenos, se obtiene una acción de corte, lo que proporciona paredes tersas con un mínimo de sobrerompimiento.

Al utilizar la técnica de la voladura suave con cargas explosivas ligeras y bien distribuidas en los barrenos del perímetro, se requiere menos ademe y se obtiene un mayor sobrerompimiento. Aún en las formaciones más duras y más homogéneas, las voladuras suaves proporcionan respaldos y costillas más tersas y firmes. La siguiente figura muestra un patrón de retardo típico.



Las dos ventajas principales de las voladuras suaves, son las siguientes:

1o.- Reduce el sobrerompimiento producido por los métodos convencionales.

2o.- Se requiere menos ademe posteriormente.

Las limitaciones en las voladuras suaves se reflejan en el hecho de que por lo regular involucran mayor número de barrenos perimetrales que los métodos convencionales. Originalmente, no trabajan todas las formaciones

ya que si el terreno es demasiado débil para autosoportarse, las voladuras suaves no eliminan completamente la necesidad del ademe.

PRECORTE

Este procedimiento consiste en colocar una hilera sencilla de barrenos perforados a lo largo de la linea de excavación neta. Los barrenos son usualmente de igual diámetro (de 2 a 4 pulgs.) y en la mayoría de los casos están todos cargados. El precorte difiere de la barrenación en linea, de las voladuras amortiguadas y de las suaves, en que los barrenos se disparan antes de tronar cualquier voladura principal.

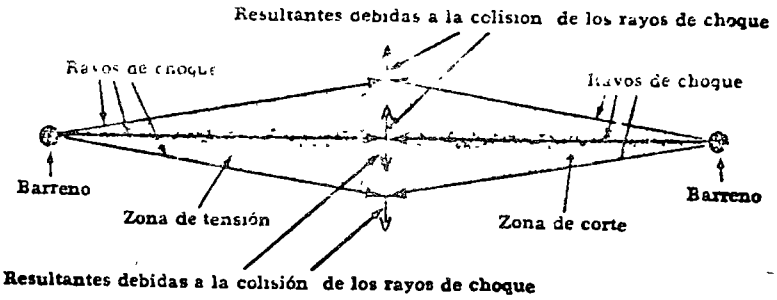
La teoría del precorte es que al disparar dos cargas simultáneamente en barrenos adyacentes, la colisión de las hondas de choque entre los barrenos, coloca al terreno en tensión y provoca una fisura que dá una zona de corte entre los barrenos. Con un espaciamiento y cargas adecuados la zona de fractura entre los barrenos, es una area estrecha de corte, contra la cual pueden romper las voladuras primarias subsecuentes. Esto dá como resultado una pared tersa con poco o ningún sobrerompimiento.

El plano del precorte refleja algunas de las hondas de choque de las voladuras principales que siguen, lo que evita que se transmitan hacia la pared terminada y minimiza la fragmentación del sobrerompimiento. La siguiente figura muestra estre principio del precorte.

Algunas de las ventajas ofrecidas al utilizar el precorte son un aumento en el espaciamiento entre barrenos, con una reducción en el costo de barrenación, y que no es necesario regresar a disparar las costillas después de las excavaciones primarias.

Dentro de las limitaciones al emplear el precorte están en primer lugar el que es difícil determinar resultados hasta que la excavación primaria ha llegado a la pared terminada. Puesto que el precorte se efectúa antes de las voladuras primarias, no es posible tomar ventaja del conocimiento de las condiciones locales de la roca que se obtiene de los disparos primarios.

También, en algunos casos, los espaciamientos en voladuras amortiguadas y voladuras perfiladas, pueden, usualmente, ser mayores que en el precorte, reduciendo de este modo los costos de barrenación.



NOTA. Si los barrenos estan sobrecargados, la zona de corte se extenderá hasta y máo allá de la zona de tensión indicada.

VENTILACION

El propósito de la ventilación es mantener el aire fresco en el interior de túneles, especialmente cerca del frente de trabajo, evitando así la contaminación por gases tóxicos, polvo, calor, etc.

La ventilación se obtiene generalmente por la circulación de aire desde el portal de entrada al tunel, hacia el lugar de trabajo por medio de - ductos que trasportan el aire que es arrojado por ventiladores. Este sistema de ventilación de aire, comunmente se le llama ventilación por el método de "Soplo". Cuando el aire se extráe del interior del tunel hacia afuera se le denomina "ventilación de escape". Cabe hacer la aclaración que la ventilación se puede efectuar también por un sistema combinado de soplo y escape simultáneamente, utilizando para este efecto dos ductos separados, es decir, uno para soplar y el otro para el escape.

La selección de un sistema de ventilación se puede basar en las siguientes consideraciones:

1o.- Determinación de los factores relativos a la ventilación en el area de trabajo, siendo los más importantes:

a).- El tipo de ventilación.

b).- La cantidad de aire requerida (Q).

c).- La distancia desde el portal de entrada hasta el frente de trabajo.

2o.- Selección del ventilador y el tipo de ducto para proporcionar la cantidad de aire requerida en el area de trabajo.

FACTORES QUE DETERMINAN LA VENTILACION EN EL AREA DE TRABAJO

1.- Causas de Contaminación en el Aire.

a).- Gases producidos por Explosiones.- Después de cada tronada, una cierta parte del tunel es cargado con gas y el humo que se forma, debido a la desintegración de los explosivos. Estos gases contienen monóxido de carbono y vapores nítricos que son tóxicos en concentraciones.

b).- Formación de Polvo.- La explosión en un tunel produce un alto contenido de polvo, y no solamente durante esta operación, sino durante la barrenación misma.

c).- Formación de Gases debido a los Motores de Combustión Interna.- Estos gases contienen una cierta cantidad de gases tóxicos que contienen especialmente monóxido de carbono. Es necesario mantener el aire fresco del tunel bajo ciertos límites permisibles, como son: 0.06-0.1% para el monóxido de carbono.

d).- Calor producido por las Rocas.- Cuando la temperatura de la roca es alta, la ventilación también es requerida para mantener temperaturas máximas de 35° sobre todo en el area de trabajo.

2.- Remoción de la Carga Explosiva.

Esto se debe principalmente a problemas ocasionados por un mal sistema de ventilación, destacando: la circulación de la ventilación, cortina de humo, excesiva ventilación. Para todos estos casos existen tablas y fórmulas para valuar o corregir la cantidad de aire y se encuentran asentados en el manual de voladura de roca editado por la Compañía Atlas Copco.

DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE AIRE REQUERIDO (Q)

Una vez descritas las cusas que dan origen a una ventilación adecuada en un tunel, es necesario determinar el gasto o cantidad de aire requedida para mantener el tunen en condiciones de trabajo.

Para ello utilizamos una regla muy simple pero que en la práctica ha dado buenos resultados: El Volumen de aire que debe circular en un tunel debe ser igual a $V=2N\ M^3/M$ donde N es el total de la fuerza expresada en cabalos de fuerza del total de vehículos de combustión interna que trabajan en el interior del tunel.

Después de aplicar esta regla empírica, el contenido de monóxido de carbono contenido en los gases puede ser determinado directamente tomado de los gases de escape de los vehículos. Así si este contenido de monóxido de carbono se representa por C_1, y si V es el volumen de los gases de escape dado por un vehículo en M^3/Seg., el volumen requerido para disipar el contenido de monóxido de carbono en el tunel y 0.01% (1/10,000) debe ser:

$$Q = 10{,}000\ V.\ C_1$$

Para aplicar esta fórmula es necesario lógicamente conocer V.

Cualquiera que sea el tipo de ventilación adoptada, como una regla práctica, la velocidad del aire debe fluctuar entre 0.5 a 1 Km/Hr.

AGENTES EXPLOSIVOS Y SUS PROPIEDADES

Dinamita

Las dinamitas son mezclas sensibles a la cápsula que contienen un compuesto explosivo, ya sea con sencibilizador o como el medio principal para desarrollar energía, y el que, cuando se inicia adecuadamente, se descomponer a velocidad de detonación. La mayor parte de las dinamitas contienen nitroglicerina como sensibilizador.

A pesar de que algunas mezclas de nitrato de amonio de menor costo, como la mezcla de aceite, que no contiene ningún ingrediente explosivo han reemplazado con éxito a las dinamitas en algunos tipos de voladuras, las dinamitas siguen siendo una herramienta importante e indispensable en las voladuras comerciales. Estas pueden formularse en muchos tipos y grados, cada una con diferentes propiedades y características. A diferencia de la mayor parte de las mezclas de nitrato de amonio-aceite combustible, las propiedades y características de la dinamita pueden modificarse o diseñarse para producir compuestos que proporcionen una acción de voladura óptima para cada tipo de trabajo.

Las dinamitas se empacan en una amplia variedad de diámetros y longitudes; en tamaños pequeños 7/8" hasta 2" de diámetro.

AGENTES EXPLOSIVOS

Un agente explosivo comercial o mezcla química insensible al fulminante, que no contiene ingredientes explosivos y que puede hacerse detonar cuando se inicia con un cebo explosivo de alta potencia.

Las compañías que se dedican a fabricar explosivos, ofrecen generalmente dos grupos especiales de compuestos, en un amplio rango de densidad con

un contenido de energía variable y con diferente resistencia al agua. El primer grupo está clasificado como materiales oxidantes, debido a que no contienen altos explosivos y que se les conoce como nitro-carbonitratos. Ejemplo de estos productos son: el nitramón y nitramite.

El segundo grupo de explosivos se refiere a aquellos que no contienen nitroglicerina y por lo tanto deben considerarse como altos explosivos. Ejemplos de éstos son: nitramex, tobex y pourmex.

De las muchas ventajas ofrecidas por estos compuestos o mezclas sin nitroglicerinas, sin duda las más importantes son la seguridad en el manejo, su uso y su bajo costo.

Propiedades de los Explosivos

La mayoría de las propiedades utilizadas en la actualidad para caracterizar los explosivos, fueron diseñados inicialmente para las dinamitas y otros altos explosivos. Dentro de éstas que han sufrido modificaciones y que se han adaptado para su uso con otros explosivos comerciales y agentes explosivos, se encuentran:

1o.- Potencia.- Se refiere al contenido de energía de un explosivo, que a su vez contribuye a la fuerza y poder que desarrolla y, al trabajo que es capaz de efectuar. La calificación de la potencia de una dinamita regular está dado por el porcentaje en peso de nitroglicerina en la fórmula; así una dinamita regular de 40% contiene 40% de nitroglicerina y 60% de otros ingredientes.

2o.- Densidad.- Esta se expresa de un modo conveniente por el número de cartuchos de 1 1/4" x 8" que contiene una caja de 50 Lb. (en México es el número de cartuchos en 25 Kg.). Normalmente la densidad se compara con la del agua y se expresa en gramos por centímetro cúbico. Generalmente

varía desde un mínimo de aproximadamente 0.4 g/cc a un máximo de 1.4 a 2.0 g/cc.

3o.- Sensibilidad.- Esta propiedad se refiere a la medición de su capacidad de propagación y se mide por la distancia en pulgadas, a la que la mitad de un cartucho de 1 1/4" x 8" propagará la otra mitad del mismo cartucho cuando ambas partes, teniendo los extremos cortados frente a frente, estén envueltas en un tubo de papel y se disparen al aire.

Velocidad.- La velocidad es una medida de la rapidez con que viaja la onda de detonación a través de una columna de explosivo. A menos que se especigique de otro modo, los datos de velocidad se refieren a unacolumna de un diámetro de 1 1/4".

Las dinamitas varían en su velocidad desde 4000 pies hasta 23000 pies/seg. A medida que se aumenta la velocidad, el explosivo generalmente produce un mayor efecto de fragmentación en materiales duros.

Resistencia al Agua. Esta es una de las propiedades que hay que considerar, sobre todo si los disparos deben efectuarse precisamente después de cargar, ya que si este es el caso, basta con un explosivo de mediana resistencia, - pero si el explosivo debe permanecer bajo el agua por algún tiempo, tiene que utilizarse un tipo resistente al agua, como una dinamita gelatina.

Resistencia a la Congelación.- Esta es una de las propiedades más importantes, ya que permite efectuar voladuras en tiempo frío sin necesidad de utilizar el peligroso proceso de deshielar explosivos congelados.

Inflamabilidad.- Esta propiedad se refiere a la facilidad con que un explosivo puede incendiarse.

Emanaciones.- Los gases que se obtienen como resultado de la detonación de explosivos como carbón nitrógeno y oxígeno, se les llaman comunmente emanaciones.

Sensitividad.- Esta propiedad es una medida de la capacidad de propagación.

Dispositivos para la Iniciación.- En cualquier operación de voladura se obtienen mejores resultados si los dispositivos de iniciación, se seleccionan tan cuidadosamente como el explosivo.

Los dispositivos para la iniciación son productos que se utilizan para:

1).- Iniciar las cargas de explosivos.

2).- Proporcionar o trasmitir la flama para iniciar la explosión.

3).- Para llevar una onda de detonación de un punto a otro, o de una carga de explosivos a otra.

Dispositivos Eléctricos.- La forma principal de un dispositivo eléctrico de iniciación es un estopín eléctrico. Estos están equipados con sistemas eléctricos de ignición, de tal modo que pueden disponerse mediante una corriente eléctrica. Básicamente, todos los estopines eléctricos consisten en un casquillo metálico dentro del cual se colocan diferentes cargas de polvorín, y de un elemento eléctrico de ignición conectado a un par de alambres aislados.

En los estopines eléctricos de retardo, se interpone entre la mezcla de ignición y la carga de cebo, un elemento de retardo.

Los alambres de todos los estopines eléctricos pueden ser conductores sólidos, ya sea de cobre estañado o de hierro estañado.

Es importante que los estopines eléctricos se protejan contra la electricidad extraña, misma que puede ser causa de un disparo accidental. Una medida importante de seguridad a este respecto es un dispositivo de corto circuito (shunt o derivador) colocado en los extremos libres de los alambres, de tal modo que se impida el flujo indeseado de corriente a través

del circuito del puente. Para máxima protección, el derivador no debe quitarse del estopín hasta conectar los alambres al circuito de voladura. Los estopines eléctricos más utilizados son:

1).- Estopines Eléctricos Instantáneos de Alambre de Hierro.- Generalmente se utilizan en minas subterráneas de carbón.

2).- Estopines Eléctricos Sismográficos "SSS".- Son utilizados básicamente en la explosión sísmica.

3).- Estopines Eléctricos de Retardo: Estos están diseñados para detonar a un período predeterminado después de aplicar energía eléctrica de ignición. Este período se determina durante el proceso de fabricación mediante la cantidad y características de quemado de la pólvora elemento de retardo. En la actualidad se pueden obtener varios períodos de retardo, con tiempos que varían desde unos cuantos milisegundos, hasta más de 12 segundos.

4).- Retardos de Milisegundos.- Estos se fabrican en 19 retardos. Estos períodos también se identifican por número de MS, los que indican su tiempo de disparo nominal en milisegundo y que van de 25 en 25. Así el período 1 es MS-25 y los otros en orden son: MS-50, MS-75, etc.

Estos estopines eléctricos vienen normalmente con casquillos de aluminio que tienen longitudes variables desde 1.5" hasta 3", deponiendo del período de retardo. El disparo de estos estopines tienen las siguientes ventajas sobre los disparos con intérvalos largos:

1).- Mejor fragmentación.

2).- Menor Vibración.

3).- Lanzamiento controlado.

4).- Menor número de barrenos controlados y menor cantidad de pólvora sin explotar en la rezaga.

5).- Menor cantidad de explosivos y menor costo.

5).- Retardos para Minas de Carbón.- Estos se utilizan en cuatro retardos estandard: 25, 100, 175 y 250 milisegundos y son numerados del 1 al 4.

6.- Encendedores Eléctricos (Eléctric Squibs).- Estos se utilizan para encendido de pólvora.

DISPOSITIVOS NO ELECTRICOS

Estos se dividen en 4 grupos y debido a que están ya casi en deshuso, se enunciarán solamente : a manera de información.

1).- Fulminantes regulares y sus accesorios.

2).- Cordón detonante de alta energía y sus accesorios.

3).- Cordón detonante de baja energía y sus accesorios.

4).- Reforzadores (Boosters).

ASPECTOS PRINCIPALES DE SUPERVISION PARA LA CONSTRUCCION DE UN TUNEL POR EL METODO CONVENCIONAL

Ya descritos los procedimientos más usuales que se utilizan para la construcción de un tunel, es necesario dar recomendaciones sobre los aspectos más importantes para la Supervisión de la Construcción de un Tunel.

Las indicaciones u órdenes deben se explícitas y concisas, acompañándolas cuando el caso lo requiera de un croquis acotado. Estas indicaciones así como los hechos más importantes sucedidos durante la ejecución de la obra, así como las indicaciones dadas por los superiores, deben anotarse en la bitácora de la obra.

Para las excavacion-s de un tunel por los procedimientos ya descritos, es necesario el cálculo y el diseño de un diagrama de barrenación.

Es muy importante, que el supervisor de la obra revise minuciosamente la disposición de los barrenos, la carga de los explosivos y la secuencia de tiempos de detonación. Asímismo es importante revisar el tipo de barreno, profundidad de los mismos, número de barrenos, carga de fondo y carga de la columna, carga total por barreno y la carga total por el número de barreno. Conociendo el volumen que se va a romper con la tronada, la longitud de barrenación y la carga total, se calculan los coeficientes de barrenación (m/m3), que es el que nos indica el avance en metros lineales, por metro cúbico de tronada, y el coeficiente de explosivos (kg/m3) que el que nos indica la cantidad de explosivo por metro cúbico de tronada. Estos dos coeficientes son de suma importancia para el Supervisor y requiere no sólo conocerlos,

sino controlarlos durante la ejecución de los trabajos.

Aspecto muy importante que requiere especial atención del Supervisor es la abertura del tunel que generalmente se realiza en el centro de la cara, comunmente llamada "CUÑA". La cuña es la parte más importante de la voladura, ya que el résto de los barrenos no pueden romper con efectividad a menos que la cuña salga totalmente. Unos cuantos minutos adicionales empleados en perforar adecuadamente una cuña, puede significar la diferencia entre tener un avance completo o solamente una parte de él.

Cuando el terreno en el cual se excava el tunel no es muy resistente, se tendrá que usar el procedimiento de soporte provisional, bien sea por medio de marcos metálicos o bien por concreto lanzado.

Un aspecto que no se debe descuidar y que el Supervisor debe tener ingerencia es el referente al manejo y almacenamiento de explosivos.

Estos agentes explosivos y accesorios, pasan a través de muchas manos; se transportan por ferrocarril y camiones, se transfieren a los polvorines de almacenamiento de los consumidores, a los polvorines de distribución y, finalmente, el punto donde se van a utilizar el manejo y almacenamiento de los explosivos, agentes explosivos y accesorios, y en todas las etapas de su existencia, requieren procedimientos y métodos adecuados que cumplan con la Ley, atención a la protección y preservación de estos materiales perecederos, y consideración de la naturaleza peligrosa de estos productos.

El factor humano es vital para la realización de estas obras. Por ello se requiere que cuenten con el aequipo de trabajo adecuado, y condiciones de salud óptimas. Dentro del tunel se requieren señalamientos, ventilación adecuada, iluminación sobre todo en el fuente de trabajo, etc

Todo lo anterior y demás condiciones de higiene y seguridad requieren de una vigencia contínua por parte del Supervisor.

Debido a las condiciones especiales en un tunel, y la gran cantidad de gases que se producen no sólo durante la explosión, sino también debido a los gases de los motores de combustión interna, y que una descompostura de éstos o que trabajen en malas condiciones, es decir con fallas mecánicas, hacen que el Supervisor se preocupe por la cantidad de aire sano existente dentro del tunel y por otra parte del buen estado en que se encuentren los equipos que trabajan dentro del tunel. Finalmente el Supervisor debe llevar un buen sistema de Control tanto de Costos como de Obra, con objeto de que lo realizado, sea lo mismo que lo planeado. Para ello requiere que se auxilie de técnicas modernas inclusive con auxilio de la computadora como el CPM (Ruta Crítica), o un buen sistema de Control de Costos.

B I B L I O G R A F I A

Manual para Uso de Explosivos	Du Pont.
Construcciones en Roca	Colegio de Ingenieros Civiles de México.
Controlled Blasting	Du Pont.
Manual of Rock Blasting	Atlas - Copco.
Curso de Túneles.	Centro de Educación Contínua.
Nuevos Conceptos Acerca de la Estadística de Túneles	G. Lombardi.- Sociedad Mexicana de Mecánica de Rocas.
Métodos, Planeamiento y Equipos de Construcción	R. L. Peurivoy
Tecnología de la Construcción	G. Baud.
Procedimientos de Construcción.	Plazola.

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

CONSTRUCCION DE TUNELES

TECNICAS DE VOLADURA

ING. ARNE SAMUELSON
Septiembre, 1977

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.

7 VOLADURAS SUBTERRANEAS

Generalmente las excavaciones subterráneas son a base de túneles y lumbreras. Lo que no es túneles o lumbreras es una adaptación de voladuras de banco.

7.1 Túneles

La diferencia principal entre voladuras de túnel y voladuras de banco es que en el túnel hay solamente una cara libre, comparado con mínimo dos en un banco. Esta cara es además perpendicular al avance del frente. Por esto se necesita creer una apertura en todo el largo del avance previsto y después volar la roca succesivamente hacía esta apertura. En la ampliación de la apertura se aplica el método de voladuras de banco. Pero la carga especifica es mucho mas alta por las siguientes razones:

a) barrenos desviados (el ambiente subterráneo con obscuridad, humo, agua, alto nivel de ruido etc dificulta el trabajo)

b) espacio requerido para el hinchamiento de la roca (el hinchamiento es alrededor de 50 %)

c) barrenos sin inclinación

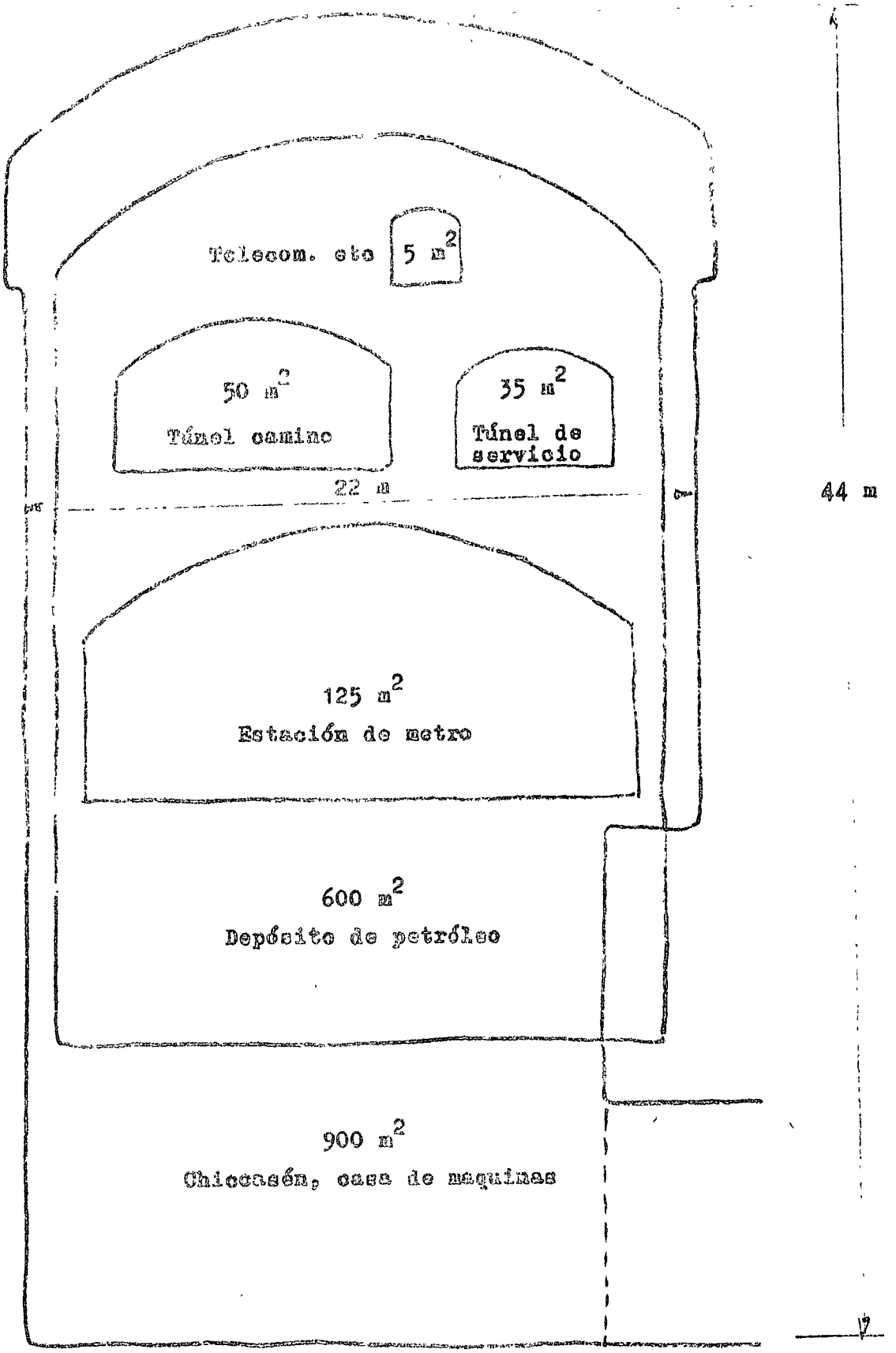
d) no cooperan barrenos adyacentes

e) el efecto de la gravedad en los barrenos que tienen salida por arriba.

Hay una gran variedad de túneles para diferentes usos, ver la figura en la siguiente pagina.

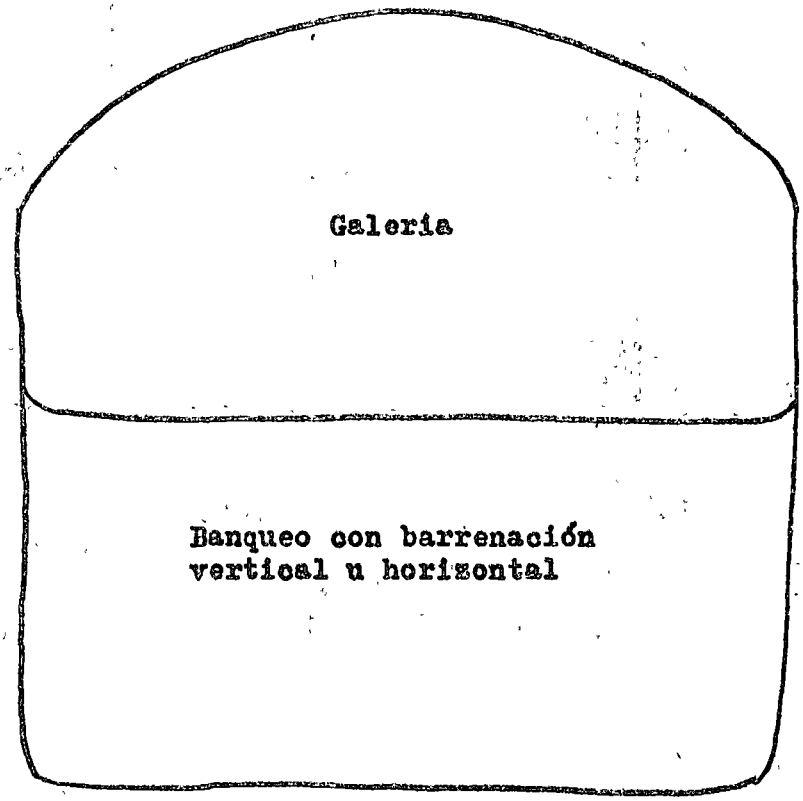
En túneles con áreas menos de 80 m^2 normalmente se ataca toda la sección en una operación. En túneles mas grandes se reparte la excavación en dos o mas operaciones. Esta repartición se puede hacer de varias maneras, pero ahora domina el método de excavar una galeria arriba y después banquear.

El numero de bancos depende de la altura del túnel y muchas veces de las condiciones de estabilidad de las paredes. Por ejemplo en la casa de máquinas (44 m de altura) y la galería de oscilación (55 m de altura) en Chicoasén se especifica el siguiente procedimiento: excavar un banco de 4 metros y después anclar las paredes antes que se excava el proximo banco, para evitar desprendimientos de las zonas relajadas.



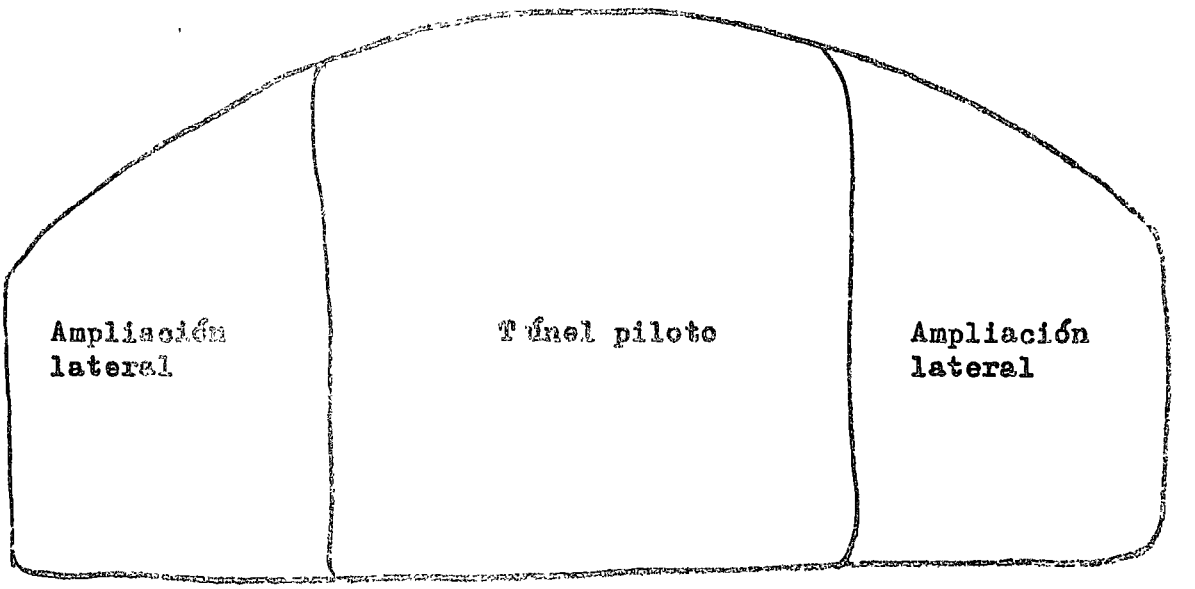
Ejemplos de cortes transversales de túneles típicos

El banqueo se hace con barrenación vertical u horizontal. Bancos con alturas menos de 4 metros son desfavorables por sus altos coeficientes de barrenación y carga.



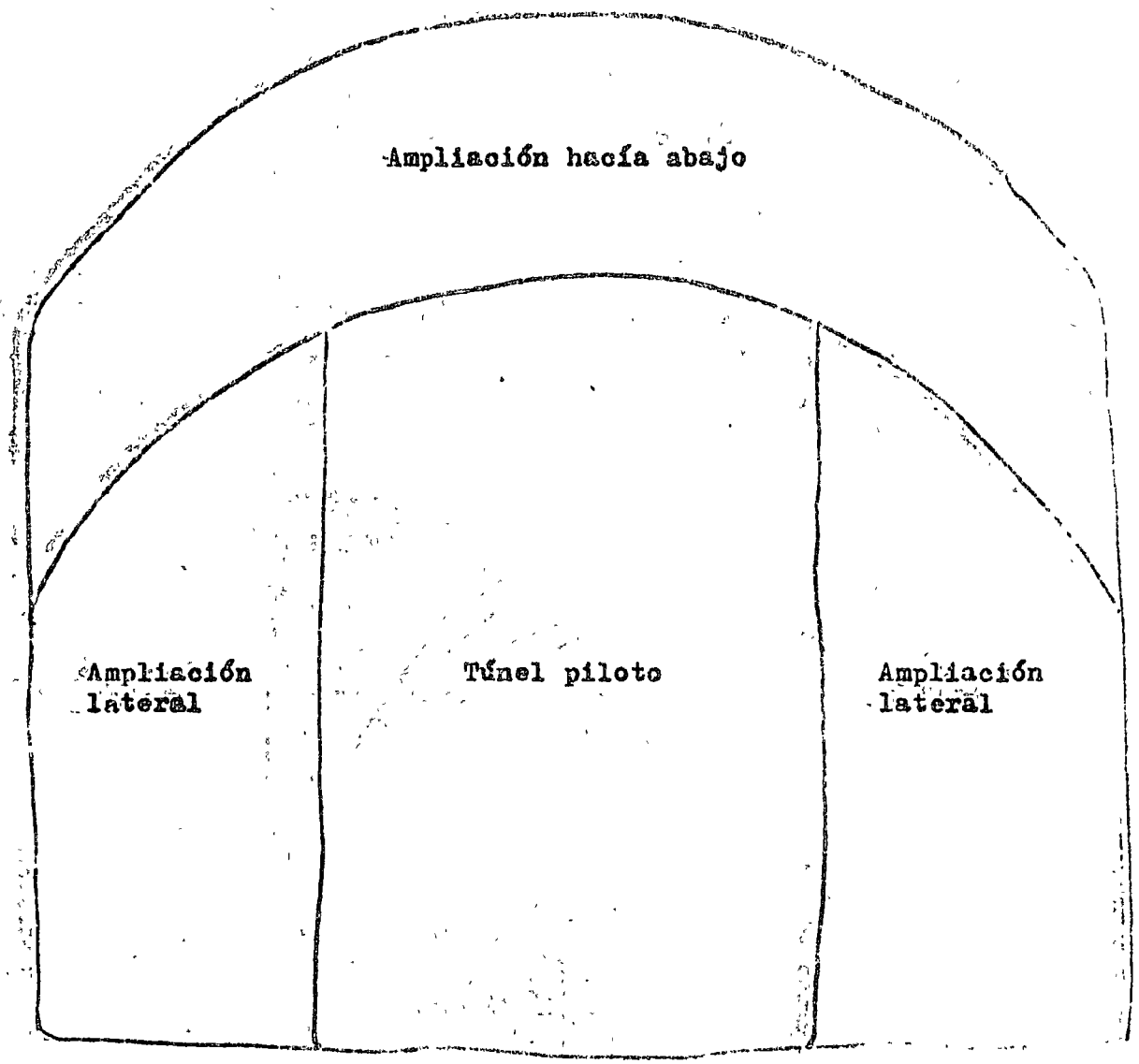
Galeria y banqueo

Túneles anchos o en roca mala es ventajoso de atacar con túnel piloto y ampliación (banqueo) lateral. Con el túnel piloto se puede investigar las condiciones de roca sin abrir un techo ancho y poner anclas o/y concreto lanzado antes la ampliación lateral.



Túnel piloto y ampliaciones laterales

El emboquillado es preferible de hacer con un túnel piloto abajo, después las ampliaciones laterales y finalmente bajar el techo. El túnel piloto debe tener una longitud de unos 10 metros o hasta que se compone la roca superficial.



Túnel piloto y ampliaciones

7.1.1 Cuñas

La apertura antes mencionada se hace con una cuña (cuele). Hay una gran variedad de cuñas, pero las cuñas comunes son de tres tipos:

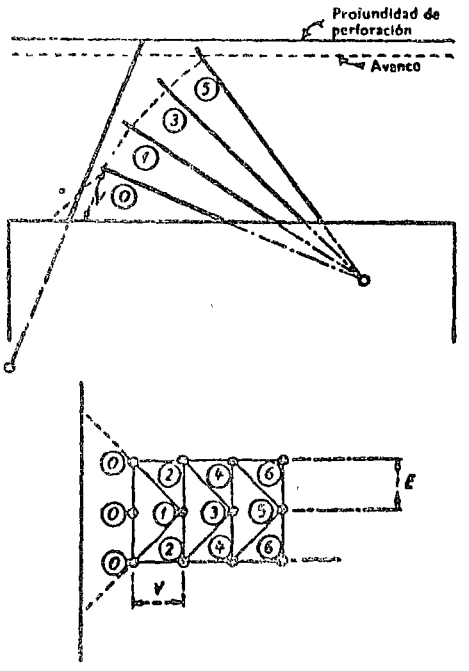
a) cuñas en abanico

b) cuñas en V

c) cuñas paralelas

a) Cuñas en abanico

En estas cuñas los barrenos trabajan sin la constricción en el fondo que significan otros tipos de cuñas. La primera hilera tiene fondo libre y las siguientes salida en ángulo recto, ver figura abajo.



Construcción del esquema de perforación para un cuele en abanico.

La cuña en abanico puede considerarse como una especie de zanja volada a través de la sección del túnel y por eso es la cuña más suave para la roca.

La semejanza de una zanja implica que se debe tomar en cuenta las condiciones de rotura en una superficie perpendicular a los barrenos y aplicar el principio de salida en ángulo recto (abajo en la figura). La sequencia de ignición marcada es la unica posible para poder controlar bien el resultado. Por la dispersión de tiempo entre estopines del mismo intervalo es posible que un barreno lateral sale antes el barreno central si se pone el mismo número en la hilera, y entonces el barreno lateral tiene un ángulo de salida del orden de 45 grados.

Por su geométria una cuña en abanico necesita un túnel bastante amplio y no es preferible de usarla en túneles de menos de 7 metros de ancho. Aunque es muy facil de calcular una cuña en abanico no se usa mucho bajo condiciones normales por las siguientes limitaciones:

- La profundidad de los barrenos varía de hilera a hilera. Un barreno demasiado profundo puede excitar un barreno adyacente y provocar una tronada fallada

- La disproporción entre el número de barrenos en los dos lados retrasa la barrenación

- La proyección de piedras es muy fuerte

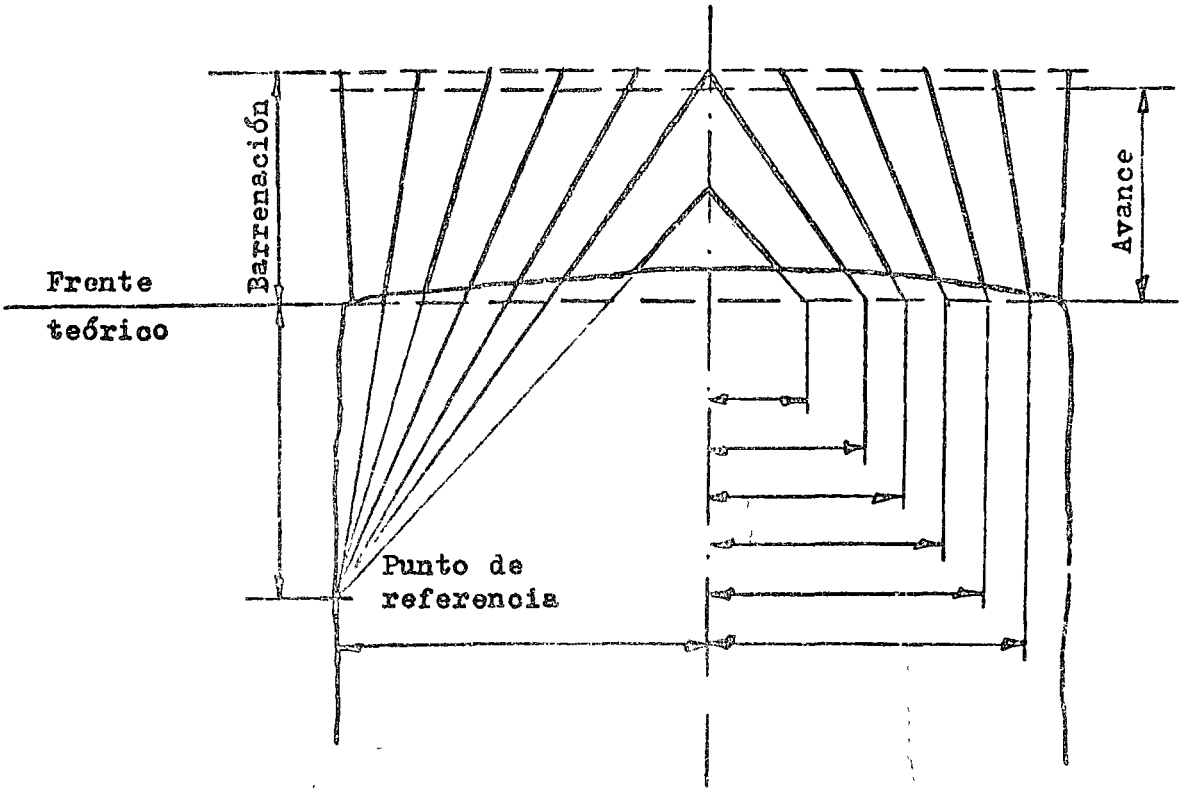
- Con la sequencia de ignición requerida se necesita un gran número de intervalos de los estopines

Los datos en la tabla abajo sirven como guía para el cálculo de barrenación y carga de cuñas en V con el ángulo 60°.

Diámetro de barrenación	Altura de la cuña	Bordo V	Concentración de carga de fondo	Número de hileras horizontales
mm	m	m	kg/m	
30	1,5	1,0	0,9	3
38	1,6	1,2	1,4	3
45	1,8	1,5	2,0	3
48	1,8	1,6	2,3	3
51	2,0	2,0	2,6	3

La carga de fondo debe ocupar mínimo una tercera parte del barreno. Concentración de carga de columna = 0,5 x carga de fondo. Taco = 0,3 V. Durante la fase inicial de una obra es preferible de aumentar la carga de fondo a la mitad del barreno.

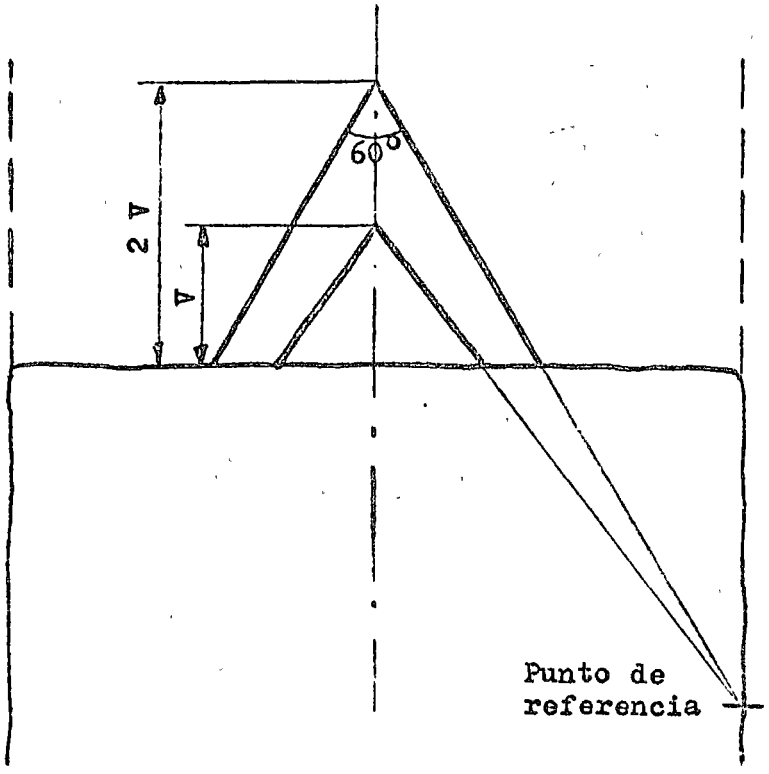
Los ayudantes de la cuña son también inclinados para facilitar la salida hasta el fondo. La figura abajo muestra el principio para localizar los ayudantes.



b) Cuña en V

La cuña en V (cuele de cuña) es la más usada en túneles mayores de 20 m^2, pero ahora se puede notar una tendencia hacía la cuña paralela, especialmente con barrenación mecanizada.

La cuña en V es simétrica que facilita la organisación del trabajo en el frente. Otra ventaja es que la cuña en V no exige una barrenación tan perfecta como la cuña paralela para dar un avance razonable. El ángulo de la cuña debe ser mínimo 60°, lo que limita el avance por tronada a la mitad del ancho del túnel. Esto implica que los barrenos de la cuña salen más largos que los otros barrenos en la tronada. Por ejemplo, en una barrenación de 3,20 m los barrenos de la cuña son $3{,}20 \times \frac{2}{\sqrt{3}} = 3{,}70$ m. En la figura abajo se muestra el esquema de barrenacion para una cuña en V.



Principio para barrenación de una cuña en V

En la figura se puede ver como se usa los puntos de referencia para dirigir los barrenos correctamente. En el túnel normalmente se usa faineros blancos para marcar los puntos de referencia. En un trabajo bien ejecutado siempre se mantiene el frente un poco doblado, que entre otras ventajas da un postcorte con menos constricción. Como se ve en la figura se necesita tomar esto en cuenta cuando se marca los barrenos inclinados. Esto es una desventaja de la cuna en V.

Bordo y carga para los ayudantes de la cuña:

Diámetro de barrenación	Bordo	Carga de fondo	Carga de columna	Taco
mm	m	kg/m	kg/m	m
30	0,80	0,90	0,36	0,40
38	0,90	1,40	0,55	0,45
45	1,00	2,00	0,80	0,50
48	1,10	2,30	0,90	0,55
51	1,20	2,60	1,00	0,60

Altura de carga de fondo = 1/3 x profundidad del barreno.

Concentración de carga de columna = 0,4 x carga de fondo

El bordo no debe exeder $\frac{\text{prof. de barrenación} - 0{,}4}{2}$. Esta condición coincide con la limitación para bancos bajos, donde el bordo maximo V_{max} no debe exceder la mitad de la altura del banco:

$$V_{max} = \frac{K}{2}$$

Consecuentemente se necesita cerrar la barrenación con avances cortos. Es preferible de usar estopines MS en la cuña y sus ayudantes, para mayor colaboración entre los barrenos. (En la primera V se pone estopines INSTANTANEOS.) Al otro lado el intervalo entre los Vs debe estar suficiente largo para permitir el hinchamiento y movimiento de la roca desprendida. Naturalmente esto es más importante para avances largos. En Mexico hay pocos números disponibles que a veces limita el avance por tronada.

c) Cuñas paralelas

Como mencionado antes la aplicación de las cuñas paralelas se extiende también a túneles grandes. Esto depende de las ventajas que ofrecen las cuñas paralelas para la barrenación mecanizada:

- Todos los barrenos tienen la misma longitud. Esto vale especialmente para jumbos con pistolas que no tienen rotación reversible, lo que hace la extensión o el cambio de la barra muy tardado.

- Los brazos pueden trabajar independientemente y se puede distribuir la barrenación bien entre los brazos.

- Con los brazos con paralelidad automática se obtiene una barrenación perfecta solamente vigilando el emboquillado.

- Como el diagrama de barrenación coincide en el superficie y en el fondo, es más fácil de instruir los perforistas.

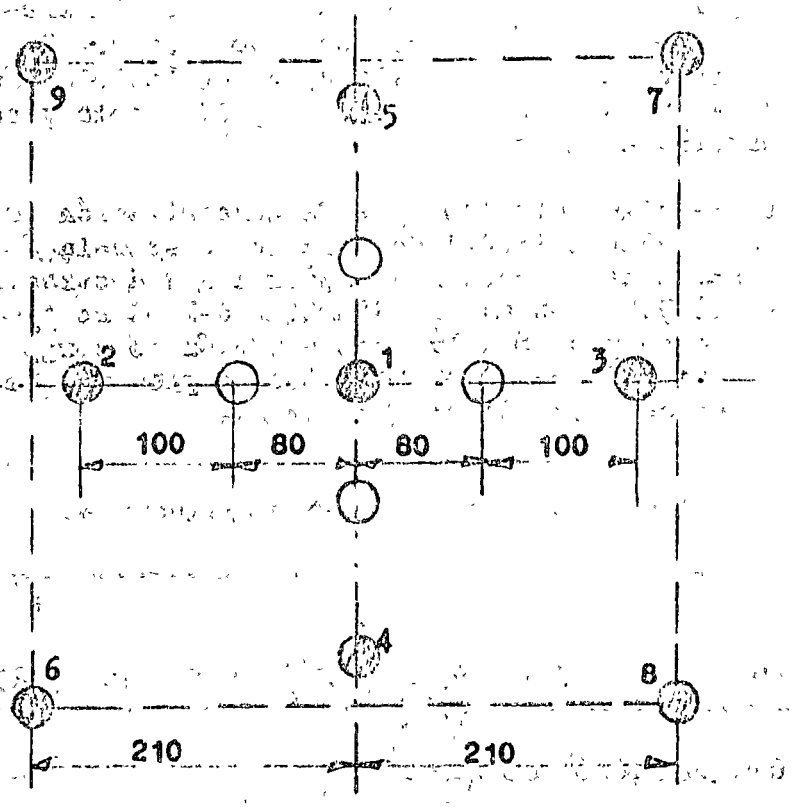
- Usando el mismo equipo de barrenación las cuñas paralelas son iguales para todos los avances y todas las áreas de los túneles. Esto simplifica el entrenamiento de los perforistas.

La desventaja dominante de las cuñas paralelas es la elevada precisión de barrenación que requieren, especialmente en roca dura y avances largos.

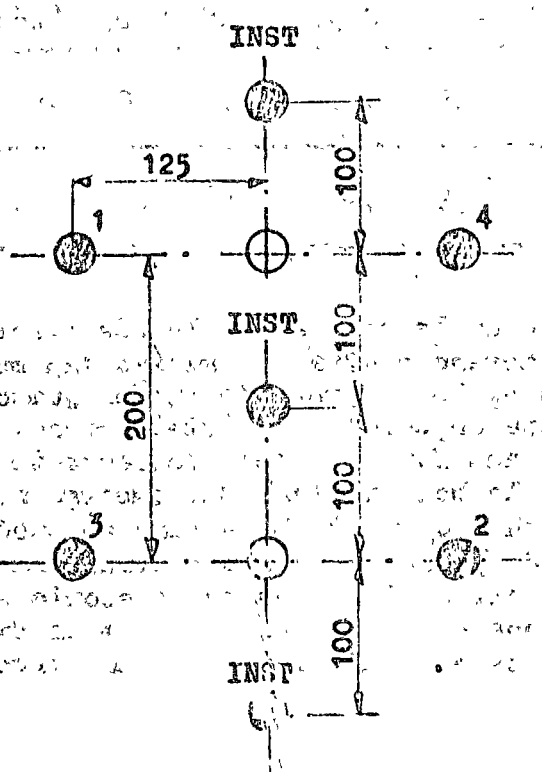
Otra cosa importante es la concentración correcta de la carga, para evitar que se quema la roca por exceso de carga.

Hay una gran variedad de cuñas paralelas y normalmente el equipo de barrenación disponible indica el tipo de cuña. Si se cuenta con barrenas de un solo diámetro se usa una cuña quemada con 3 o 4 barrenos sin carga.

En la siguiente pagina presentamos dos cuñas quemadas comunes, la cuña Grönlund y la cuña de costura. La cuña de costura tiene la ventaja de tener los barrenos en una línea, que facilita la barrenación.



Cuña Grönlund
(los números indican solamente el orden de ignición)



Cuña de costura

Para tener un avance máximo se usa las cuñas paralelas con uno o dos barrenos centrales de gran diámetro. En lo siguiente vamos a llamarlas cuñas cilíndricas. También se llama cuña paralela con barreno quemado. La base para el cálculo de una cuña cilíndrica es la relación entre el diámetro del barreno central y distancia y carga del primer barreno cargado.

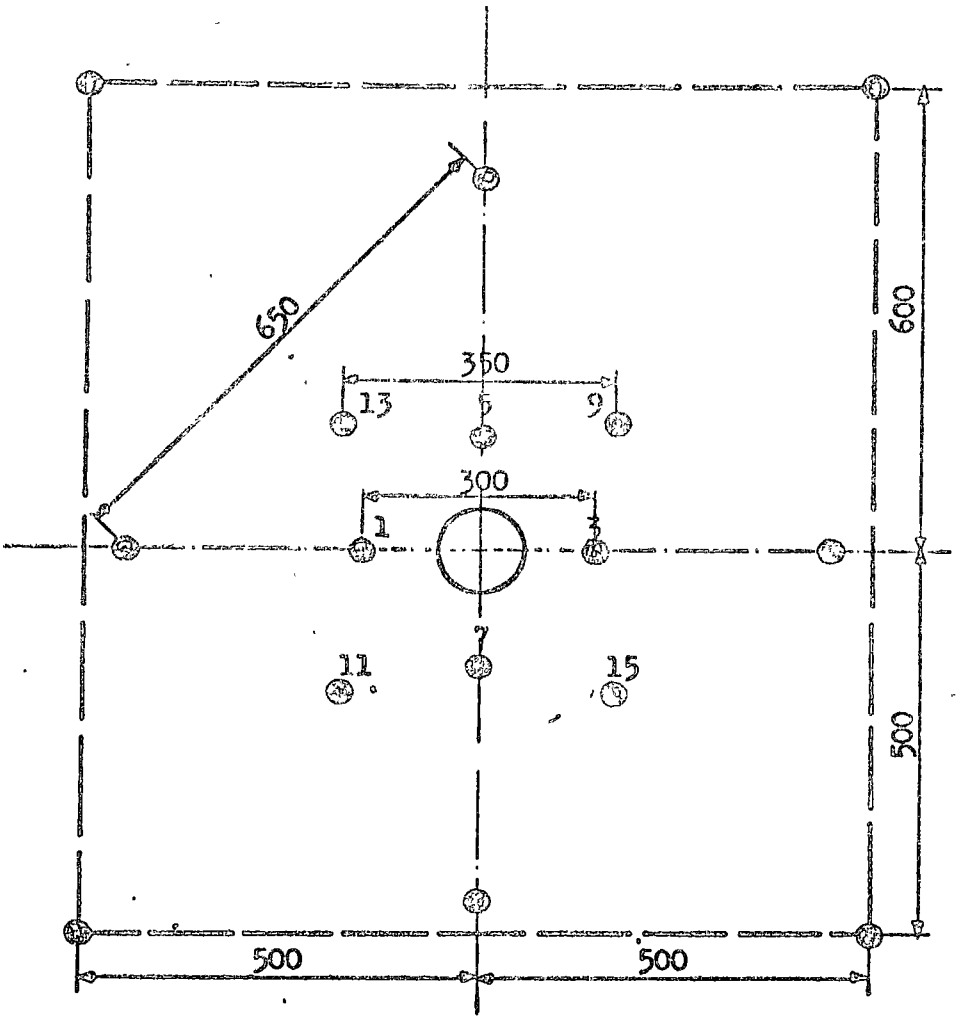
En la siguiente tabla se da concentración de carga en kg/m para cuñas cilíndricas y máxima distancia $\bar{a}$ cuando se dispara hacía barrenos vacíos con diámetros comprendidos entre 50 y 200 mm. El diámetro del barreno cargado varía entre 30 y 45 mm. La concentración de carga corresponde a Gelatina Extra 40 %. Con otros explosivos se corrige en relación a la potencia por peso.

Relaciones basicas para cuñas cilíndricas

Diámetro del barreno central mm	50	2x57	75	83	100	2x75	110	125	150	200
Diámetro del barreno cargado mm	Concentración de carga kg/m									
30	0,20	0,30	0,30	0,35	0,40	0,45	0,45	0,50	0,60	0,80
37	0,25	0,35	0,35	0,40	0,45	0,53	0,53	0,60	0,70	0,95
45	0,30	0,42	0,42	0,50	0,55	0,65	0,65	0,70	0,85	1,10
$\bar{a}$ mm	90	150	130	145	175	200	190	220	250	330
Avance max m	1,6	3,0	2,9	3,1	3,6	3,9	3,9	4,3	4,8	6,0

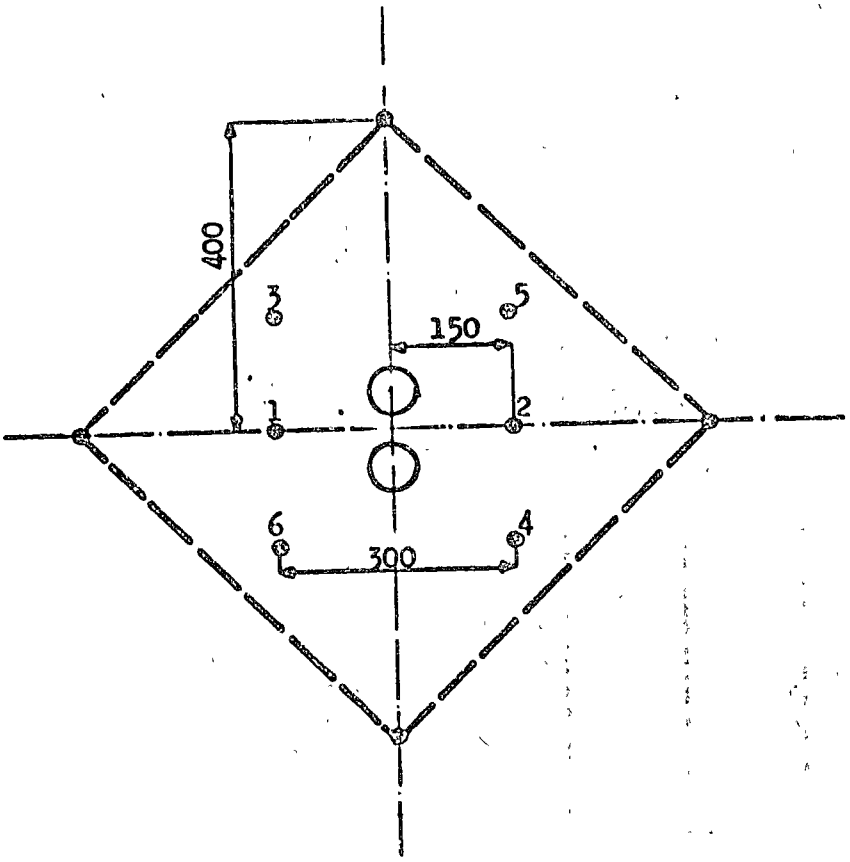
La cuña en doble espiral es la más efectiva, pero se necesita un barreno central de mínimo 125 mm para obtener un buen avance, lo que implica que el jumbo debe tener una perforadora especial para este barreno. Otra desventaja es que tiene una forma geométrica bastante complicada, que dificulta la barrenación. Sin embargo se usa el principio para la cuña Coromant. Esta cuña se puede barrenar con máquinas de pierna usando una plantilla de aluminio para guiar la barrenación. Con un accesorio especial se barrena dos barrenos con diámetro de 57 mm en forma de un 8. Este hueco corresponde más o menos a un barreno de 75 mm.

La cuña Fagersta también se puede barrenar con máquinas de pierna. El barreno central de 75 mm se hace en dos etapos, primero un barreno piloto y después una ampliación con una broca escariadora. En las siguientes paginas se presenta algunos ejemplos de cuñas cilíndricas.



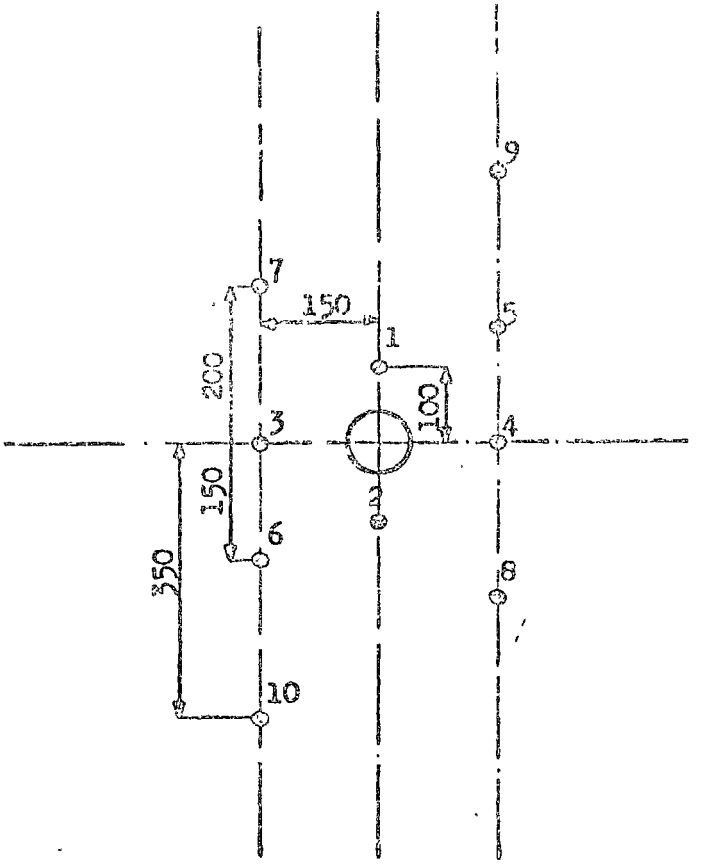
Cuña cilíndrica con un barreno vacío de 110 mm de diámetro.

Para barrenación hasta 3,9 m.



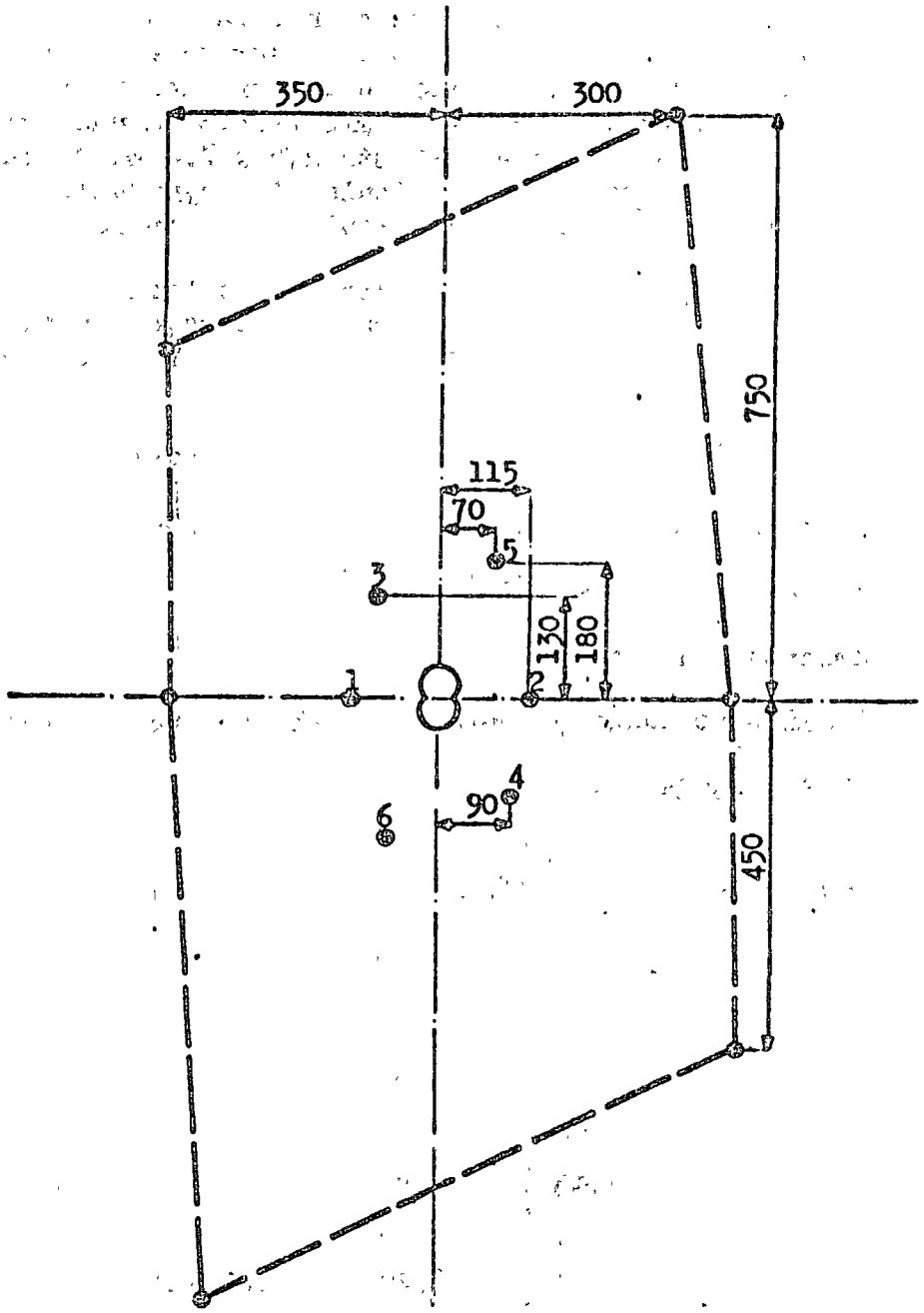
Cuña cilíndrica con dos barrenos vacíos de 76 mm de diámetro.

Para barrenación hasta 3,9 m.



Cuña Fagersta con un barreno vacío de 76 mm de diámetro.

Para barrenación hasta 2,9 m.



Cuña Coromant con dos barrenos vacíos de 57 mm de diámetro. La barrenación se guía con una plantilla de aluminio.

Para barrenación hasta 3,0 m.

7.1.2 Cálculo de carga

Para poder aplicar el cálculo de carga de banco es necesario tener una apertura suficiente grande para que los barrenos tendrán salida libre. En el diagrama en la siguiente pagina se puede ver que para una barrenación de 30 mm la apertura debe ser 1,4 x 1,4 m, mientras para una barrenación de 48 mm la apertura sube hasta 2,0 x 2,0 m. Se puede también usar el diagrama para calcular los ayundantes para ampliar la cuña hasta la apertura antes mencionada.

Es necesario de picar todos los barrenos del contorno (techo, paredes y piso) para mantener el área deseada. El ángulo de desviación depende del espacio que requiere el equipo de barrenación.

Calculo de barrenos con salida por arriba u horizontal:

Carga de fondo en una tercera parte del barreno

$$\text{Bordo maximo} \cong \frac{\text{prof. de barreno} - 0{,}4}{2} \text{ m}$$

Espaciamiento = 1,1 x bordo

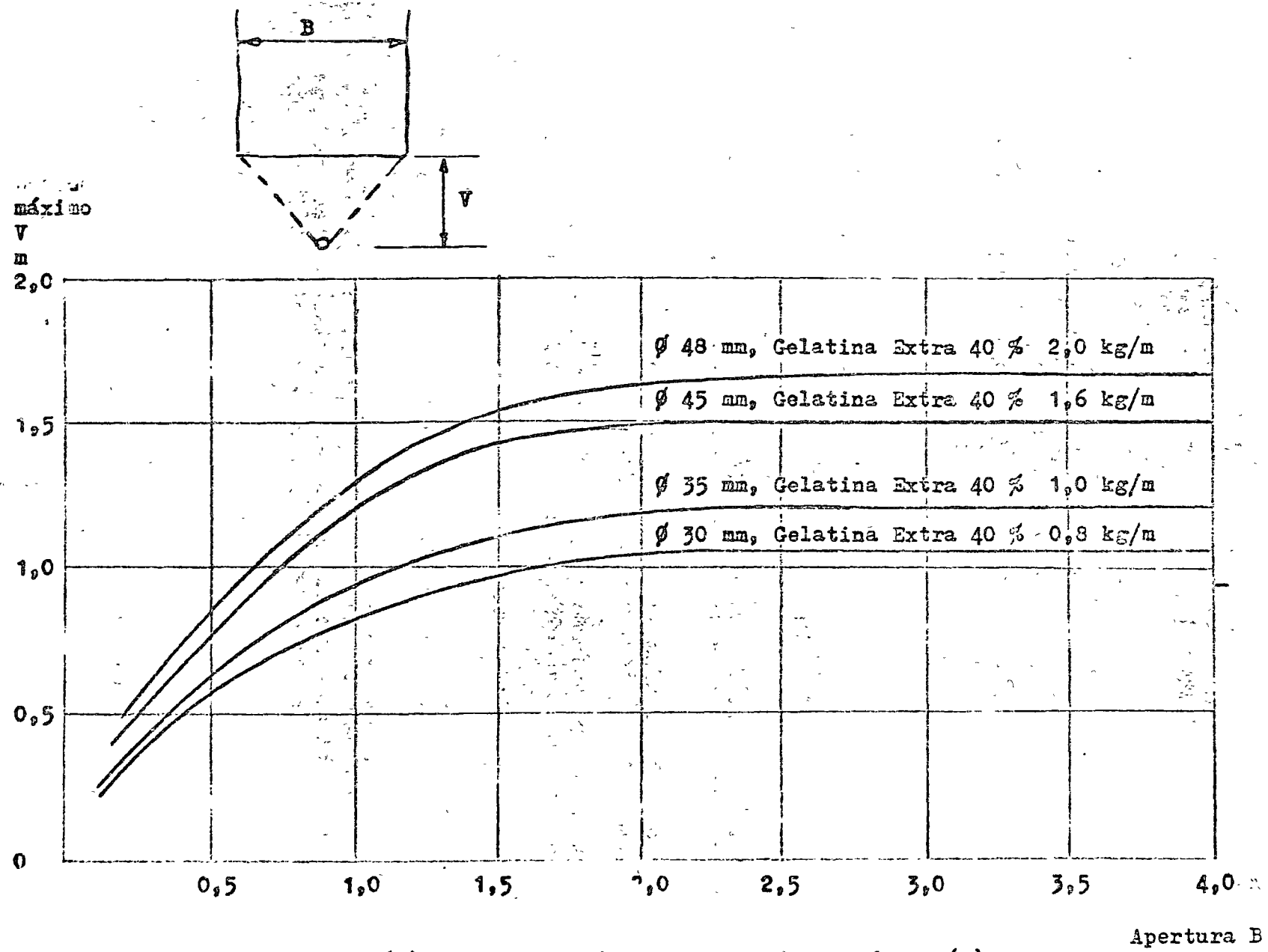
Concentración de carga de columna = 0,50 x carga de fondo

Taco = 0,5 x bordo

Distribución de los barrenos

Diámetro del barreno	Area/ barreno	Bordo	Espaciamiento
mm	m^2	m	m
32	0,91	0,90	1,00
35	1,00	0,95	1,05
38	1,15	1,00	1,15
45	1,44	1,15	1,25
48	1,57	1,20	1,30 x)
51	1,71	1,25	1,35 x)

x)
Este espaciamiento se alcanza solamente en túneles grandes. En túneles menores se distribuye los espaciamientos uniformemente.



Relación entre apertura (B), concentración de carga y bordo máximo (V)

Datos para barrenos con salida por arriba u horizontal

Diámetro del barreno	Profundidad del barreno	Bordo	Espaciamiento	Carga de fondo		Carga de columna		Taco
mm	m	m	m	kg	kg/m	kg	kg/m	m
33	1,6	0,60	0,70	0,60	0,10	0,30	0,40	0,30
32	2,4	0,90	1,00	0,80	1,00	0,55	0,50	0,45
31	3,2	0,90	0,95	1,00	0,95	0,85	0,50	0,45
38	2,4	1,00	1,10	1,15	1,44	0,80	0,70	0,50
37	3,2	1,00	1,10	1,50	1,36	1,15	0,70	0,50
45	3,2	1,15	1,25	2,25	2,03	1,50	1,00	0,55
48	3,2	1,20	1,30	2,50	2,30	1,70	1,15	0,60
48	4,0	1,20	1,30	3,00	2,30	2,45	1,15	0,60
51	3,2	1,25	1,35	2,50	2,60	1,95	1,30	0,60
51	4,0	1,25	1,35	3,40	2,60	2,70	1,30	0,60

Los datos arriba son practicos y incluyen compensación por errores normales de barrenación.

Se nota que aumenta la carga de fondo con el avance. Esto se debe a la desviación de los barrenos y el hinchamiento.

Cálculo de los barrenos de piso:

Bordo y espaciamiento de los barrenos de piso se calcula como los barrenos arriba, pero es necesario de tomar en cuenta la desviación por abajo de los barrenos. Si la desviación es 0,20 m en el fondo y el bordo 1,00 m hay que emboquillar la primera hilera de barrenos 1,00 - 0,20 = 0,80 m arriba el arranque de los barrenos de piso. El taco se pone 0,20 x bordo. La carga de columna se aumenta a 0,70 x carga de fondo.

Datos para barrenos de piso

Diámetro del barreno	Profundidad del barreno	Bordo	Espaciamiento	Carga de fondo		Carga de columna		Taco
mm	m	m	m	kg	kg/m	kg	kg/m	m
33	1,6	0,60	0,70	0,60	1,10	0,70	0,75	0,10
32	2,4	0,90	1,00	0,80	1,00	1,00	0,70	0,20
31	3,2	0,90	0,95	1,00	0,95	1,30	0,65	0,20
38	2,4	1,00	1,10	1,15	1,44	1,40	1,00	0,20
37	3,2	1,00	1,10	1,50	1,36	1,80	0,95	0,20
45	3,2	1,15	1,25	2,25	2,03	2,60	1,40	0,25
48	3,2	1,20	1,30	2,50	2,30	3,00	1,60	0,25
48	4,0	1,20	1,30	3,00	2,30	4,25	1,60	0,25
51	3,2	1,25	1,35	2,70	2,60	3,20	1,80	0,25
51	4,0	1,25	1,35	3,40	2,60	4,75	1,80	0,25

Cálculo de barrenos con salida hacía abajo:

Estos barrenos necesitan menor carga especifica porque trabajan con la gravedad.

El espaciamiento se puede aumentar a 1,2 x bordo.

Datos para barrenos con salida hacia abajo

Diámetro del barreno	Profundidad del barreno	Bordo	Espaciamiento	Carga de fondo		Carga de columna		Taco
mm	m	m	m	kg	kg/m	kg	kg/m	m
33	1,6	0,60	0,70	0,60	1,10	0,30	0,40	0,30
32	2,4	0,90	1,10	0,80	1,00	0,55	0,50	0,45
31	3,2	0,85	1,10	1,00	0,95	0,85	0,50	0,45
38	2,4	1,00	1,20	1,15	1,44	0,80	0,70	0,50
37	3,2	1,00	1,20	1,50	1,36	1,15	0,70	0,50
45	3,2	1,15	1,40	2,25	2,03	1,50	1,25	0,55
48	3,2	1,20	1,45	2,50	2,30	1,70	1,15	0,60
48	4,0	1,20	1,45	3,00	2,30	2,45	1,15	0,60
51	3,2	1,25	1,50	2,50	2,60	1,95	1,30	0,60
51	4,0	1,25	1,50	3,40	2,60	2,70	1,30	0,60

En túneles mayores de 70 m^2 es posible de aumentar bordo y

Cálculo de barrenos de pared:

El cálculo presentado aquí es sin postcorte.

Bordo más desviación de la barrenación es 0,9 x bordo para barrenos con salida hacía abajo. El espaciamiento es 1,2 x bordo.

La carga de fondo occupa solamente una sexta parte del barreno. Taco = 0,5 x bordo.

La concentración de carga de columna se reduce a 0,40 x carga de fondo.

Datos para barrenos de pared

Diámetro del barreno	Profundidad del barreno	Bordo	Espaciamiento	Carga de fondo		Carga de columna		Taco
mm	m	m	m	kg	kg/m	kg	kg/m	m
33	1,6	0,55	0,65	0,30	1,10	0,45	0,45	0,30
32	2,4	0,80	0,95	0,40	1,00	0,65	0,40	0,40
31	3,2	0,80	0,95	0,50	0,95	0,90	0,40	0,40
38	2,4	0,90	1,10	0,60	1,44	0,85	0,60	0,45
37	3,2	0,90	1,10	0,75	1,36	1,20	0,55	0,45
45	3,2	1,00	1,20	1,10	2,03	1,80	0,80	0,50
48	3,2	1,10	1,30	1,20	2,30	2,00	0,90	0,55
48	4,0	1,10	1,30	1,50	2,30	2,50	0,90	0,55
51	3,2	1,15	1,40	1,40	2,60	2,10	1,00	0,60
51	4,0	1,15	1,40	1,70	2,60	2,70	1,00	0,60

Cálculo para los barrenos de techo sin postcorte:

Distribución de los barrenos como para barrenos de pared.

La concentración de la carga de columna se reduce a 0,3 x carga de fondo.

Datos para barrenos de techo

Diámetro del barreno	Profundidad del barreno	Bordo	Espaciamiento	Carga de fondo		Carga de columna		Taco
mm	m	m	m	kg	kg/m	kg	kg/m	m
33	1,6	0,55	0,65	0,30	1,10	0,35	0,35	0,30
32	2,4	0,80	0,95	0,40	1,00	0,50	0,30	0,40
31	3,2	0,80	0,95	0,50	0,95	0,70	0,30	0,40
38	2,4	0,90	1,10	0,60	1,44	0,70	0,45	0,45
37	3,2	0,90	1,10	0,75	1,36	0,90	0,40	0,45
45	3,2	1,00	1,20	1,10	2,03	1,30	0,60	0,50
48	3,2	1,10	1,30	1,20	2,30	1,45	0,70	0,55
48	4,0	1,10	1,30	1,50	2,30	1,95	0,90	0,55
51	3,2	1,15	1,40	1,40	2,60	1,70	0,80	0,60
51	4,0	1,15	1,40	1,70	2,60	2,25	0,80	0,60

7.1.3 Diagrama de barrenación

Para el diseño del diagrama de barrenación se usa las tablas en la parte anterior, adaptando bordos y espaciamientos a las condiciones geométricas del túnel. El procedimiento se muestra más fácil en un ejemplo.

7.1.4 Ejemplo de diagrama de barrenación

El túnel que vamos a calcular tiene los siguientes datos:

Cuna cilíndrica con 2 barrenos vacíos con el diámetro de 76 mm.

Diámetro de la barrenación = 31 mm

Profundidad de la barrenación = 3,2 m

Explosivo: Gelatina Extra 40 %

Postcorte no requerido.

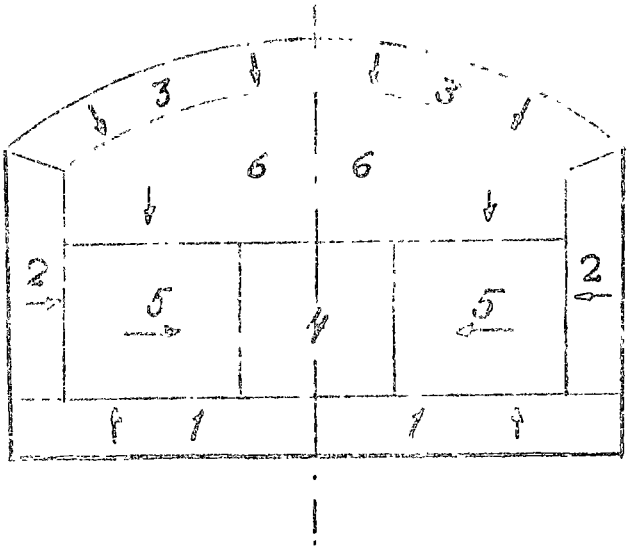
Ancho = 8,00 m

Altura = 5,65 m

Area = 40 m^2

Avance previsto 90 % = 2,9 m

Secuencia del cálculo



Claves: 1 Barreno de piso, 2 Barrenos de pared, 3 Barrenos de techo, 4 Cuña y sus ayudantes, 5 Barrenos con salida horizontal, 6 Barrenos con salida hacía abajo

La figura arriba muestra como se puede localizar los barrenos en el diagrama. Las zonas marcadas para los barrenos perimetrales son el bordo menos la desviación. La cuna y sus ayudantes se coloca a la distancia adecuada a los barrenos de piso.

1 Barrenos de piso (ver la tabla correspondiente)

La desviación es 0,10 m para máquinas de pierna

Bordo - desviación = 0,90 - 0,10 = 0,80 m

Espaciamiento según tabla = 0,95 m

Distribuido en el ancho del túnel $\frac{8}{0,95} = 8,4 \cong 9$

Espaciamientos: extremos 2 x 0,85 = 1,70 m
internos 7 x 0,90 = 6,30 m
9 8,00 m

Carga de fondo = 1,00 kg

Carga de columna = 1,30 kg

2 Barrenos de pared

Bordo - desviación = 0,80 - 0,10 = 0,70 m

Espaciamiento = 0,95 que se distribuye en la altura de la pared - la zona del piso 4,0 - 0,8 = 3,2 m

Espaciamientos $\frac{3,2}{0,95} = 3,4 \cong 4$

Espaciamiento actual $\frac{3,2}{4} = 0,80$ m

Carga de fondo = 0,50 kg

Carga de columna = 0,90 kg

3 Barrenos de techo

Bordo - desviación = 0,80 - 0,10 = 0,70 m

Espaciamiento = 0,95 que se distribuye en el arco del techo 8,5 m $\frac{8,5}{0,95} = 9$

Espaciamiento = 0,95 m

Carga de fondo = 0,50 kg

Carga de columna = 0,70 kg

4 La cuña y sus ayudantes

En los seis barrenos de la cuña se pone una carga de fondo de 0,1 kg y una carga de columna de 0,75 kg con la concentración de 0,25 kg/m.

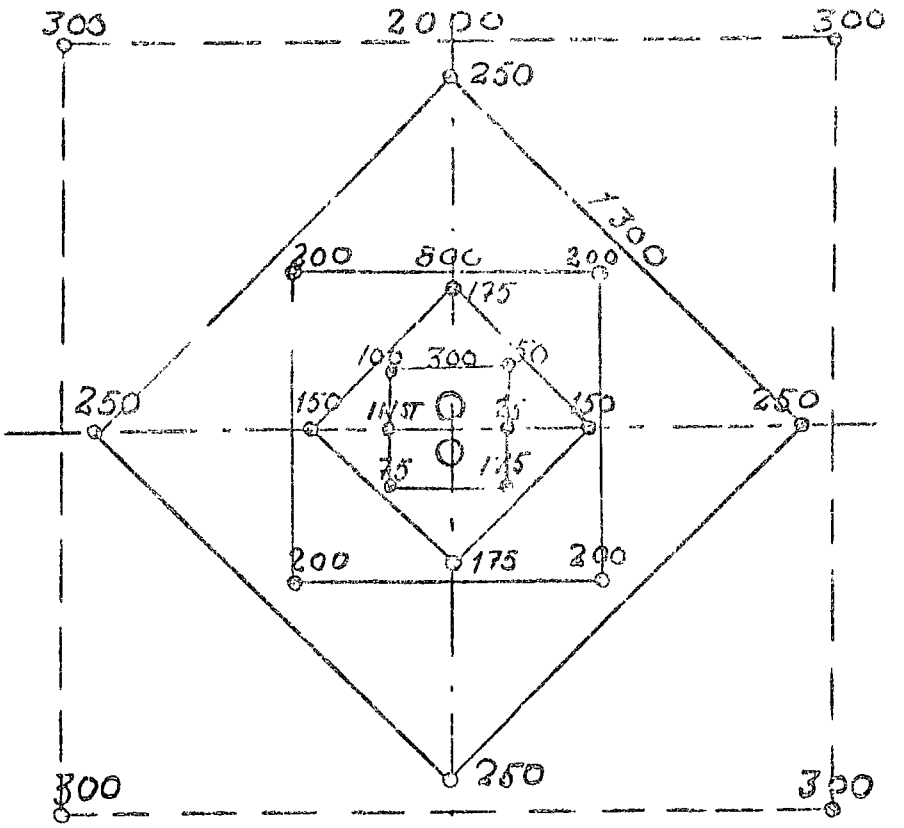
Los ayudantes tendrán la siguiente carga:

Bordo	Carga de fondo	Concentración de carga de columna kg/m			
m	kg	31	38	45	43
0,20	0,25	0,30	0,45	0,60	0,75
0,30	0,40	0,30	0,45	0,60	0,75
0,40	0,50	0,35	0,50	0,70	0,80
0,50	0,65	0,50	0,70	1,00	1,15
0,60	0,80	0,50	0,70	1,00	1,15
0,70	0,90	0,50	0,70	1,00	1,15

Taco = 0,5 x bordo

Ayudantes con bordo mayor de 0,70 m se carga como barrenos con salida horizontal.

Plan de cuña y ayudantes con los estopines marcados



Se marca el cuadrado de 2 x 2 m en el diagrama.

5 Barrenos con salida horisontal

Bordo = 0,90

Espaciamiento = 0,95

Cuando se coloca en el espacio libre el bordo sale = 0,77 m y el espaciamiento = 1,0 m.

Carga de fondo = 1,00 kg

Carga de columna = 0,85 kg

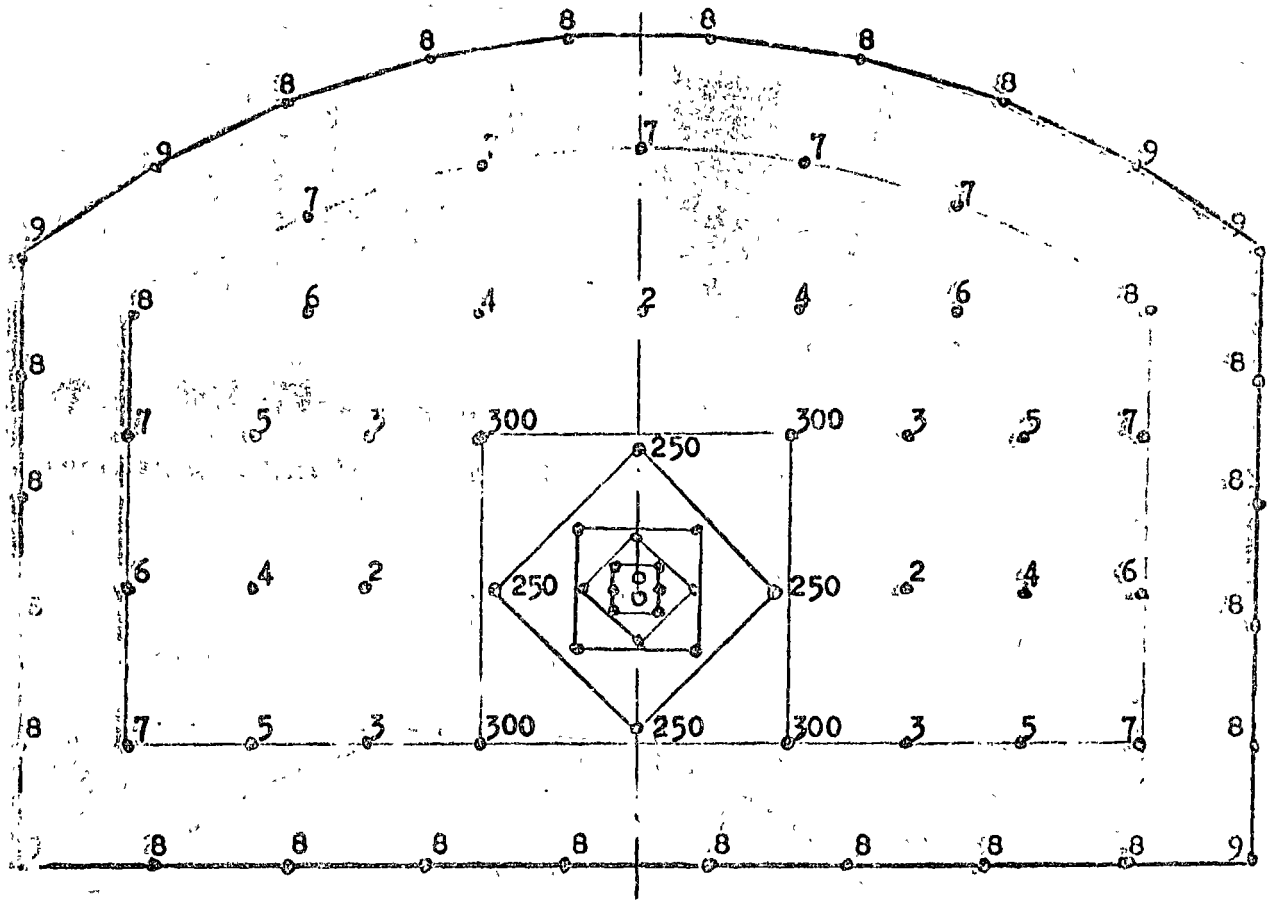
6 Barrenos con salida hacía abajo

Bordo = 0,90 m Espaciamiento = 1,10 m

Se coloca los barrenos uniformemente en el espacio que se queda.

El resultado:

El diagrama de barrenación y los datos principales



Barreno	Tipo de barreno	Profundidad	Número de barrenos	Carga de fondo	Carga de columna		Carga por barreno	Carga total
		m		kg	kg	kg/m	kg	kg
INSA MS 25-125	Cuña	3,2	6	0,10	0,75	0,25	0,85	5,10
MS 150-175	Ayudantes	3,2	4	0,25	0,85	0,30	1,10	4,40
MS 200	Ayudantes	3,2	4	0,45	0,90	0,35	1,35	5,40
MS 250	Ayudantes	3,2	4	0,75	1,00	0,50	1,75	7,00
MS 300	Ayudantes	3,2	4	1,00	0,85	0,50	1,85	7,40
Ac 2-8	Interiores	3,2	30	1,00	0,85	0,50	1,85	55,50
Ac 8	Paredes	3,2	8	0,50	0,90	0,40	1,40	11,20
Ac 8-9	Techo	3,2	10	0,50	0,70	0,30	1,20	12,00
Ac 8-9	Piso	3,2	10	1,00	1,30	0,20	2,30	23,00
		256,0mb	80					131,00

Volumen por tronada = 40 x 2,9 = 116 m^3

Carga especifica = $\frac{131,00}{116}$ = 1,13 kg/m

Barrenación especifica = $\frac{256}{116}$ = 2,21 mb/m^3

7.1.5 Ejemplo de ejercicio

Diagrama de barrenación y cálculo de carga para un túnel de 75 m^2

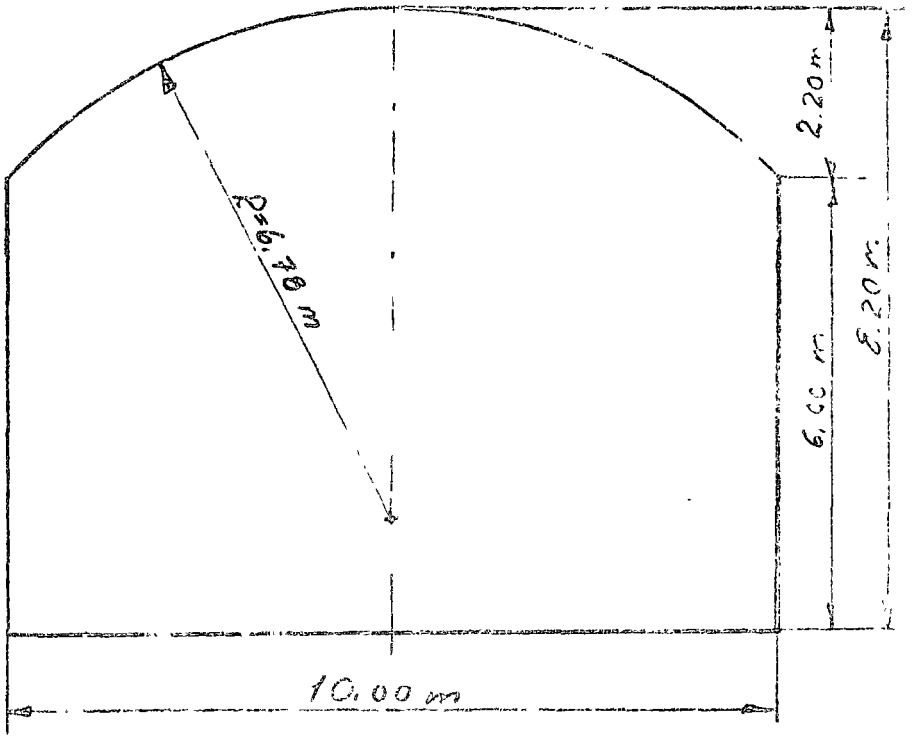
Datos: Ancho = 10,00 m
Altura = 8,20 m
Area = 75 m^2

Barrenación = 45 mm, profundidad 3,20 m
Desviación de la barrenación = 0,20 m
Techo y paredes con postcorte.

Cuña en V

Explosivos: Gelatina Extra 40 % y Duramex G

Barrenación con jumbo, largo del alimentador (avance) = 5,50 m



Solución:

El lugar de la cuna depende de los barrenos de piso, y por eso estos se calcula primero.

Para barrenación de 45 mm según la tabla correspondiento V = 1,15 m E = 1,25 m

La cuña se pone 1,15 - 0,20 = 0,95 arriba del piso

Numero de espaciamientos = $\frac{10,00}{1,25}$ = 8, es decir 9 berrenos de piso

Carga según tabla:

Carga de fondo = 2,25 kg Carga de columna = 2,60 kg
Taco = 0,25 m

2 El bordo de los barrenos de las paredes esta decidido por el postcorte. Según la tabla de postcorte el bordo es 0,90 m y el espaciamiento es 0,60 m. La distancia entre la primera línea de los interiores y el contorno de la pared es igual a 0,80 - 0,20 = 0,60 m.

La altura de la pared, 6,00 m da 10 espacios.

Como carga de fondo ponemos dos cartuchos de Gelatina Extra 40% de 1 1/8 que corresponde a 2 x 0,200 = 0,40 kg.

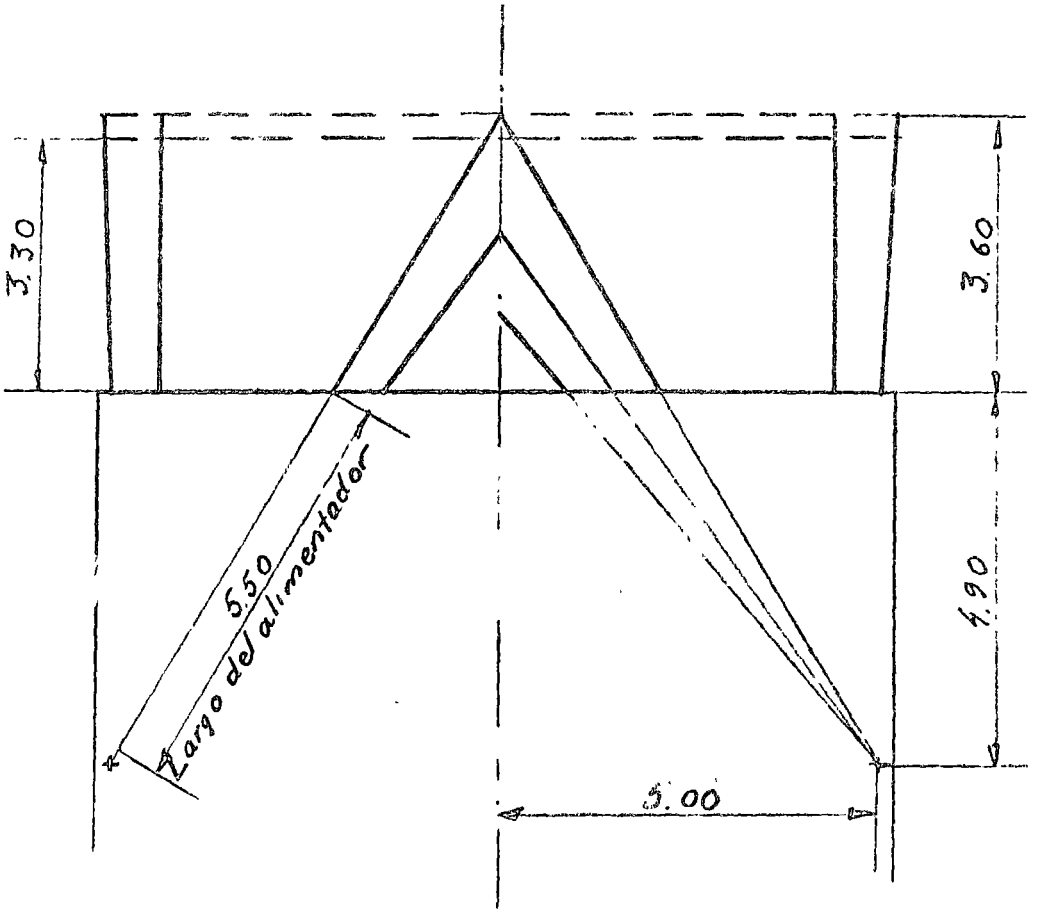
La carga de columna debe tener una concentración de 0,20 a 0,25 kg/m y como no hay cargas preparadas aquí en Mexico, usamos Duramex G de 7/8. Los cartuchos pesan 0,080 kg y con una separación de 20 cm se obtiene una concentración de carga de 0,20 kg/m. En Chicoasén amaramos los cartuchos junto con un cordon detonante a un carrizo. La idea de postcorte es que los barrenos perimetrales truenan lo más simultaneamente posible. Como la dispersión entre los altos números de Acudet es del orden de 500 milisegundos es necesario de conectar los barrenos perimetrales con una antena de cordon detonante. Quiero subrayar que distribución correcta de barrenación y carga no es suficiente para un buen postcorte.

Los barrenos del techo tienen las mismas características como los barrenos de las paredes, pero se baja la carga de fondo a un cartucho, es decir 0,20 kg.

4 Ahora se puede calcular la cuña y sus auxiliares. Según la tabla para la cuña el bordo V_{maximo} de una cuña es 1,5 m. Esta significa

$$\frac{3,6}{1,5} = 2,3 \text{ cuñas}$$

Escogemos 2 cunas y un barreno adicional. La altura de la cuna debe ser 1,8 m con 3 hileras. El ángulo debe ser 60° y se necesita respetar la longitud de los alimentadores. La adaptación de la cuna se hace graficamente, ver abajo.



La carga de fondo es un tercero del barreno
Taco = 0,3 x V

La concentración de la carga de columna es 0,5 x la carga de fondo.

La primera cuña:

Longitud de la carga de fondo = 1/3 x 4,20 = 1,40 m

Concentración de carga de fondo = 2,0 kg/m (según tabla)

Carga de fondo = 1,4 x 2,00 = 2,8 kg

Taco = 0,3 x V = 0,3 x 1,5 = 0,50 m

Altura de carga de columna = 4,20 - (1,40 + 0,50) = 2,30 m

Concentración de carga de columna = 0,5 x 2,0 = 1,0 kg/m

Carga de columna = 2,3 x 1,0 = 2,3 kg

La segunda cuña:

Longitud de carga de fondo = 1/3 x 2,6 ≅ 0,90 m

Carga de fondo = 0,9 x 2,0 = 1,8 kg

Longitud de carga de columna = 2,60 - (0,90 + 0,50) = 1,20 m

Carga de columna = 1,20 x 1,0 = 1,2 kg

Barreno adicional:

Longitud de carga de fondo = 1/3 x 1,70 ≅ 0,60 m

Carga de fondo = 0,60 x 2,00 = 1,20 kg

No tiene carga de columna.

5. Los ayudantes de la cuña pueden tener un bordo de 1,00 m según la correspondiente tabla. El ancho del túnel menos las zonas del postcorte de la pared es el espacio en donde vamos a distribuir los ayudantes.

$$10{,}00 - 2 \times 0{,}6 = 8{,}80 \text{ m}$$

Número de espaciamientos = $\frac{8{,}80}{1{,}00} = 8{,}8$

Por la simetría es necesario de poner 10 espaciamientos y el bordo sale entonces $\frac{8{,}80}{10} = 0{,}88$ m

Esto significa una sobrecarga de los ayudantes de unos 10 %.

La profundidad de los ayudantes varía entre 4,1 y 3,6 m. Por la barrenación más cerrada podemos calcular la carga de fondo para la profundidad de 3,6 m.

Carga de fondo 1/3 x 3,6 x 2,00 = 2,40 kg/barreno

Taco = 0,50 m

Longitud de carga de columna = 3,60 - (1,20 + 0,50) = 1,90 m

Concentración de la carga de columna = 0,4 x 2,00 = 0,8kg/m

Carga de columna = 0,8 x 1,90 ≅ 1,50 kg

Los barrenos con salida hacía abajo tienen las siguientes características:

V = 1,15 m E = 1,35 m

Se ajusta el espaciamiento al espacio disponible = 10 - (2 x 0,6) = 8,8 m

Número de espaciamientos

$$\frac{8,80}{1,35} \cong 7$$

$$E_1 = \frac{8,80}{7} = 1,26 \text{ m}$$

Carga de fondo = 1,3 x 3,6 x 2,00 = 2,40 kg/barreno

Taco = 0,55 m

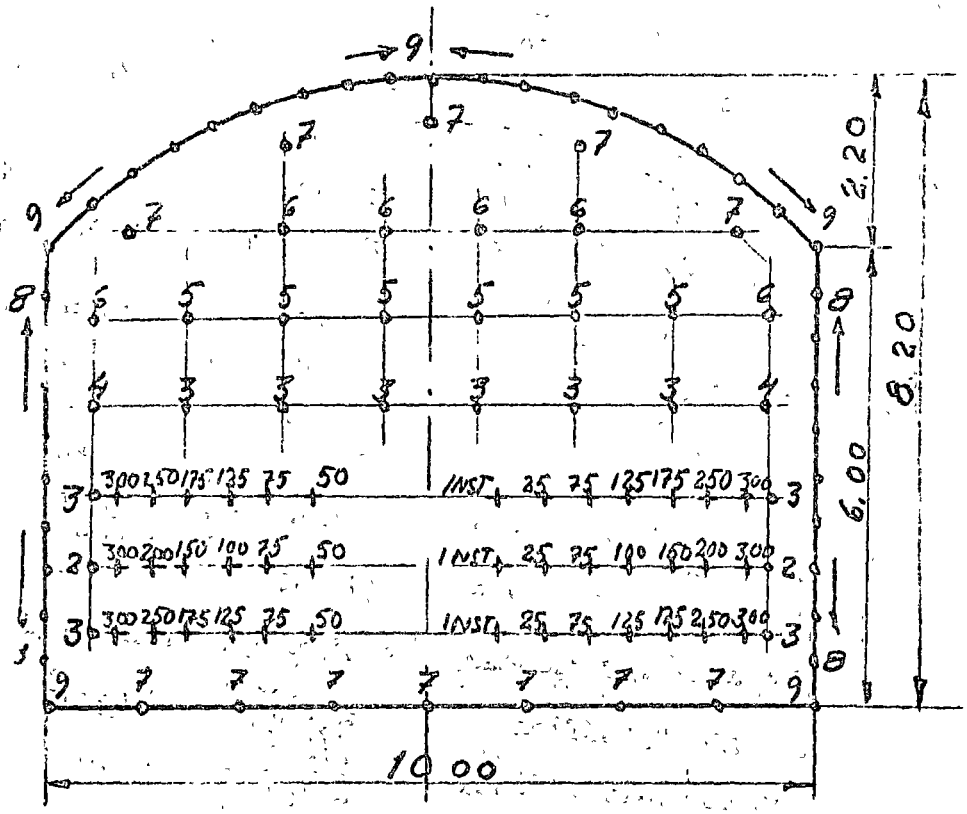
Longitud de carga de columna = 3,60 - (1,20 + 0,55) = 1,85 m

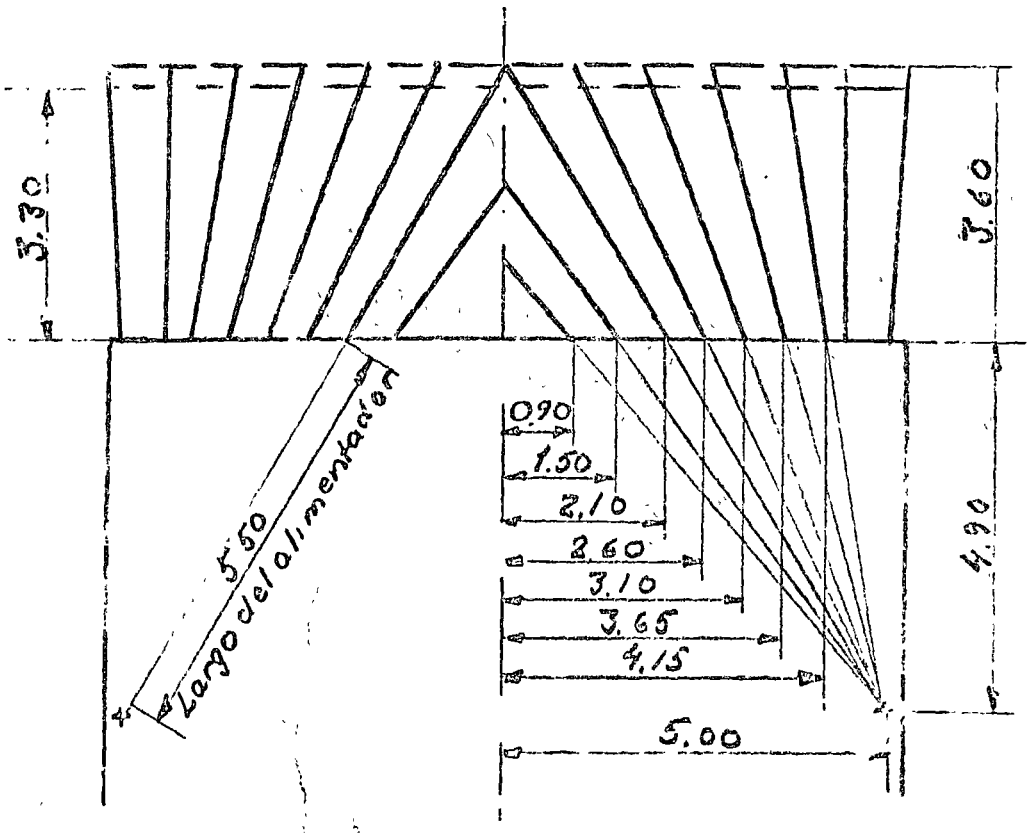
Concentracion de carga de columna = 0,5 x 2,00 = 1,00 kg/m

Carga de columna = 1,85 x 1,00 = 1,85 kg

El resultado:

El diagrama de barrenación





Los datos principales

Barreno	Tipo de barreno	Profundidad	Número de barrenos	Barrenación	Carga de fondo	Carga de columna		Carga total
		m		m	kg	kg	kg/m	kg
INST	Cuña	1,70	3	5,10	1,20	-	-	3,60
MS 25	Cuña	2,60	6	15,60	1,80	1,20	1,00	18,00
MS 75	Cuña	4,20	6	25,20	2,80	1,70	1,00	27,00
MS 100-300								
Ac 2-3	Ayudantes	4,10-3,60	30	114,00	2,40	1,50	0,80	117,00
Ac 3-7	Interiores	3,60	25	90,00	2,40	1,85	1,00	106,25
Ac 8	Paredes	3,60	18	64,80	0,40	0,60	0,20	18,00
Ac 9	Techo	3,60	19	68,40	0,20	0,60	0,20	15,20
Ac 7-9	Piso	3,60	9	32,40	2,40	3,10	1,40	42,50
			116	415,50				347,55

Volumen por tronada $= 75 \times 3,30 = 247,5\ m^3$

Carga específica $= \frac{347,55}{247,50} = 1,4\ kg/m^3$

Barrenación específica $= \frac{415,5}{247,5} = 1,68\ m/m^3$

7.2 Lumbreras

Lumbreras pueden ser verticales o inclinadas. Es difícil de definir el limite entre lumbreras inclinadas y túneles pero se trata de evitar túneles con más pendiente que 13 a 14 por cientos y lumbreras con una inclinación menos de 45° (100 %). Según las circunstancias se excava las lumbreras desde arriba por abajo, pozos, o desde abajo por arriba, contrapozos.

La excavación de pozos siempre ha sido muy caro por los problemas de agua, rezaga y ventilación. Recientemente se ha desarrollado retroexcavadoras hidráulicas para pozos que son excelentes para la rezaga.

La excavación de contrapozos casi siempre se hace con una lumbrera piloto de 2 x 2 m y después una ampliación desde arriba. Por eso la cuña paralela con uno o dos barrenos de gran diámetro es la más adecuada, pero se puede también usar una cuña piramidal que se calcula en la misma manera como una cuña en V.

También para pozos se puede usar la cuña paralela, pero si hay filtraciones de agua, es preferible con una cuña piramidal. La cuña paralela no trabaja bien con el barreno central lleno de agua.

Para el contrapozo piloto se puede escogar entre 4 métodos:

- Con barrenación larga

  La barrenación se hace desde arriba y después se carga también desde arriba, confinando la carga para el avance selecto con dispositivos especiales. La ventaja del método es que se evite el trabajo muy peligroso en el contrapozo. La desventaja es que se necesita una dirección de la barrenación muy exacta, la desviación de 5 mm por metro es el limite para llegar una lumbrera de 40 de profundidad y todavía es necesario de hacer barrenos extras para asegurar que salen las tronadas.

- Con trepadora Alimak

  La trepadora Alimak es una plataforma que viaja sobre un riel montado en la pared del piloto, que permite los perforistas de subir y amacizar bajo protección. Con propulsión eléctrica es posible de hacer contrapozos hasta 1.500 m de largo en un tramo. Es útil para contrapozos verticales y inclinados.

- Con plataforma suspendida en cable

Primero se hace un barreno de 4" en el centro del piloto. Con un
la plataforma de barrenación suspendida en el cable. El método ofrece la misma seguridad que el Alimak, pero no es posible de hacer contrapozos más largos de 100 m. El método es adaptado para contrapozos verticales, pero con un sistema de riel es posible de hacer contrapozos inclinados. Sin embargo, pienso que el sistema Alimak es mejor para contrapozos inclinados.

- Con contrapozero (raise borer)

Simplemente es un topo vertical que se maneja desde arriba. Es un método muy elegante, pero en roca dura no puede compararse con métodos convencionales todavía

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

CONSTRUCCION DE TUNELES

EXCAVACIONES EN ROCA

ING. JORGE GAMBOA CH.

AGOSTO 1977.

EXCAVACIONES EN ROCA.

TUNELES CON TOPO MECANICO (MOLE)

GENERALIDADES.

En la construcción de túneles, sin el uso de explosivos, se usan generalmente 2 tipos de máquinas perforadoras, para diámetros que varian desde 3.00 a 9.00 m. Una, denominada ESCUDO, se usa generalmente en suelos blandos con poca cohesión, tiene una cabeza giratoria con elementos de corte reemplazables que efectúan el arranque del material. La cabeza es empujada por medio de gatos hidráulicos hacia la frente y el cuerpo de la máquina se encuentra protegido por un cilindro metálico que desliza contra las paredes de la excavación a medida que ésta se realiza.

Debido a la naturaleza de los terrenos en que los escudos son usados, es casi siempre necesario el ir soportando el túnel a medida que la perforación progresa. La forma más usual de soporte provisional o ademe es por medio de dovelas, generalmente de concreto, que van siendo colocadas formando anillos sucesivos a muy poca distancia de la parte posterior del cilindro metálico de protección. Los gatos de empuje longitudinal se apoyan en dichos anillos.

TOPO MECANICO ó MOLE.

Cuando el material por atacar consiste en una roca competente y buena capacidad para autosoportarse, máquinas perforadoras de agarre lateral son usadas. Las paredes de la excavación deben tener la capacidad de carga necesaria para soportar el

empuje de los gatos de agarre que permiten el empuje longitudinal sobre la cabeza giratoria de la perforadora.

A este tipo de máquinas se les conoce con el nombre genérico de TOPOS (Mole en inglés).

Un topo consiste básicamente de lo siguiente:

Un cuerpo metálico muy robusto que se atraca contra las paredes de la excavación por medio de gatos hidráulicos; una cabeza giratoria con un número variable de cortadores troncocónicos, que también giran sobre su propio eje; un sistema de gatos que producen una presión de los cortadores de la cabeza giratoria sobre la frente que está atacando.

El giro de la cabeza se efectúa por medio de motores, eléctricos ó hidráulicos, que accionan sobre una corona ligada a la cabeza por medio de una flecha.

En la mayor parte de los topos los motores se encuentran en la parte posterior, desplazándose junto con la cabeza al accionar los gatos de empuje, ya que la flecha pasa a través del cuerpo; en cada empuje el avance es de 55 a 60 cms.

El esquema No. 1 nos ilustra lo que se resumió antes.

Los cortadores que se encuentran en la cabeza presionan contra la frente - girando sobre su eje y produciendo un corte en la misma. La roca se rompe cuando el esfuerzo producido por el filo de un cortador excede al de ruptura de la misma.

Los cortadores pueden tener 1, 2 y hasta 7 pistas cortantes por lo que en la frente se tienen una serie de circunfrencias de corte separadas 2, 3, 5 ó más cms. El producto -

del corte, en este caso la rezaga, está constituída por lajas y, dependiendo del tipo de roca, de un gran porcentaje de finos. Los cortadores perimetrales están protegidos por unos raspadores que están colocados delante de ellos e impiden una acumulación de material suelto, principalmente en el piso del túnel. La cabeza tiene unos cangilones que recogen la rezaga y la depositan en una banda transportadora, que se encuentra en la parte superior del topo, que la conduce hasta la zona de carga a las vagonetas o camiones, detrás del topo.

Una pantalla aisla la cabeza giratoria del cuerpo del topo para evitar en lo posible el polvo. Agua es rociada sobre la frente con el fin también de bajar la cantidad de polvo.

Actualmente existen varias empresas dedicadas a la fabricación de topos.

En Estados Unidos de Norteamérica se tienen:

Robbins, Wughes, Jarva, Caldweld, Lawrence

En Europa:

Atlas Copco, Demag, Krupp, Wirth.

ELEMENTOS AUXILIARES.

El topo está provisto en su parte superior de una banda transportadora de rezaga que es cargada por medio de los cangilones de la cabeza y descarga en la tolva donde arranca otra banda transportadora, que puede aproximadamente ser de 100 m. de longitud, colocada sobre una estructura metálica formada por marcos transversales unidos entre si. La estructura está provista de ruedas y va sobre rieles separados aproximadamente 2.00 m. (Anexo No. 2). La altura de los marcos es de 2.10 m. de manera que las vago -

netas extractoras de rezaga, que pueden ser de una capacidad de 10 m^3 en vía de 24" se - colocan en número de 4 ó 5 dentro de la estructura y son cargadas a medida que van saliendo. Este sistema de carga de rezaga es bastante eficiente y puede utilizarse, y se utiliza, en un sistema convencional, en donde el topo es substituído por un Jumbo de barrenación - haciéndose la carga a la banda por medio de una rezagadora EIMCO o similar.

Aproximadamente a 10 m. de la parte posterior del topo se dispone de una estructura con brazos hidráulicos con el propósito de colocar el revestimiento del túnel, que puede estar formado por anillos de concreto reforzado, de 20 cms. de espesor y 1.25 m. de long., compuestos por 5 segmentos. En esta forma es posible llevar el revestimiento del - túnel a 20 m. aprox. de la frente.

Toda la estructura que soporta la banda transportadora larga, así como el Jumbo erector de dovelas, transformadores, soldadoras, etc. es arrastrada por el topo - cuando este es colocado en posición de atacar (véase diagrama anexo 1). La energía eléctrica es conducida en 4160 volts hasta un transformador, que viaja con el topo, que la baja a 440 para alimentar los motores del mismo y otro que la baja a 110 para la iluminación - del remolque con la banda, y el uso de herramientas eléctricas.

Además de los motores que hacen girar la cabeza, se tienen motores para las bombas del sistema hidráulico que accionan los gatos de empuje y atraque, motorreductores de las bandas, y motor de la bomba de agua.

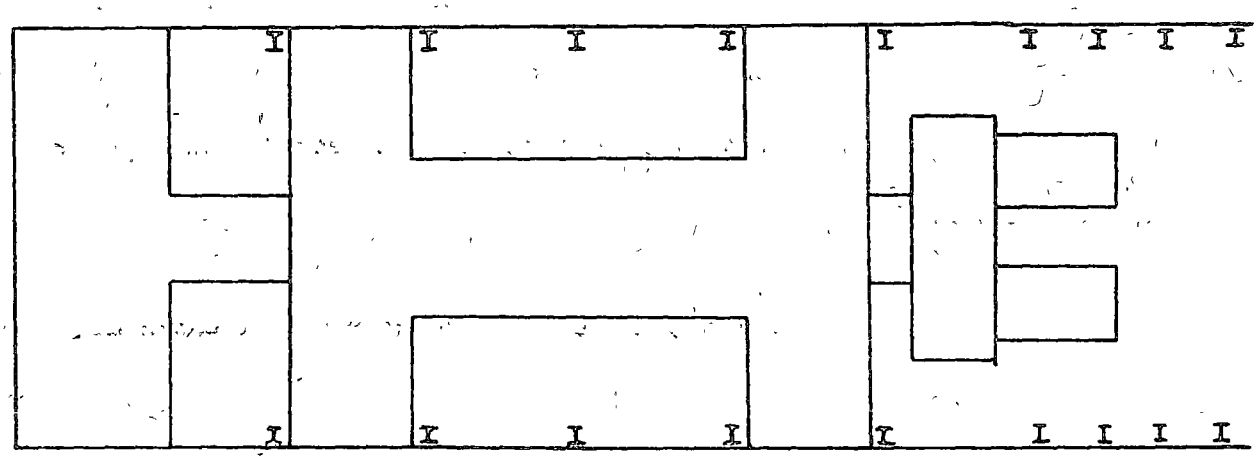
El operador del topo lo coloca en posición por medio de los gatos de atraque y ataca haciendo girar la cabeza y empujándola contra la frente. El par de torsión debido al corte lo controla con el amperímetro de los motores de giro. El empuje -

con un manómetro en el que se indican la fuerza o la presión.

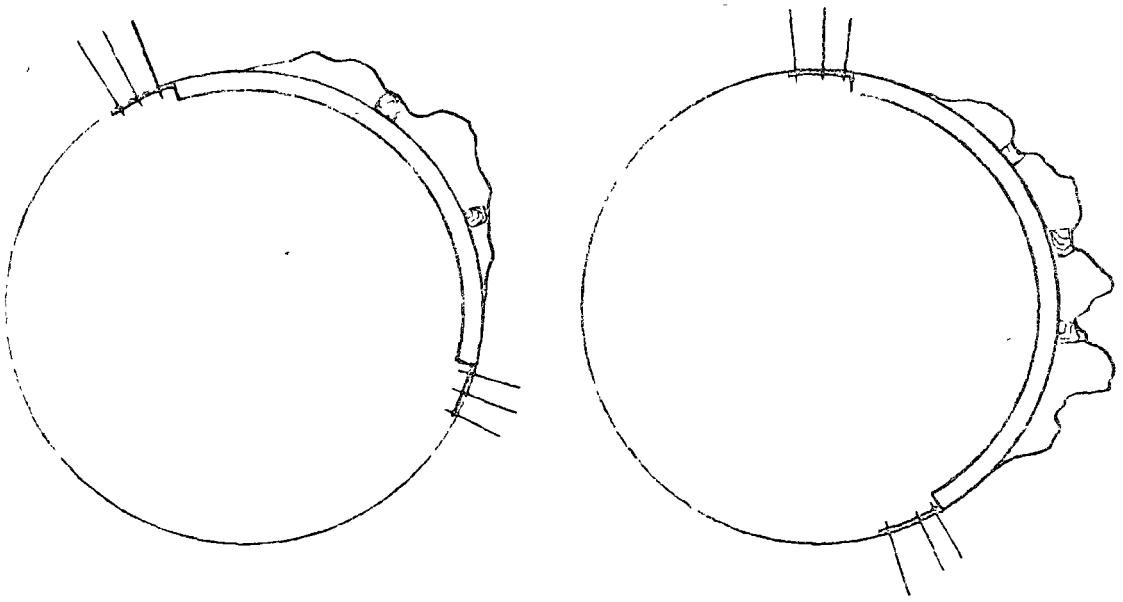
El alineamiento de la máquina se debe llevar por medio de un rayo Laser y es necesario tener operadores cuidadosos ya que al salirse de línea la máquina hay que describir curvas grandes para no trastornar la operación de la banda transportadora larga. Además el topo tiene tendencia a desviarse hacia un lado preferente dependiendo del sentido de la rotación de la cabeza.

El polvo es extraído de la frenté hasta un ciclón el cual es conectado a la tubería de succión que llega hasta el topo. El volúmen de aire movido es de 25.000 -- P.C.M. aproximadamente.

En el caso de presentarse alguna falla en el terreno pueden colocarse - anillos circulares, casi siempre son suficientes perfiles I de 10 cm. (4"); deben ir en 4 segmentos para ser atornillados entre sí y puedan ser colocados unos en la zona ocupada por el topo, dejando espacio para el apoyo de las patas de atráque y colocando posteriormente anillos intermedios, si esto es necesario.



En muchas ocasiones es necesario colocar solamente parte del anillo, anclando sus extremos en la roca sana



En terrenos fracturados que producen piedras grandes, mayores por ejemplo de 25 cm., estas pueden atorarse rompiendo los cangilones o bien la tolva de la banda transportadora del topo.

Para minimizar los daños al sistema de rezaga es conveniente el poner una rejilla protectora que gire junto con la cabeza y que permita el paso de tamaños de roca que pueda asimilar el sistema de rezaga. Los cortadores sobresalen de esa rejilla más o menos 3 cms. Además es conveniente que por el sistema de rezaga pueda el mayor tamaño posible de roca.

En terrenos muy fracturados se ha ensayado una combinación de Escudo y Topo, al parecer con buenos resultados.

CORTADORES.

Se puede considerar a los cortadores como los elementos más importantes de la máquina

En general hay 2 tipos de cortadores *

1.- Con anillos lisos con endurecimiento superficial

2.- Con anillos insertos de carburo tungsteno.

En ambos casos el cuerpo del cortador es de acero forjado con dureza Rockwell 45 C y gira, sobre baleros, en una flecha sostenida en sus extremos por una silleta fija con la cabeza giratoria del topo (anexo No. 4.) El cortador es tronco cónico y su diámetro es variable (aprox. 25 cms.)

* Omitiendo los topos Atlas Copco y otros que tienen 3 ó 4 cabezas giratorias con insertos fijos pero reemplazables.

Los cortadores están colocados de modo que sus filos describan circunferencias concentricas con la menor separación entre ellas (aprox. 2.5 cms.) Uno de los cortadores de forma especial queda en el centro.

En el caso del cortador con anillos estos pueden estar forjados de una pieza con el cuerpo del cortador ó bien pueden ser colocados en éste a presión y con puntos de soldadura. El número de anillos en un cortador puede variar de 1 a 5 ó más pero en cualquier caso su sección es triangular y el filo cortante es endurecido superficialmente hasta alcanzar una dureza de 62 Rockwell C.

Estos cortadores de anillo o disco se ven y operan como un cortador de vidrio, el empuje del cortador contra la cara de la roca hace saltar esquirlas a ambos lados. Se usan principalmente en rocas suaves ó en circunferencias interiores de rocas medias ó duras.

Los cortadores con inserto de carburo tungsteno pueden a su vez ser de dos tipos:

Dentados, con insertos grandes, con forma pararecida a los antes descritos ó con botones pequeños de carburo tungsteno. Estos cortadores causan la fractura creando esfuerzos concentrados muy altos en la punta del diente ó del botón. Los insertos se hacen en cuerpos forjados, tincónicos, de dureza 45 R.C. y las hileras de dientes ó botones varían entre 2 y 7 .

De los cortadores, los que ocupan la posición más crítica son los de la periferia, ya que van formando la pared y la frente y son los que mayor velocidad lineal tienen - pero pueden cambiarse a posiciones inferiores y ahí terminar su vida.

El cortador recibe una fuerza normal Q y al girar la cabeza ejerce sobre el terreno una fuerza cortadora C que es función de la primera. La fuerza C depende también de la distancia entre las diferentes circunstancias de corte descritas por los filos de los cortadores y de las propiedades mecánicas del terreno.

El coeficiente de corte es igual a $K_c = \frac{C}{Q}$.

En donde Q es la fuerza normal por cortador, igual, aproximadamente, el empuje del topo entre el número de cortadores.

P.F. Rad (Journal of the Geotechical, Engineering División, Sept. 75) ha - encontrado los siguientes valores.

Roca	K_c
Mármol	0.063
Caliza.	0.066
Granito	0.054
Cuarzita	0.039

EVALUACION DE LOS TOPOS.

Para tener una idea de la capacidad de los topos se puede hacer uso de varias de sus características conocidas y comparar, por ejemplo el empuje, la potencia o el par de la cabeza giratoria con el diámetro del túnel; o bien calcular el consumo específico de energía contra el esfuerzo de ruptura a la compresión axial de una roca determinada.

La determinación del C.E.E. permite valorar también la capacidad de la misma máquina en diferentes rocas o provista de diferentes cortadores.

A continuación se detallan los diversos aspectos de la evaluación y se dan gráficas (Mellor y Hawkes) con valores obtenidos para diferentes máquinas europeas y americanas.

EMPUJE AXIAL

El valor de este empuje debe ser suficiente para que el filo o el botón rompan la roca. Dentro de los límites impuestos por el diseño de los cortadores la velocidad de perforación de un topo depende del empuje axial y de la velocidad de rotación de la cabeza.

La mayoría de las máquinas actuales tienen velocidad constante así, que, para una formación de roca de una calidad dada la velocidad de avance depende del empuje axial.

En la Fig. 1 se tiene el empuje axial máximo contra el diámetro de la frente, obtenido en un buen número de máquinas. Los valores en esta y las gráficas siguientes, han sido obtenidos en México.

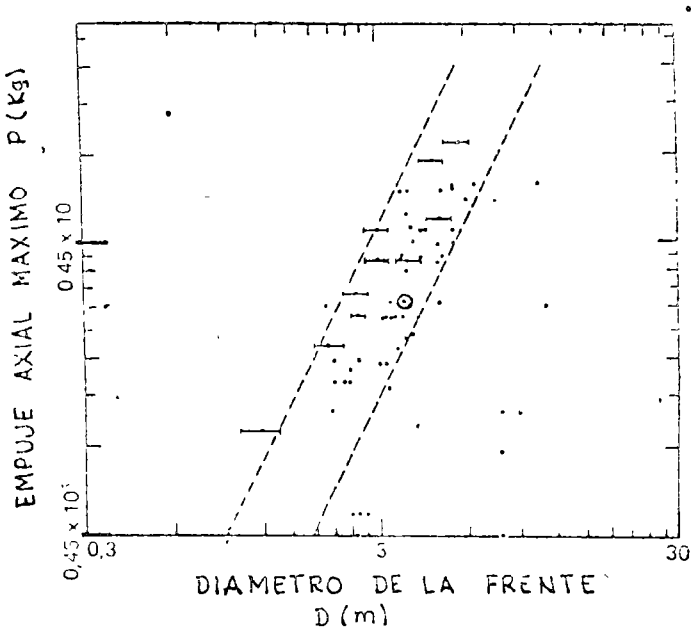


Fig. 1

De la figura se tiene que

$E = K_E \, D^2$ en donde

E = Empuje en Kgs.

D = Diámetro de la frente en m.

K_E = Constante de proporcionalidad que varía de 14600 kgs/m2 en máquinas para roca blanda y 54000 kgs/m2 para rocas muy duras.

El empuje máximo por cortador se encuentra dividiendo el empuje - total entre el número de cortadores; un valor usual de empuje por cortador es de más o - menos 14000 kgs.

Potencia en la cabeza

Para romper la roca se necesita un empuje determinado y para hacer - lo en forma contínua se necesita que la cabeza gire, lo cual requiere potencia.

En conjunto el par de torsión y la velocidad de rotación determinan - la potencia de la máquina.

Las velocidades de rotación generalmenteconstantes para una máquina dada, varían de acuerdo con su tamaño desde 1 o 2 R.P.M. en máquinas muy grandes has- ta 12 RPM. en máquinas chicas; un valor usual en máquinas medianas es de 9 R.P.M.

En la figura 2 se indica el caballaje disponible en la cabeza de la - máquina , para un gran número de ellas, en relación con el diámetro de la frente de ahí se obtiene la fórmula empírica.

$$P = K_p D^2$$

En donde

P = Potencia nominal en H.P.

K_p = constante de proporcionalidad con variación entre 20 y 70 kgs/cm2

PAR DE TORSION.

El par de torsión se puede obtener de

$$P = T N$$

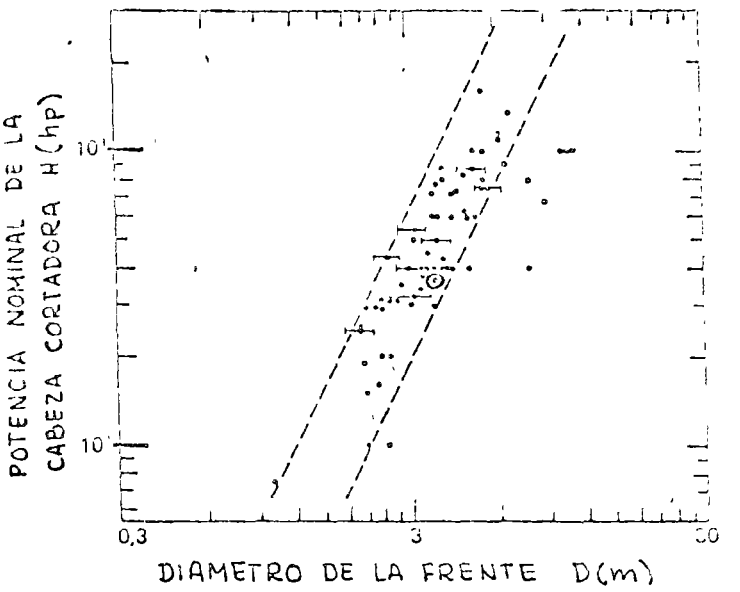

POTENCIA NOMINAL DE LA
CABEZA CORTADORA H (hp)
10¹
10
0,3
3
30
DIAMETRO DE LA FRENTE D(m)

Fig. 2

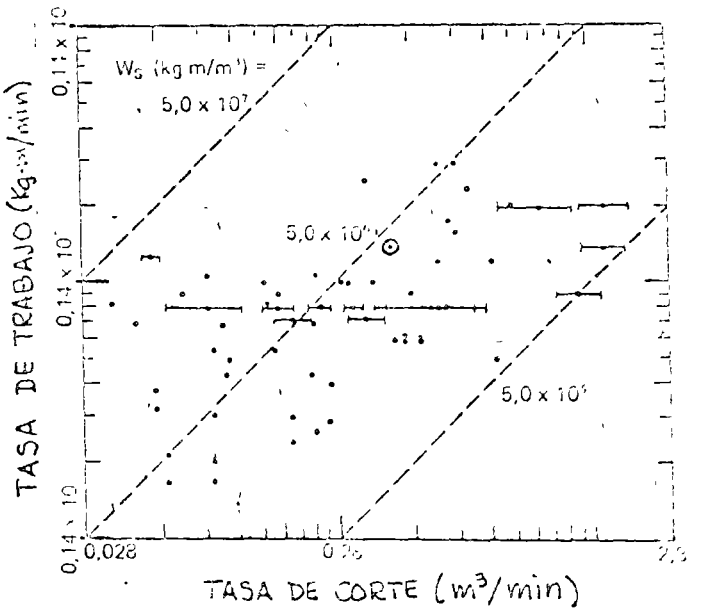

TASA DE TRABAJO (kg·m/min)
Ws (kg m/m³) =
5,0 x 10⁷
5,0 x 10⁶
5,0 x 10⁵
0,028
TASA DE CORTE (m³/min)

Fig. 4

en donde

T = Par de torsión Kgs-m

N = Velocidad angular rad / seg.

P = Potencia en Kgs-m/seg.

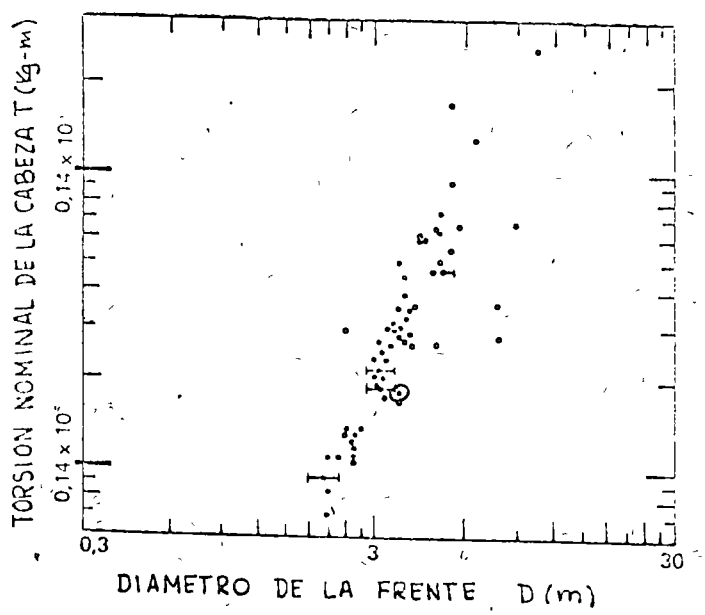
También de la observación en un gran número de máquinas se ha obtenido la gráfica de la Fig. 3 en donde se traza el par de torsión T como función del diámetro de la frente D

La ecuación empírica correspondiente tiene la forma

$$T = K_t \; D^{2.3} \; \ldots$$

En donde K_t varía entre

Fig. 3



CONSUMO ESPECIFICO DE ENERGIA.

De los factores más importantes para la calificación de los topos mecánicos, es el consumo específico de energía, esto es: la energía consumida al excavar un volumen unitario de roca.

Este valor puede obtenerse dividiendo la energía consumida por la cabeza giratoria entre el volumen excavado, en un tiempo determinado. Usando un sistema consistente de unidades la energía consumida en un minuto se daría en kgs-m/min. y el volumen excavado en m^3/min., así que el consumo específico de energía tiene las unidades de esfuerzo Kgs/m2.

En la Fig. 4 se tienen puntos correspondientes a máquinas en operación en un sistema cartesiano que tiene como abcisas los volumenes cortados en m3/min. y como ordenadas el trabajo efectuado por minuto kgs-m/min. Las máquinas observadas por los autores de las gráficas tienen potencias que varían de 50 a 900 H.P. Las líneas diagonales corresponden a consumos específicos de energí de 5×10^5, 5×10^6 y 5×10^7 kgs/m2. Los puntos tienden a agruparse alrededor de la línea de los 5×10^6 kgs/m2.

Una grafica más interesante es la No. 5, en donde se comparan el consumo específico de energía en Kgs/cm2 con esfuerzo de ruptura a la compresión axial de la roca atacada, en kgs/cm2.

Las líneas diagonales corresponden a valores de un índice dado por el cociente del consumo específico de energía y el esfuerzo de ruptura a compresión simple de la roca, esto es $\frac{W_e}{\sigma_c}$; naturalmente este índice es adimensional, y en cierta forma

es un índice de rendimiento.

La mayor parte de los puntos caen dentro de los límites $\frac{W_e}{\sigma_c} = 3.0$ y $\frac{W_e}{\sigma_c} = 0.17$

GRAFICA 5.

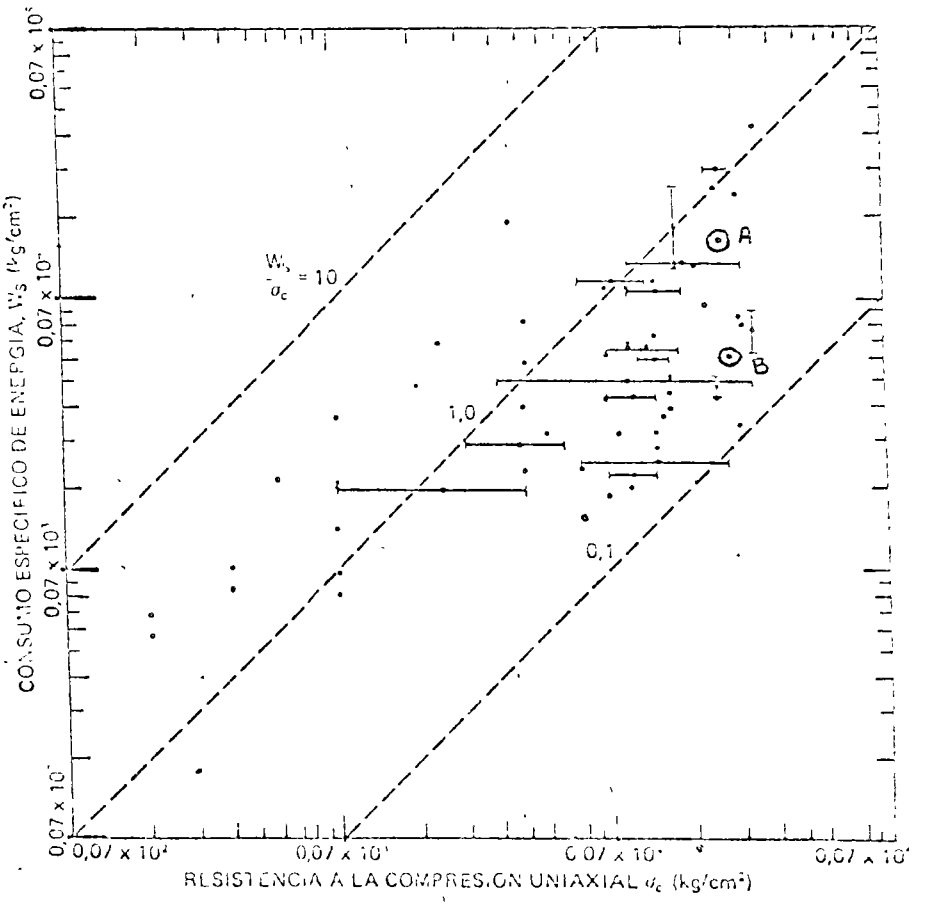


Fig. 5 Rendimiento de la máquina.

El índice de rendimiento de un topo determinado depende desde luego del esfuerzo de ruptura y de la dureza de la formación que está atacando sin embargo existe otro factor tan importante como estos y es el grado de fracturamiento de la formación.

Con objeto de tener un marco de referencia se da en la Tabla 1 - (Deere y Miller) una clasificación de rocas basadas en el esfuerzo de ruptura a la compresión simple.

TABLA 1

	Roca	Kgs/cm2)	
A	Muy alta resistencia	2250	Cuarzita Diorita Granito
B	Alta resistencia	1125 - 2250	Gneiss Basalto
C	Resistencia media	550 - 1125	Calizas Mármol
D	Resistencia baja	275 - 550	Areniscas Lutitas
E	Resistencia muy baja	- 275	Pizarras Limolitas.

La tabla No. 2 (Deere) proporciona una terminología de acuerdo con el espaciamiento de las fracturas.

TABLA 2.

Término		Espaciamiento. Juntas
I	Muy cerrado	Menos de 5 cms.
II	Cerrado	5 cms. a 30 cms.
III	Moderadamente cerrado	30 cms. a 1.00 m.
IV	Abierto	1.00 m. a 3.00 m.
V	Muy abierto	Mayor que 3.00 m.

La importancia del grado de fracturamiento se pone de manifiesto en la gráfica No. 1-17 en la que se comparan las velocidades de avance en cm/h., atacando, de la misma máquina y en rocas de esfuerzo de ruptura más o menos igual a 2000 kgs/cm2, pero con una diferencia grande en la separación de las juntas.

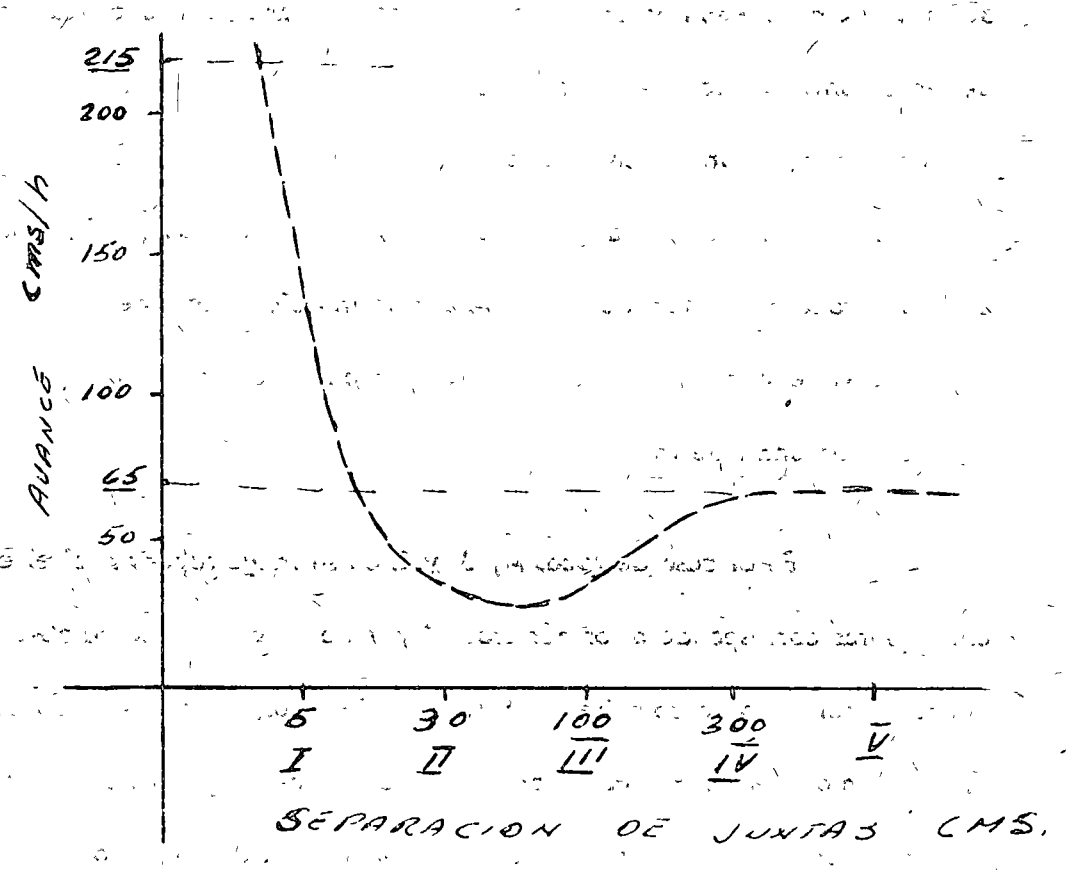


Fig 1-17

ROCA B
ALTA RESISTENCIA
$\sigma_c \doteq$ 2000 kgs/cm2

Ahora bien en el caso de rocas E, D y C en el rango inferior $\sigma_c = 550$ - kgs/cm2 el método de excavación con topo puede competir con ventaja con el método tradicional sobre todo cuando el espaciamiento de las fracturas no corresponde al del número III de la tabla 2, ya que en ese caso durante el ataque se desprenden trozos - de roca que no pueden pasar por los cangilones ó banda del topo ocasionando daños y pérdidas contínuas de tiempo por reparaciones de la máquina. De una manera general al elegir un topo para excavar este tipo de materiales deberá tomarse muy en cuenta el tamaño máximo de piedra que puede extraer. El R.Q.D. (designación de la calidad de la roca) de la formación puede dar un indicio valioso de los tamaños de roca - que se puede encontrar, está dado por el porcentaje de tamaños mayores de 10 cms. recuperados en una muestra.

En el caso de rocas A, B y C en su rango superior, si el espaciamiento - entre juntas corresponde a los números IV y V de la tabla 2, se ha observado que la excavación con topo no compite ni en tiempo ni en costo con el método convencional. - Esto es debido, en forma prácticamente determinante a que los cortadores no resisten - durante mucho tiempo las condiciones severas impuestas por el corte en este tipo de rocas. Sin embargo hay casos en que resulta ser el único medio para perforar, sobre todo en ciudades con subsuelos de estas características, en donde el uso del método convencional presenta graves inconvenientes.

La excavación con topo va dejando al tunel con la apariencia de revestido, no hay sobreexcavaciones apreciables, es posible el uso de revestimientos prefa - bricados y, en buen número de casos, se puede prescindir de estos; la seguridad es máxima. La comparación entre el costo de un túnel usando uno u otro método, debe hacerse teniendo en cuenta todos estos factores, lo que conduce prácticamente a comparar -

el costo por metro lineal de dos tuneles equivalentes en cuanto al servicio prestado pero quizá diferentes en cuanto a sección volumenes extraídos, revestimientos, etc.

TUNELES CON TOPO MECANICO (MOLE)

CASO PARTICULAR

En México se ha operado un Topo con las siguientes caracterísiticas:

MARCA	-	JARVA
MODELO	-	MK 11-12
PESO TOTAL	-	60 Tons.
DIAMETRO	-	3.66 m. (12')
EMPUJE	-	254 Tons
ATRAQUE	-	720 "
POTENCIA	-	375 H.P. (3 motores de 125 H.P., 1750 RPM)
VOLTAJE	-	440 V.
VELOCIDAD ANGULAR	-	10.7 R.P.M.
PAR MAXIMO	-	25 000 kgs-m.
No. CORTADORES		23 Pzas.

La información que a continuación se maneja, ha sido obtenida mediante el empleo de un sistema de control, detallado en el anexo 3, que ha permitido obtener en forma sistemática los rendimientos efectivos de la máquina, su disponibilidad, así como las eficiencias en la operación en dos niveles. Se ha llevado también control de los cortadores empleados, obteniéndose, para cada uno de ellos, la duración en horas y los metros avanzados.

También se han sacado corazones de roca, determinándose en ellos propiedades mecánicas tales como: esfuerzo de ruptura a compresión simple, módulo de elasticidad tangente, dureza escala shore abrasión, etc.

La descripción de la máquina, sistema de carga y extracción de rezaga corresponden a lo que antes se indicó. En lo que sigue se verá como encaja esta máquina en el contexto general, sus rendimientos, consumos específicos de energía y en general su comportamiento.

Por lo que se refiere a las caracterísiticas intrínsecas de la máquina, se tiene lo siguiente:

a).- Empuje axial:

Se tiene $E = 254\,000$ Kgs; $D = 3.66$

$$E = K_e \; D^2 \quad \text{de donde:}$$

$$K_e = \frac{E}{D^2} = \frac{254\,000}{3.66^2} = 18961 \text{ kgs/m2}$$

El punto correspondiente se localiza en la gráfica 1

b).- Potencia nominal en la cabeza.

$P = 375$ H.P. ; $D = 3.66$

$$K_p = \frac{P}{D^2} = \frac{375}{3.66^2} = 28 \text{ H P/m2}$$

Punto en la gráfica 2.

c).- Par de torsión nominal en la cabeza.

$T = 25\,000$ kgs-m.
$D = 3.66$ m.

$$K_t = \frac{T}{D^{2.3}} = \frac{25\,000}{3.66^{2.3}} = 1265 \text{ kgs/m}^{1.3}$$

Con punto en la gráfica 3.

Los valores obtenidos y los puntos localizados en las gráficas dan idea de si las características principales de un topo están balanceadas.

APLICACION.

Esta máquina se ha empleado en la perforación de dos clases diferentes de terreno.

Caso A).- Tunel en Baja California Norte en roca granítica de alta resistencia correspondiente al grado B de la Tabla 1, con esfuerzo de ruptura a la compresión simple de 1800 kgs/cm2, dureza shore 80 ; módulo de elasticidad relativo promedio bajo; el fracturamiento corresponde, en términos generales a un V de la tabla 2.

Como elementos que pueden servir para la obtención del costo, se dan los resultados medios, obtenidos en la perforación de 700 m. de tunel mediante el sistema de control mencionado antes y que son, entre otros los siguientes:

1.-	Velocidad de avance en tiempo efectivo de ataque.	0.65 m/h.
2.-	Demanda media en cada motor a 440 Volts.	85 amps.
3.-	Empuje medio.	185 Tons.
4.-	Equipo fuera de disponibilidad en % del tiempo programado	55 %

5.- Pérdidas de tiempo por falta de materiales, personal, energía. 13%

6.- Porcentaje del tiempo total, empleado en acomodar el topo, prolongar instalacio - nes de aire, ventilación y agua, fal - ta transporte de rezaga. 10 %

7.- Porcentaje del tiempo total empleado en ataque. 22 %

Por lo que a los cortadores se refiere, - se usaron de las marcas Jarva, Kenametal, Reed y anillos Robbins colocados en cuer - pos Jarva, en las siguientes cantidades.

a).- 103 cortadores Jarva y Kenametal con in - sertos de carburo tungsteno con precio pro - medio de 2 600.00 Dlls por cortador.

b).- 301 Cortadores Jarva de disco endurecido - con precio promedio de $ 750.00 Dlls. por cortador.

c).- 36 Cortadores Reed con botones de carburo tungsteno con precio medio de 3 500.00 - Dlls por cortador.

Asimismo, los rendimientos medios por cortador fueron los siguientes:

A).- Cortadores Jarva y Kenametal con carburo tungs teno: Vida media 100 h.
Avance. 65 m.

B).-	Cortadores de disco	Vida media	52 h.
C).-	Cortadores Reed con carburo		
	Tungsteno:	Vida media	163 h.
		Avance.	80 m.

CONSUMO ESPECIFICO DE ENERGIA.

POTENCIA APLICADA.

Este topo dispone de 3 motores con una potencia de 125 H.P. cada uno y trabajan con 440 Volts de tensión.

Para tener la potencia máxima, cada motor necesita un empuje determinado, obtenido como sigue.

$$P = 125 \text{ H.P} = 125 \times 746 = 93250 \text{ Watts.}$$

Y además, para el caso de un motor trifásico:

$$P = \sqrt{3} \; V A$$

En donde :

P= Potencia en Watts.
V=Voltios
A =Amperes

$$A = \frac{P}{\sqrt{3}\, V} = \frac{93250}{\sqrt{3} \times 440} \doteq 122.5 \text{ amps.}$$

Sin embargo la demanda media de los motores fué de solamente 85 amps. es decir que la potencia empleada solo fué de un 70% de su capacidad.

Al aumentar un empuje se aumenta la fuerza normal a la frente y como consecuencia la fuerza de corte, el par de giro y la potencia. El empuje medio de 185 tons. fué el máximo que pudo aplicarse ya que con uno mayor los cortadores se terminaban rápidamente. De lo anterior se concluye que: en rocas duras, abrasivas, de alta resistencia y sin fracturamiento apreciable la potencia de corte aplicada está limitada por el empuje axial y este a su vez, por la capacidad de los cortadores para realizar su función sin un desgaste demasiado rápido o rupturas prematuras.

Asi pues, en las condiciones usuales de trabajo la potencia nominal en la cabeza vale

$$P \quad 85 \text{ amps} \times 440 \text{ Volts} \times \sqrt{3} \times 3 = 194336 \text{ watts}$$

Para localizar un punto en la gráfica No. 4, se calculará el trabajo en kgs-m. realizado en un minuto.

Recordando que

$$1 \text{ watt} = 1 \text{ julio/seg} = 1 \text{ newton metro/seg.}$$
$$= \frac{1}{9.81} \text{ kgs-m/seg.}$$

El trabajo efectuado en 1 minuto vale

$$W = 194336 \times \frac{60 \text{ seg}}{9.81} = 1\,183599 \text{ kgs m/min.}$$

A la velocidad de 0.65 m/h el volumen excavado en 1 min. vale

$$\text{Vol.} = \frac{3.66^2}{4\pi} \times \frac{0.65}{60} = 0.114 \text{ m3/min.}$$

El punto correspondiente se localiza en la gráfica 4.

El consumo específico de energía en kgs/cm2, es:

$$W_e = \frac{1\,188\,599 \times 100 \text{ kgs-cm/min.}}{113\,976 \text{ cm}^3\text{/min.}} = 1042.82 \text{ kgs/cm2}$$

El punto se localiza en la gráfica 5 para una roca con $\sigma_c = 1800$ kgs/cm2

$$\frac{W_e}{\sigma_c} = \frac{1043}{1800} = 0.58$$

Siendo este topo de velocidad angular constante, como son la mayoría el par de torsión es función únicamente de la potencia, ya que:

$P = T\alpha$

En donde :

T = Par de Torsión

α = Vel. ang. en rad/seg.

En este caso

$$T = \frac{P}{\alpha} = \frac{194336}{9.81} \times \frac{60 \text{ seg}}{2\pi \times 10.7} = 17679 \text{ kgs-m.}$$

Un topo de velocidad variable tiene la ventaja de aumentar o disminuír el par y conjugarlo con el empuje para lograr una mejor eficiencia.

Caso B) Tunel en Molango, Hgo. para mina de manganeso, en roca con esfuerzo - medio de ruptura a la compresión simple de 1900 kgs/cm2, dureza shore 73.5; módulo de elasticidad: alto.

El fracturamiento corresponde, en términos generales al I de la tabla 2.

Los datos obtenidos son los siguientes:

1.-	Velocidad de avance.	2.17 m/h.
2.-	Demanda media por motor.	115 amps.
3.-	Empuje axial (900 lbs/pulg^2)	1128 Tons.
4.-	Equipo fuera disponibilidad en % del tiempo total.	45 %
5.-	Pérdidas de tiempo por falta de personal, materiales, energía	8 %
6.-	Porcentaje del tiempo total empleado en acomodar topo, instalaciones, falta de transporte de rezaga (16%)	24 %
7.-	Tiempo empleado en ataque.	23 %

Los cortadores usados han sido únicamente de 3 discos, marca Jarva, con precio de 1100.00 Dlls. por cortador y su duración promedio ha sido de 170 h. y 369 m. teniendo todavía un 20% de vida, así que:

Vida probable $\frac{170}{0.80} = 212$ h.

Metros " $= 460$ m.

CONSUMO ESPECIFICO DE ENERGIA

POTENCIA APLICADA.

Como antes se vió, la demanda de 1 motor del topo a la potencia máxima es de 122 amps. y en este material la demanda media es de 115 amps. por motor, es decir se está empleando un 94% de la potencia nominal de la máquina.

El empuje axial es, un promedio de 128 tons. Se observa que, contrariamente a lo que ocurría en el caso A, la potencia de la máquina limita el valor del empuje. Este cambio en las características de la operación se debe casi por completo al grado de fracturamiento del terreno, en este caso muy favorable, lo que incrementa el rendimiento en poco más de 3 veces, a pesar de que la roca en si es tan resistente y dura como en el caso A.

La potencia nominal en la cabeza vale ahora:

$$P = 115 \text{ amps.} \times 440 \text{ volts} \times \sqrt{3} \times 3 = 262925 \text{ watts.}$$

$$P = \frac{262925}{746} = 352 \text{ H.P.}$$

El trabajo realizado en 1 minuto:

$$W = 262925 \times \frac{60}{9.81} = 1\,608\,104 \text{ kgs-m/min.}$$

y a la velocidad de corte de 2.17 m/h. el volumen excavado en 1 minuto

$$\text{Vol.} = \frac{3.66^2}{4\pi} \times \frac{2.17}{60} = 0.3805 \text{ m3/min.}$$

Valores que permiten localizar el punto correspondiente en la gráfica 4

El consumo específico de energía en kgs/cm2., es:

$$W_e = \frac{1608\ 104 \times 100}{380505} = 422.6 \text{ kgs/cm2.}$$

El consumo específico de energía es casi 2.5 veces menor . El punto correspondiente aparece en la gráfica 5.

Por supuesto el par es mayor que en el primer caso.

PERSONAL DE OPERACION:

El personal de operación, del topo y equipo de rezaga, es más o menos el siguiente (por turno):

Jefe de frente	1
Operador topo	1
Maniobristas	2
Ayudantes maniobristas	2
Cabo instalaciones	1
Ayudantes.	5
Mecánico.	1
Ayudante mecánico.	1
Electricista.	1
Ayte. electricista.	1
Soldador	1
Locomotorista.	1
Ayudante.	1

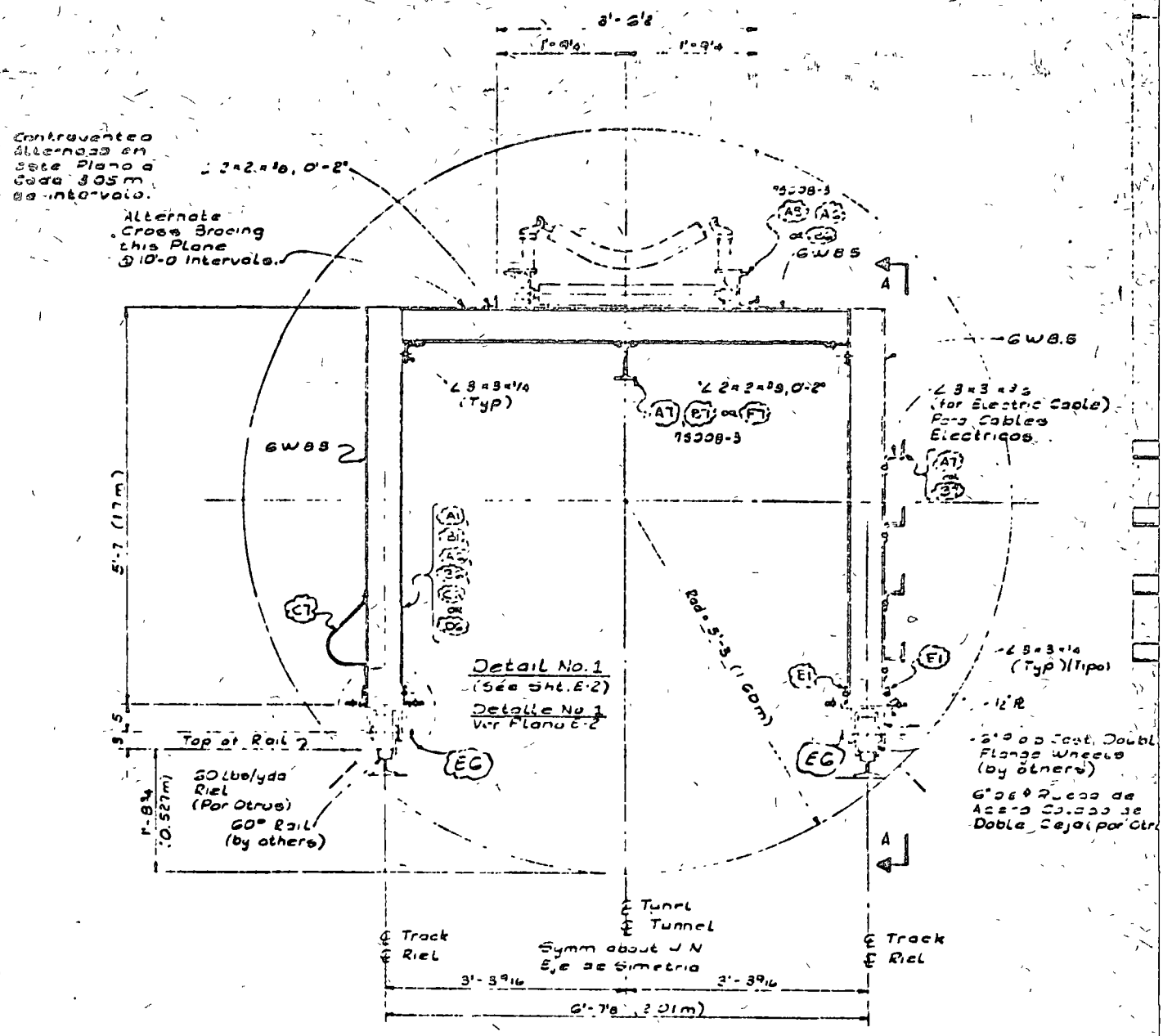
En términos muy generales se puede decir lo siguiente:

1.- El empleo de topos resulta adecuado en formaciones de rocas de resistencia media, en su rango inferior, D y E, de resistencia baja o muy baja (tabla No. 1) teniéndose dificultades si el espaciamiento de juntas cae por los grados II y III de la tabla 2.

2.- En cualquier caso debe preferirse una máquina que pueda extraer los tamaños más grandes de roca posibles.

3.- Es más conveniente una máquina con motores hidráulicos con el fin de tener velocidad variable en la cabeza.

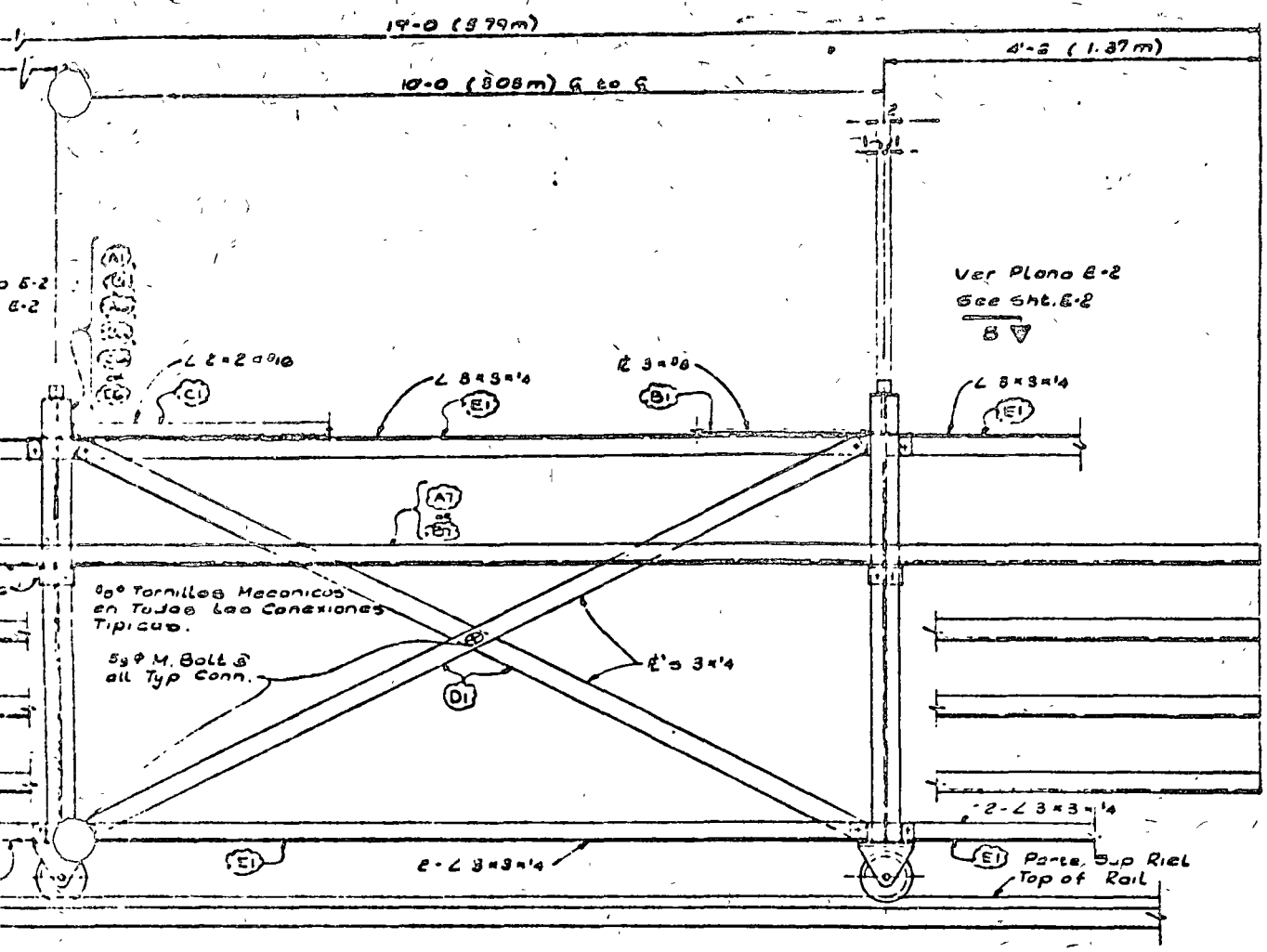
4.- Salvo situaciones especiales, en donde costo y tiempo pasan a segundo término, actualmente y debido principalmente a los cortadores, los TOPOS no son económicamente utilizables para atacar rocas de resistencias medias altas, altas o muy altas (C, B y A de la tabla 1) y que además y con un alto R.Q.D.



Typical Gantry View

Vista Tipica del Caballete

No. de Serie 002



Elevation View A-A

Vista en Elevacion A-A

REVISIONES	NO	FECHA	HECHA POR	DESCRIPCION

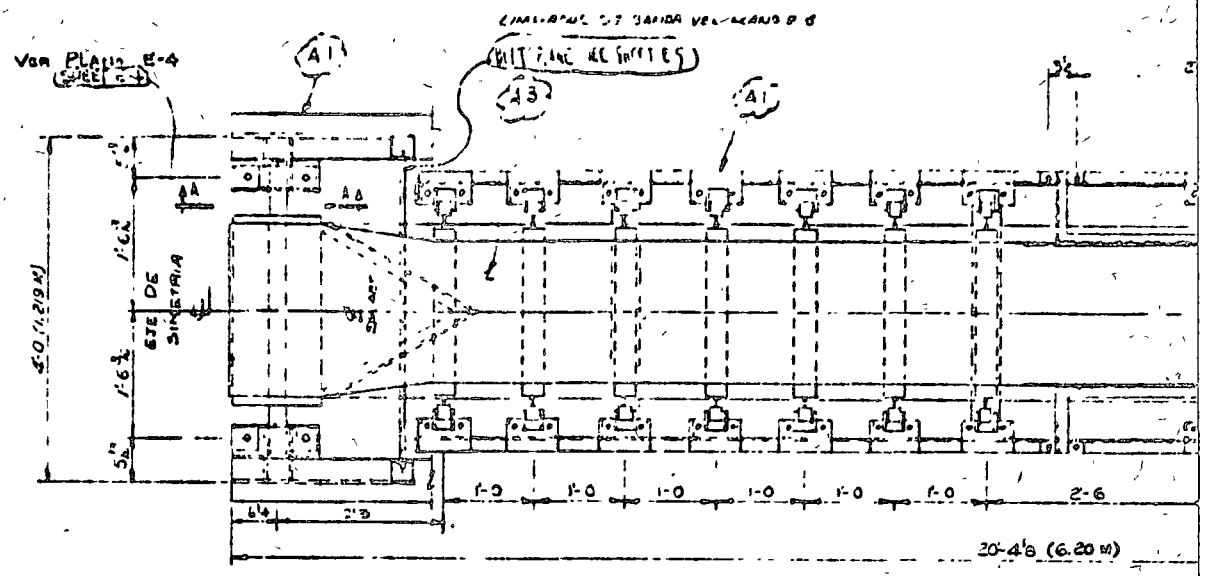
NOTA:
AE FREYRE Y ASOCIADOS S.A. NO PROPORCIONA MADERA, SUJETADORES O SEPARADORES DE MADERA, ESCANTILLONES DE TORNILLO, ANCLAS, PERNOS O ACCESORIOS DE SUJECION, RODDANAS METALICAS SUELTAS PARA SUJETADERAS O ANCLAS, NI RIELES, A MENOS QUE SE ESTIPULE LO CONTRARIO EN LA COTIZACION.

A.E. FREYRE Y ASOCIADOS S.A.
INGENIEROS CONSULTORES
MEXICO DISTRITO FEDERAL APARTADO POSTAL 19-202

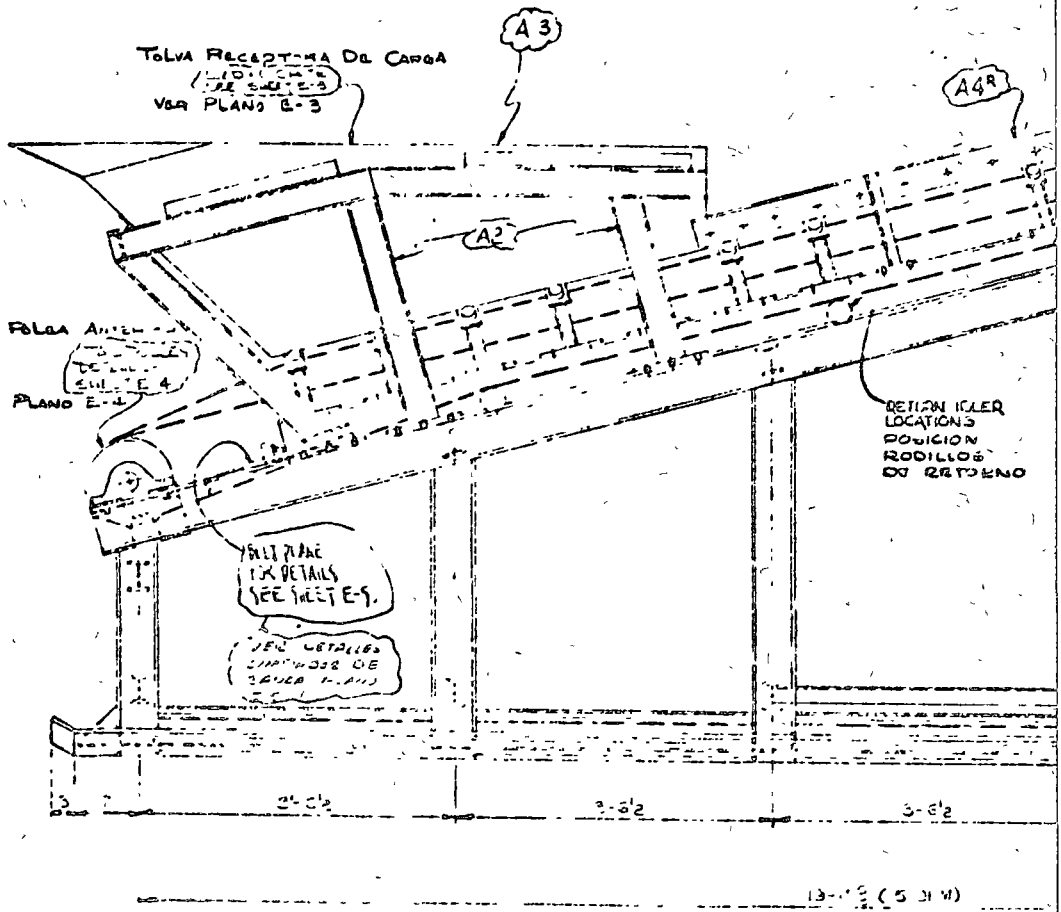
CLIENTE: SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS
INGENIEROS: GERENCIA ACUEDUCTO RIO COLORADO-TIJUANA
PROYECTO: PERFORACION Y REVESTIMIENTO DE LOS TUNELES Nos 1 Y 2
DESCRIPCION: TUNELES CIRCULARES DE 3.66 M DE DIAMETRO

ELEVACION Y VISTA DEL CABALLETE

FECHA 10-27-1975 DIBUJADO POR BVF | REVISADO POR
NO DE ORDEN 75003-4 AC | PLANO E-1 | REV.

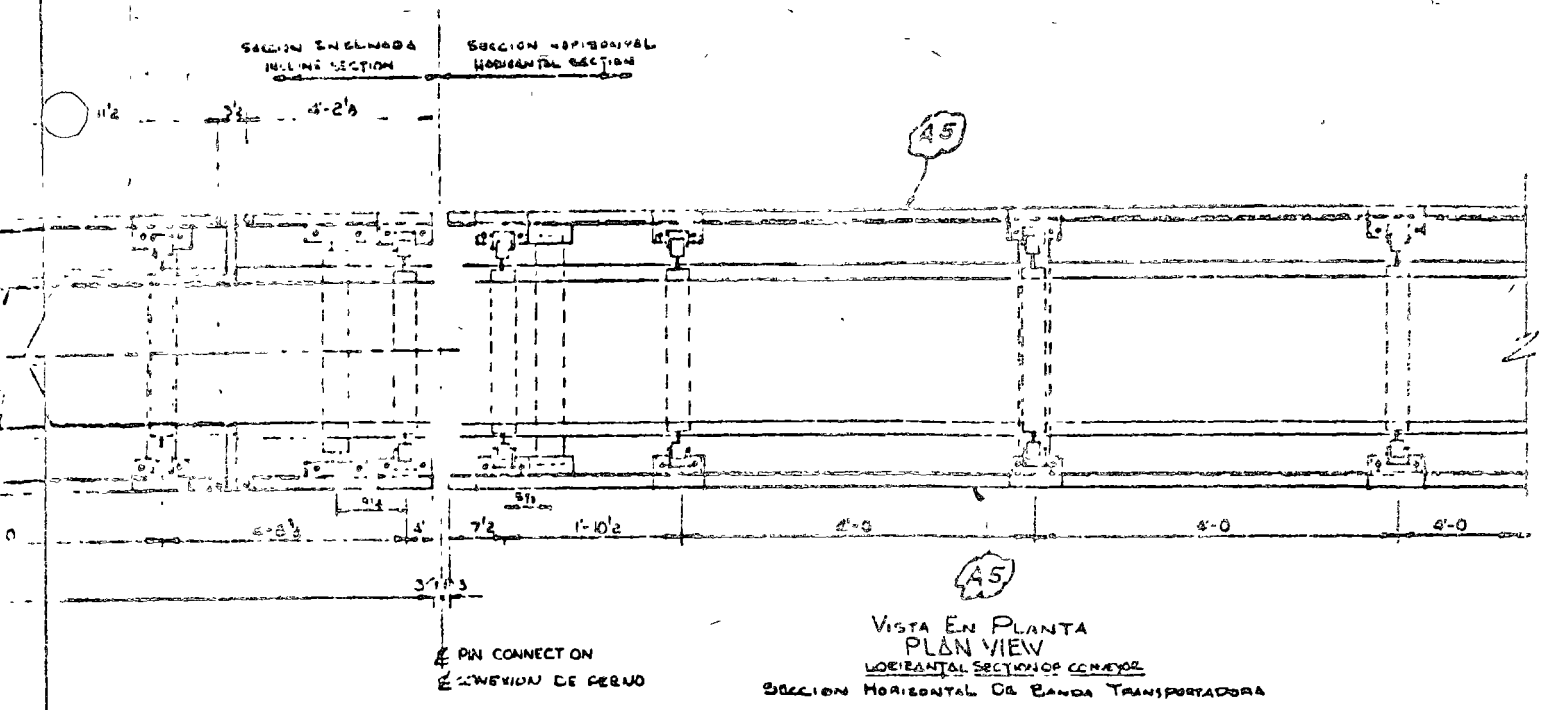


VISTA EN PLANTA
PLAN VIEW
INCLINE SECTION OF CONVEYOR
SECCION INCLINADA DEL TRANSPORTADOR

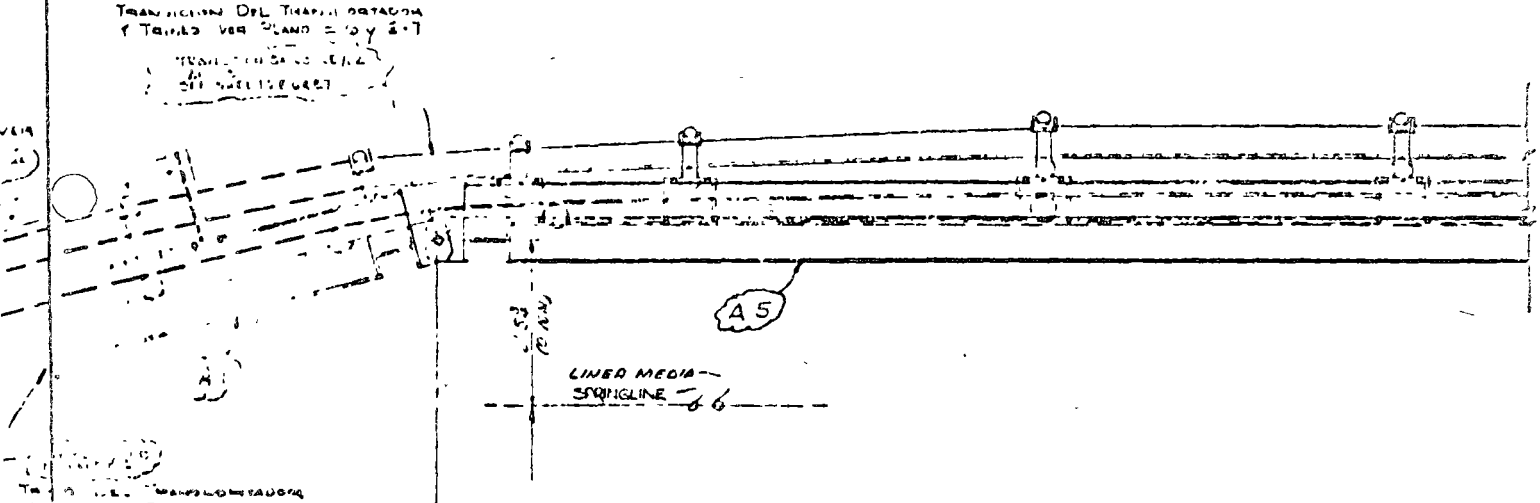


ESTRUCTURA DE TENSO

No. de Serie 002



VISTA EN PLANTA
PLAN VIEW
HORIZONTAL SECTION OF CONVEYOR
SECCION HORIZONTAL DE BANDA TRANSPORTADORA



REVISIONES	NO	FECHA	HECHA POR	DESCRIPCION

A.E. FREYRE Y ASOCIADOS S.A.
INGENIEROS CONSULTORES
MEXICO DISTRITO FEDERAL APARTADO POSTAL 7-202

NOTA:
AE FREYRE Y ASOCIADOS S.A. NO PROPORCIONA MADERA, SUJETADORES O REPARADORES DE MADERA, ESCANTILLONES DE TORNILLO, APOYOS, PENCES O ACCESORIOS DE SUJECIÓN, RO CANAL METÁLICO, LOS SUELTAS PARA CUÑAS O TOLVAS, A NIVELES SUPERIORES DE SE ESPECIFICE LO CONTRARIO EN LA COTIZACION

CLIENTE SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS
INGENIEROS GERENCIA [illegible] TIJUANA
PROYECTO [illegible] DEL TUNEL
DESCRIPCION TUNELES CIRCULARES DE 5.00 M DE DIAMETRO TONEO, BANDA TRANSPORTADORA TOLVA RECEPTORA, POLEA ANTERIOR, TRANSICION VERT.

FECHA [illegible] DIB. [illegible]
NO. DE ORDEN 75005-5 AC PLANO [illegible] REV

TORO JARVA MODELO H

LOCALIZACION DE CORTAORE

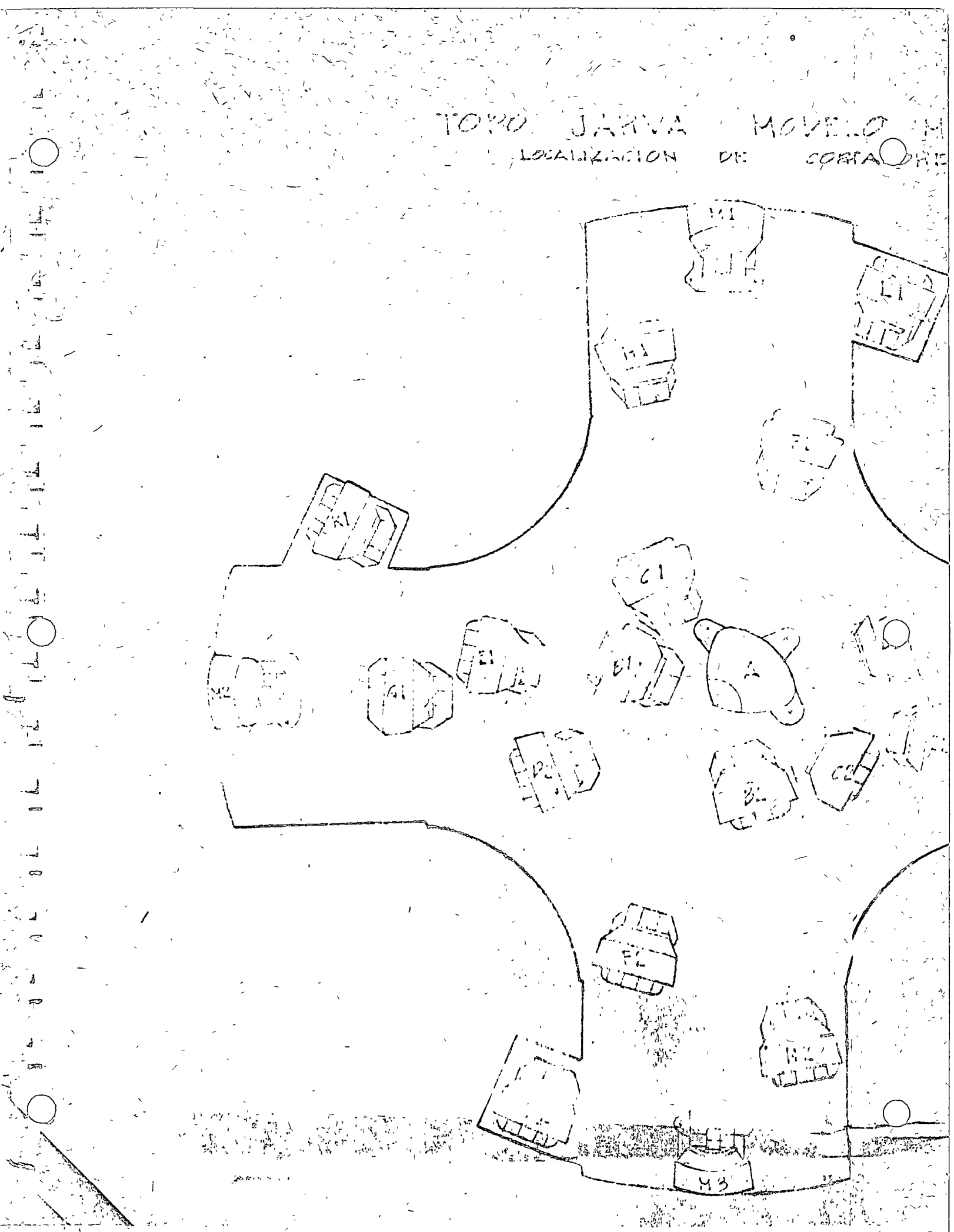
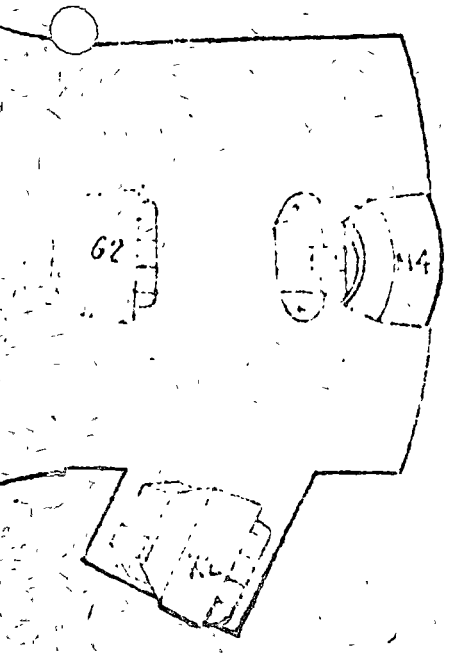


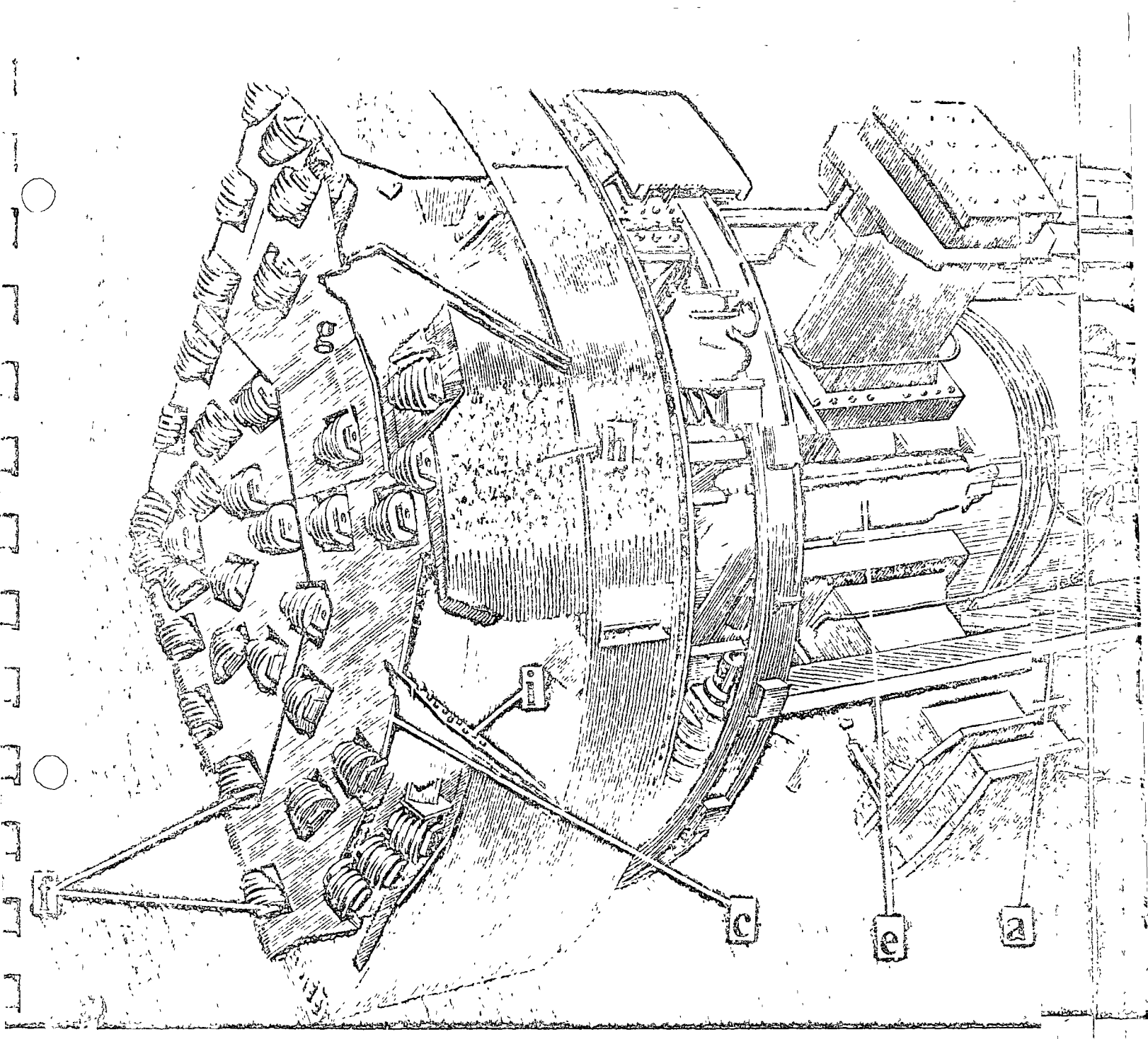
Fig. 1.



CAMBIO DE CORTAUÑAS

FECHA

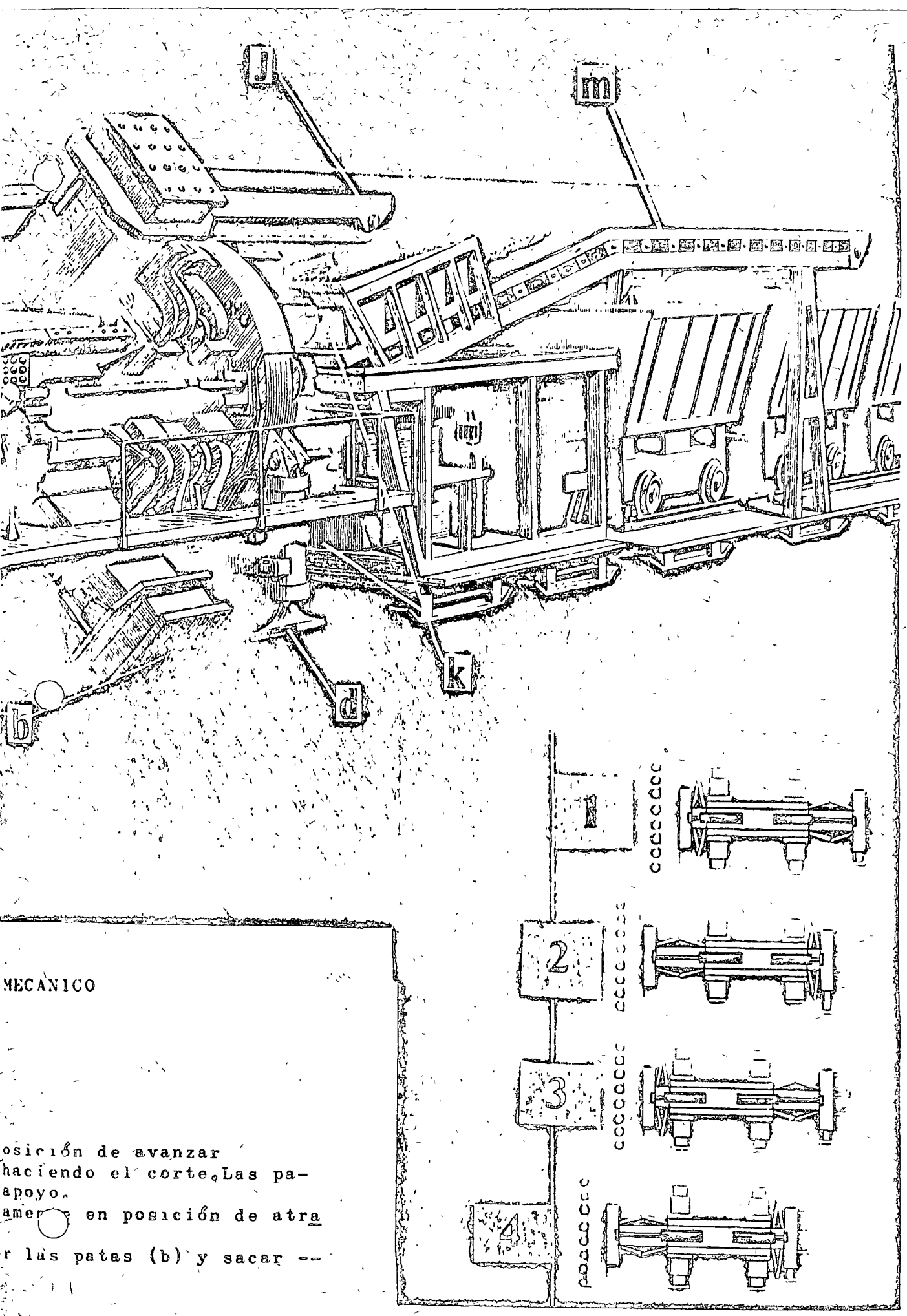
A		
B1		
B2		
C1		
C2		
D1		
D2		
E1		
E2		
F1		
F2		
G1		
G2		
H1		
H2		
K1		
K2		
L1		
L2		
M1		
M2		
M3		
M4		



a	Cuerpo topo	h	Cangilones
b	Patas de atraque	i	Raspadores
c	Cabeza giratoria	j	Banda transportadora
d	Patas de soporte	k	Motores
e	Gatos de empuje	l	Consola de control
f	Cortadores	m	Banda auxiliar de cabeza de vagone
g	Silletas	n	Extractor de polvos

COMO AVANZA LA MAQUINA

1.- Empieza ciclo de barrenación atracada con las patas (b) y la cab
2.- Termina el ciclo de barrenación. La cabeza (c) se ha movido haci
tas de atraque (b) se han retraído. Las patas de soporte (d) sal
3.- El cuerpo (a) se ha movido hacia adelante y las patas (b) son co
que contra la pared del túnel. Las patas de soporte (d) son cerr
4.- La cabeza (c) se ha movido hacia adelante cortando 55 cms. De ah
tas de soporte (d) queda como en el paso 2.



MECANICO

osición de avanzar
haciendo el corte. Las pa-
apoyo.
amen e en posición de atra

r las patas (b) y sacar --

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS
GERENCIA GENERAL ACUEDUCTO RIO COLORADO-TIJUANA, B.C.
TECATE, B. C. NORTE

INSTRUCTIVO PARA EL MANEJO DE LAS FORMAS DE CONTROL DE RENDIMIENTOS Y EFICIENCIAS EN LA PERFORACION DE TUNELES USANDO MAQUINA PERFORADORA (TOPO).-

A.- DEFINICIONES:

Se denominará EQUIPO al conjunto integrado por la máquina perforadora (TOPO) y los elementos auxiliares, estructura, banda transportadora, vagonetas locomotoras, etc., necesarios para perforar, extraer y transportar la rezaga así como para transportar y colocar las dovelas de concreto que formarán el revestimiento del túnel.

La máquina perforadora será llamada en lo sucesivo TOPO al resto equipo auxiliar.

HORAS PROGRAMADAS.- (H.P.)son las horas correspondientes al producto de las que sumen los turnos diarios por los días calendario del periodo de que se trate así, por ejemplo, en semanas normales con 6 días de trabajo y 3 turnos de 8 hrs., las H.P. serán 3X8X6=144 hrs., si se trabajara el domingo, las H.P. serán 168.

HORAS DISPONIBLES.- (H.D.)son las horas en que el equipo se encuentra en disponibilidad para efectuar el trabajo, independientemente que se use o no, dentro de las H.P.

HORAS TRABAJANDO.- (H.T.) son las horas en que el EQUIPO, con su totalidad, o parte de él, se encuentre trabajando

HORAS ATACANDO.- (H.A.) son las horas en que el TOPO avanza y el material, producto de la perforación, fluye en forma apreciable por las bandas transportadoras.

ΔL .- Incremento de longitud debido al avance del TOPO

Δt .- Incremento de tiempo empleado en el avance ΔL

$\frac{\Delta L}{\Delta t}$.- Velocidad de avance instantánea

$\frac{\Sigma \Delta L}{\Sigma \Delta t}$.- Velocidad media por turno, día, semana o acumulada durante el desarrollo de la perforación

Se considera que el EQUIPO no está en disponibilidad por cualquiera de las causas siguientes, que forman el grupo "A"

1.- M - Mantenimiento
2.- RB- Reparación banda auxiliar
3.- RV- Reparaciones varias
4.- RT- Reparación Topo
5.- CC- Cambio de cortadores

Por medio de las formas 1 y 2 anexas, sendos Inspectores determinan las horas empleadas en el desarrollo de las actividades anotadas.

H.D. quedará determinada por:

$$H.D. = H.P. - \sum_{1}^{5} A$$

El índice de disponibilidad del equipo será dado por:

$$\alpha = \frac{HD}{HP}$$

Con objeto de obtener la disponibilidad del Topo, se determinará:

$$HD' = HP - \sum_{1}^{5} A$$

$$\alpha' = \frac{HD'}{HP}$$ Indice de disponibilidad del Topo

Estando el EQUIPO disponible podrá no estar trabajando por las causas enseguida enumeradas y que constituyen el grupo "B".

1.- F.E. - Falta de energía
2.- F.P. - " " Personal
3.- F.M. - " " Materiales
4.- V. - Varios

Estas causas son ajenas a los trabajos que se estan desarrollando en el túnel y, de manera general, son atribuibles a la planeación y eficiencia de la Dirección de las Obras.

Su cuantificación, en horas, será obtenida en las columnas 1 a 3 de la Forma No. 2 por el Inspector correspondiente.

H.T. queda determinada por:

$$HT = HD - \sum_{1}^{d} B$$

$$\beta = \frac{HT}{HD}$$ Será el índice de eficiencia al nivel 1.

El Topo ataca intermitentemente y las horas atacando HA serán determinadas directamente en las columnas 1 a 3 de la Forma No. 1 pero su valor deberá corresponder con la suma de las horas empleadas, o perdidas, debidas a las causas siguientes, que forman el grupo C, y que se obtendrán de las formas 1 y 2.

1.- A.T. - Acomodo del Topo
2.- C.D. - Colocación dovelas
3.- F.T. - Falta de transporte
4.- I - Instalaciones auxiliares (aire, agua, ventilación, vias, etc.
5.- VA. - Varios

$$\gamma = \frac{HA}{HT}$$ Será el índice de eficiencia con el nivel 2

El índice γ mide la eficiencia con que las operaciones de perforación revestimiento son ejecutadas.

Se le llamará índice de trabajo IT a la combinación de la disponibilidad del equipo y las eficiencias en ambos niveles o sea

$$IT = \alpha \beta \gamma$$

B.- OBJETIVOS

a).- Obtención de los indices α, β, γ IT en periodos semanales y acumulados

b).- Obtención de las velocidades instantáneas $\frac{\Delta L}{\Delta t}$ y, principalmente, las velocidades medias en la semana, y correspondiente al avance total de la perforación (Forma No. 4).

c).- Obtener la distribución de los tiempos, semanales y acumulados, empleados o perdidos en actividades o causas relacionadas en los grupos A, B, C.- Esta información se vaciará en la Forma No.3. La suma de los porcentajes obtenidos para cada causa o evento, más el dado por IT será naturalmente de 100

d).- Formar maqueta a escala adecuada con datos de velocidades medias, los índices antes definidos, muestras de material de la formación atravesada, propiedades mecánicas del mismo etc., (abrasión, dureza, esfuerzo de ruptura, taladrabilidad)

e).- Obtener relaciones entre las velocidades instantáneas o medias, la durabilidad de los cortadores, las características de operación del Topo tales como empuje y potencia aplicada (datos que se obtienen en la Forma 1) combinandose entre si y básicamente con las propiedades mecánicas del material. Para la determinación de estas propiedades debieran obtenerse corazones en las paredes del túnel y probarse.

f).- Obtener la duración de los cortadores y el avance logrado por cada uno.

Estos datos son registrados en la forma 1 y concentrados en la 5

g).- Obtener los costos reales de la perforación y recubrimiento.

h).- Cuantificar los efectos de medidas adoptadas, que afecten el funcionamiento de la máquina, cortadores, o la organización general de los trabajos.

C.- MANEJO DE LAS FORMAS.

Es indispensable el tener 2 Inspectores, uno en el topo y otro en la zona de carga de vagonetas.

FORMA NO. 1.- La opera el Inspector del topo (1).- En la columna 1 anota la hora en que el evento principia o termina; la duración del

evento, o sea la diferencia entre su iniciación y su terminación, se anotará en la columna No. 2 precisamente en el renglón correspondiente a la hora de terminación. En la columna No. 3 se anotará el evento de que se trata (AT, CD etc.), a menos que se tenga un avance del topo, en cuyo caso se anotará la cantidad avanzada en cms., (el avance resulta facil de medir). En caso de avance, en la columna 4 y en el mismo renglón, se anotará la presión de empuje, en la 5 el amperaje tomado por los motores y en la 6 el número de la muestra obtenida.

En el gabinete se hará la suma Δt (col. 2) y ΔL (col. 3) y estas sumas se pondrán en el renglón C, el tiempo horas y decimales de hora y la distancia en metros.

En el renglón D (acumulados) se anotará la suma de las cantidades correspondientes del renglón C en el reporte de que se trate, más las que aparezcan en el renglón d del reporte inmediatamente anterior.

Se obtendrán las velocidades instantáneas máximas y mínimas y se anotarán en la parte inferior de la forma, asi como los números de las muestras correspondientes.

En la forma No. 1 deberán registrarse, aunque no exclusivamente, los tiempos correspondientes a los eventos siguientes:

GRUPO A.- M, RB, RT, CC;
GRUPO B.- FE, FP, VT
GRUPO C.- AT, CD, I, VA,

Periodicamente se comparara el avance acumulado con el cadenamiento y el tiempo total registrado con el Horómetro de la máquina y se harán los ajustes correspondientes.

FORMA NO. 2.-

En las columnas 1 a 3 se tendrá el registro de los tiempos en que el equipo se encuentre parado por causas que podrán corresponder a los grupos A o B.

En la columna 1 se anotará la hora en que un paro del equipo ocurra y la de la reanudación correspondiente; en la columna 2 la duración del paro y en la 3 la causa.

En el renglón C se anotará la suma de los tiempos perdidos (que aparecen en la columna 2) por causas del grupo A y en el renglón d se anotará la suma acumulada hasta la fecha.

En el renglón e se anotará la suma de las horas invertidas en RT y CC en el renglón f las horas acumuladas.

En el renglón g se anotará la suma de las horas perdidas por causas o eventos del grupo B y en el renglón h el acumulado correspondiente.

En la parte interior de la forma 2 se anotarán tanto las horas programadas H.P. del turno como las acumuladas hasta la fecha.

En las columnas 4 a 15, el inspector (2) anotará tiempos perdidos por causas del grupo C, que, por el sistema mismo de la operación del equipo, no puede dejar de percibir.

FORMA NO. 3.-

Es una concentración que deberá hacerse semanalmente en la que aparecen las horas empleadas o perdidas, de la semana y acumuladas, correspondientes a los eventos o causas de los grupos A, B y C; además aparece el tiempo de ataque del topo.- Los datos anteriores se encuentran en formas de horas y porcentajes del tiempo total programado.

Con los datos concentrados se podrá ver con claridad la forma en que los diferentes sucesos inciden en el avance. Además es posible cuantificar el efecto de las medidas correctivas que eventualmente se apliquen.

Los datos de esta forma se obtienen de manera directa de las formas 1y 2 correspondientes a la semana.

FORMA NO. 4.-

En ella se concentran, semanal y en forma acumulada las horas programadas, disponibles, trabajando y atacando, así como los diferentes índices, velocidades medias de avance y velocidades máximas y mínimas, tanto de la semana como las alcanzadas en todo el desarrollo de trabajo.

En esta forma se aprecia, en forma clara, la eficiencia en los dos niveles antes mencionados y su variación. Por supuesto también permite cuantificar rápidamente la eficacia de medidas correctivas aplicadas.

FORMA NO. 5.-

Proporcionada por los fabricantes del topo sirve para llevar el control de duración y metros avanzados por cada cortador.

Habrá una tarjeta (F5) para cada posición de cortador y en ella aparecen las fechas de colocación y retiro, el número de serie del cortador colocado, las horas de entrada y salida, su duración, los cadenamientos de entrada y salida, así como los metros avanzados. Además se tiene una columna para observaciones.

Se anexan: Formas de 1 a 5.

JORGE GAMBOA CH.

Forma No. 1

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS

GERENCIA ACUEDUCTO RIO COLORADO - TIJUANA

Control de Obra — Tunel No. — Fecha _____

Est. Inicial _____ — Turno _____

Est. Final _____

	(1) Hora	(2) Δt	(3) ΔL ó Evento	(4) Empujo	(5) Amp.	(6) Muestra	(7) OBSERVACIONES
(a)							
(b)							
(c)	Σ						
(d)	Σ Acum.						

$\left(\frac{\Delta L}{\Delta t}\right)_{Max.} =$ $\left(\frac{\Delta L}{\Delta t}\right)_{Min} =$

Muestra No. Muestra No. INSPECTOR _____

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS

Forma No. 2

GERENCIA ACUEDUCTO RIO COLORADO - TIJUANA

CONTROL DE OBRA

TUNEL No. 2

FECHA Jun. 7

EST. INICIAL 0+260.21

TURNO 1ro

EST. FINAL 0+260.30

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
Hora	Δt	Evento	COLOCACION DOVELAS			MOVIMIENTO TRENES			INSTALACIONES			VARIOS			OBSERVACIONES
			Hora	Δt	Δl	Hora	Δt	No. Vag.	Hora	Δt	Evento	Hora	Δt	Evento	
700															
830															
920	50	RB													
11.25															
12.50	85	CC													
13.45															
13.55	10	FM													
14.10															
14.20	10	FE													
14.30															
14.45	15	RT													
15 00															

Σ (HP - HD)	2.50
ΣAc (HPa - HDa)	129.85
Σ (HP' - Hd')	1.67
ΣAc Hp'ac - Hd'ac)	122.82
Σ (HD - HT)	0.33
ΣAc (HDac - HTac)	15.60
Σ (HT - HA)	
Σ Ac (HTAC-HAAC)	

HP = 8

HP_A = 516

INSPECTOR.- [illegible]

FORMA 3

S R H

ACUEDUCTO RIO COLORADO - TIJUANA

TUNEL Nº ___ PERIODO ___ AL ___ DE ___

DISTRIBUCION DE TIEMPOS

GRUPO	EVENTO	TIEMPO PERIODO	%	TIEMPO ACUMULADO	%	OBSERV.
A	M					
	RB					
	RV					
	RT					
	CC					
B	FE					
	FP					
	FM					
	VT					
C	AT					
	CD					
	FT					
	I					
	VA					
	A					
SUMAS						

FORMA 1

S.R.H.

ACUEDUCTO RIO COLORADO - TIJUANA

TUNEL Nº ___ PERIODO DEL ___ AL ___ DE ___ 19

CONCENTRACION DATOS

CONCENTRACION			
	PERIODO	ACUM.	OBSERV.
HP			
HD			
HD'			
HT			
HA			
α			
α'			
β			
γ			
IT			
$\frac{\Sigma \Delta L}{\Sigma \Delta t}$			
$\left(\frac{\Delta L}{\Delta t}\right)_{max.}$			
$\left(\frac{\Delta L}{\Delta t}\right)_{min}$			
ΔL			

OBSERV.-

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS

GERENCIA ACUEDUCTO RIO COLORADO - TIJUANA

Control de Obra | Tunel No. | Fecha 6/11/76

Est. Inicial 0+398.54 | Turno 24

Est. Final 0+402.96

(1) Hora	(2) At	(3) Al 6 Evento	(4) Empuje	(5) Amp.	(6) Muestra	(7) OBSERVACIONES
3:00						
3:01	1	1	900	15	2543	
3:03	2	CC				REV. CONT
3:06	3	AT				
3:59	53	54	900 1000	60 80	2547	
4:02	3	AT				
4:27	25	28	1000 1100	70 80	2551	
4:56	29	FT				
5:18	22	28	1000 1100	70 - 85	2551	
5:21	3	AT				
5:59	38	56	1000-1300	65 85	2552	
6:01	2	AT				
6:40	39	56	1000-1300	65 75	2553	
6:43	3	AT				
6:55	12	16	1300	85	2561	
7:00	5	F.T.				NO SE ENCONTRABA DENTRO DEL TUNEL
7:02	2	2	1300	60	2561	
7:13	11	VA →			→	SE ATORA BANDA DE TRANSPORTADOR
7:15	2	3	1300	85	2561	EL EJECTOR DE RAVELLAS
	57	VA →			→	SE ATORA BANDA RATICIDA DE RESAGO
8:17	5		1000	60	2561	EN EL EJECTOR
8:20	3	F.T.				SE DESCOMPUSO LA LOCOMOTORA
8:39	19	31	1300	90	2562	
8:42	3	AT				
9:16	34	56	1300	90	2563	
9:19	3	AT				
9:53	34	49	1300	85	2563	
9:58	5	F.T.				SE DESCOMPUSO LOCOMOTORA
10:00	2	AT				
10:35	35	56	1300	85	2571	
10:52	17	CC				REV. CONT.
11:00	8	RV	HP=			SOLTANDO TOLVA DEL TRINEO
	480	490	HR	2739.5		REG. 4.42
	321					HORÓMETRO INICIAL - 5.218.5
(c) Σ	5.35	4.42				FINAL - 5.293
(d) Σ Acum.	515.77	395.46			$\frac{\Delta L}{\Delta t}$ = 0.88 M/H (TURNO)	
					$\frac{\Delta L}{\Delta t}$ = 0.66 M/H (ACUM)	

$\left(\frac{\Delta L}{\Delta t}\right)_{Max}$ = .98 $\left(\frac{\Delta L}{\Delta t}\right)_{Min}$ = .61 I.T. = 0.68 (TURNO) I.T. = 0.21 (ACUM)

Muestra No. 256 (2) Muestra No. 254 (3) INSPECTOR [illegible]

S.R.H.

ACUEDUCTO RIO COLORADO - TIJUANA

CONTROL DE CORTADORES

OPERADOR _____ POSICION CORTADOR _____

PROYECTO _____

MAQUINA MODELO-JARVA MK _____ DIAMETRO-CABEZA _____

FECHA	SERIE	TIPO	TIEMPO		HORAS	ESTACION		METROS	OBSERVACIONES
			ENTRA	SALIDA	CORTADOR	ENTRADA	SALIDA	CORTADOR	

FORMA 3
12

GERENCIA GENERAL ACUEDUCTO RIO COLORADO TIJUANA.

CONTROL OBRA — TUNEL NO 2

PERIODO DEL 26 ABRIL AL 1º MAYO . 1976. SEMANA NO

DISTRIBUCION DE TIEMPOS.

GRUPO	EVENTO	TIEMPO				OBSERVACIONES.
		PERIODO	%	ACUMULADO	%	
A	M	—	—	34.59	0.68	
	RB	—	—	64.56	1.28	
	RV	0.08	0.06	141.43	2.80	
	RT	54.05	45.04	1202.98	23.83	Soldando sillatas y cambio de la M.
	CC	33.97	28.31	1378.81	27.31	Cambio al nuevo tipo y primer cambio trabajado.
B	FE	0.53	0.44	61.16	1.21	
	FP	—	—	98.24	1.94	
	FM	—	—	459.06	9.09	
	VT	—	—	22.07	0.44	
C	AT	2.77	2.31	150.89	2.99	
	CD	—	—	—	—	
	FT	1.52	1.27	84.77	1.68	
	I	—	—	104.85	2.08	
	VA	1.83	1.53	137.12	2.72	Bombeo interrumpido atoque.
	HA	25.25	21.04	1108.47	21.95	
SUMAS		120.00	100.00	5049.00	100.00	

S. R. H

GERENCIA GENERAL ACUEDUCTO RIO COLORADO TIJUANA

CONTROL DE OBRA — TUNEL No 2

PERIODO DEL 26 ABRIL AL 1º MAYO 1976. SEMANA No. 40

CONCENTRACION DE DATOS

	PERIODO	ACUMULADO	OBSERVACIONES
HP	120.00	5049.00	NO SE TRABAJO EL SABADO 1º MAYO.
HD	31.90	2226.63	
HD'	31.98	2467.21	
HT	31.37	1586.10	
HA	25.25	1108.47	
α	0.27	0.44	
α'	0.27	0.49	
β	0.98	0.71	
γ	0.80	0.70	
IT	0.21	0.22	
α ΔL/ΔT	0.72	0.65	
ΔL max/ΔT	1.22; M-570 EST. 0+724.78	1.79; M-179 EST. 0+281.13	
ΔL min/ΔT	0.48; M-563 EST. 0+244.37	0.06; M-107 EST. 0+173.86	
ΔL	18.13	724.77	EST. 0+731.97.

NOTAS. EL DIA 27 SE CAMBIO A PINFORIE CON LOS NUEVOS COMPRESORES PDED. A LAS 9.24 HRS SE LES VOLTEARON LOS INSECTOS A DOS M. SE CONSIG

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS

GERENCIA. GRAL. ACUEDUCTO. RIO. COLORADO.-TIJUANA

CONTROL DE OBRA

PERIODO DEL 3 AL 8 MAYO 1976

TUNEL 2

SEMANA NO. 41

Forma 2°

14

DISTRIBUCIÓN DE TIEMPO

GRUPO	EVENTO	TIEMPO PERIODO	%	ACUMULADO	%	OBSERVACIONES
A	M	1.30	0.90	35.89	0.69	
	R.B	0.50	0.35	65.06	1.25	
	RV	0.13	0.09	141.56	2.73	
	RT	25.98	18.04	1228.96	23.67	BANDA - RASPADOR - TOLVA
	CC	0.97	0.68	1379.78	26.57	
B	FE	26.08	18.25	87.44	1.68	FALLA MECANICA PLANTA
	FP	1.72	1.20	99.96	1.92	
	FM	—		459.06	8.84	
	VT	1.17	0.81	23.24	0.45	
C	AT	2.77	1.92	153.66	2.96	
	CD					
	FT	3.75	2.60	88.52	1.70	
	I	8.37	5.81	113.22	2.18	TUBERIAS DESAGUE.
	V.A	44.48	30.89	181.60	3.50	PIEDRAS FRACTURAS - BOMBEO
	H.A	26.58	18.46	1135.05	21.86	
SUMAS		144	100.00	5193	100.00	

GERENCIA GRAL ACUEDUCTO RIO COLORADO.- TIJUANA
CONTROL DE OBRA TUNEL Nº

PERIODO DEL 3 AL 8 MAYO 1976 SEMANA Nº 41

CONCENTRACION DE DATOS			
	PERIODO	ACUMULADO	OBSERVACIONES
H.P	144.00	5793.00	
H.D	115.12	2341.75	
H.D'	117.05	2584.26	
H.T	85.95	1672.05	
H.A	26.58	1135.05	
α	0.80	0.45	
α'	0.81	0.50	
β	0.75	0.74	
γ	0.31	0.68	
I.T	0.18	0.22	
$\frac{E\ AL}{E\ AC}$	0.70	0.65	
MAX $\frac{AL}{AC}$	1.49; M-587 0+744.81	1.90; M-179 0+281.13	
$\frac{AL}{AC}$ MIN	0.24; M-592 0+749.88	0.06; M-109 0+173.86	
ΔL	18.49	742.96	EST. 0+750.46.

REPORTE REAL

OBSERVACIONES. NOTAS:

En Est. 0+743 se amparó una falla. y continuan las filtraciones. Dificultades en el avance por el terreno y por la intermitencia del bombeo.

S . R . T

FORMA 3

GERENCIA. GRAL. ACUEDUCTO. RIO COLORADO. TIJUANA

CONTROL DE. OBRA — TUNEL 2

PERIODO DEL 24 AL 29 DE MAYO 1976 — SEMANA. NO. 4

GRUPO	MUESTRA	TIEMPO PERIODO	%	ACUMULADO	%	OBSERVACIONES
A	M	1.12	0.78	38.01	0.68	
	R.B	15.65	10.87	82.31	1.47	TOLVA, ESTRUCTURA Y DE PAVIO BANDA.
	R.V	3.20	2.22	147.90	2.63	
	R.T	17.30	12.01	1319.84	23.46	GAVILANES RAPADOR EN TOLVA.
	C.C	18.73	13.01	1460.74	25.97	
B	F.E			92.66	1.65	
	F.P	3.77	2.62	110.26	1.96.	
	F.M	5.33	3.70	464.72	8.26	
	V.T			23.24	0.41	
C	A.T	4.08	2.82	167.87	2.98	
	C.D					
	F.T	2.67	1.85	96.83	1.72	
	I	0.18	0.13	113.68	2.02	
	V.A	15.47	10.74	220.03	3.91	HOMBRO Y DIFICULTADES CON LA BANDA POR MAL ALINE.
	H.A	56.52	39.25	1286.91	22.88	
SUMAS.		144.00	100.00	5625.00	100.00	

B.K.M.

GERENCIA GRAL. ACUEDUCTO. RIO COLORADO TIJUANA

CONTROL DE OBRA — TUNEL. Nº 2

PERIODO DEL 24 AL 29 MAYO 1976 — SEMANA Nº 4

CONCENTRACIÓN DE DATOS			
	PERIODO	ACUMULADO	OBSERVACIONES
H.P	144.00	5625.00	
H.D	88.00	2576.20	
H D'	107.97	2844.42	
H.T	78.90	1885.32	
H.A	56.52	1286.9[illegible]	
α	0.61	0.46	
α'	0.75	0.51	
β	0.90	0.73	
γ	0.72	0.68	
I.T	0.39	0.23	
$\frac{\varepsilon \Delta L}{\varepsilon \Delta T}$	0.44	0.63	
$\frac{\Delta L}{\Delta T}$ MAX	0.63; M-648 EST. 04+803.56	1.90; M-179 EST. 04+281.13	
$\frac{\Delta L}{\Delta T}$ MIN	0.19; M-641 EST. 04+797.56	0.06; M-109 EST. 04+173.86	
ΔL	25.13	811.17	EST. 04+818.67.

NOTAS:

TERRENO LIGERAMENTE FRACTURADO.
FILTRACIONES ESCASAS.

S.R.H.

FORMA-3

GERENCIA GRAL ACUEDUCTO RIO COLORADO-TIJUANA

CONTROL DE OBRA

TUNEL 2

PERIODO DEL 31 DE MAYO AL 5 DE JUNIO 1976

SEMANA

GRUPO	VIGILAR	TIEMPO PERIODO	%	ACUMULADO	%	OBSERVACIONES.
A	M	3.02	2.10	41.03	0.71	
	R.B	19.20	13.33	101.51	1.76	ROTURA BANDA Y SOPORTES DESPERFECTOS POR CURVAS.
	R.V	6.65	4.62	154.55	2.68	BOMBA AGUA TOPO - FALLAS EN TABLERO CONTROL
	R.T	41.35	28.72	1361.19	23.60	CANJILONES - ESCUDO SISTEMA HIDRAULICO.
	C.C	12.20	8.47	1472.74	25.53	
B	F.E	—		92.56	1.61	
	F.P	3.90	2.71	114.16	1.98	
	F.M	—		464.72	8.05	
	V.T	1.75	1.22	24.99	0.43	
C	A.T	8.52	2.44	171.39	2.97	
	C.D	—	-	-	-	
	F.T	2.02	1.40	98.85	1.71	
	I	0.87	0.60	114.55	1.99	
	V.A	2.97	2.06	223.00	3.87	BOMBEO FILTRACIONES EN CABEZA TOPO.
	H.A	46.55	32.33	1333.46	23.11	
SUMAS:		144	100.00	5759.00	100.00	

S.R.H.

FORMA-7

GERENCIA GRAL. ACUEDUCTO RIO COLORADO-TIJUANA

19

CONTROL DE OBRA

TUNEL 2

PERIODO DEL 31 DE MAYO AL 5 DE JUNIO 1976

SEMANA 45

CONCENTRACIÓN DE DATOS

	PERIODO	ACUMULADO	OBSERVACIONES
H.P	144	5769	
H.D	61.58	2637.78	
H.D'	108.45	2934.87	
H.T	55.93	1941.25	
H.A	46.55	1333.46	
α	0.43	0.46	
α'	0.63	0.51	
β	0.91	0.74	
γ	0.83	0.69	
I.T.	0.32	0.23	
$\frac{\Sigma \Delta L}{\Sigma \Delta t}$	0.38	0.62	CORTADORES DESGASTADOS. TOPADO CON LIG. FRACTURA. FALLA SIST. HIDR.
$\frac{\Delta L}{\Delta t}$ MAX	0.81; M-688 Est. 0+835.26	1.90; M-179 0+281.13	
$\frac{\Delta L}{\Delta t}$ MIN	0.24; M-677 0+827.19	0.06; M-109 0+173.86	
ΔL	17.86	829.03	EST. 0+836.53.

NOTAS:

EL AVANCE FUE CORTO POR ESTAR YA DESGASTADOS LOS CORTADORES Y NO PODER LEVANTAR PRESION EL SISTEMA HIDRAULICO Y PRESENTARSE ALGUNAS FRACTURAS LIGERAS.

CASO A

5 20

PRUEBAS.

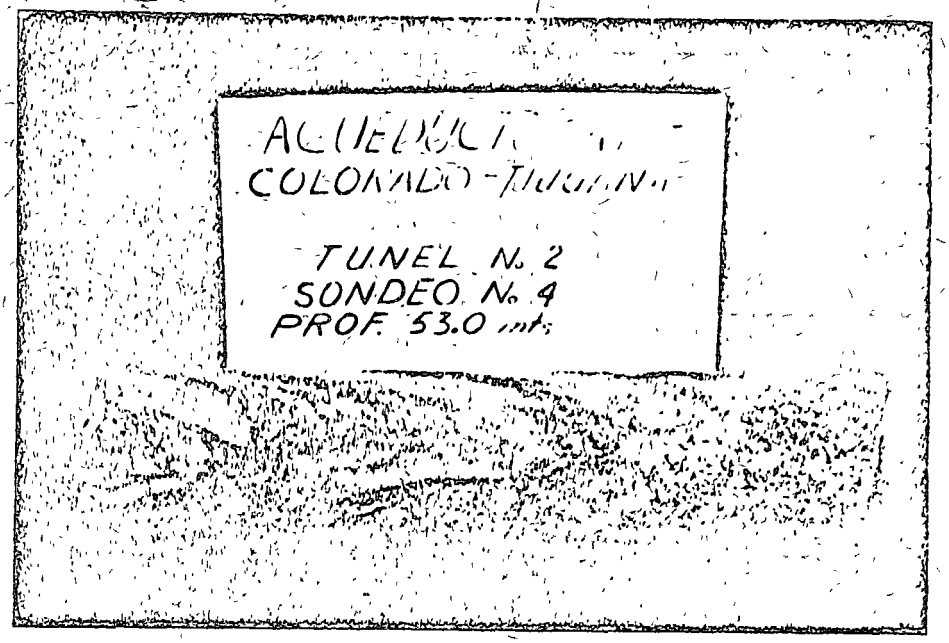
Los datos referentes a la localización y clasificación petrográfica de los materiales recibidos se presentan en la tabla 1.

TUNEL	SONDEO	CADENAMIENTO	PROFUNDIDAD	IDENT. DE LAB.	CLASIFICACION
2	2	4 + 950	2.15 m	76/161	Gneis de micas
2	4	1 + 400	53.00 m	76/162	Gneis de micas
3	2	3 + 750	20.00 m	75/163	Diorita cuarcífera
3	3	0 + 300	20.00 m	75/164	Diorita cuarcífera

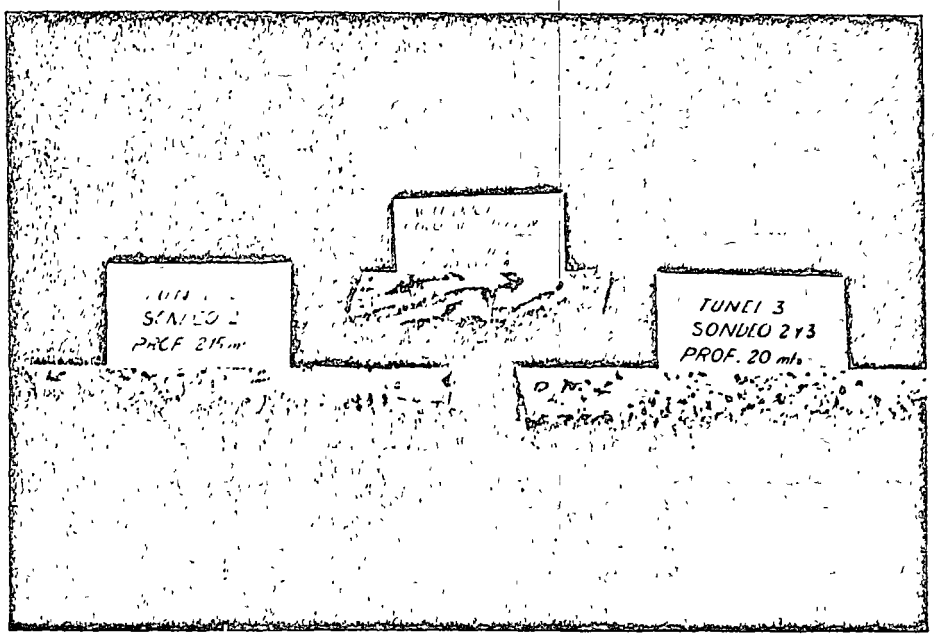
TABLA 1

Las pruebas programadas en estos materiales, incluían la ejecución de ensayes triaxiales, de corte directo y de permeabilidad, pero debido a que el diámetro de las muestras obtenidas de los sondeos estaba entre los diámetros BX (4.12 cm) y NX (5.39 cm), no fué posible realizar esas pruebas, ya que las cámaras triaxiales y el anillo de permeabilidad tienen precisamente los diámetros BX y NX. Por esta causa, únicamente se efectuaron pruebas de compresión simple midiendo deformaciones para la determinación del módulo de elasticidad, pruebas de tensocompresión (tipo brasileño) y pruebas de porosidad.

Los resultados obtenidos de estos ensayes se presentan en la tabla



FOTOGRAFIA 1.- Material clasificado como gneis de micas, en el que se aprecia claramente las vetas de mica y su orientación.



FOTOGRAFIA 2.- Materiales recibidos de los sondeos. A la izquierda el gneis de micas masivo, a la derecha la diorita cuarcífera y al fondo el gneis de micas en el que se notan claramente la orientación de sus vetas.

TUNEL	SECTOR	MUESTRA	PESO VOLUMETRICO SECO T/m^3	RESISTENCIA A LA TENSION Kg/cm^2	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE Kg/cm^2	MODULO DE ELASTICIDAD Kg/cm^2	CLASIFICACION ROCA INTACTA
2	2	1	2.604	135.9			
2	2	2	2.782		2043.1	339428	BL
2	2	3	2.815		2450.1	257516	AL
2	2	4	2.818		1773.4	410655	BM
2	4	5	2.631		787.1	164145	CM-CL
2	4	6	2.655		651.3	137853	CM-CL
3	2	7	2.655		1514.4	255106	BL
3	2	8	2.652		1455.1	304457	BM
3	2	9	2.654		1542.2	250245	BL
3	2	10	2.654		1052.6	158758	CL
3	3	11	2.655		1353.8	197832	BL
3	3	12	2.674	75.4			
3	3	13	2.680		752.5	152855	CM-CL
3	3	14	2.670		1059.5	245739	CM

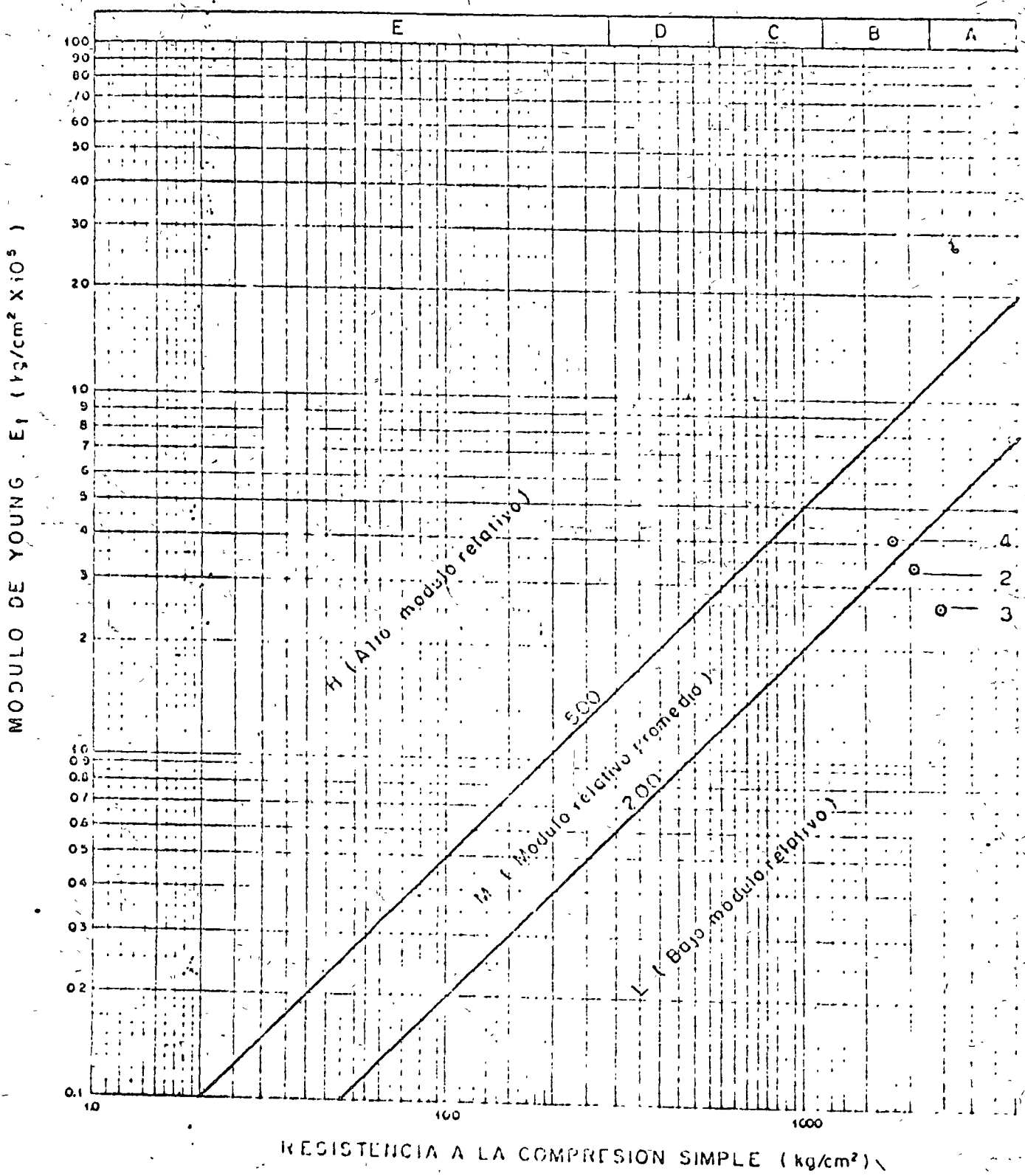
TABLA 2. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.

7950 A

DIRECCION DE PROYECTOS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL
CASO A MECANICA DE ROCAS

CLASIFICACION DE ROCA INTACTA

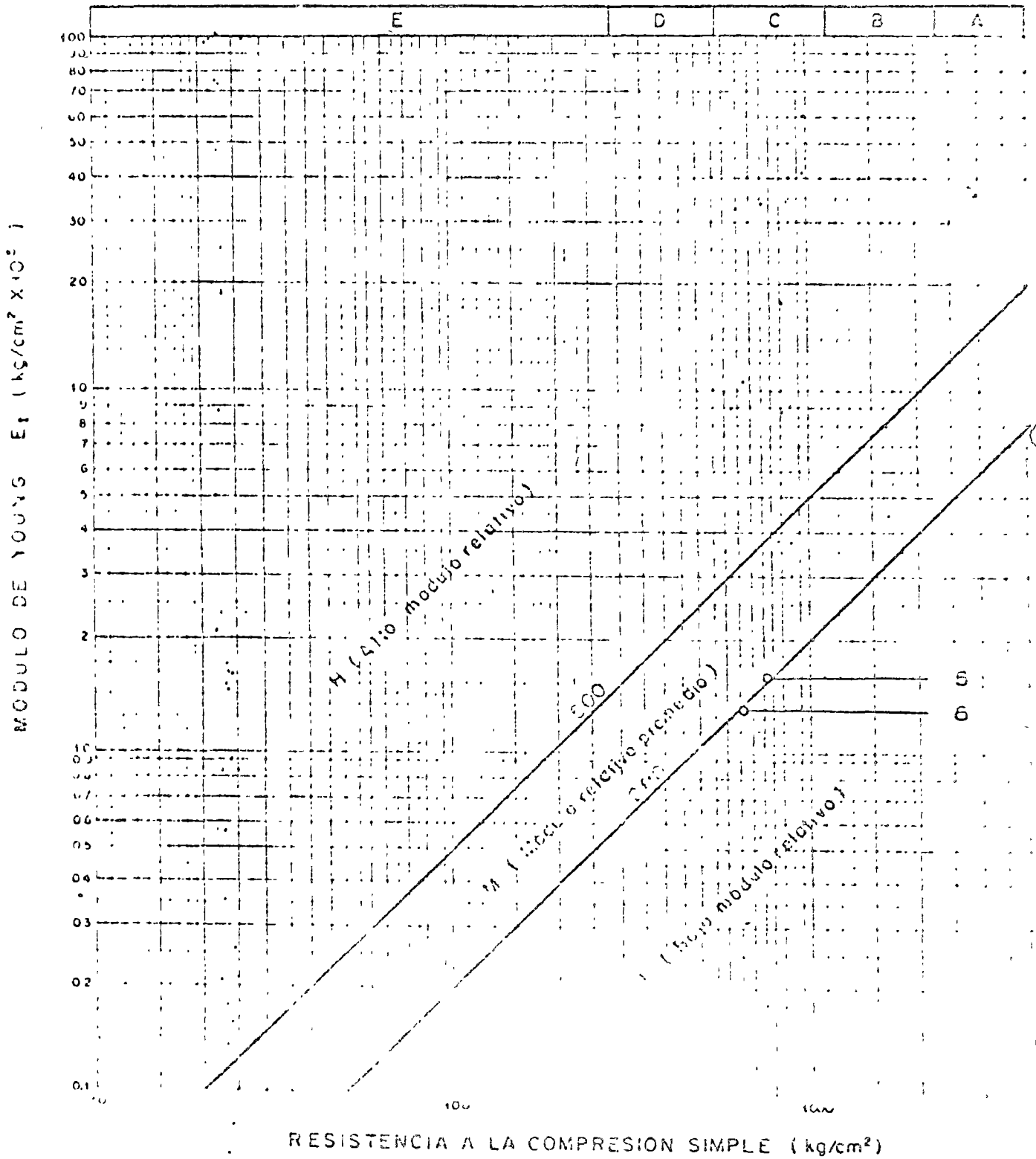
Procedencia Acueducto Río Colorado, B.C. Identificacion de Lab. 76/101
Banco Túnel 2 Pozo Sondeo 2 Profundidad 215 m
Muestra 2, 3, 4 Est. 4 + 950 Fecha marzo 1976



DIRECCION DE PROYECTOS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL
CASO A MECANICA DE ROCAS

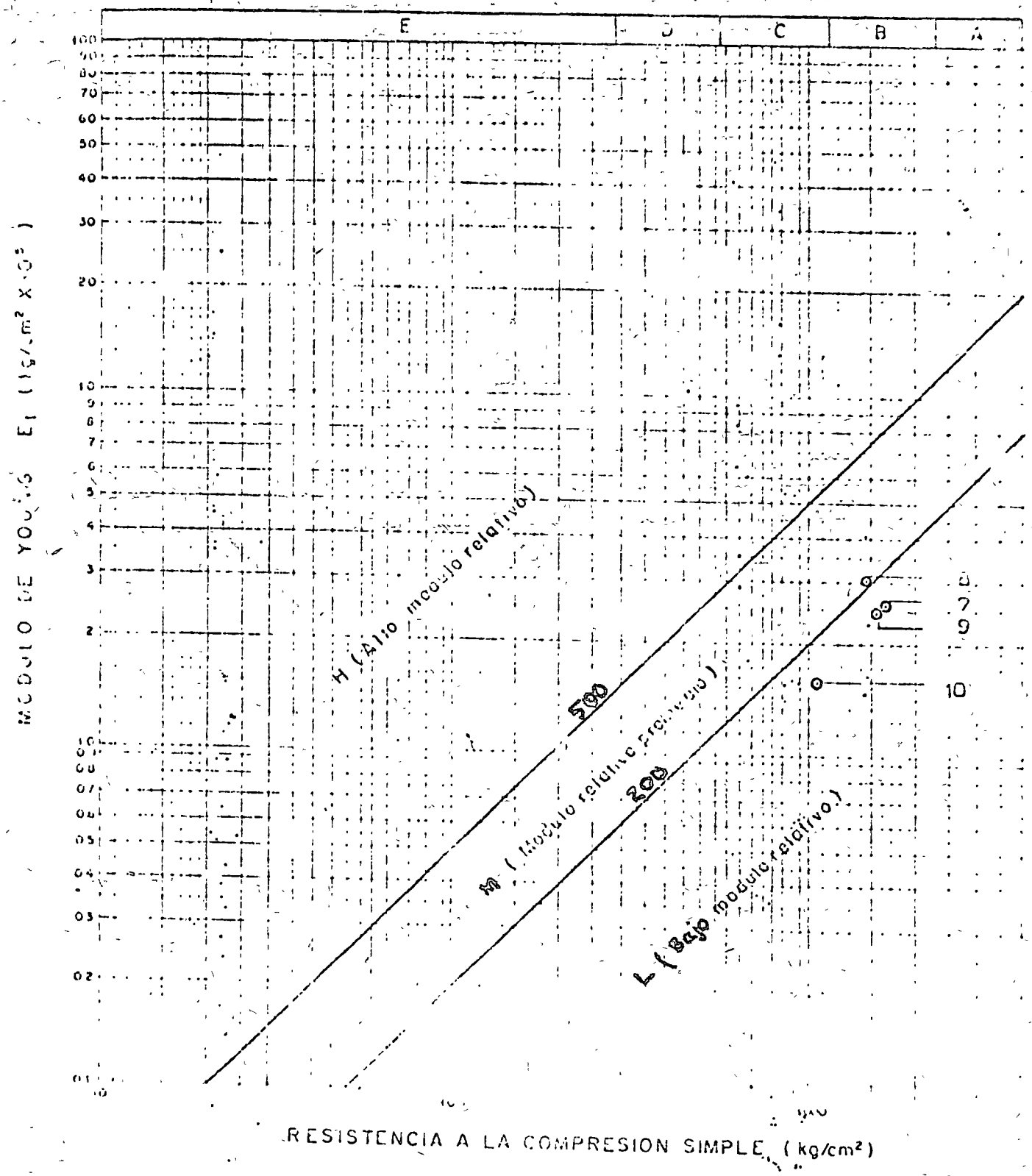
CLASIFICACION DE ROCAS INTACTAS

Procedencia Acueducto Río Colorado, R.C. Identificación de Lab 70/102
Banco Túnel 2 Pozo Sondeo 4 Profundidad 530 m
Muestra 5, 6 Est. 1 + 400 Fecha Marzo 1973



DIRECCION DE PROYECTOS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL
CASO A MECANICA DE ROCAS
CLASIFICACION DE ROCA INTACTA

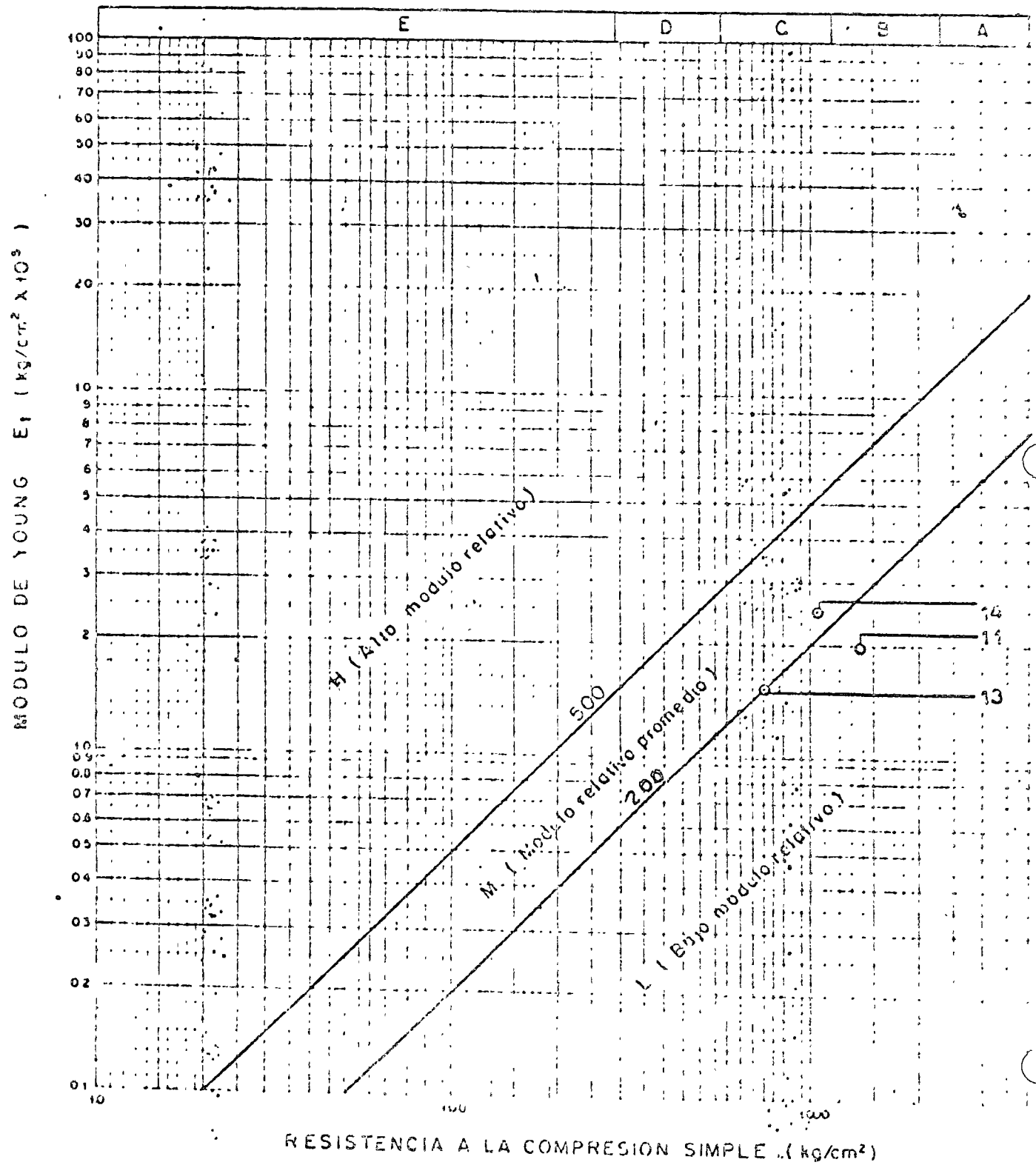
Procedencia ... Acueducto Río Colorado, B.C. ... Identificación de Lab 75/103
Banco ... Túnel 3 ... Pozo ... Sondeo 2 ... Profundidad ... 20.0 m
Muestra 7, 8, 9, 10 ... Est. 3 + 750 ... Fecha ... marzo 1976



DIRECCION DE PROYECTOS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL
CASO A MECANICA DE ROCAS

CLASIFICACION DE ROCA INTACTA

Procedencia .. Acueducto Río Colorado, B.C. ..... Identificacion de Lab . 76/164
Banco ... Túnel 3 ..... Pozo . Sondeo 3 ..... Profundidad .. ... 20.0 m .....
Muestra . 11, 13, 14 ..... Est. ....0 + 300 ..... Fecha ..marzo 1976. ... ...



SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS

GERENCIA GENERAL ACUEDUCTO RIO COLORADO - TIJUANA B.C.

LABORATORIO DE MATERIALES

CILINDRO No.	Km.	EXTRACCION MIN.			PRUEBA DUREZA SHORE		COLOR
1	0+018.73	10			69,72,72,77,70,72,75,75 80,80,82,86,82,83,85,85,84 54,55	76	GRIS OSCURO GRIS CLARO NEGRO
2	0+018.13	10			85,83,78,72,70,80,82,84,84 55,54,53		GRIS (CLARO Y OSC) NEGRO
3	0+052.04	9			95,90,95,95,95,97,97 — 50,65,62,64,68,72,71	95	CLARO GRIS OSCURO
4	0+052.04	9			95,97,97,94,97,100,94,89,95,97 62,62,60		CLARO OSCURO
5	0+172.00	30			99,98,98,102,95,96,95,97,105,102		CLARO
6	0+172.00	30			90,98,95,93 102,102,106,102,100,106		CLARO GRIS CLARO
7	0+172.00	33			102,101,99,102,102		CLARO
8	0+172.00	32			95,102,95,93,103,99,103,105		CLARO

CASO B.

DETERMINACION DEL MODULO ELASTICO Y RESISTENCIA A COMPRESION UNIAXIAL EN NUCLEOS DE ROCA PROCEDENTES DE LA UNIDAD MOLANGO DE MINERA AUTLAN, ESTADO DE HIDALGO.

1. OBJETIVO

Se llevaron a cabo ensayes de laboratorio para determinar la resistencia a la compresión uniaxial y el módulo elástico tangente inicial en núcleos de roca procedentes de la Unidad Molango de Minera Autlán, Estado de Hidalgo. Así mismo, se estableció la clasificación de la roca intacta desde el punto de vista de resistencia y deformabilidad.

2. PROCEDIMIENTO

Se siguieron los lineamientos y recomendaciones dados por la Comisión de Estandarización de Pruebas de Laboratorio y de Campo de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas, I.S.R.M., (Documento No. 1, Oct/72). Las pruebas se llevaron a cabo en una máquina marca AMSLER de 100 toneladas de capacidad con sensibilidad de aproximación de 100 kg. Además, se empleó un anillo de 2.5 toneladas de capacidad para determinar cargas axiales menores de 2000 kg. En la medición de las deformaciones se utilizaron extensómetros eléctricos (strain gages) tipo EA-06-250 BF-350 marca Micromeasurements .

3. PRUEBAS EFECTUADAS

De los núcleos recibidos, se elaboraron ocho especímenes : dos de ellos se rompieron durante el proceso de recti

ficación de las caras; el espécimen número 1 falló bajo una carga muy baja (150 kg) siguiendo una discontinuidad ya existente en el núcleo. De los cinco especímenes restantes, uno se llevó a la rotura sin medir deformaciones, con objeto de conocer el orden de magnitud del esfuerzo último y programar debidamente las pruebas para la determinación del módulo elástico de los cuatro especímenes restantes.

4. RESULTADOS

De los especímenes probados se obtuvo como esfuerzo de rotura un promedio de 2 221 kg/cm2 con un valor máximo de 2717 kg/cm2 y un valor mínimo de 1720 kg/cm2 ; el módulo elástico tangente inicial promedio fué de 8.11×10^5 kg/cm2, con un valor máximo de 9.39×10^5 kg/cm2 y un valor mínimo de 6.65×10^5 kg/cm2.

La rotura que se presentó en los especímenes ensayados fué del tipo frágil ; tres de los especímenes se desintegraron casi totalmente al ocurrir la rotura; los otros dos especímenes presentaron un desconchamiento longitudinal. Los resultados de las pruebas realizadas se presenta en la tabla adjunta.

5. CONCLUSION

Los especímenes de roca ensayados tienen características de alta a muy alta resistencia con módulo relativo de

valor medio. Se concluyó que la roca posée una estructura compacta. Esto resulta compatible con el valor de la dureza medido con el Escleroscopio de Shore que resultó igual a 80 unidades.

México, D.F., a 22 de Julio de 1977.

Formularon

Ing. José Luis León T.

Ing. M. Roberto Ocampo F.

Revisó

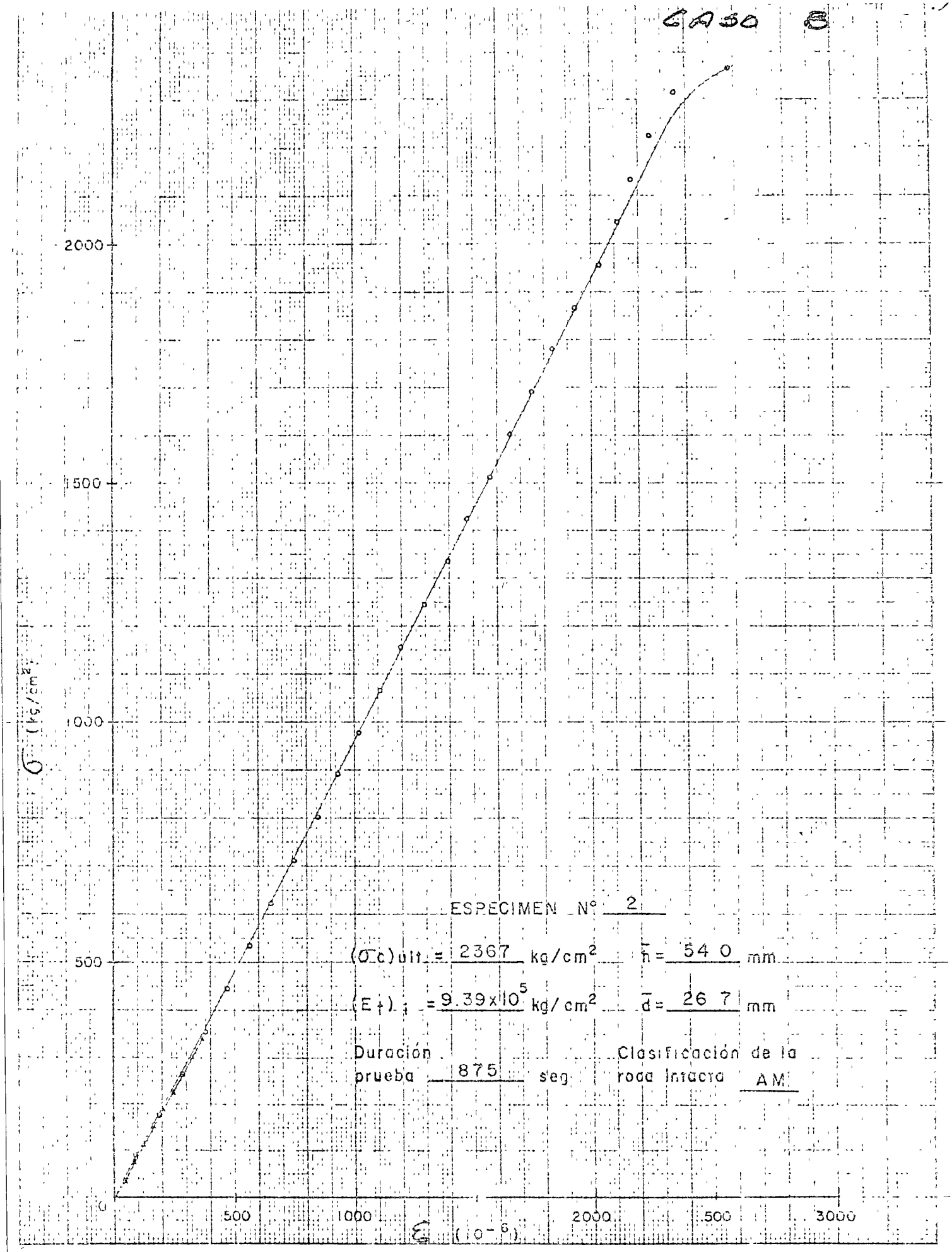
Ing. Roberto Sánchez T.

TABLA 1. RESISTENCIA A LA COMPRESION UNIAXIAL Y MODULO TANGENTE INICIAL DE ESPECIMENES DE ROCA PROCEDENTES DE LA UNIDAD MOLANGO DE MINERA DE AUTLAN, ESTADO DE HIDALGO.

ESPECIMEN NO.	$\bar{h}$ (mm)	$\bar{d}$ (mm)	DURACION PRUEBA (Seg)	$(\sigma_c)_{ult}$ (kg/cm2)	$(E_t)_i$ (kg/cm2)	CLASIFICACION DE LA ROCA INTACTA *
1	56.1	26.7	15	27	-	-
2	54.0	26.7	875	2367	9.39×10^5	AM
3	63.6	26.9	1400	2717	-	-
4	58.2	26.7	760	2122	8.52×10^5	BM
5	56.9	26.7	764	2179	7.89×10^5	BM
6	53.5	27.0	620	1720	6.65×10^5	BM

* De acuerdo con la clasificación dada por Deere y Miller basada en la resistencia a la compresión uniaxial y el módulo relativo $(E_t)_i$ / $(\sigma_c)_{ult}$

CASO B



ESPECIMEN N° 2

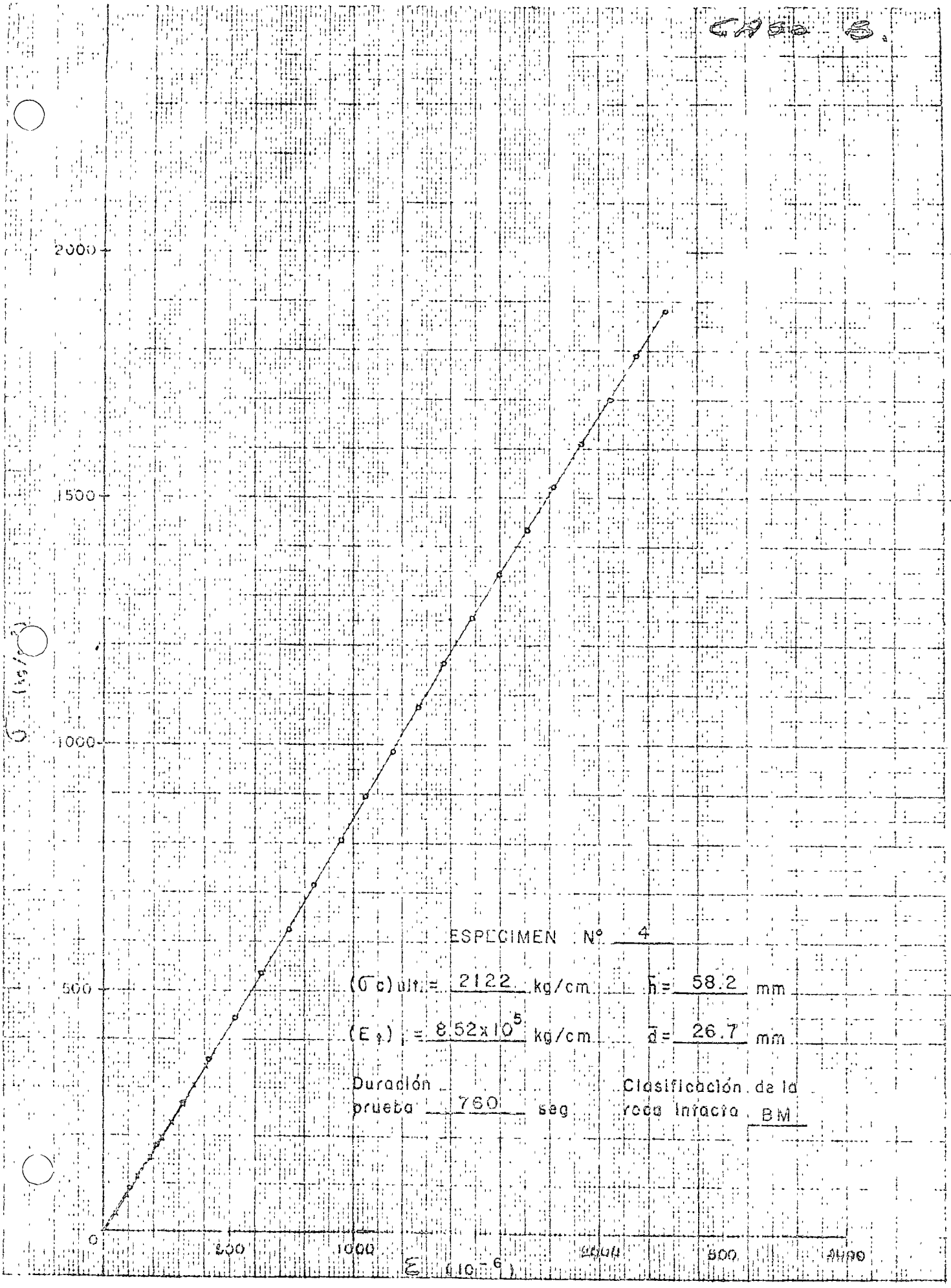
$(\sigma_c)_{ult}$ = 2367 kg/cm² $\bar{h}$ = 54 0 mm

$(E_t)_i$ = 9.39x10⁵ kg/cm² $\bar{d}$ = 26 7 mm

Duración prueba 875 seg

Clasificación de la roca intacta AM

Gráfica 8.



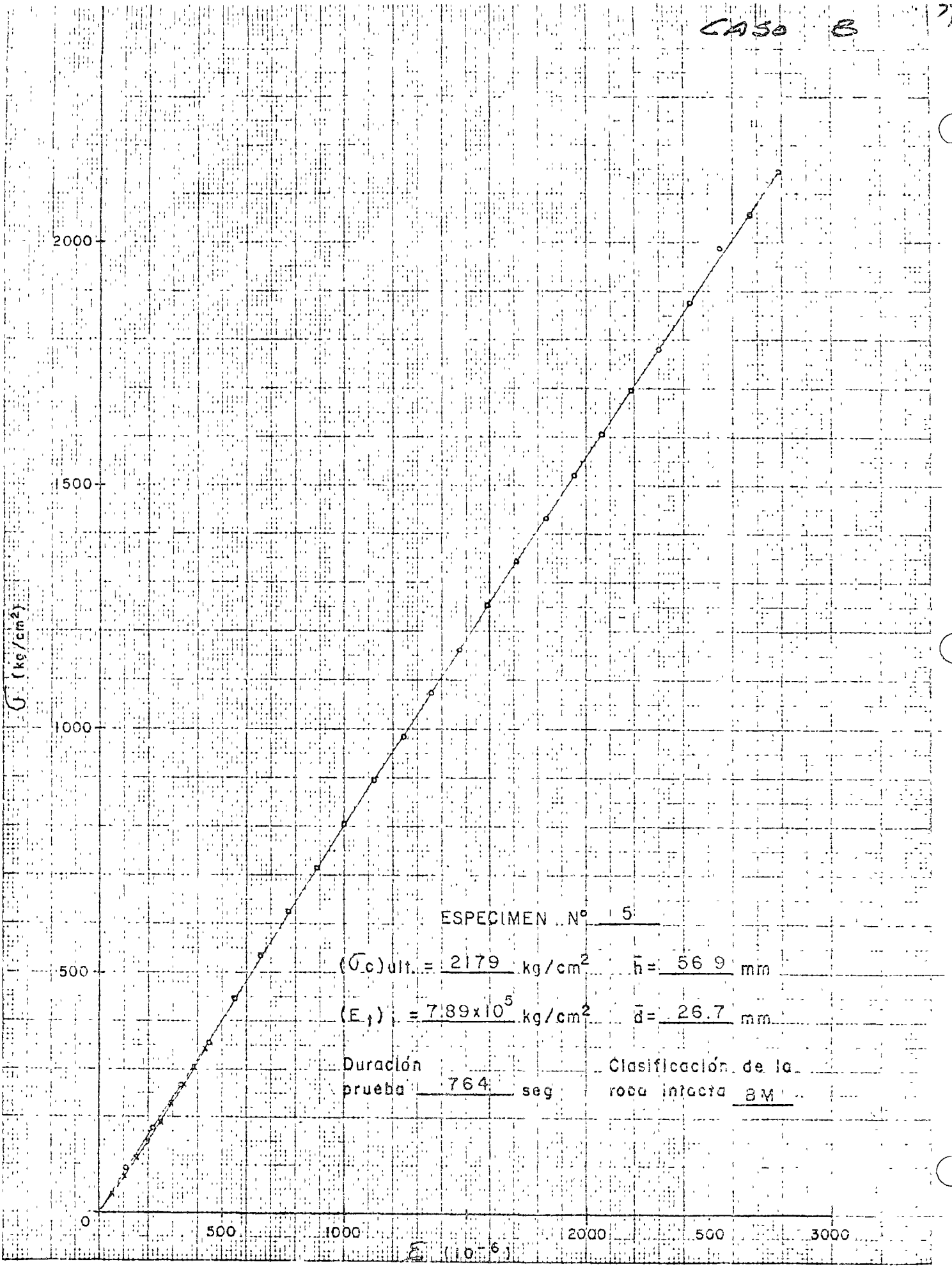
ESPECIMEN N° 4

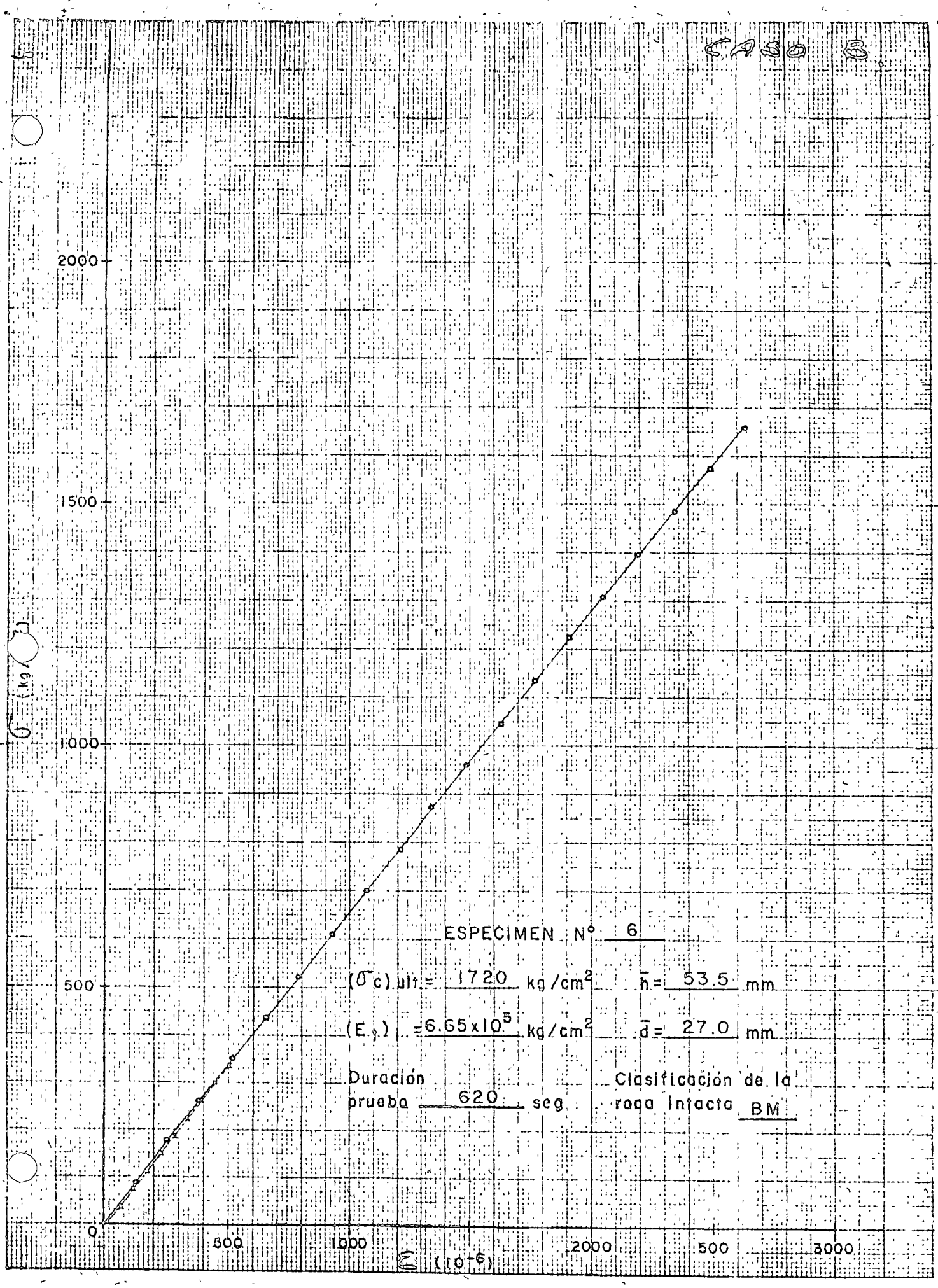
$(\sigma_c)_{ult.}$ = 2122 kg/cm $\bar{h}$ = 58.2 mm

$(E_t)_i$ = 8.52×10^5 kg/cm $\bar{d}$ = 26.7 mm

Duración prueba 760 seg Clasificación de la roca intacta BM

CASO B


2000
1500
1000
500
0
σ (kg/cm²)
500
1000
2000
500
3000
ε (10⁻⁶)
ESPECIMEN N° 5
(σc)ult. = 2179 kg/cm²
h̄ = 56.9 mm
(E t) = 7.89x10⁵ kg/cm²
d̄ = 26.7 mm
Duración prueba 764 seg
Clasificación de la roca intacta BM



ESPECIMEN N° 6

$(\sigma_c)_{ult.}$ = 1720 kg/cm² $\bar{h}$ = 53.5 mm

(E_t) ≅ 6.65x10⁵ kg/cm² $\bar{d}$ = 27.0 mm

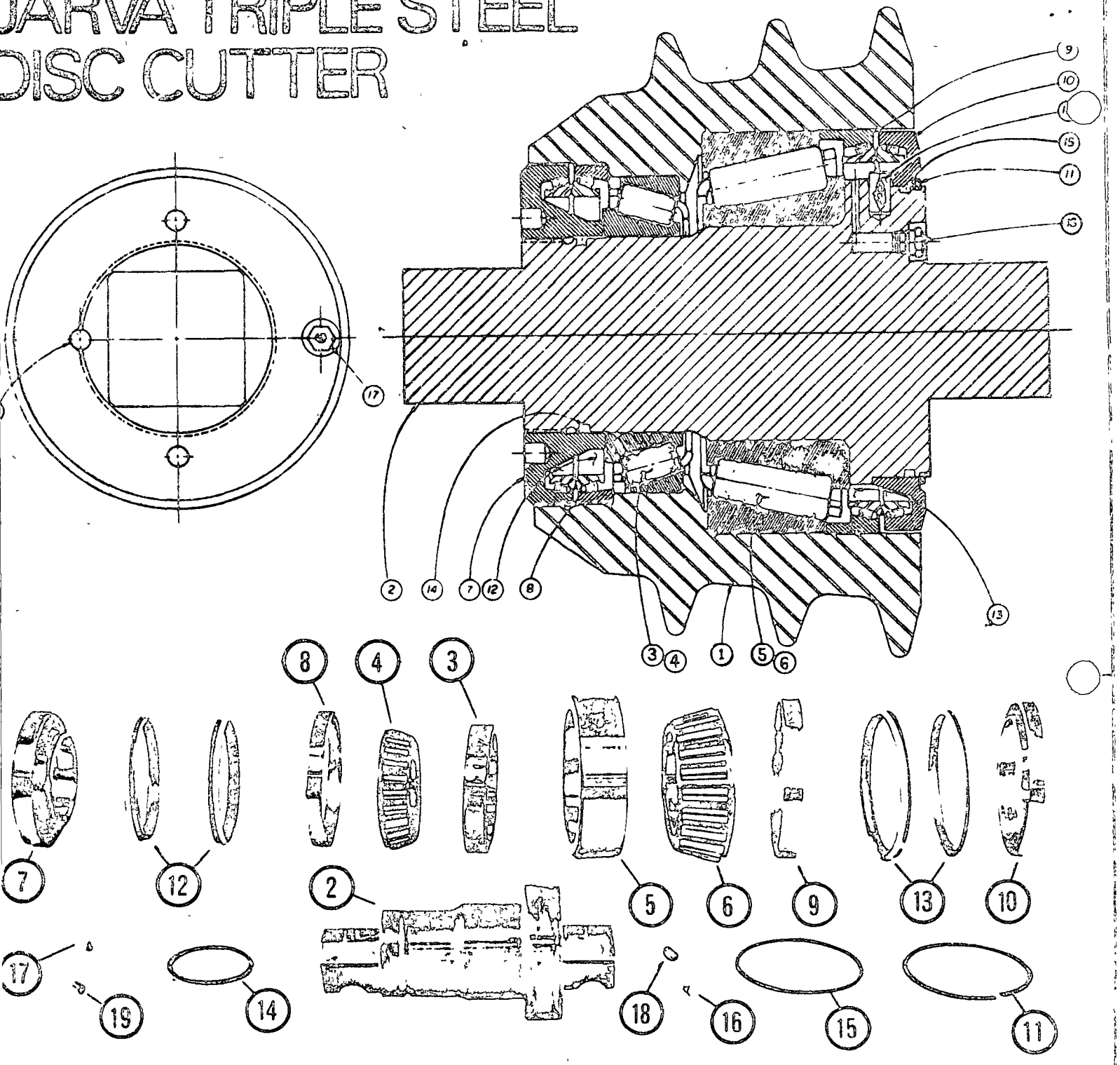
Duración prueba 620 seg

Clasificación de la roca intacta BM

PROCEDURE FOR ASSEMBLY OF JARVA TRIPLE STEEL DISC CUTTER

JARVA inc.
29125 Hall Street / Solon, Ohio 44139 USA
Telephone: (216) 248-0166 Telex No.: Jarva Soln 98 52 32

JARVA TRIPLE STEEL DISC CUTTER

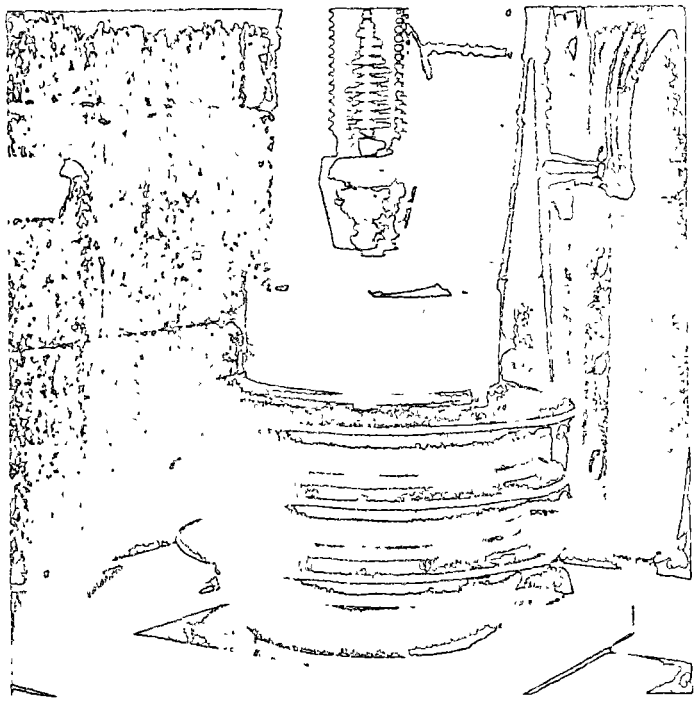


Item No.	Qty.	Description
1	1	Cutter Body
2	1	Journal
3	1	Small Bearing Cup
4	1	Small Bearing Cone
5	1	Large Bearing Cup
6	1	Large Bearing Cone
7	1	Nut
8	1	Seal Ret. Seat (small)
9	1	Seal Ret. Seat (large)
10	1	Seal Ret. Seat (large)

Item No.	Qty.	Description
11	1	Snap Ring
12	1	Small Seal Assy. *
13	1	Large Seal Assy. *
14	1	Small "O" Ring
15	1	Large "O" Ring
16	1	Pressure Relief Fitting
17	1	Grease Fitting (plug)
18	1	Dowel Pin
19	1	Dowel Pin

* Seal Assemblies consist of a set of two metal rings and two elastomeric rings.

PROCEDURE FOR ASSEMBLING JARVA TRIPLE STEEL DISC CUTTER



1. PRESS LARGE BEARING CUP, ITEM #5, INTO CUTTER BORE

A. Clean bore of cutter thoroughly.

B. Place cutter, small end down, on press table.

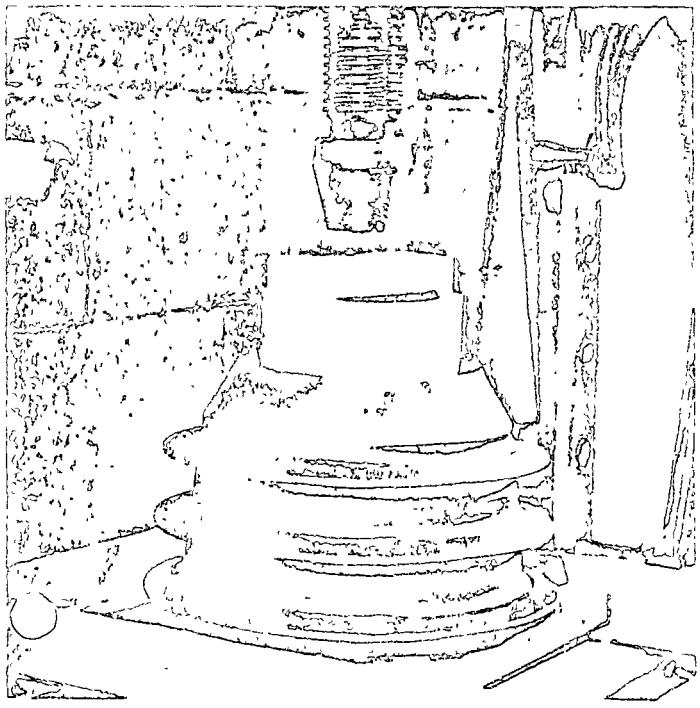
C. Apply a coating of lubricant to O.D. of bearing cup.

D. Place bearing cup into cutter bore.

E. Place bearing cup installation tool (AT-6) on bearing cup.

F. Press bearing cup into cutter bore.

G. Inspect assembly to assure positive seating of bearing cup on the cutter bore shoulder. Use a .002" feeler gage.



2. PRESS SMALL BEARING CUP, ITEM #3, INTO CUTTER BORE

A. Place cutter, large end down, on press table.

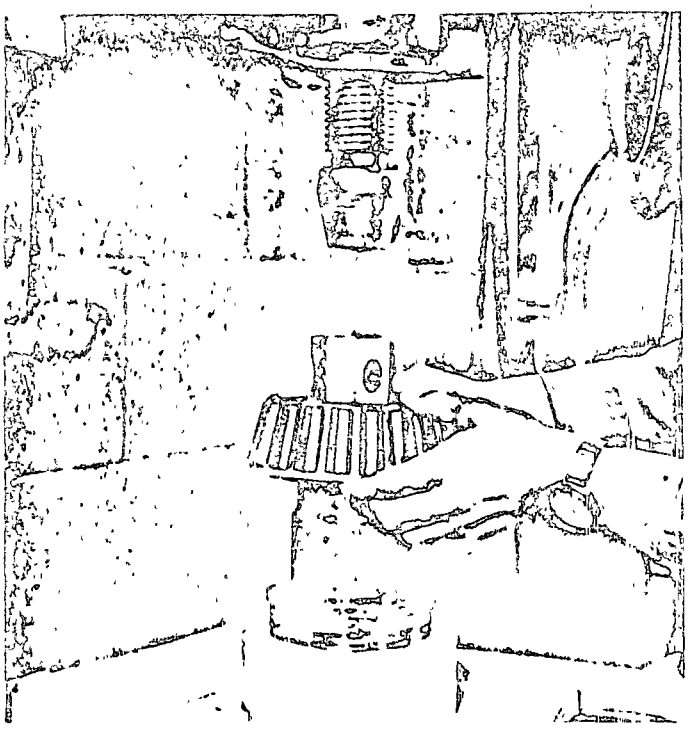
B. Apply a coating of lubricant to O.D. of bearing cup.

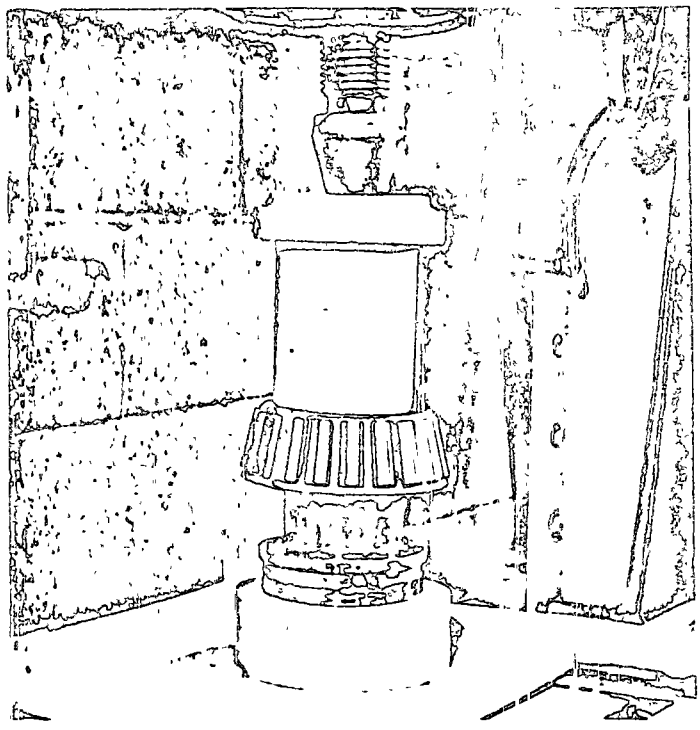
C. Place bearing cup into cutter bore.

D. Place bearing cup installation tool (AT-7) on bearing cup.

E. Press bearing cup into cutter bore.

F. Inspect assembly to assure positive seating of bearing cup on the cutter bore shoulder. Use a .002" feeler gage.





3. PRESS LARGE BEARING CONE, ITEM #6, ON JOURNAL

A. Remove relief valve, Item #16, and plug, Item #17, and clean journal thoroughly, making sure grease holes are clean and free from foreign material. Reinstall plug.

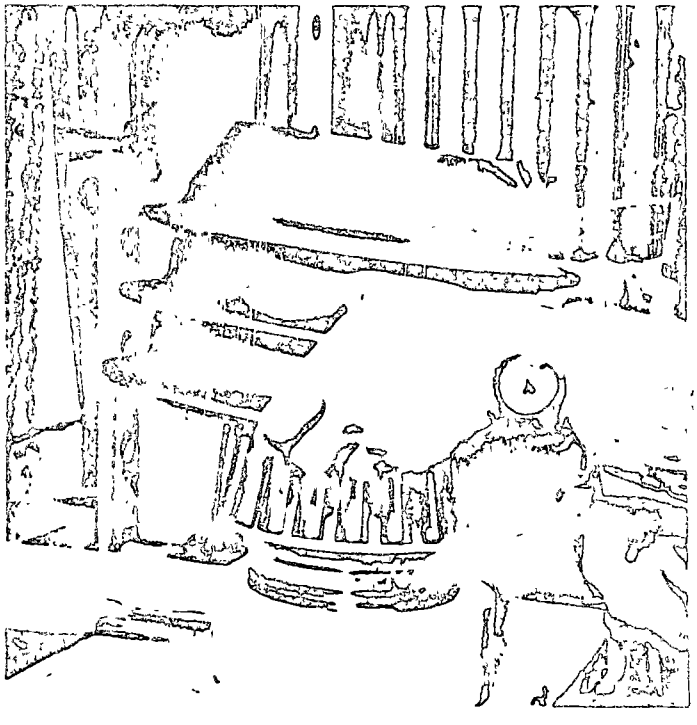
B. Place journal on top of journal holding tool (AT-8) on press.

C. Clean inside of bearing cone assembly and apply a coat of lubricant to the I.D.

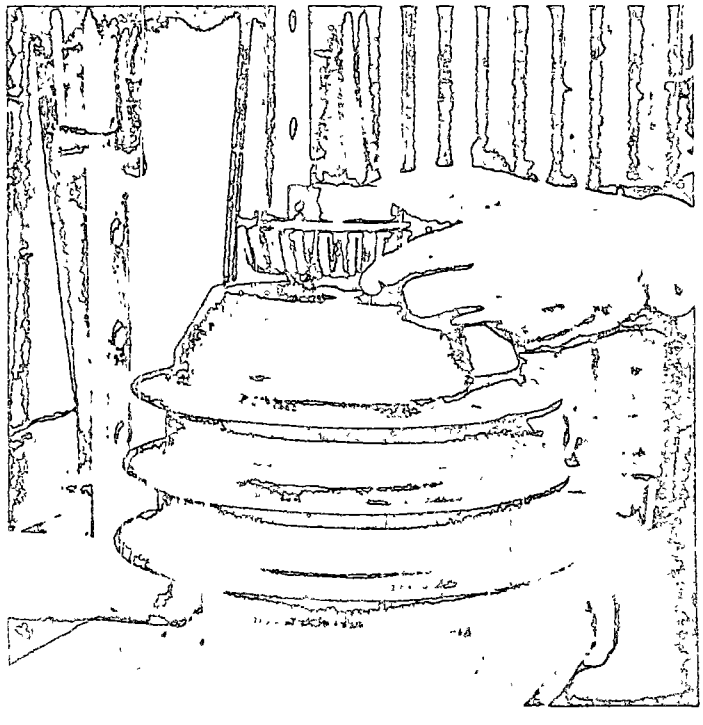
D. Place bearing cone assembly on journal.

E. Place bearing installation tool (AT-14) over journal and press bearing cone onto journal.

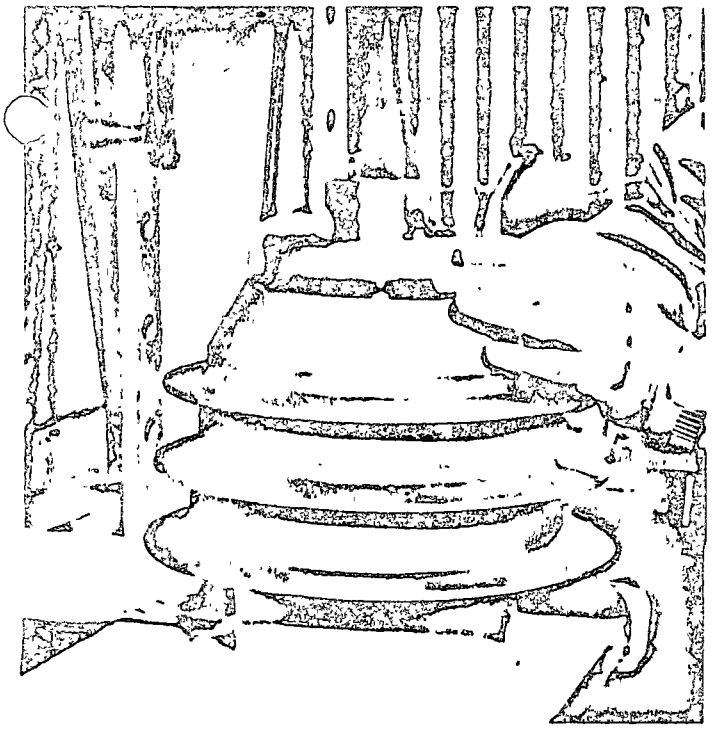
F. Inspect to assure positive seating of the bearing cone assembly on the journal. Use .002" feeler gage.



4. PLACE CUTTER SHELL OVER JOURNAL.

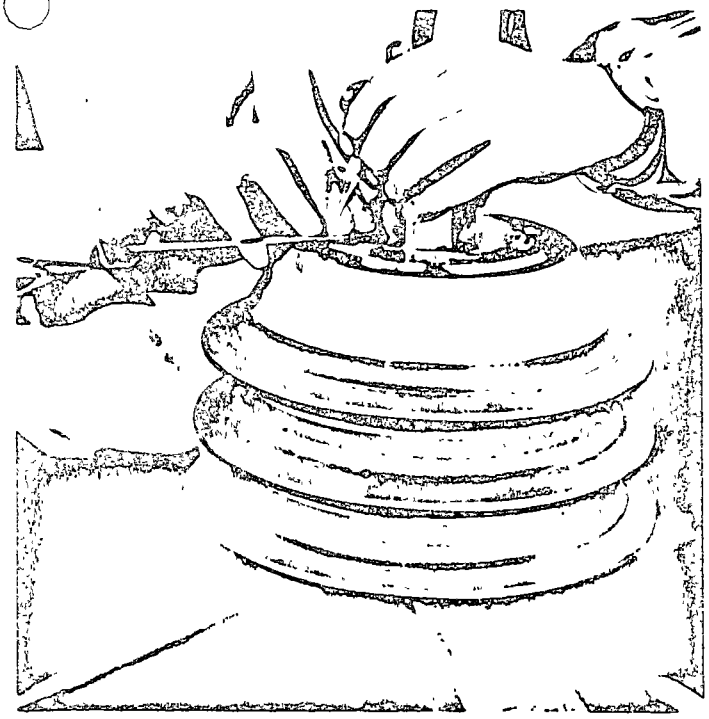


5. PLACE SMALL BEARING CONE, ITEM #4, OVER JOURNAL AND PUSH IT DOWN INTO THE CUP INSIDE THE SHELL.

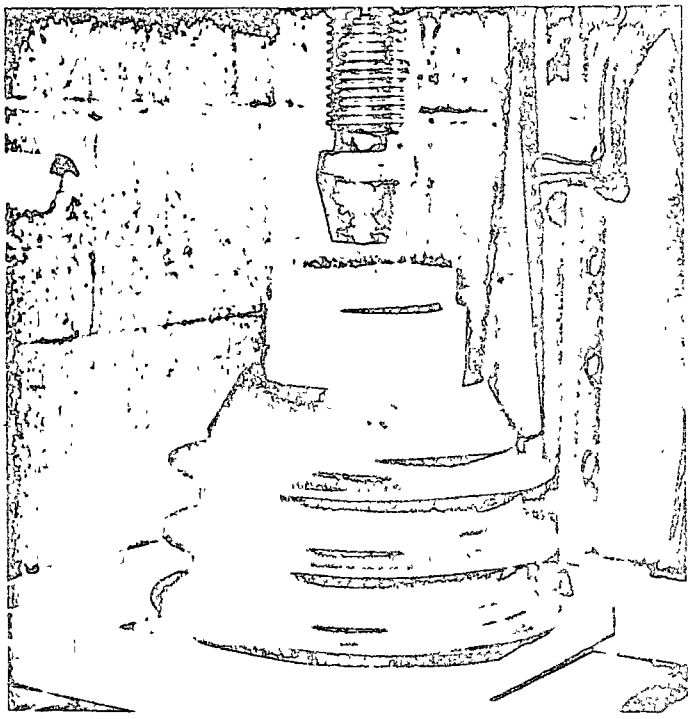


6. INSTALL NUT, ITEM #7, ON JOURNAL AND TURN ON HAND TIGHT.

7. CLAMP JOURNAL IN VISE WITH SMALL END OF CUTTER UP, USING SPANNER TOOL (AT-15) TORQUE NUT TO 125 – 150 FT/LBS.



8. SCRIBE A MARK ACROSS THREADED JOINT OF NUT AND JOURNAL, FOR FUTURE REFERENCE. REMOVE NUT.



9. INSTALL SMALL INSIDE SEAL RETAINER, ITEM #8.

A. Place cutter small end up in press.

B. Lubricate O.D. of small seal retainer and place into shell.

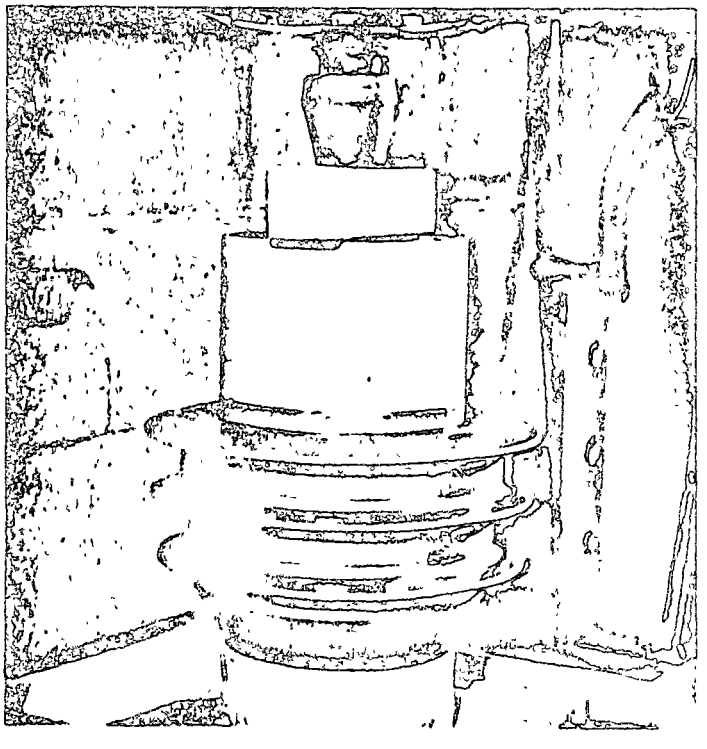
C. Using small seal retainer installation tool (AT-10), press retainer into place.

10. INSTALL SMALL SEALS, ITEM #12, IN NUT AND CUTTER. SEE CATERPILLAR "INSTALLATION INSTRUCTIONS" AND "INSTALLATION TOOLS" SHEETS ATTACHED.

A. Using caterpillar tool (7L4949) install 1/2 seal assembly in cutter.

B. Install other 1/2 seal in nut.

11. INSTALL "O" RING, ITEM #14, ON JOURNAL AND REINSTALL THE NUT ON THE JOURNAL. TIGHTEN THE SCRIBE MARK.

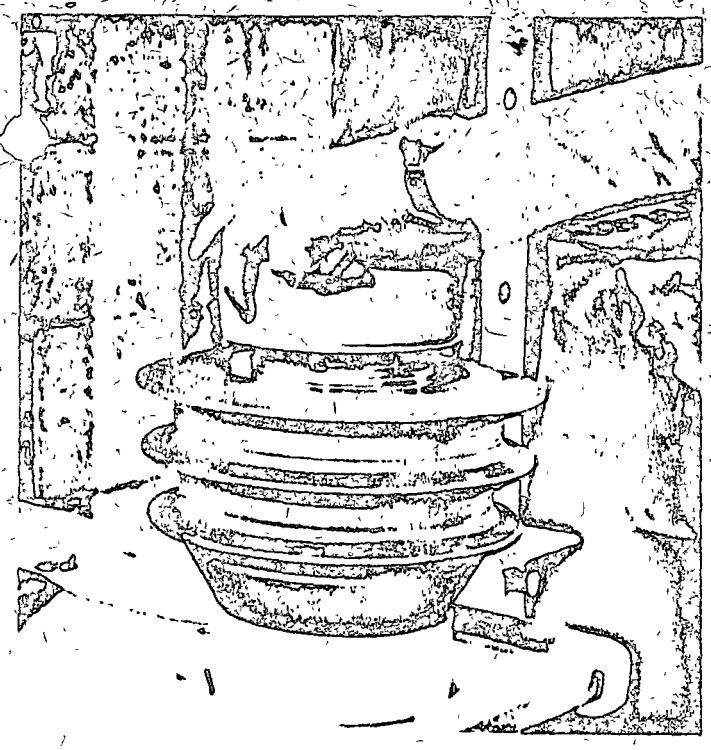


12. INSTALL LARGE INNER SEAL RETAINER, ITEM #9.

A. Place cutter, large end up, on press table.

B. Lubricate O.D. of large inner seal retainer.

C. Using large inner seal installation tool (AT-11), press retainer into place.

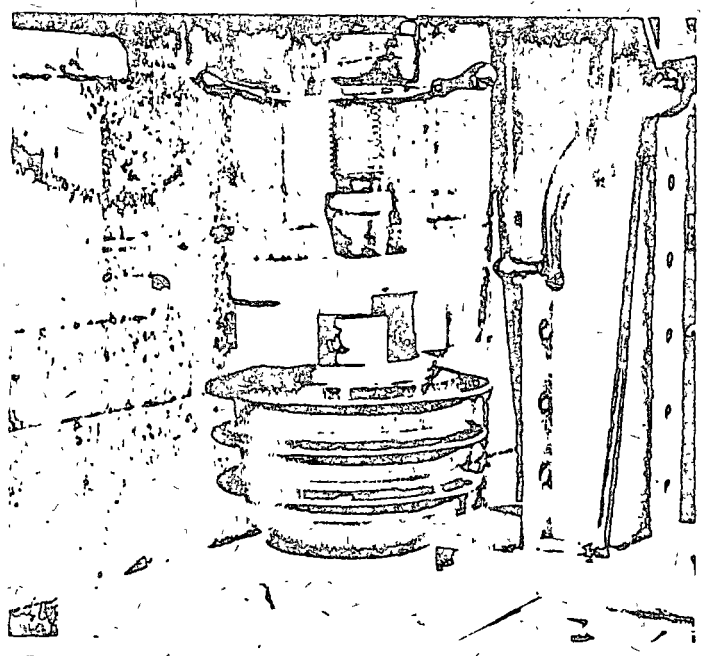


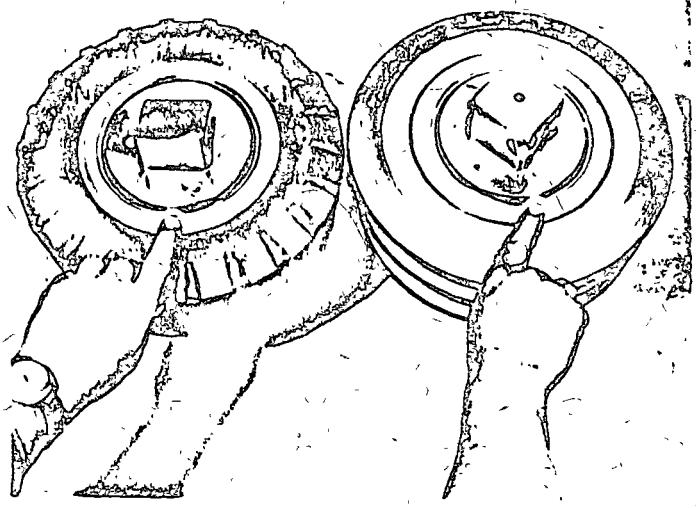
13. INSTALL LARGE SEALS, ITEM #13. SEE CATERPILLAR "INSTALLATION INSTRUCTIONS" AND "INSTALLATION TOOLS" SHEETS ATTACHED.

A. Using caterpillar tool (2S8027), install 1/2 seal in cutter.

B. Install other 1/2 seal in outer seal retainer, Item #10.

14. INSTALL LARGE OUTER SEAL RETAINER

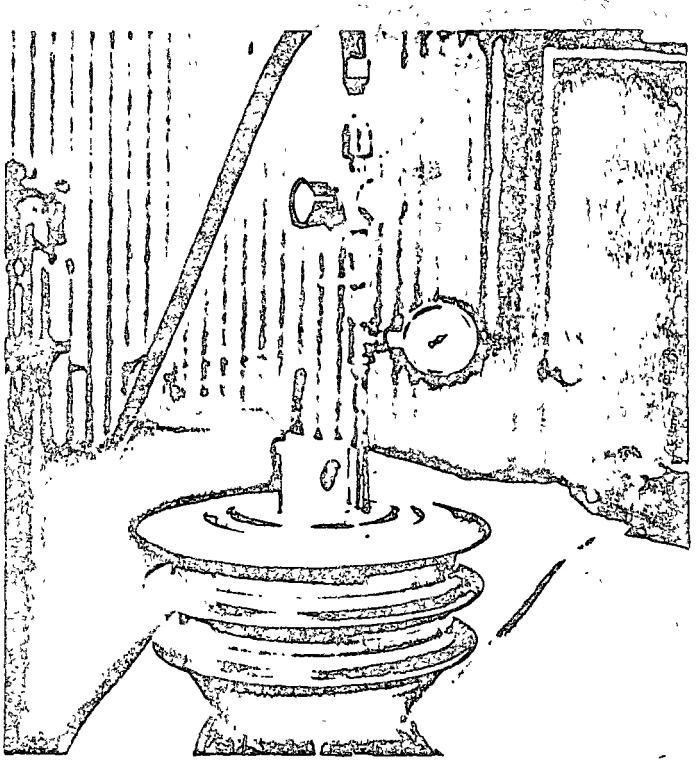




A. Install "O" ring, Item #15, in place of journal, and drop seal and retainer assembly into cutter. Make sure slot in retainer lines up with pin, Item #18, in journal.

B. Using installation tool (AT-12), push retainer down into cutter far enough to install snap ring, Item #11.

C. Install snap ring with gap in location shown. Gage cutter shown on left, inside cutter on right.



16. ATTACH AIR SUPPLY IN HOLE USED FOR PRESSURE RELIEF FITTING. PRESSURIZE TO 40 PSI, AND SEAL OFF CUTTER FROM SUPPLY. IF PRESSURE INSIDE THE SHELL DROPS, DISASSEMBLE THE CUTTER AND RESEAT SEALS. ALSO CHECK INSTALLATION OF "O" RINGS.

18. DRILL AND REAM 3/8" DIA. BY 9/16" DEEP DOWEL HOLE AND INSTALL DOWEL PIN, ITEM #19. STAKE TWO PLACES TO RETAIN PIN.

17. REMOVE PLUG, ITEM #17, AND FILL CUTTER WITH GREASE OF NLGI GRADE EP1, WITH MINIMUM TIMKEN LOAD TEST RATING OF 40 LBS. REINSTALL PLUG AND PRESSURE RELIEF FITTING.

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

CONSTRUCCION DE TUNELES

LUMBRERAS Y TUNELES INCLINADOS

ING. FERNANDO FAVELA LOZOYA

AGOSTO DE 1977

[illegible]

[illegible]

LUMBRERAS Y TUNELES INCLINADOS

TUNE INCLINADOS

I. CLASIFICACION.

Generalmente se dice que un túnel es inclinado cuando su pendiente es mayor de 1.5%. Tomando en cuenta la pendiente de un túnel se le puede clasificar en:

- Túnel inclinado: 1.5% — 55°
- Lumbrera: > 55%

II. LUMBRERAS.

1. DEFINICION.

La lumbrera, por definición, es una excavación vertical o inclinada (55° con la horizontal), de sección rectangular o circular, u otra según el proyecto, que se puede excavar de arriba hacia abajo o viceversa, con procedimientos mecánicos convencionales o muy avanzados y que servirá para alojar las tuberías de presión y formar la caida de un aprovechamiento hidroeléctrico, o bien para dar acceso a un túnel que se excavará a partir de la lumbrera y que servirá ésta para la introducción del equipo y materiales para hacer la excavación del túnel y para la extracción del producto de dicha excavación.

2. PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION.

El procedimiento general está fijado por el proyecto mismo, es decir, si la lumbrera va a servir para un desarrollo minero o dar acceso a la excavación de un túnel largo que no tiene portales de acceso. Por otra parte, si ya existe acceso a la base de la lumbrera en proyecto, (aprovechamiento hidroeléctrico), entonces la excavación reviste otras características, que son la excavación de una lumbrera piloto de dimensiones pequeñas hacia arriba, hasta prácticamente salir a la superficie y posteriormente el banqueo del resto de la sección del -

proyecto, vaciando el producto de la excavación a la lumbrera piloto al fondo de la misma y cargando a camiones para sacarla al exterior.

Con objeto de comentar los procedimientos de construcción empleados para la excavación de las lumbreras, hemos dividido éstos en dos grandes grupos: excavaciones en roca y excavaciones en terrenos suaves.

2 A. EXCAVACIONES EN ROCA.

2.A.1. Procedimiento de construcción de arriba hacia abajo (convencional).

Se considera en este caso dos etapas.

PRIMERA ETAPA.

Construcción del brocal y excavación hasta unos 25-30 m (se llega a veces hasta 50 m). En esta fase, una vez excavado y colado el concreto en el brocal de la lumbrera, se procede a la barrenación a base de perforadoras de piso, de acuerdo con un diagrama de barrenación y carga previamente establecido. Una vez terminada la barrenación, se hace la carga de explosivos en los barrenos y seguidamente se hace la conexión eléctrica, en series de paralelo, dependiendo del número de barrenos. La profundidad de la barrenación debe ser la máxima que nos permita la sección de proyecto de la lumbrera, y de tal manera que debamos obtener como avance el 90% de la longitud barrenada. Una vez conectadas las series en paralelo, se conectan a la línea troncal monofásica de corriente (110 V/220 V/440 V/); pero es más aconsejable usar un explosór de capacidad adecuada.

Una vez que se ha retirado el equipo y el personal, se hace la voladura desde la superficie. La ventilación en esta etapa es natural; inmediatamente después se acercará la máquina, que en este caso es una draga con bote de almeja o bien con botes cilíndricos de capacidad adecuada, que se cargarán a mano en el fondo de la excavación. (Fig.1B).

BARRENACION

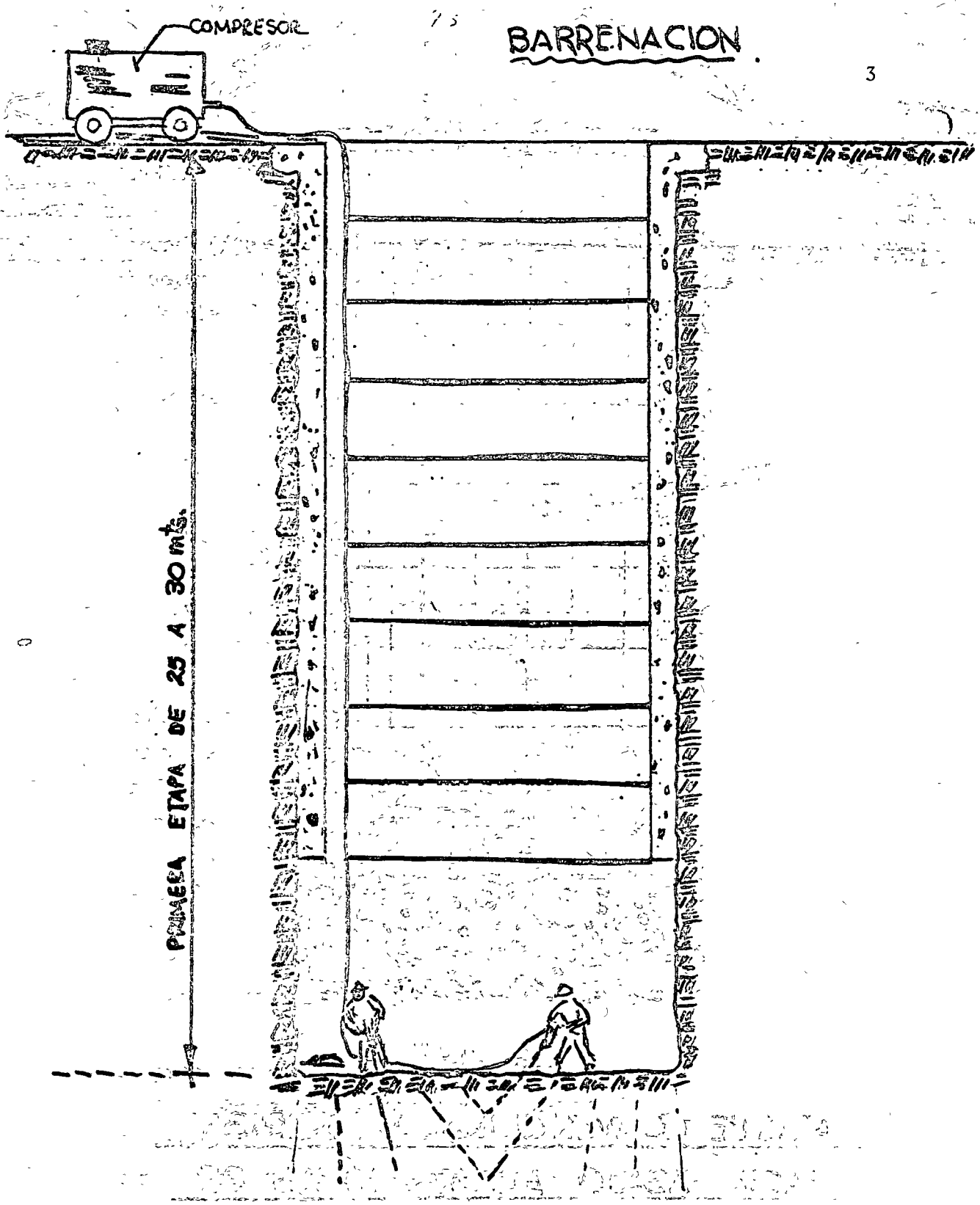


FIG 1-A

ATAQUE CONVENCIONAL DE ARRIBA HACIA ABAJO CON PERFORADORA DE PISO 1ª ETAPA

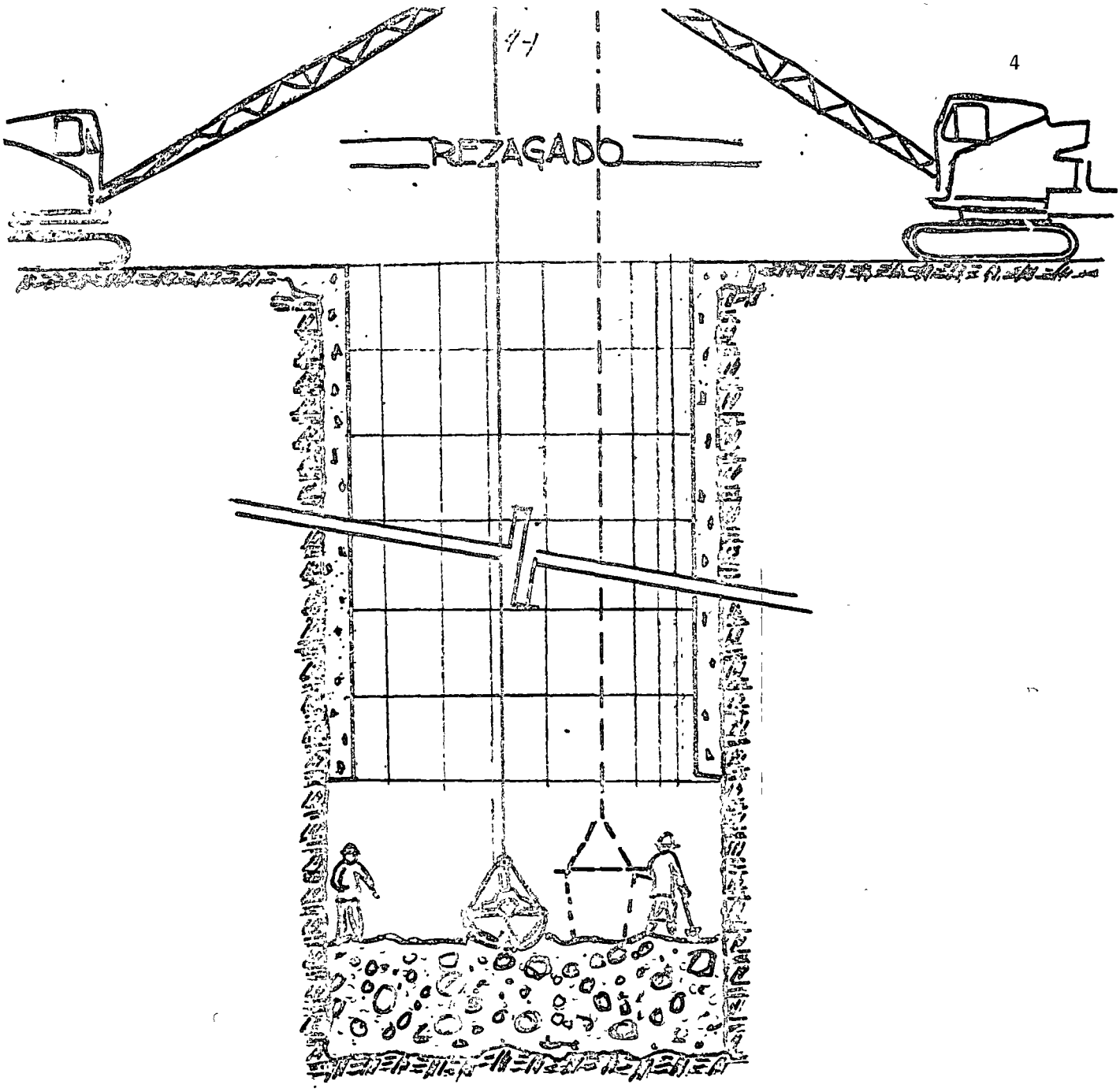


FIG. 1-B

ATAQUE CONVENCIONAL DE ARRIBA HACIA ABAJO ALTERNATIVAS DE REZAGADO CON ALMEJA O BOTE PRIMERA ETAPA

La máquina (grúa) nos servirá en esta fase para todos los movimientos del equipo de barrenación, instalaciones, etc. En algunos casos también se usará para bajar o subir al personal, pero de preferencia desde el inicio de la excavación deberán instalarse escaleras de caracol o de tramos inclinados y únicamente el último tramo (no mayor de 6 m) se hará con escalera marina.

SEGUNDA ETAPA.

Prosecución de la excavación de 25-30 m hasta el fondo.

Para esta etapa el ciclo de trabajo que se mencionó brevemente en la etapa anterior, es el mismo pero para la rezaga deberán hacerse instalaciones para la carga y manteo adecuado a la profundidad del proyecto. Para las obras de ingeniería civil estas profundidades serán del orden de 150-200 m.

Las instalaciones mencionadas incluyen:

a) Una torre o estructura metálica o de madera, tratada, en donde quedará instalada la poleo o poleas para el cable del malacate de tambor simple y del que pendera el bote de rezaga adecuado. El bote o "skip" en este caso ya no baja libremente, sino con grías de cable, sujetas en la torre y a cierta altura sobre el piso que se excava, para que no se dañen las ménsulas de soporte durante las voladuras.

De estas ménsulas al piso el bote baja libre (10 m). Por otra parte, deberá contarse con una estructura o marco de guía para evitar la rotación del bote cuando éste baje o suba. En la superficie el vaciado se hace a través de un canalón abatible a una tolva con compuertas para cargar directamente a camiones. Es recomendable que cuando el bote vacíe, el brocal de la lumbrera se cierre con una tapa de madera con estructura metálica, también abatible, para dar paso cuando el bote sale y regresa. (Fig. 2).

EXCAVACION

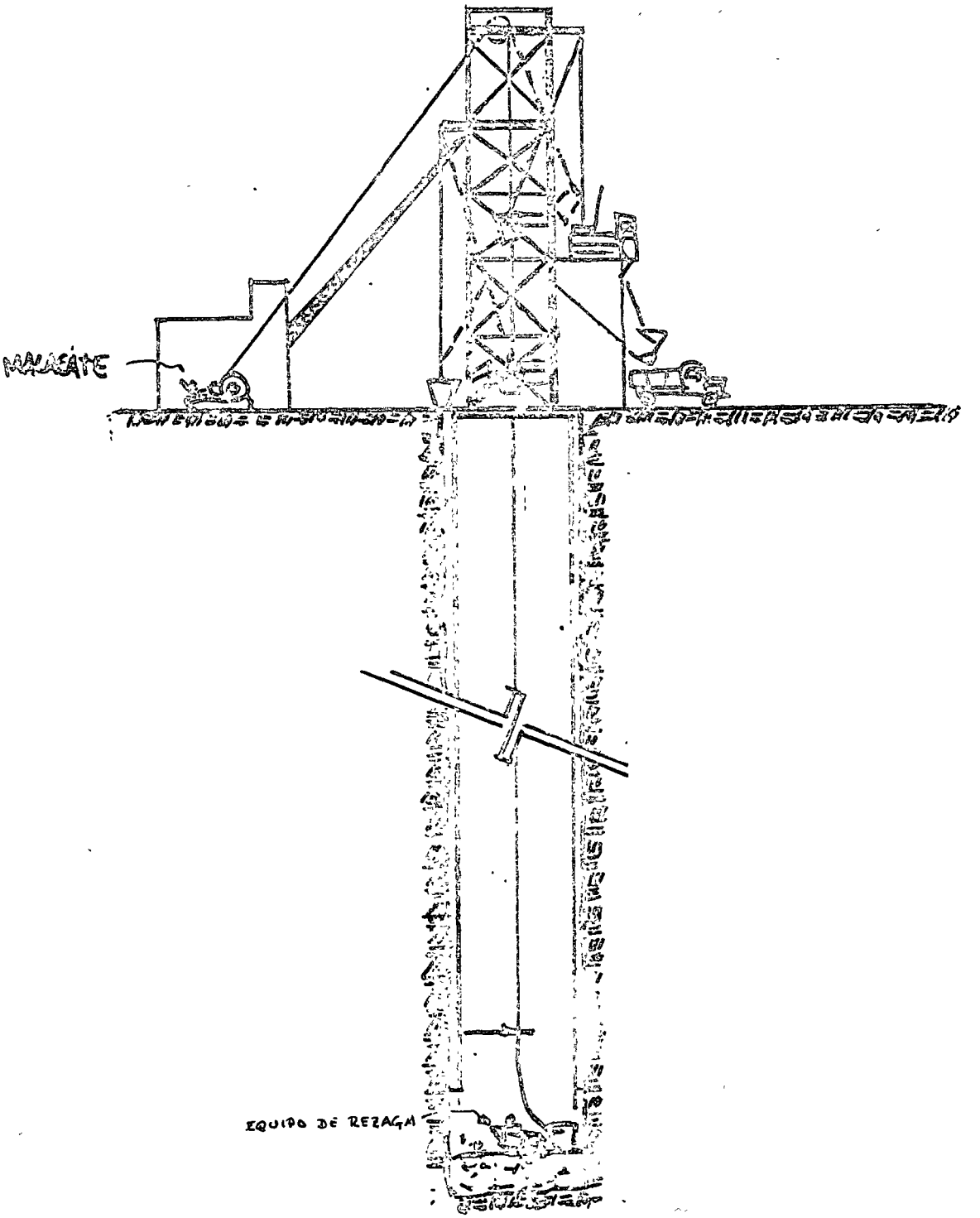


FIG. 2

ATAQUE CONVENCIONAL DE ARRIBA HACIA ABAJO MECANIZADO SEGUNDA ETAPA.

b) Una tolva de recepción de material producto de la excavación, equipada con una criba de rieles, para separar el material grueso almacenado que descarga hacia el frente de la tolva por medio de una compuerta operada neumáticamente. El material delgado almacenado en la tolva propiamente (es el mayor porcentaje de su capacidad) se descarga también con una compuerta operada neumáticamente. La descarga en ambos casos se hace directamente a camiones de volteo.

c) Instalaciones comunes a la primera y segunda etapa.

1. Planta de aire comprimido a 100 lbs/psi incluyendo compresores, recipientes y tuberías de conducción, debidamente seccionadas y de diámetro adecuado.

2. Almacenamiento o abastecimiento de agua para la barrenación, tubería de conducción debidamente seccionada, con una presión de 40 lbs/psi y de diámetro adecuado.

3. Líneas eléctricas de alumbrado, debidamente identificadas, así como los accesorios de sockets y focos, para líneas de alumbrado adecuado en el tramo excavado, así como en la zona de trabajo de calibre adecuado.

4. Líneas eléctricas de corriente trifásica, para equipo de bombeo y ventilación en general para motores de corriente alterna, de calibre adecuado 2300V/440V/220V.

5. Línea de tubería de ventilación debidamente acoplada para evitar fugas en la misma, de diámetro adecuado.

6. Escaleras de emergencia (caracol o inclinada), unicamente deberá haber un tramo de 6.00 m de escalera marina para llegar a la zona propiamente de trabajo.

El procedimiento general descrito hacia abajo (convencional) tendrá variantes en su ataque, de acuerdo con el equipo de barrenación y - rezaga que se ocupe, dependiendo desde luego del programa de ejecución de una obra de este tipo, valor de la obra, dimensiones, tanto en sección como en profundidad.

A continuación se presenta un resumen del equipo empleado para la - excavación de lumbreras de arriba hacia abajo.

CONVENCIONAL.-

Perforadora de piso o perforadora sobre orugas (sistema).

Rezagado a mano con pala

Rezagado a máquina con cargador neumático sobre orugas (EIMCO 630, 632) (Fig. 3).

CRYDERMAN.-

Perforadora de piso

Perforadoras automáticas (4) montadas especialmente o de giro

Brazo o brazos hidráulicos tipo excavador para carga de bote o bo-- tes (características Cryderman), montadas bajo una plataforma de - operación o en las paredes de la lumbrera.

RYDELL.-

Perforadoras montadas (difters o de giro).

Perforadoras sobre orugas (track-drill o air track).

Rezagado con almeja montada con malacate y monoriel (característica Rydell).

REZAGADO

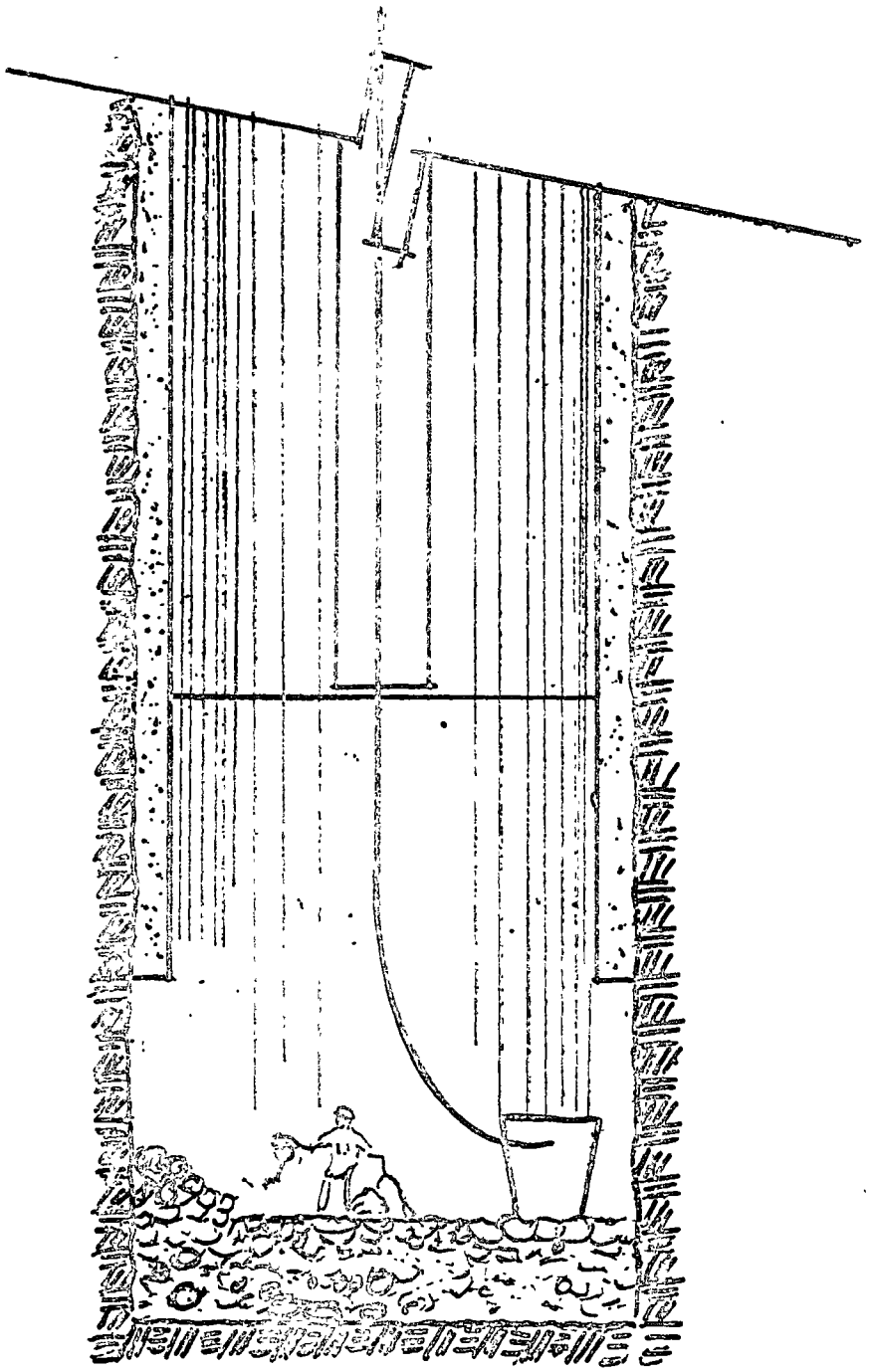
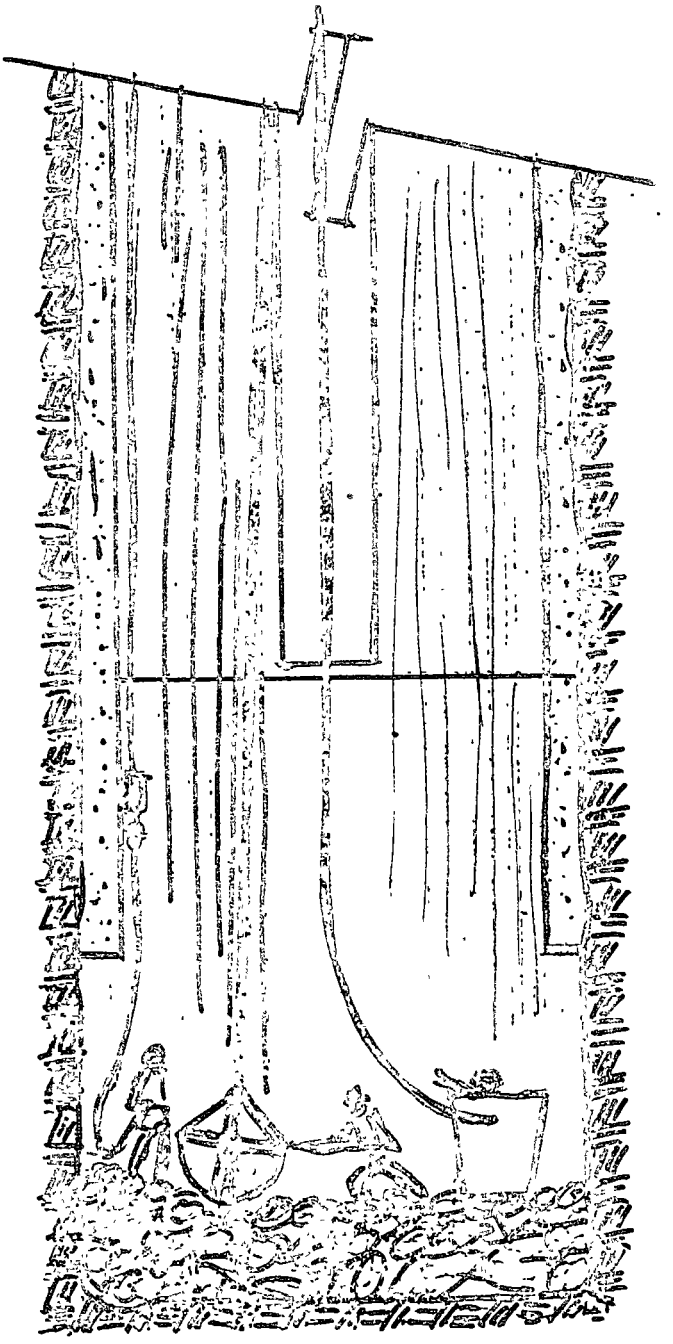


FIG. 3

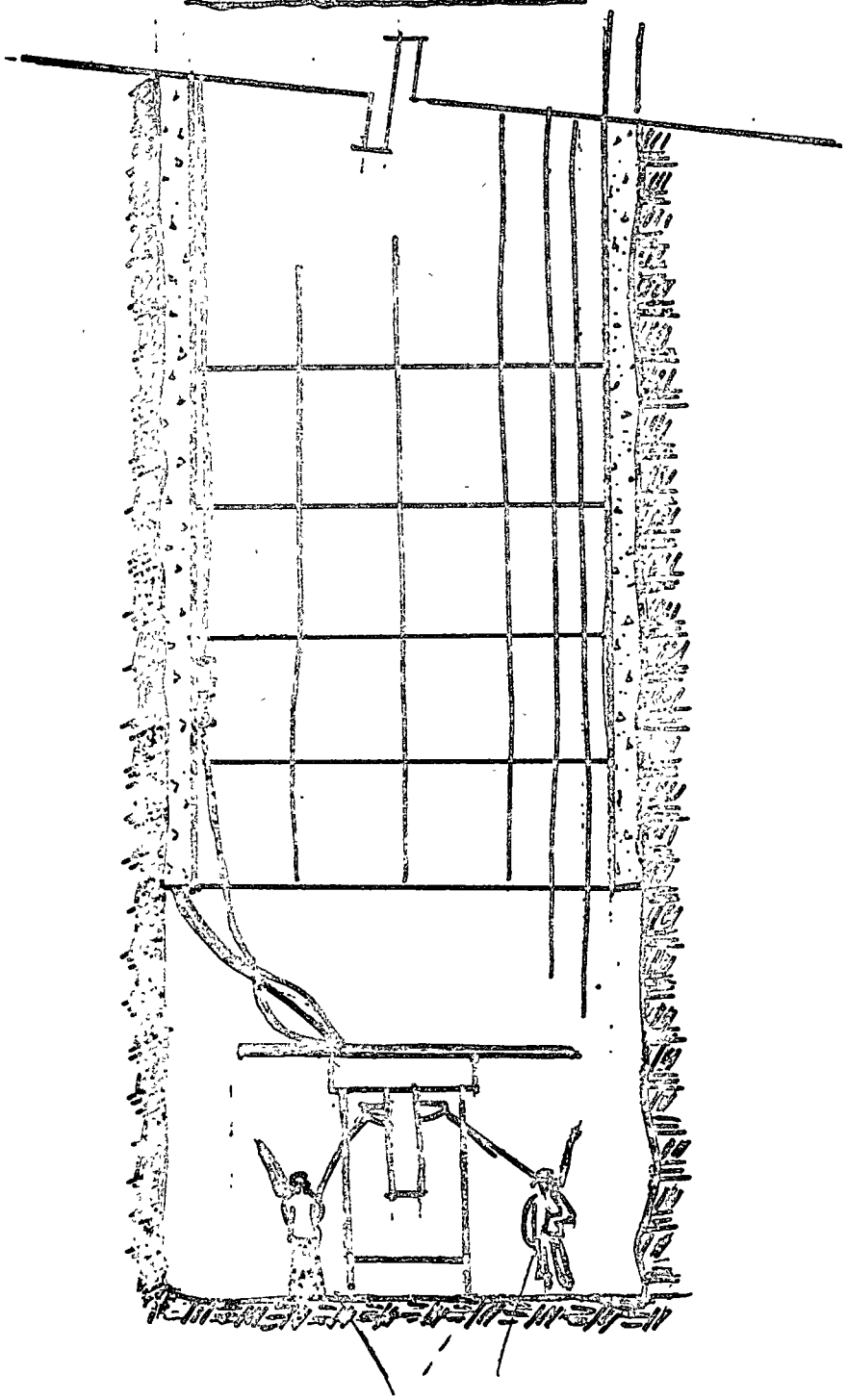
ATAQUE CONVENCIONAL DE ARRIBA HACIA ABAJO MECANIZADO (EIMCO-630) SEGUNDA ETAPA.

REZAGADO



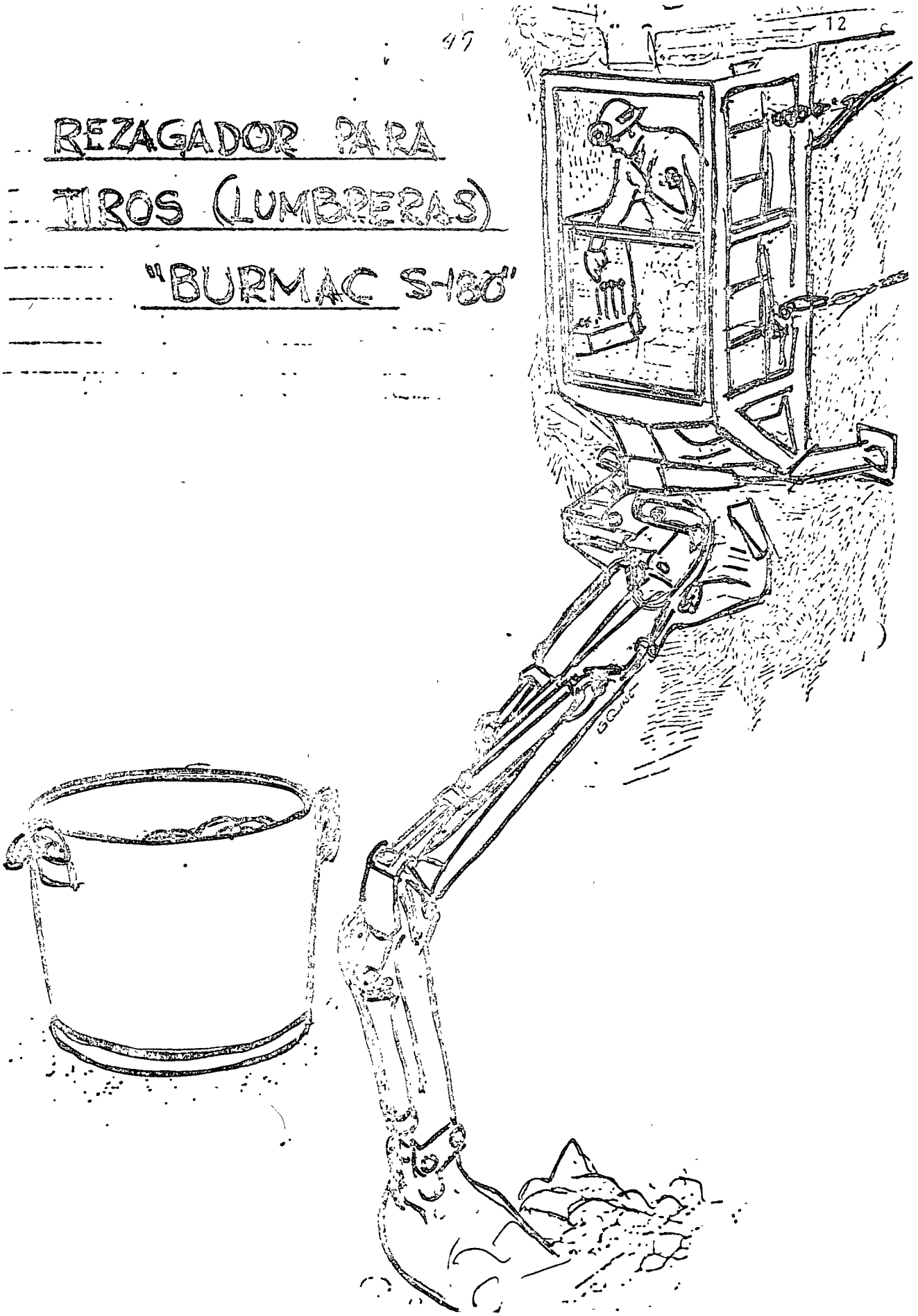
ATAQUE CONVENCIONAL DE ARRIBA HACIA ABAJO — CONTROL REMOTO CON ALMEJA. "TIPO RYDELL"

BARRENACION

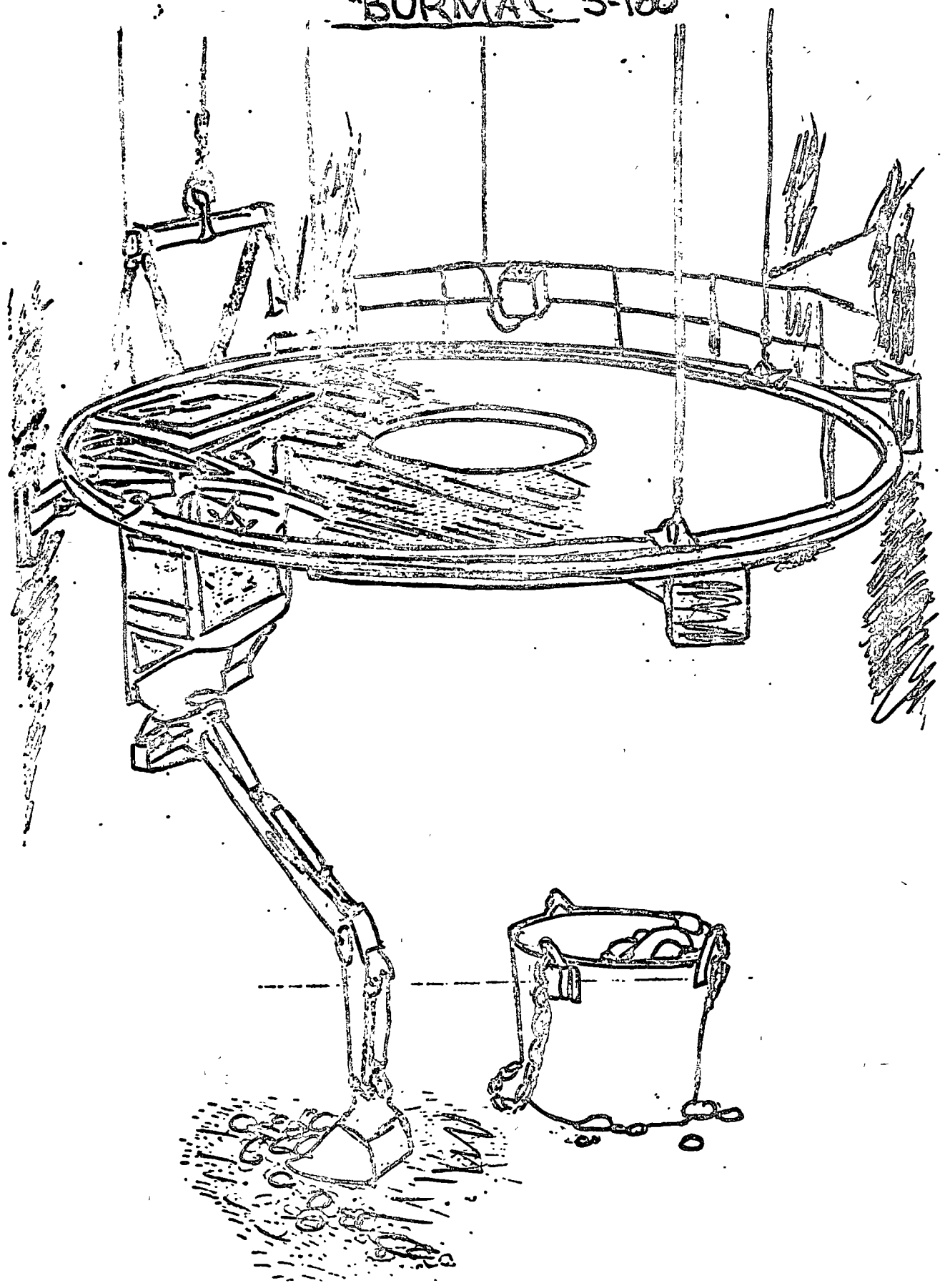


ATAQUE CONVENCIONAL DE ARRIBA HACIA ABAJO MECANIZADO. BARRENACION CON YUMBO.

REZAGADOR PARA TIROS (LUMBRERAS) "BURMAC S-180"



REZAGADOR PARA TIROS (LUMBRERAS)
"BURMAC S-180"



PERFORADORAS INTEGRALES.-

- Perforadoras de gran diámetro Wirth, Robbins, (banqueo), cuando - hay acceso por el fondo.

2.A.2. Procedimiento de construcción de abajo hacia arriba.

Se consideran dos tipos de excavación en este procedimiento.

PRIMERA.

Cuando la excavación hacia arriba (contrapozo) es la fase inicial del procedimiento, es decir, se excava una lumbrera cuya sección queda dentro de la sección definitiva.

SEGUNDA.

Al llegar este contrapozo a la superficie se inicia el banqueo de arriba hacia abajo, tanto el producto de la excavación en contrapozo como el banqueo, se recogen en la parte inferior de la lumbrera en el piso del túnel o bien en una tolva, de donde se carga a camiones que transportarán este producto al exterior, (caso de casa de máquinas subterránea o desarrollos mineros).

En los dos tipos de excavación hacia arriba existen dos procedimientos generales que son:

a) Convencional clásico
b) Mecanizado

En este caso también deberá tomarse en cuenta el programa, costos etc., para la elección del procedimiento.

a) Convencional clásico

Desde luego se hace otra vez hincapié en que debe haber acceso a la base de la lumbrera. En este caso la sección del contrapozo (como dimensiones definitivas o como primera etapa, según el caso) se divide en dos secciones:

1. Normalmente es de un área igual a la mitad de la sección -

del contrapozo, por esta sección se subirán las instalaciones de aire comprimido, agua, ventilación, corriente eléctrica - (monofásica y trifásica), acceso de personal a través de una jaula que es izada por medio de un malacate, y un juego de poleas. Con esta jaula también se suben los materiales que se utilizan para ir formando las dos secciones que se indicaron.

2. Sección de almacenamiento y rezaga.-

Esta sección está formada por la división entre las dos secciones y la pared rocosa, esta sección comunica en la parte baja con el acceso, de tal manera que por ella baja el material producto de la excavación.

El proceso de construcción es como sigue: (considerando una - etapa ya iniciado el contrapozo).

La excavación, en la parte superior tiene una sección igual a la de todo el contrapozo, pero al ejecutar la voladura la sección de acceso queda taponada provisionalmente, de tal manera que habiendo extraido algo de material de la sección de almacenamiento exista un volumen vacío para recibir el producto de - la voladura. El tapón se coloca inclinado hacia esa sección, para facilitar la caida del material a ésa y evitar que se destruya; después de ejecutada la voladura deberá extraerse un volumen calculado en función de la longitud barrenada, la sección del contrapozo y el coeficiente de abundamiento adecuado. Si se extrae un volumen mayor que el cálculo y no se tiene cuidado de inspeccionar la parte superior se corre el peligro de que el material se "encampane", siendo esto sumamente peligroso.

Una vez extraido este volumen, se remueve el tápón, subiendo - el personal y materiales para formar la siguiente doble sección. Normalmente, tratándose de una obra provisional, se usa para formar esta división y el forro de la misma, madera común con escuadras de 8" x 8" para las piezas del marco, y 2" x 8" ó 10" para el forro.

El equipo que normalmente se emplea en este tipo de excavaciones es el siguiente:

CONVENCIONAL.-

Perforadoras de espiga (stopers)
Jaula izable a través de unaperforadora para pasar cable del - malacate
ALIMAK - - ..ón simple

MECANIZADO.-

Perforadoras con brocas especiales para barreno pilot, y posterior ampliación con broca de gran diámetro
Perforadora con broca de gran diámetro
Perforadora con broca tipo sierra o barril.

Con este sistema (entendiéndose que hay acceso por el fondo),- se perforará un barreno piloto desde la superficie, con una -- perforadora especial. Una vez comunicada esta perforación en la parte inferior, se montará la broca o conjuntos de brocas o cortadores montados sobre una rueda giratoria. En estas condiciones se irá recortando la barra o eje de giro desde la superficie. En este caso el barreno piloto sirve para dar paso a - la barra de giro exclusivamente.

Si se hace la perforación de este barreno o lumbrera piloto de mayor tamaño, entonces la perforadora principal avanzará autosoportándose en las paredes de la excavación terminada y la rezaga caerá al fondo de la excavación, a través de la lumbrera piloto.

2 B. EN TERRENO SUAVE.

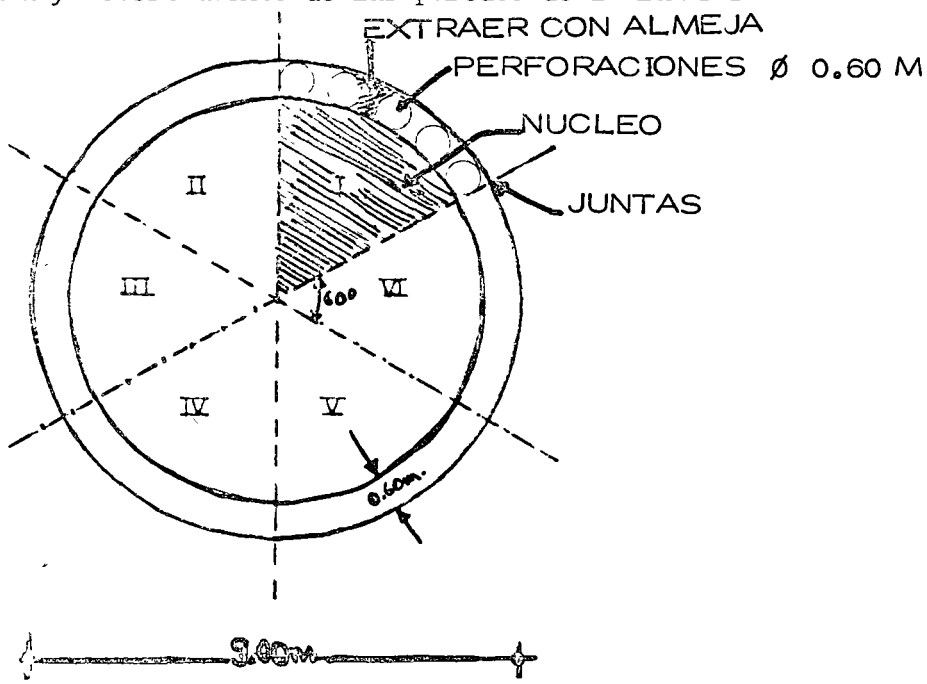
La excavación de lumbreras en terrenos suaves tales como tobas, - aluvión, conglomerados, boleos, arenas limosas, etc., presenta inumerables problemas de carácter técnico. A continuación se mencio-

nan seis diferentes técnicas empleadas en la construcción de lumbreras para el Emisor Central de la Ciudad de México, que describen en forma general los procedimientos más empleados para la construcción de lumbreras en este tipo de terrenos:

1).- TECNICA SOLUM.

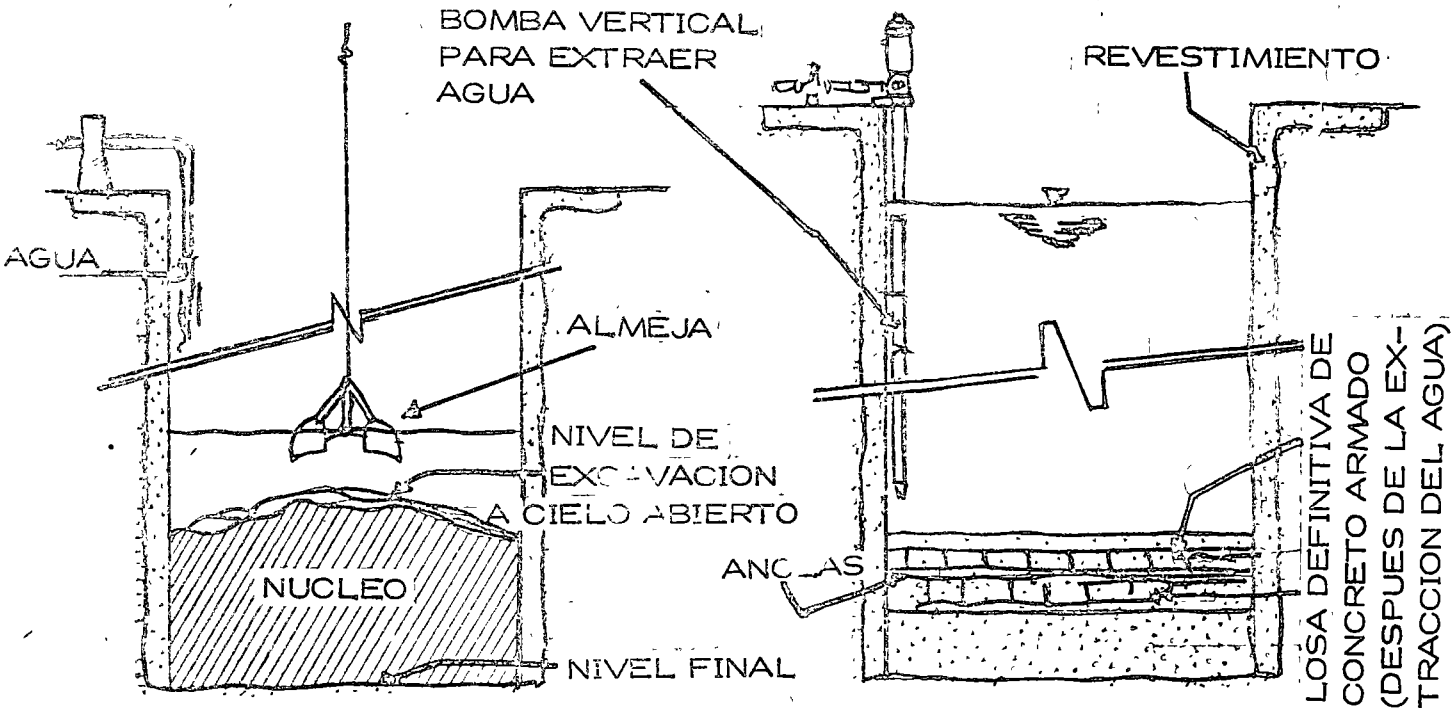
La técnica Solum consiste esencialmente en tres pasos:

a) Una vez marcado en el terreno el centro de la lumbrera y las fronteras del revestimiento, se subdividía el área en seis partes iguales, cada una subtendiendo un ángulo de 60° y se procedía a hacer perforaciones de 0.60 m de diámetro hasta la profundidad requerida, en un sector anular. Las perforaciones estaban separadas entre sí aproximadamente 0.60 m, es decir, siempre dejando una parte del terreno de este sector sin perforar. Todo era estabilizado por medio de bentonita y una vez terminada la perforación se procedía a la extracción del material remanente por medio de una almeja, siempre reemplazando el material extraido por partes iguales de bentonita. Una vez terminado de excavar este primer sector anular, se procedía a colar y se continuaba el procedimiento de excavación y colado con el sector No. III, tal como muestra la figura No. , y después con el No. V, y así sucesivamente hasta terminar con la excavación y revestimiento de las paredes de la lumbrera.



b) Para proceder al colado de los sectores anulares previamente excavados, se hacía bajando el armado e inyectando concreto desde el fondo a través de un tubo tremie, el cual desplazaba la bentonita por diferencia de densidades, posteriormente se excavaba el núcleo con almeja hasta la profundidad que de -- acuerdo con los cálculos de mecánica de suelos no se presentaran expansiones en el fondo, debido a la descarga del suelo. Cuando se llegaba a este nivel (fig) se suspendían los trabajos y se reemplazaba el peso del material excavado por un - volumen equivalente de agua, para evitar el bufamiento; se continuaba la excavación del núcleo de la lumbrera extrayendo el material debajo del agua hasta llegar a la profundidad deseada.

c) Inmediatamente después de terminar la excavación se procedía a colar un fondo de concreto a forma de tapón o plantilla y se - dejaba fraguar. Posteriormente se limpiaba el azolve y se bajaba una parrilla de armado para colar un segundo fondo bajo - el agua. Una vez hecho esto se extraía el agua dentro de la - lumbrera y se bajaba el personal para sellar (calafatear) el - tapón de fondo y evitar la entrada de agua o de material. Después se procedía a colar el fondo definitivo de concreto armado, perfectamente bien anclado a los muros de revestimiento de la lumbrera (fig No.).

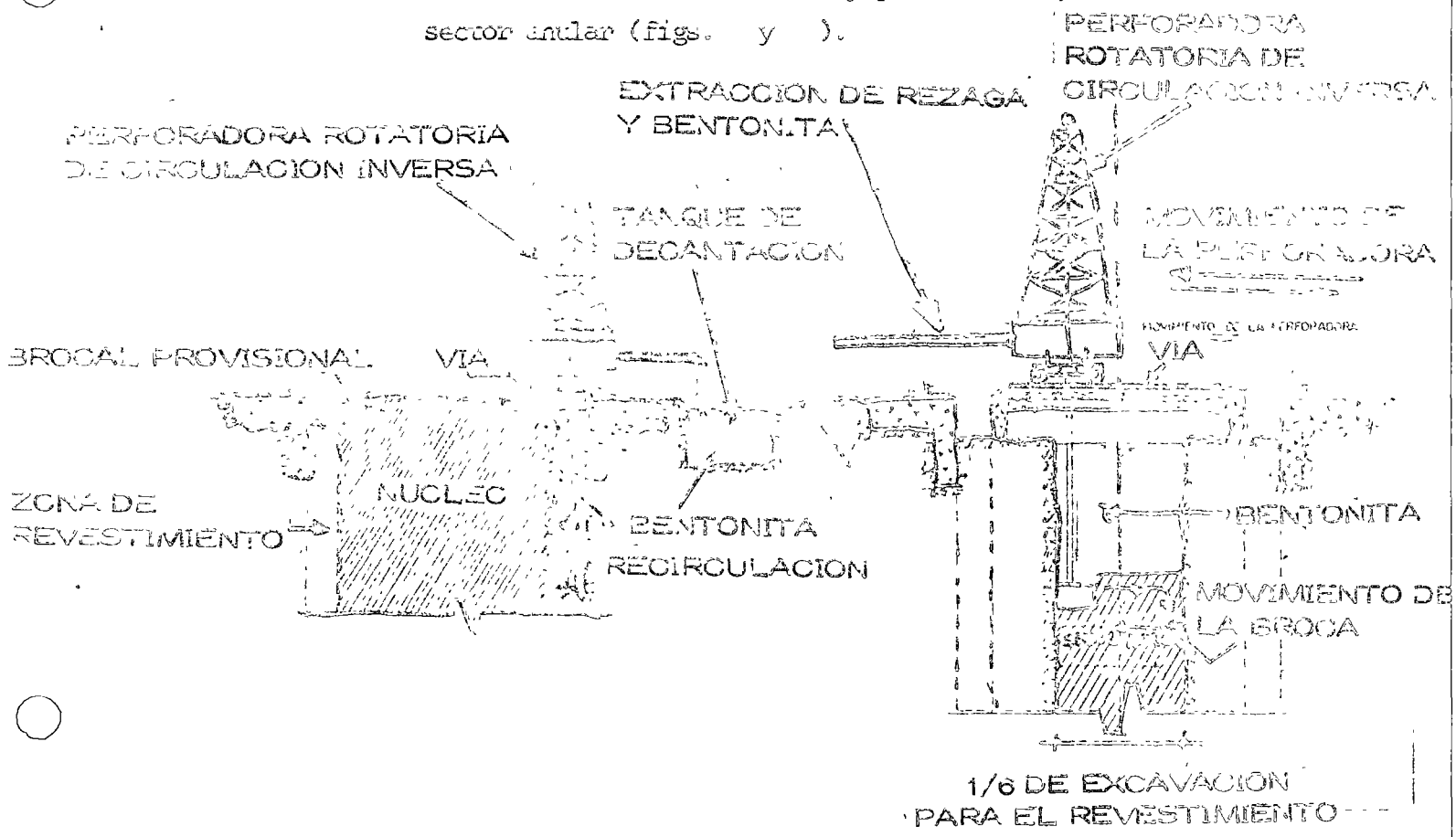


TECNICA SOLETANCHE.

El procedimiento de construcción de lumbreras en [illegible] esta técnica es muy similar a la anteriormente expuesta con dos variantes:

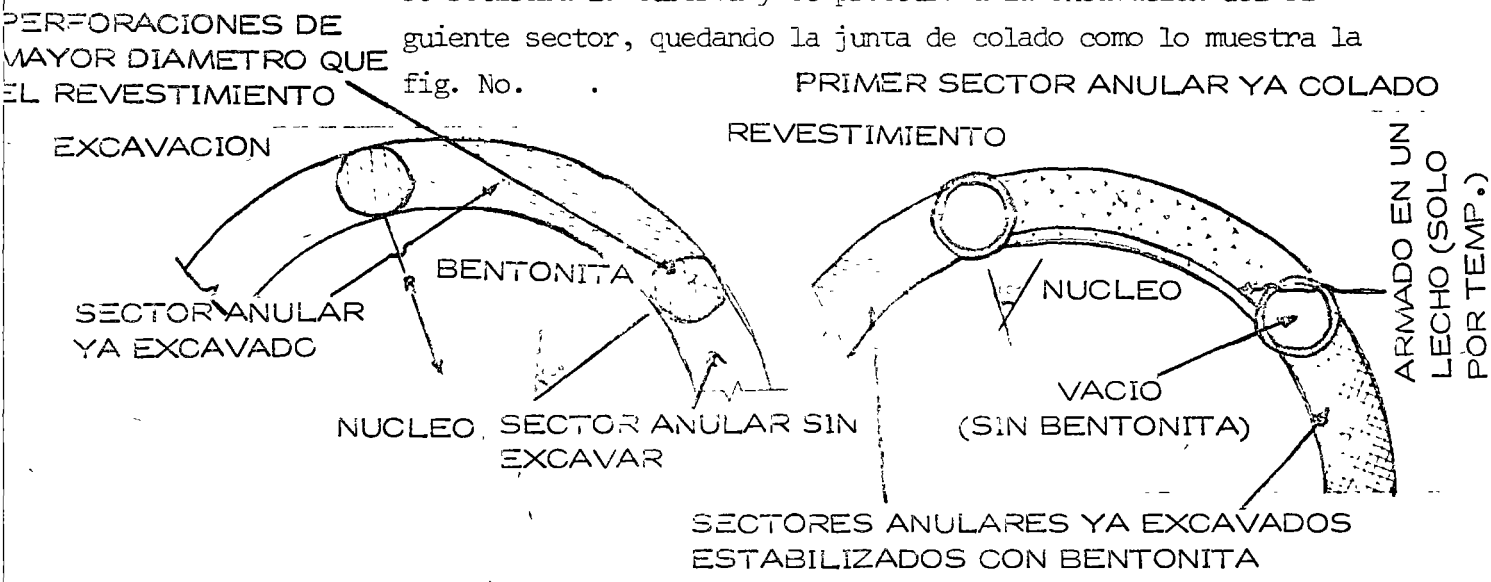
1. La excavación del sector fue efectuada por un [illegible] guiado, colocado en la periferia de la lumbrera, [illegible] sobre una vía; esta maquinaria extraía el material por medio de una broca rotatoria y de percusión.

   Una vez concluída la excavación del material, se inyectaba bentonita por el exterior, y la broca a la vez que liquidaba el material extraía la mezcla de rezaga y bentonita por medio de una tubería de succión interior a la misma, depositando el material en un tanque sedimentador colocado en la superficie, recuperándose la mayor parte de la bentonita para inyectarla nuevamente. La maquinaria además de su movimiento vertical-rotatorio avanzaba con movimiento horizontal y por lo mismo, excavaba todo el sector anular (figs. y).



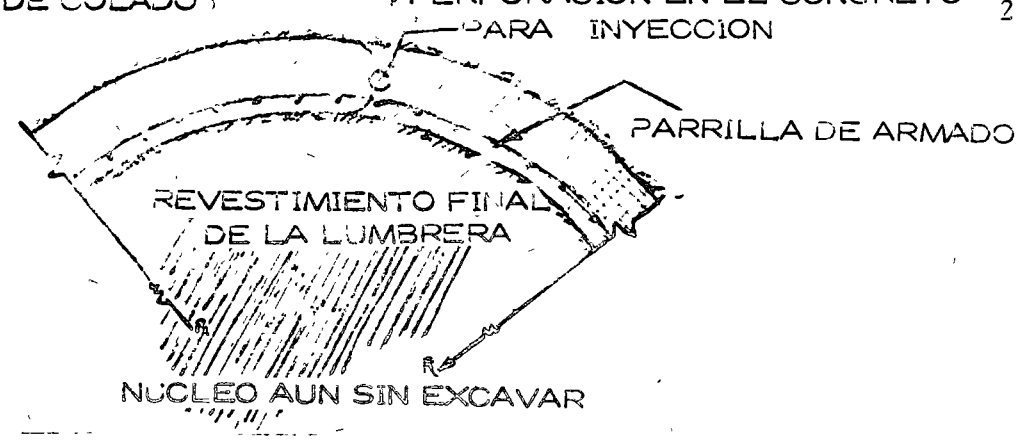
Una vez terminada la excavación de este sector se bajaban las parrillas de armado y se colaba el muro de la lumbrera colocando concreto a través de un tubo tremie, desplazando éste a la bentonita por la diferencia de densidades.

2. El mismo taladro hacía una perforación de mayor diámetro en los extremos del sector anular, en donde se colocaba una tubería, que era la que limitaba el sector, en ambos extremos para posteriormente colar con el procedimiento anteriormente expuesto -- (fig. No.). Una vez que el concreto fraguaba lo suficiente, se retiraba la tubería y se procedía a la excavación del siguiente sector, quedando la junta de colado como lo muestra la fig. No. .



Después de haber colocado todo el muro de la lumbrera, se excavaba el núcleo de la misma por medio de una almeja, y no habiéndose registrado ningún bufamiento importante, no fue necesario estabilizar el fondo con agua o bentonita.

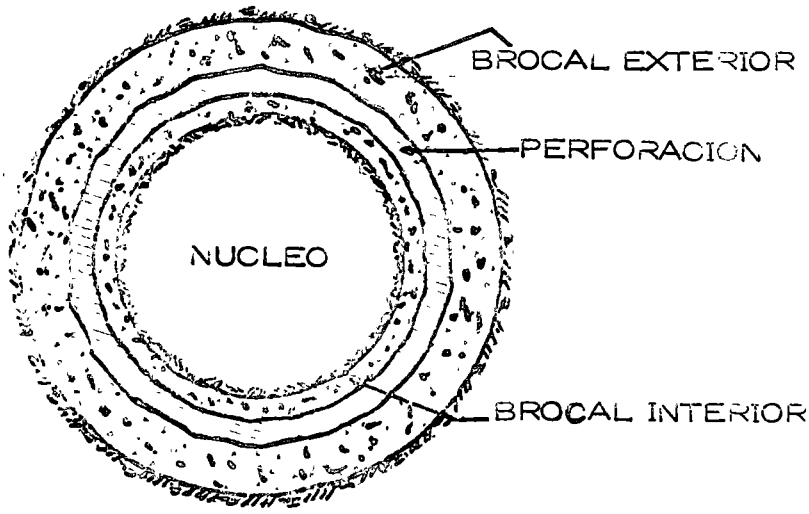
Si a medida que avanzaba la excavación del núcleo de la lumbrera se encontraban escurrimientos fuertes por las juntas, se procedía a hacer un barreno para inyección de lechada, tal como lo muestra la Fig. No. , taponando perfectamente bien cualquier fuga y llenando los huecos que pudieran existir dentro del revestimiento.

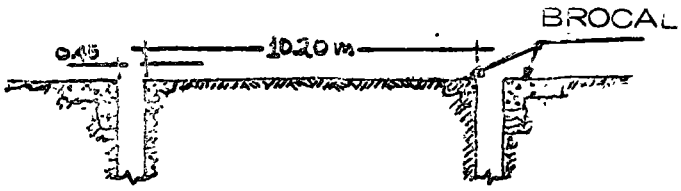


3).- Técnica Estrella.

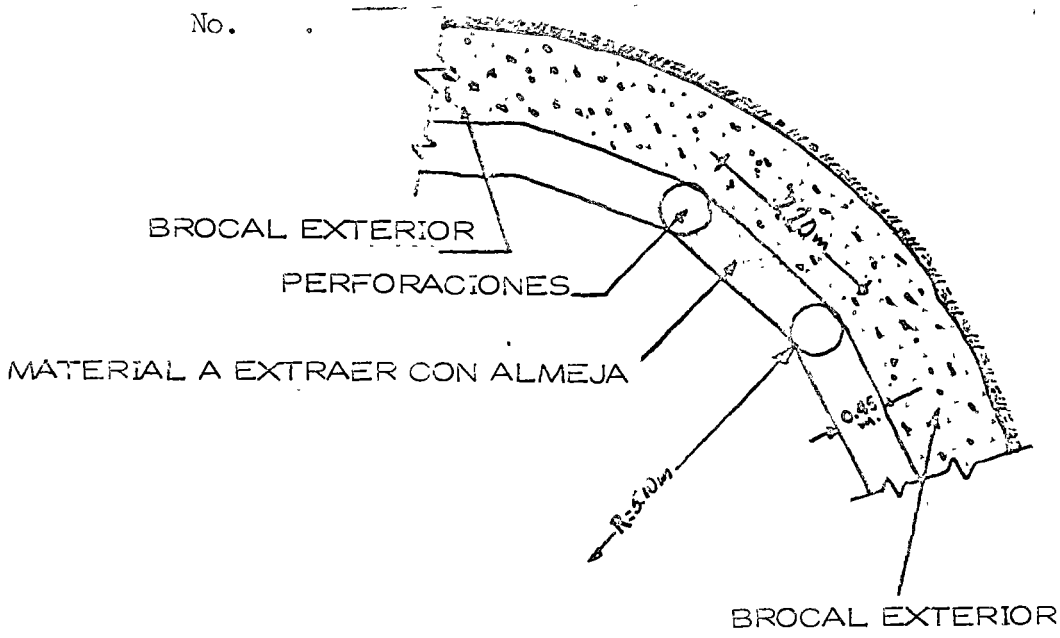
Esta técnica consistía en lo siguiente:

Una vez localizado el centro de la lumbrera se procedía a colar dos brocales, uno exterior y otro interior, de menores dimensiones, formando un polígono de 16 lados, tal como lo muestra la Fig. No.

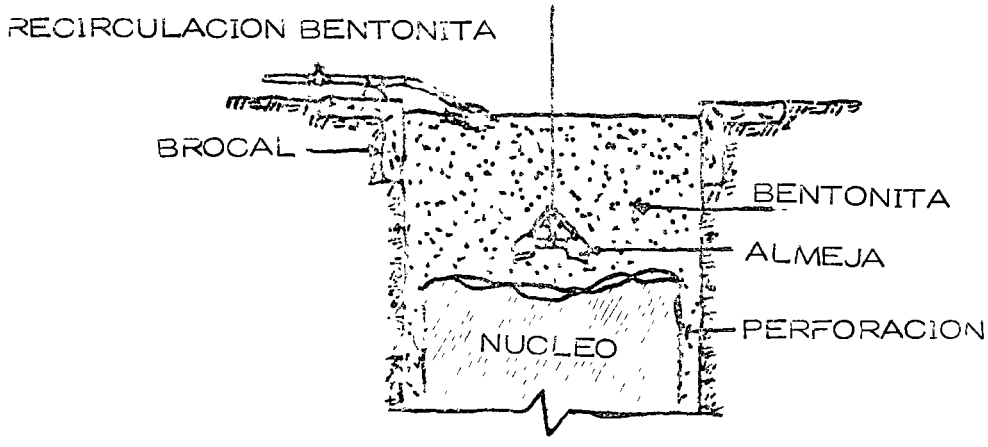




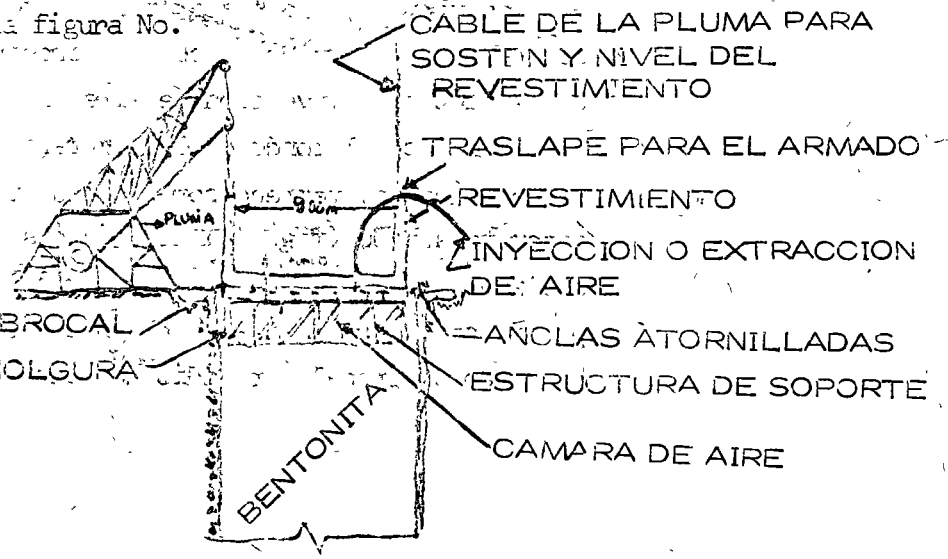
El brocal interior era sólo para marcar perfectamente bien los linderos del revestimiento y evitar deslaves del terreno. Posteriormente se perforaba el material hasta la profundidad requerida, con un diámetro de 45.7 cm (18 pulg) y solamente en las uniones de los lados de la poligonal hasta completar el círculo. El material que quedaba entre una perforación y otra era extraido por medio de una almeja y reemplazado por lodo bentonítico, y así sucesivamente hasta completar el cien por ciento de la excavación, en donde posteriormente iría el revestimiento. Lo anterior se explica gráficamente mediante la fig. No.



Terminada la excavación perimetral, se rompía el brocal interior para poder extraer el núcleo mediante el uso de una almeja, estabilizando las paredes con bentonita recirculada y con un control muy riguroso de densidad (Fig. No.).



Posteriormente, habiendo completado toda la excavación, se colocaba una estructura de acero en forma de tanque cilíndrico invertido, el cual quedaba perfectamente bien anclado en el brocal de la lumbrera por medio de una ménsula unida con tornillos a ambas partes. Inmediatamente después se colaba el fondo propiamente dicho de la lumbrera con una forma especial, quedando apoyado el revestimiento sobre la estructura y ésta, a su vez, sobre el brocal. La estructura servía como cámara de flotación ya que estaba perfectamente sellada contra fugas y tenía además las preparaciones en donde se habían colocado válvulas para permitir la salida del aire. Lo anterior se explica gráficamente en la figura No.



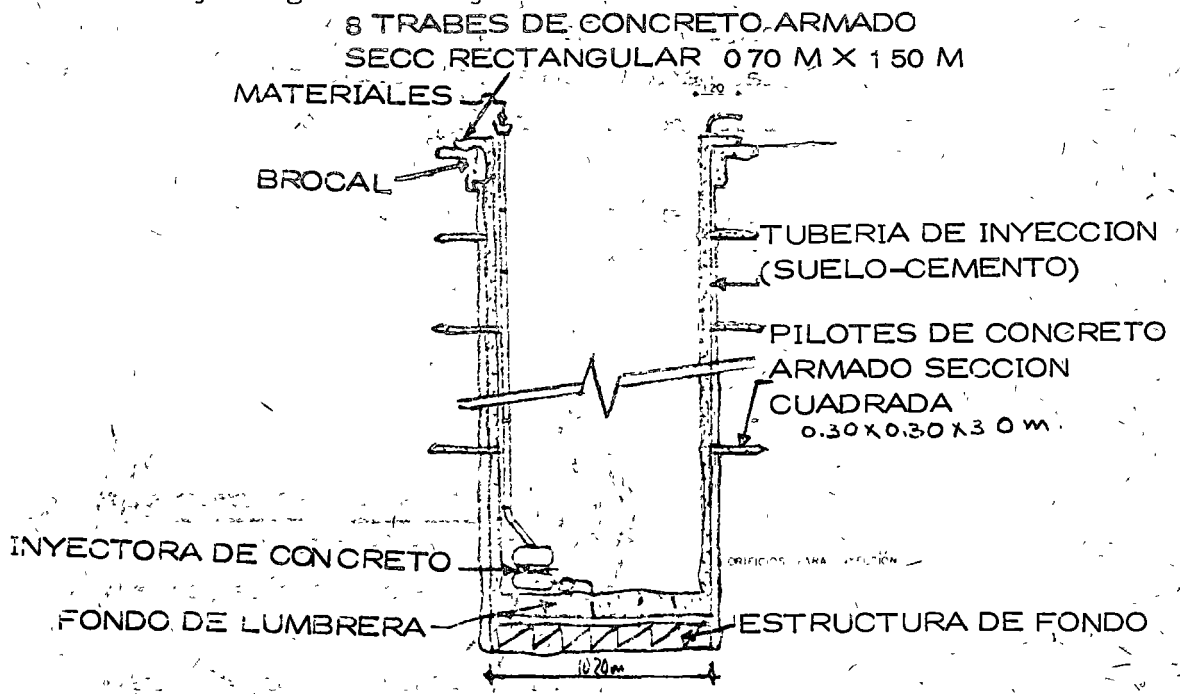
La primera parte del revestimiento era sostenida por la estructura de acero y nivelada por medio de cuatro plumas colocadas en el brocal de la lumbrera, en el sentido de los ejes cardinales. Para esto se dejaban ahogadas en el concreto unas anclas de donde se enganchaban el puntero de la pluma, accionado por medio de un malacate.

Para el proceso de bajar el revestimiento se hacía la siguiente forma: una vez que se tenía colada la parte inferior del revestimiento se inyectaba aire a presión en la estructura para poder desplazar la lechada de bentonita que se encontrara dentro de la misma y permitir que subiera para poder retirar las ancla de soporte, para continuar con el hincado de la estructura y revestimiento por medio de la adición de los tramos de lumbrera y extracción paulatina del aire en el interior de la estructura. Las plumas tenían la función de evitar un deslizamiento incorrecto del revestimiento, ya que el descenso del mismo debería ser tal que estuviera acorde con el fraguado de las formas anteriores.

Conforme se hincaba el revestimiento la bentonita era desplazada por la holgura que existía entre la pared de la excavación y el paño interior del revestimiento, la que era recolectada por medio de canaletas construidas en el brocal.

Una vez terminado de hincar todo el revestimiento, se inyectaba concreto a la estructura por las preparaciones que existían para extracción o inyección de aire, logrando con esto un mejor asentamiento del fondo de la lumbrera. También el revestimiento se ligaba al terreno por medio de pilotes horizontales de concreto armado (fig.), terminados en punta de sección cuadrada de 0.30 m x 0.30 m y 3 m de longitud, insertados en una preparación previamente hecha en el revestimiento; además estaba unido al brocal por medio de ocho trabes de concreto armado,

de 0.70 m x 1.50 m y por 12 m de longitud. En la holgura que quedaba entre el revestimiento y la pared de la excavación se inyectaba suelo-cemento hasta extraer toda la bentonita y dar así mayor rigidez al conjunto.



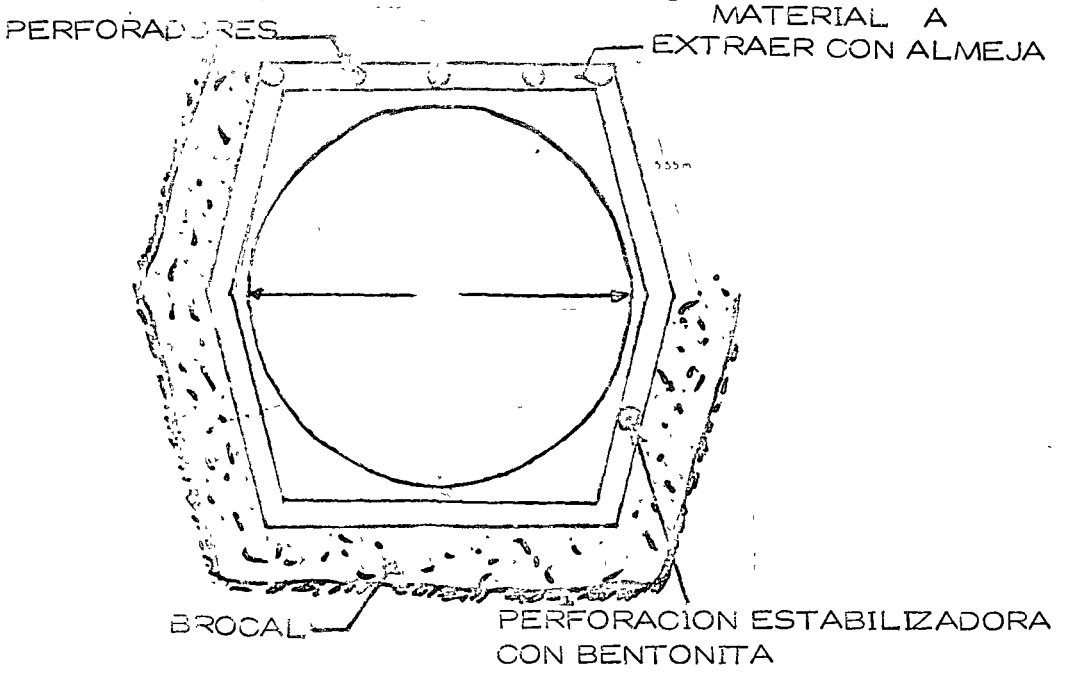
4).- TECNICA ICOS.

El procedimiento de construcción con esta técnica es el siguiente:

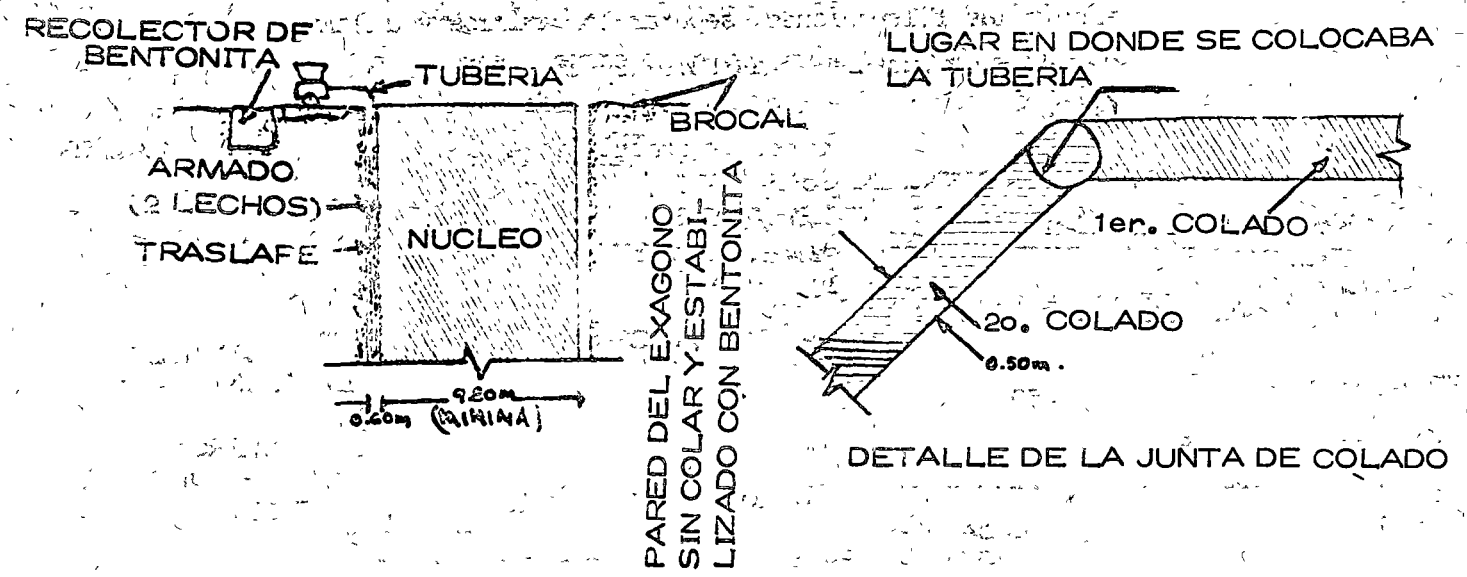
Antes de comenzar la perforación de los muros de la lumbrera se procedió a marcar sobre el terreno un exágono circunscribiendo a un círculo cuyo diámetro era de 90 m en donde posteriormente irían los muros rectos del revestimiento primario hasta la profundidad deseada (40 m máximo). En el exterior se construyó un brocal de concreto para poder colocar la máquina perforadora y la almeja.

Posteriormente se hicieron perforaciones de 0.60 m de diámetro a toda la profundidad, estabilizando las paredes con bentonita. Las perforaciones tenían entre sí una distancia de aproximadamente 2 m y siempre se hacían coincidir con las esquinas de los lados del exágono. El material dejado ante las perforaciones era extraido por medio de una almeja, estabilizando las paredes con bentonita.

Lo anterior se explica gráficamente en la figura No.



Hecho todo esto se procedía a bajar el armado en tramos de 12 m (2 lechos), uniéndolos entre sí por medio de un traslape de 1.50 m. El colado de los muros de la lumbrera se hizo con tubería tremie (Fig.). El concreto iba desplazando a la bentonita por diferencia de densidades hasta finalizar con el colado de una de las paredes del revestimiento primario, para continuar con la siguiente, y así sucesivamente hasta completar con el exágono. Para las juntas de colado se dejaba una tubería que impedía que el concreto se saliera de su lugar, y era extraída una vez que el concreto tenía su fraguado inicial (Fig. No.).

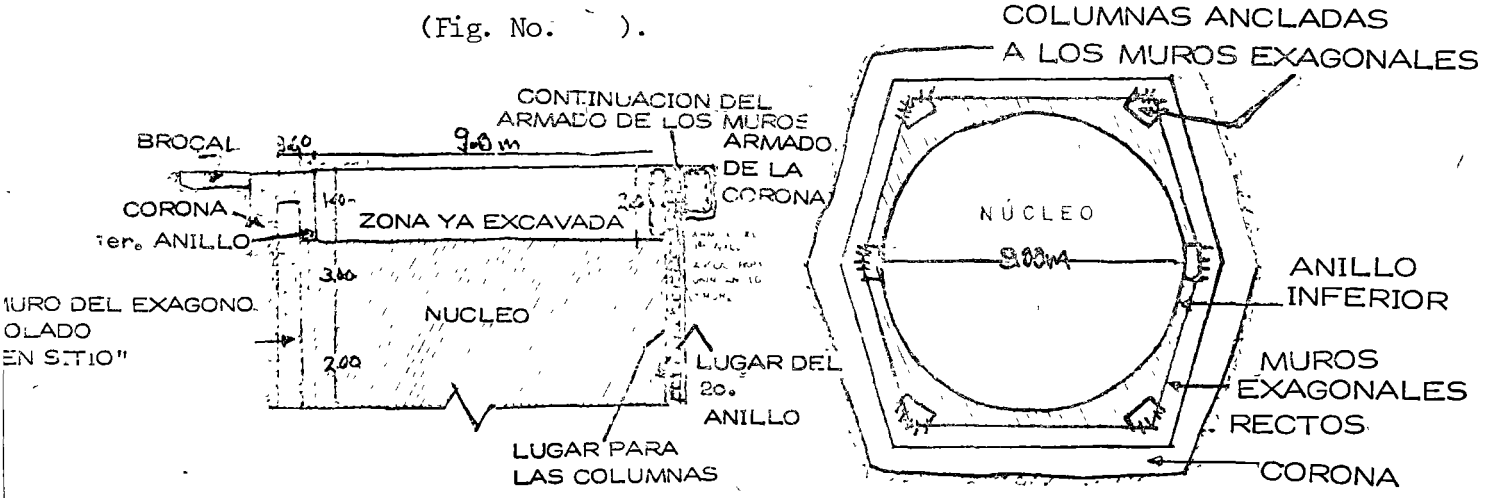


Una vez coladas las paredes del exágono, se procedió a excavar a base de pico y pala, una corona circular de 1.40 m de altura para hacer más rígida la parte superior de la lumbrera, colándose monolíticamente junto con el primer anillo del revestimiento secundario.

La altura del anillo era de aproximadamente 2 m y con un espesor mínimo de 0.40 m su armado era integral al de la corona y anclado a la pared del exágono (Fig. No.).

Después que el concreto de la corona y del anillo había fraguado, se retiraba la forma metálica que había sido utilizada como cimbra y se excavaba el núcleo de la lumbrera hasta una profundidad de 3 m medidos a partir del paño inferior del primer anillo. Esto se hacía con el fin de colar en las esquinas de las paredes del exágono, unas pequeñas columnas cuyo armado era anclado al de las paredes del revestimiento y servían para dis-

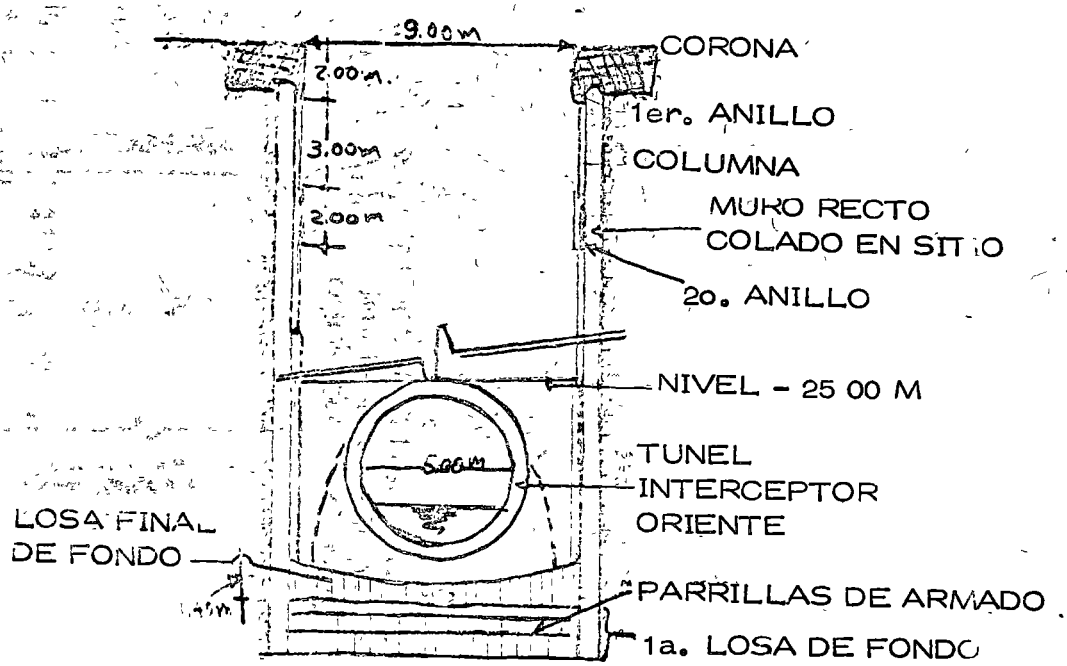
minuir las filtraciones, separar los anillos y dar mayor rigidez a la estructura. Las columnas tenían una altura de 3 m -- (Fig. No.).



El mismo procedimiento anteriormente expuesto fue repetido hasta llegar a una profundidad de 25 m. De este nivel en adelante el revestimiento fue continuo, es decir, ya no se colaron columnas en las esquinas sino que los anillos se continuaron hasta llegar al fondo.

En ninguna de las dos lumbreras construidas con esta técnica se registraron bufamientos importantes del fondo mientras eran construidas.

Para colar el fondo se bombeó el agua que quedaba dentro de la lumbrera y se optó por hacerlo cóncavo para que estuvieran en mejores condiciones de resistir las presiones. Se ancló el armado del revestimiento secundario por medio de soldadura, teniendo un espesor mínimo de 0.80 m tal como lo muestra la Fig. No. .



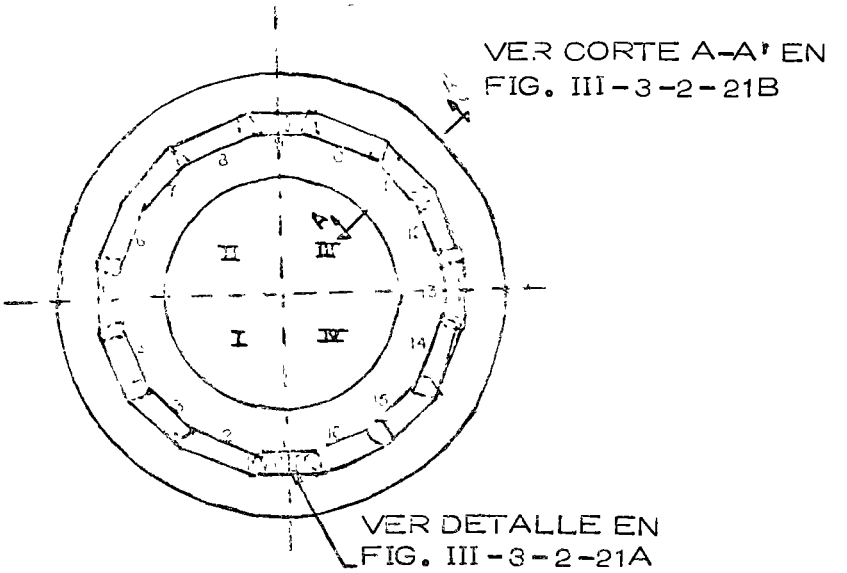
5).- TECNICA IPSA.

Esta técnica fue usada en una lumbrera que se encontraba localizada en sus primeros 23 m de profundidad en arcillas características del Valle de México y en la profundidad restante, en una roca de origen basáltico muy fracturada.

La geometría de esta lumbrera fue muy particular, por ser la que recibía por superficie el agua del gran canal y por la parte inferior salía por el túnel del Interceptor del Oriente.

Esta técnica consistió en lo siguiente:

Localizado el eje de la lumbrera se procedió a marcar en el campo un polígono de 16 lados iguales (Fig. No.).



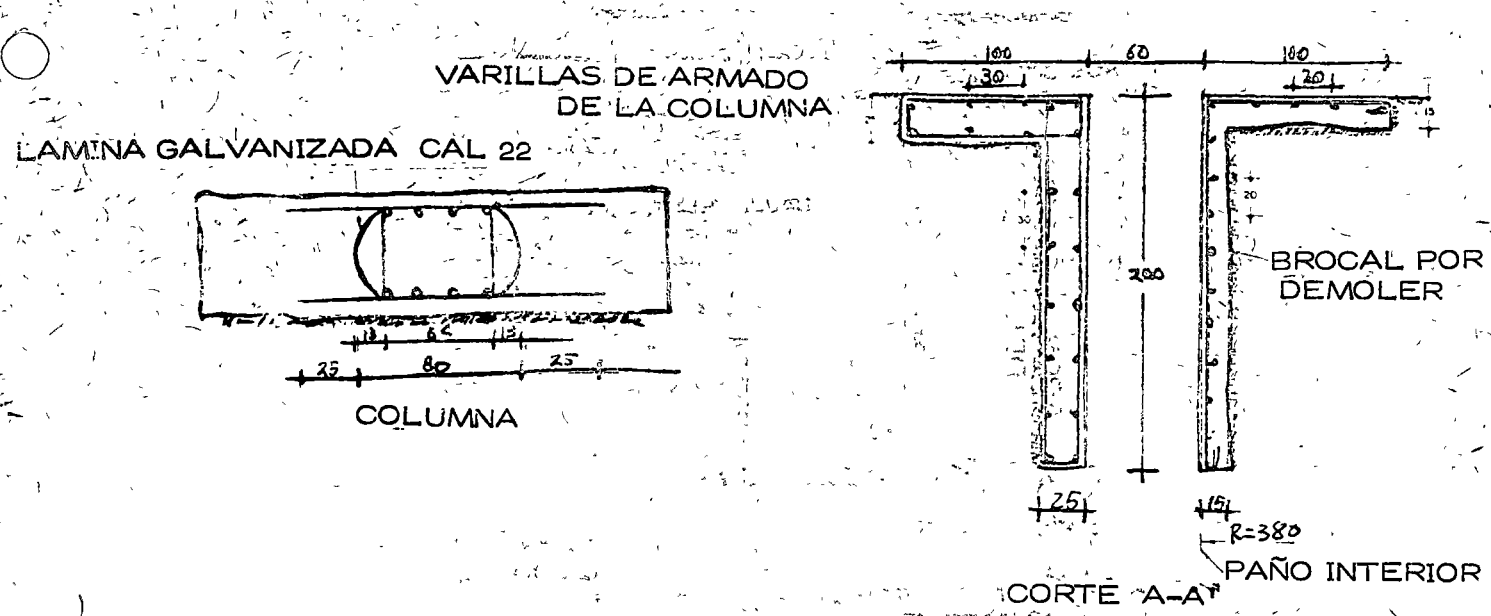
DISTRIBUCION DE TABLEROS

La longitud de cada uno de los lados del polígono era la abertura máxima de la almeja con la que se excavaron los muros de la lumbrera, sustituyendo el material, conforme se iba excavando, por lodo bentonítico.

Al igual que todas las lumbreras, también se excavó a mano el brocal (Fig. No.) corte AA, el cual sirvió como guía a la herramienta de excavación para sostener cualquier desprendimiento de sus paredes.

El procedimiento de excavación de los tableros de la lumbrera fue el siguiente:

1. Excavación del tablero No. 1
2. Colocación del armado de acero de refuerzo de la columna A, (Fig. No.).
3. Colado bajo lodo bentonítico, un tubo tremie de la columna A.
4. Excavación del tablero No.
5. Colocación del armado de acero de refuerzo de la columna B.
6. Excavación del tablero No. 2
7. Excavación del [illegible] No. 4

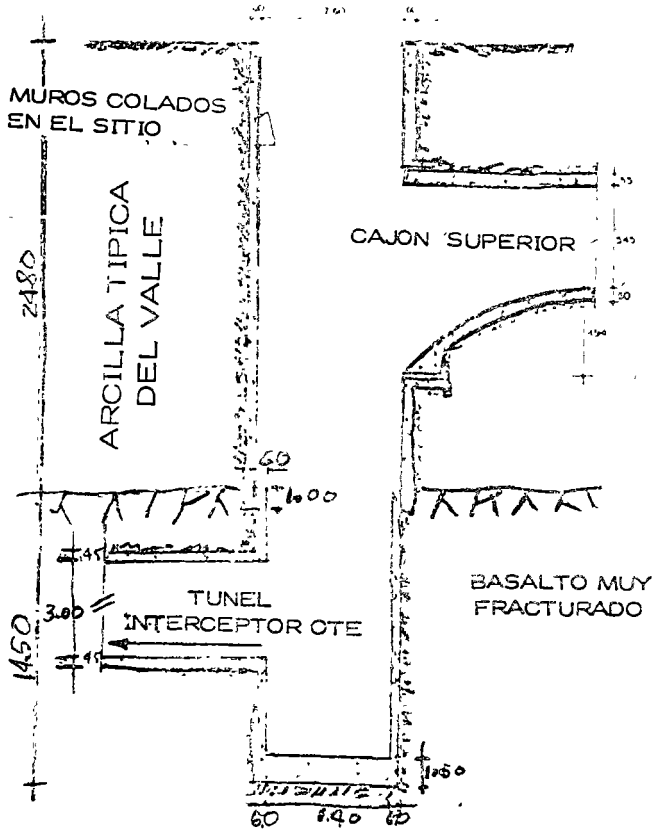


8. Excavación del tablero No. 3
9. Colado bajo lodo bentonítico de los tableros 2, 3 y 4.

La misma secuencia mencionada anteriormente se sigió para los tres cuadrantes restantes.

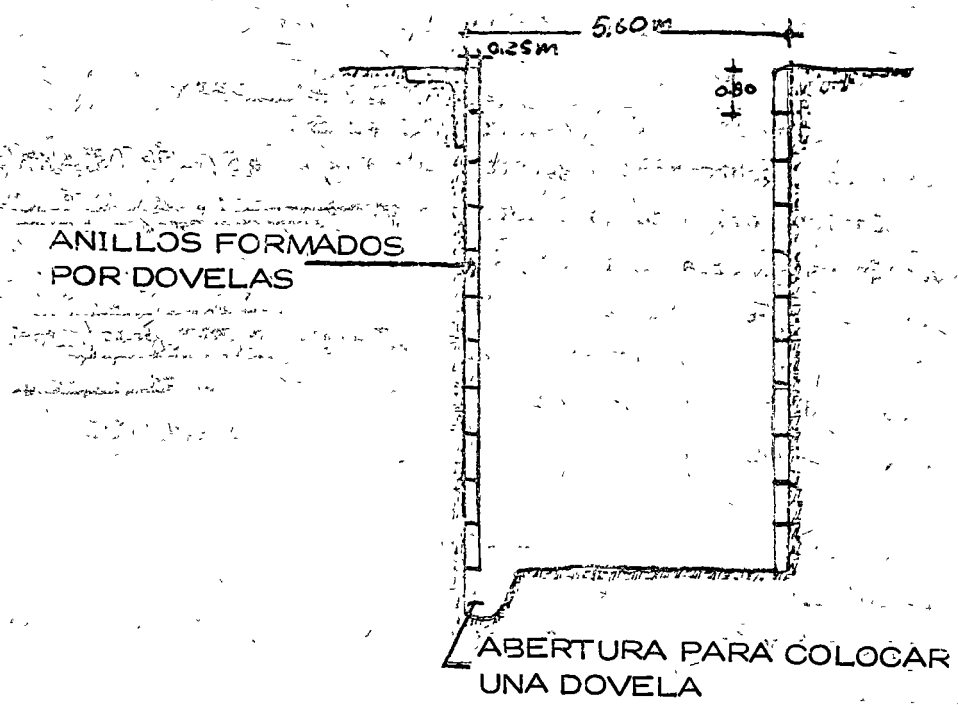
Todos los muros de la lumbrera fueron colados hasta la profundidad 24 m dejando las preparaciones necesarias, en los tableros correspondientes, para recibir la conexión de un cajón superficial.

Colados los muros de la lumbrera se procedió a excavar el núcleo hasta los 23 m mediante una almeja, posteriormente se cambió el procedimiento de excavación, usando explosivos hasta llegar a la profundidad necesaria (Fig. No.).



6. Este procedimiento fue ejecutado en limos y arcillas en los cuales no se presenta la falla de fondo. Localizado y trazado el eje y el radio de la lumbrera se excavó a mano, hasta la profundidad de 2 m procediéndose a armar y colar el brocal de una pieza.

De los 2 m en adelante se excavó con martillos neumáticos (rompedoras), del tipo Tex 10 ó CP-111 de 10 kg de peso, los cuales llevaban como herramienta de ataque pulsetas anchas del tipo pala. Con esta herramienta se abría el espacio (Fig. No.) necesario para que entrara una dovela y así sucesivamente hasta completar el anillo que forma el ademe de la lumbrera. Al mismo tiempo que se colocaban los anillos, éstos se iban anclando al terreno, y cada tres anillos se colocaba un tapón en el fondo para proceder a la inyección de lechada de cemento y acelerante, llenando las cavidades que existían entre dovela y terreno.



Para la extracción de rezaga la bajada y colocación de las dovelas se utilizó una grúa, situada en la proximidad del brocal, la cual con un bote de aproximadamente 0.8 m3 sacaba el material producto de la excavación.

Previamente al inicio de la excavación de la lumbrera, se perforaron exteriormente a ésta, pozos para el abatimiento del nivel freático y control de filtraciones, logrando con ello una excavación en seco. Estos pozos se dejaron funcionando durante toda la etapa de excavación de la lumbrera.

III. - TÚNELES INCLINADOS

En las excavaciones subterráneas generalmente nos encontramos con la construcción de túneles horizontales e inclinados, donde cada uno de éstos cumple una función específica; así por ejemplo, un túnel inclinado se utiliza en proyectos hidroeléctricos para transportar el caudal a presión para posteriormente distribuirlo y alimentar las turbinas de la casa de máquinas para que ésta produzca energía eléctrica. En general los túneles inclinados tienen varias funciones.

Los túneles horizontales sirven para transporte de agua potable, como desvío para la construcción de presas, como comunicación (para vehículos, ferrocarriles, etc.) y éstos se construyen teniendo una secuencia de actividades que son:

1. Trazo
2. Barrenación
3. Carga, poblado y tronada
4. Ventilación
5. Rezaga
6. Ademado

Pues bien, los túneles inclinados siguen el mismo proceso pero difieren únicamente en la rezaga, que ésta se convierte en crítica debido a la inclinación de éstos. Se puede considerar que los túneles inclinados son aquéllos que tienen una pendiente entre 1.5% y 45° de inclinación, por lo cual se considera lo siguiente:

De 1.5% a 15% se usa equipo sobre neumáticos.
De 15% en adelante se usa equipo sobre neumáticos o de vía, pero con ayuda de malacates.

Por lo dicho anteriormente nos avocaremos al estudio de la rezaga.

3 REZAGA CON MALACATES.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

Se baja el equipo de rezaga por medio del malacate hasta el frente, este equipo puede ser equipo neumático o equipo de vía y se detiene el equipo por medio del cable del malacate para que pueda cargar. - Cuando se usa equipo de vía, se ancla la vía hasta encontrar roca - sana y podemos usar una rezagadora Conway, EIMCO o cualquiera otra que a su vez cargará sobre las vagonetas. El equipo estará sujeto mediante el cable del malacate ya que el equipo no tiene adherencia al terreno debido a la inclinación.

Una vez que las vagonetas se han llenado, un malacate las jala hasta la superficie en donde descargarán el material; una vez vacías las - vagonetas se vuelven a bajar para que la rezagadora las vuelva a cargar. Esta operación se repite hasta que la rezaga esté concluida. Posteriormente la rezagadora se jala para que dé oportunidad de entrar al equipo siguiente, que es el de barrenación.

Podemos tener cambio california o bien doble vía. Usando equipo neumático se puede usar un rezagador EIMCO o un CAVO, donde el malacate baja el cargador hasta el frente y después de que acaba de llenar el cucharón lo sube hasta la superficie donde descarga sobre un camión.

El malacate es generalmente accionado por motor eléctrico, diseñado y fabricado para una capacidad nominal de acuerdo al peso del equipo que vaya a soportar y jalar, provisto de una base metálica para ser anclado en una fundación de concreto.

El malacate deberá ser garantizado para soportar con seguridad una - sobrecarga del 25% de su capacidad, también deberá estar provisto de un freno de servicio normal y de un freno de energía, accionado manual y automáticamente.

Un procedimiento muy usual es aquél en que se usa equipo de vía (vagonetas) y equipo neumático (cargador). Dependiendo del ancho del túnel se podrá usar doble vía o una sola vía que estará a los lados del cargador para que éste pueda ejecutar la carga de la siguiente manera:

El cargador carga de frente y después de cargar da un giro hacia la izquierda o a la derecha en donde estará la vagoneta y depositará el material en ésta. Todo el equipo estará en el frente sujeto por los cables del malacate; así si hay tres equipos, habrá tres cables sujetándolos.

El equipo que se usa comunmente es el ALIMAK LMG-600 que es la rezagadora y puede operar con el equipo complementario (malacate) hasta una inclinación de 60°.

En el dibujo posterior se describe el procedimiento.

3 B. REZAGA CON ESCREPA DE MINA.

Las escrepas de minas son equipos que tienen la propiedad de que se autocargan y transportan el material hasta el botadero.

La ventaja de este equipo es que se evita el uso del cargador y además las operaciones de rezaga se hacen utilizando una línea de acción, es decir, que estará un solo equipo haciendo dos operaciones (rezagando y transportando).

La operación de rezagado consiste en que la escrepa llega en reversa al frente, se acomoda y empieza a cargar el material sobre la caja que éste tiene y una vez llena se retira hasta el botadero.

Cuando la sección del túnel es muy grande, mayor de 25 m2 y la longitud del túnel es arriba de 700 m, entonces ya no es conveniente usar -

este tipo de máquina porque sería muy costoso el acarreo, debido a que el rendimiento sería bajo o tendríamos que usar un número muy grande de escrepas, es decir, se perdería mucho tiempo en la operación de rezagado.

Las escrepas de minas también se conocen como CAVOS.

En resumen, se puede decir que las escrepas de minas operan eficientemente para túneles angostos de pequeña longitud.

Cuando un túnel es de una sección grande y además muy largo es conveniente pensar en cargadores y camiones. La capacidad de las escrepas de minas estará en función de las necesidades de tiempo para extraer la rezaga.

Para el análisis del ciclo de la rezaga se deberá tomar en cuenta lo siguiente:

1. Tiempo en llegar al frente
2. Tiempo de carga
3. Viaje al tiradero (lleno)
4. Regreso al frente (vacío)
5. Tiempo de acomodos.

Sumando los tiempos, obtenemos el ciclo total y si dividimos la capacidad efectiva de la escrepa de minas entre el ciclo total en horas, obtendremos el rendimiento en m3/h, y si dividimos el volumen de rezaga entre el rendimiento obtendremos el tiempo de rezagado; en función del tiempo que necesitemos para rezagar obtendremos el número de escrepas, siempre y cuando la sección del túnel permita la circulación de dos motoescrepas, es decir, escrepas que entran a cargar y escrepas que salen a tirar el material.

Cuando la sección del túnel permita únicamente la entrada de una escrepa se tomarán en cuenta el tiempo de espera o bien se podrán construir núcleos dentro del túnel para que las motoescrepas no tengan que esperar en el portal.

3 C. EQUIPO SOBRE NEUMATICOS.

De gran importancia en los costos y tiempos de conducción de los trabajos resulta el equipo empleado para rezagar y transportar la roca fragmentada producto de las tronadas en los túneles, cuya capacidad deberá ser determinada en función de obtener ciclos en los que el conjunto de operaciones se encuentre balanceado, de suerte de lograr una secuencia sincronizada en turnos completos.

En las excavaciones subterráneas, la limitación de espacio suele ser uno de los factores que mayor influencia ejercen en la selección del equipo de rezagado (cargadores y vehículos de transporte); así por ejemplo, en túneles y galerías de dimensiones muy reducidas en los que no hay cupo o no es económico, el empleo de equipo mecanizado, la rezaga se carga a mano, transportándola bien sea en camiones pequeños o en carretillas de mano hasta fuera de la excavación.

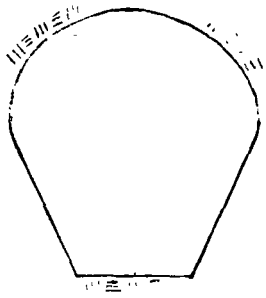
Actualmente en túneles es muy común usar equipo neumático para aquéllos túneles en donde la longitud no es muy grande pero la sección sí lo es. Es fácil pensar en un análisis de precios en donde se hagan dos alternativas: con equipo neumático y con equipo de vía, operando en un túnel de sección mayor de 35 m2 y de longitud menor de 3 km, en donde con equipo neumático podríamos obtener mayor rendimiento que con el de vía, además de tener menor mantenimiento de vía; esto se debe a que el equipo neumático que se emplea se utiliza en excavaciones a cielo abierto en donde hay una variedad de equipo neumático de diferentes capacidades, siendo estas bastante altas, es decir, podemos usar un equipo neumático: cargadores frontales, camiones de diferente capacidad, cargadores EIMCO, jumbos para barrenación.

EL factor de rendimiento de trabajo tiende a ser muy bajo en los trabajos subterráneos, debido a que difícilmente la maquinaria disponible por parte del contratista se adapta perfectamente a las condiciones de obra, y al congestionamiento que priva en los frentes de ataque; en otras de condiciones promedio, dicho factor es del orden de 0.65

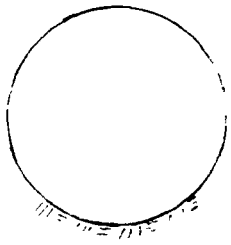
El equipo sobre neumáticos se usa en túneles cuya pendiente sea hasta 15% ya que pasando ésta no habrá adherencia entre llantas y terreno y por lo tanto no habrá eficiencia.

Para la selección del equipo neumático se deberán considerar varios factores como son los siguientes:

a) tipo de sección del túnel que puede ser:

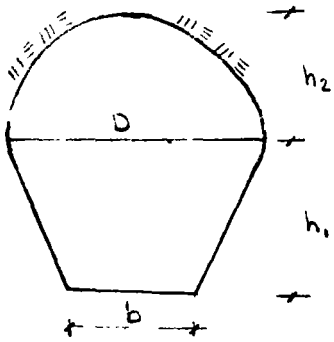


Herradura



Circular

b) Dimensiones de la sección como son: base, altura, diámetro.



c) Longitud del tren
d) Volumen de rezaga con su respectiva granulometría y calidad de la roca.
e) Tiempo disponible según programa para terminar totalmente la - excavación del túnel.

El tipo de sección del túnel es muy importante, ya que con el tipo de sección y sus dimensiones sabremos qué equipos son los más adecuados para trabajar en el túnel y que generalmente los equipos más críticos son los de rezaga, de esta manera podremos saber si tendremos que realizar una sobre-excavación para que pueda caber perfectamente el equipo o bien no realizar ninguna sobre-excavación. En base a lo anterior podremos tener una lista de los equipos que se adapten a la sección del túnel ya que generalmente habrá más de un equipo que posiblemente podamos usar.

Con el equipo seleccionado: cargadores neumáticos de diferente capacidad, camiones para roca de diferente capacidad, deberemos saber cuál es el que mejor se adapta para nuestro túnel, tanto en rendimiento - como en condiciones óptimas de operación.

3 D. CARGA Y ACARREO.

Para el equipo de rezaga lo dividiremos en dos:

1. Equipo de carga
2. Equipo de acarreo.

Equipo de carga es el que recoge el material producto de la tronada y lo deposita en los camiones y éstos a su vez lo transportan al tiradero.

Equipo de acarreo es el que se encarga de transportar el material hasta el tiradero y regresar nuevamente hasta el frente para que sea nuevamente cargado.

Cuando la distancia del frente al portal o al tiradero no es muy grande (500 m) se puede usar equipo que cargue el material y el mismo lo transporte y lo tire.

El equipo neumático es conveniente usarlo hasta 15% de pendiente.

En túneles inclinados con pendiente hasta 15% el equipo de carga podrá ser:

Cargadores sobre neumáticos que descarguen:

a) Frontalmente
b) Lateralmente
c) Combinación de a) y b)

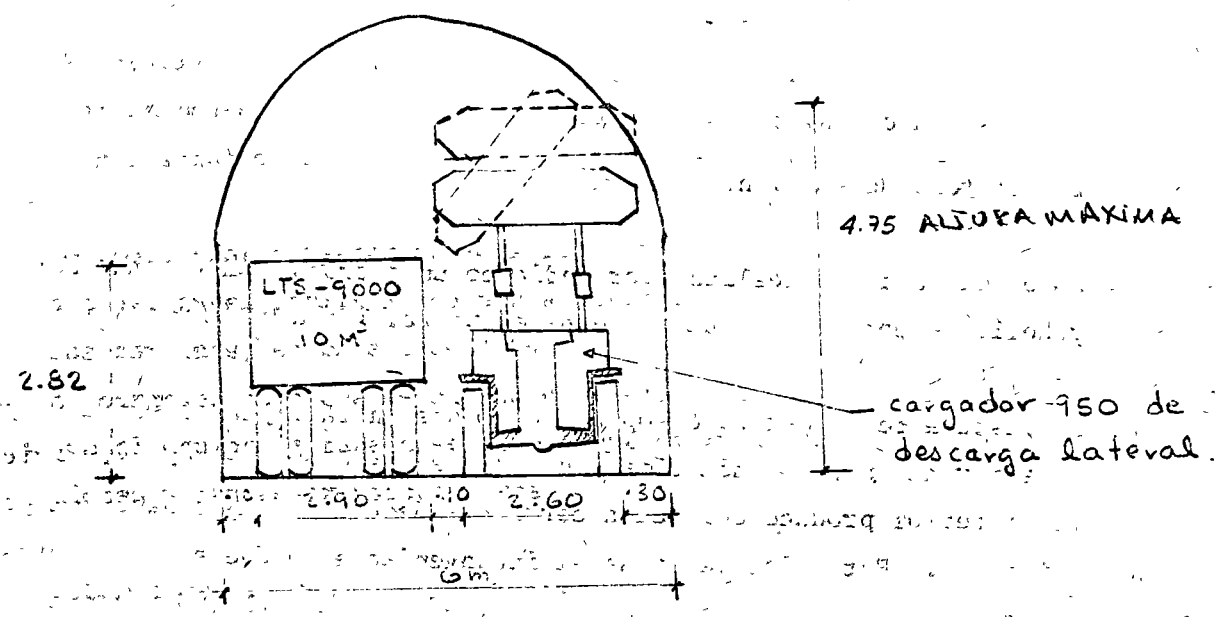
a) Se podrá usar cargador que descargue frontalmente cuando las dimensiones del túnel permitan que pueda cargar, maniobrar y descargar sobre los camiones; en este caso la sección es tan amplia que permite girar al cargador para que descargue de frente. Es de importancia señalar que el equipo de rezaga se deberá estudiar en conjunto: cargadores, camiones y bandas transportadoras.

Debemos realizar dibujos a escala del equipo que propongamos utilizar, para, de esta manera, darnos cuenta cómo trabajaría el equipo, es decir, los movimientos que hace (maniobras) y ver si es factible que los haga.

b) Cuando la sección del túnel es tal que permite la entrada de un camión y un cargador a la vez y no es factible hacer maniobras para el cargador, entonces el cargador deberá ser de descarga lateral, es decir, que el cargador tendrá movimientos para el frente y en reversa únicamente.

El equipo de rezaga que se vaya a utilizar será el que funcione mejor coordinadamente y además el rendimiento deberá ser tal que podamos cumplir con el tiempo disponible de ejecución.

Todo esto lo s emos mediante análisis del tiempo de la rezaga, en el cual deberemos obtener el rendimiento efectivo del cargador y balancearlo con el equipo de acarreo, es decir, determinar la capacidad y número de camiones.



EQUIPO NEUMATICO

a).- Equipo de Carga

b).- Equipo de Acarreo

IV. VENTILACION

En las excavaciones subterráneas es necesario ventilar los frentes de trabajo para eliminar o diluir los gases tóxicos producidos por la tronada de explosivos y por las máquinas empleadas en el interior del túnel; es también indispensable suministrar aire fresco y puro a los trabajadores que laboran en el túnel.

Los sistemas de inyección de aire o ventilación son dos:

1. Sistema de inyectado o soplado
2. Sistema de succión.

Ambos sistemas se realizan por medio de un aparato llamado ventilador y una tubería de conducción que va desde el portal hasta el frente de trabajo.

El sistema de inyectado o soplado consiste en la inyección de aire puro del exterior al interior del túnel, el cual al mezclarse con el aire viciado del interior produce una lenta corriente desde el frente hasta el portal del túnel. Este sistema tiene el inconveniente de que se puede presentar el caso que los gases tóxicos al salir afecten a trabajadores que regresan al frente de trabajo. Además también tiene el inconveniente de que la ventilación es muy lenta.

El sistema de ventilación por succión extrae el aire viciado del área cercana al extremo del ducto de ventilación.

En la práctica se ha observado que es conveniente tener un sistema de ventilación combinado de inyección y succión, lo cual se logra con pequeñas modificaciones al mismo equipo e instalaciones.

La cantidad de aire requerido está en función de las siguientes variables:

a) La cantidad de H.P. de las máquinas de combustión interna que laboran - en el interior del túnel.

b) El número de personas que trabajan en los frentes del túnel.

c) Tipo y cantidad de explosivos empleado en la tronada.

La cantidad de aire necesario puede estar determinada de dos maneras: una, la necesaria para el equipo y para el personal o dos la necesaria para desalojar el aire de la tronada, lo anterior es debido a que cuando se extrae - el aire viciado de la tronada no están trabajando equipo ni personal dentro del túnel las cantidades de aire necesarias las podemos enunciar:

Q1 = Cantidad de aire necesario en m3/min por H.P. de maquinaria que opera dentro del túnel

Q2 = Cantidad de aire necesario en m3/min por hombre.

Q3 = Cantidad de aire necesario en m3/min por tronada o explosión.

El parámetro Q1 lo podemos calcular mediante la expresión:

$$Q1 = \frac{X}{M}$$

Donde:

Q1 = Relación de ventilación (CFM)
X = Cantidad de substancias tóxicas (CFM)
M = Concentración máxima permisible, en substancias tóxicas por - pie cúbico de aire en p.p.m. (partes por millón), expresado - como fracción.

En condiciones normales de trabajo de los motores de combustión interna, podemos decir que los gases producidos por minuto y por H.P. a plena carga y a velocidad máxima son los siguientes:

Bióxido de carbono:	0.267 fts3.
Oxido de nitrógeno:	0.001512 fts3.
Monóxido de carbono:	0.000592 fts3.

Los valores anteriores pueden sufrir modificaciones de acuerdo al estado del equipo.

Los valores de concentracion máxima permisible son los siguientes:

Bióxido de carbono:	10.000 p.p.m.
óxido de nitrógeno:	36.5 p.p.m.
Monóxido de carbono:	100.0 p.p.m.

Si aplicamos estos valores a la expresión, obtenemos:

$$Q1 = \frac{X}{M} + \frac{XCO}{MCO} + \frac{XCO_2}{MCO_2}$$

$$Q1 = \frac{0.001512}{\frac{36.5}{1'000,000}} + \frac{0.000592}{\frac{100}{1'000,000}} + \frac{0.267}{\frac{10,000}{1'000,000}}$$

$$Q1 = 41.4 + 59 + 26.7 = 74 \text{ CFM} = 2.1 \text{ m3/min}$$

Los reglamentos de seguridad fijan: Q1 = 2.5 m3/min por H.P., que es conservador aparentemente, pero si los equipos se encuentran en muy malas condiciones, pueden ser ligeramente mayores.

Por el valor de Q2 podemos considerar el indicado por el Mine Bureau de Estados Uniddos que establece como 1.5 m3/min por hombre.

Finalmente la cantidad de aire necesaria para extracción de gases producidos por la explosión o tronada (Q3) está dada por:

$$Q3 = \frac{36\ S}{T} \text{ m3/min}$$

Donde:

S = Cantidad de explosivos en kg por carga

T = Tiempo de ventilación en minutos

Las especificaciones de construcción de S.R.H. fijan como mínimo 30 minutos el tiempo de ventilación, sin embargo, este valor debe ser calculado razonablemente para cada caso, pues es evidente que entre mayor sea el ventilador menor será el tiempo de ventilación.

Ahora bien, debemos de considerar que generalmente el equipo de ventilación se selecciona de acuerdo al equipo de combustión interna y personal que labora, por lo que el valor de Q3 deberá determinarse en función de Q1 y Q2, es decir:

$$Q3 = Q1 + Q2 = \frac{36\ S}{T}$$

de donde podemos despejar el valor (T) del tiempo de ventilación.

Si el valor de T resulta muy grande, de tal manera que afecte nuestro ciclo de trabajo, entonces debemos considerar el valor de (T) que nos convenga y en función de él hacer los calculos correspondientes y poder seleccionar el ventilador adecuado.

Otros factores que debemos tomar en cuenta son las pérdidas de presión y fugas de aire en la tubería de conducción, altura sobre el nivel del mar y densidad del aire.

Para calcular las pérdidas de presión se emplea la fórmula:

$$h = a\ \frac{Q^b L}{D^s}$$

En donde:

L = Longitud de la línea de conducción (m)

D = Diámetro de la línea de conducción

a y b = coeficiente de fricción de la tubería

Los valores usuales para a y b son:

CLASE DE TUBERIA	a	b
De chapa de acero	0.00205	2.0
Prefabricadas	0.00210	1.7

La pérdida de presión la podemos obtener también mediante la gráfica anexa que es la expresión gráfica de la ecuación anterior.

Las pérdidas por fugas usualmente se consideran entre el 10% y el 20% del total de la presión requerida.

En términos generales, es conveniente incrementar hasta 100% la ventilación para tomar en cuenta estos factores.

Ejemplo de cálculo:

Consideramos un túnel de sección de 51 m2, se emplean barrenos de 4 m de profundidad, la cantidad de explosivos es de 0.8 kg/m3. El túnel se encuentra a 2,180 m sobre el nivel del mar. La rezaga se hará mediante un cargador neumático de 120 H.P. y dos camiones de 80 H.P.

Se pide calcular el diámetro de la tubería, el tipo de ventilador y su separación.

EL TUNEL. SOLUCION:

Cálculo de Qi Q2 y Q3.

Cantidad de H.P.:

Cargador		120 H.P.
Camiones:	2 x 80 =	160 H.P.
		280 H.P.

Q = 2.5 m3/min x 280 = 700 m3/min.

Cantidad de hombres trabajando:

Operadores de equipo:	3
Ayudantes	3
Peones:	2
T o t a l :	8

Q2 = 1.5 m3 x 8 = 12 m3/min.

Cantidad de explosivo:

Volumen por tronada: 51 m3 x 4 = 206 m3

= 0.8 kg/m3 x 206 m3 = 165 kg/carga ($)

Si queremos que el equipo esté regido por el número de máquinas de combustión interna y personal de trabajo, tenemos:

$$Q3 = Q1 + Q2 = 700 + 12 = 712$$

Por lo tanto:

$$Q3 = \frac{36\ S}{T} = 712$$

Despejando T:

$$T = \frac{36\ S}{T} = \frac{36 \times 165}{712} = 8.4 \text{ min.}$$

Se puede considerar el equipo para 712 m3/min y dar una ventilación de 30 min. que es la usual.

En la gráfica número 2, capacidad de los ventiladores, obtenemos que para un volumen de 712 m3/min = 42,700 m3/h, un ventilador tamaño 100-4 trabajando a 1,460 rpm, el cual indica una presión total de 160 mm.c.a. y una potencia consumida de 25 KW = 33.5 H.P.

Como esta gráfica está referida a aire a 20°C y a una densidad de 1-2 - kg/m3 o sea, las condiciones de aire normal al nivel del mar, haciendo - las correcciones necesarias por presión barométrica, o sea, corrección - por altura de operación.

Para la altura de 2,180 m sobre el nivel del mar corresponde una presión barométrica de 590 mm Hg y la densidad del aire es 0.92, y sabemos que - para el nivel del mar corresponde 760 mm Hg.

El factor de corrección será:

$$\frac{760}{590} = 1.29$$

Corrigiendo la presión total y la potencia necesaria tenemos los siguien-- tes datos de operación del ventilador:

Volumen de aire:		42,700 m3/h
Presión total (PT)	$160 \times \frac{1}{1.29} =$	124 mm. c.a.
Velocidad:		1,450 r.p.m.
Altura de operación		2,180 m.s.n.m.
Temperatura		20° C
Potencia necesaria:	$33.5 \times \frac{1}{1.29} =$	26 H.P.

Para conocer la separación de los ventiladores calcularemos la resistencia por fricción que representa el ducto.

Q = 42,700 m3/h

Diámetro del ducto: 914 mm

Empleando la gráfica 1 obtenemos la presión perdida por fricción.

P_F = Resistencia por fricción: 0.22 mm.c.a./m de ducto.

Usando la gráfica 3 entrando con Q = 42,700 m3/h y D = 0.914 m, obtenemos la velocidad del aire:

V - 19 m3/seg.

La presión dinámica del ventilador se puede conocer aplicando la ecuación:

$$P_D = \frac{V^2 \times 8}{2G}$$

Donde:

P_E = Presión dinámica del ventilador
8 = Densidad del aire en kg/m3
G = Aceleración de la gravedad - 981 m/seg2.

Sustituyendo valor obtenemos:

$$P_D = \frac{19^2 \times 0.92}{19.6} = 16.94 \doteq 17$$

La presión total (P.T.) será la suma de la presión estática (Ps) más la - presión dinámica:

$$P_T = P_S + P_D$$

Donde:

$$P_S = P_T - P_D$$

Sustituyento valores:

$$P_S = 124 - 17 = 107 \text{ mm c.a.}$$

Conocida la presión estática (PS) así como la presión o resistencia estáticas que presenta el ducto al paso del aire, podemos obtener la separación a la cual deben instalarse los ventiladores.

Separación ventiladores: $\frac{107}{0.22} = 486$ m

Resumiendo tenemoss

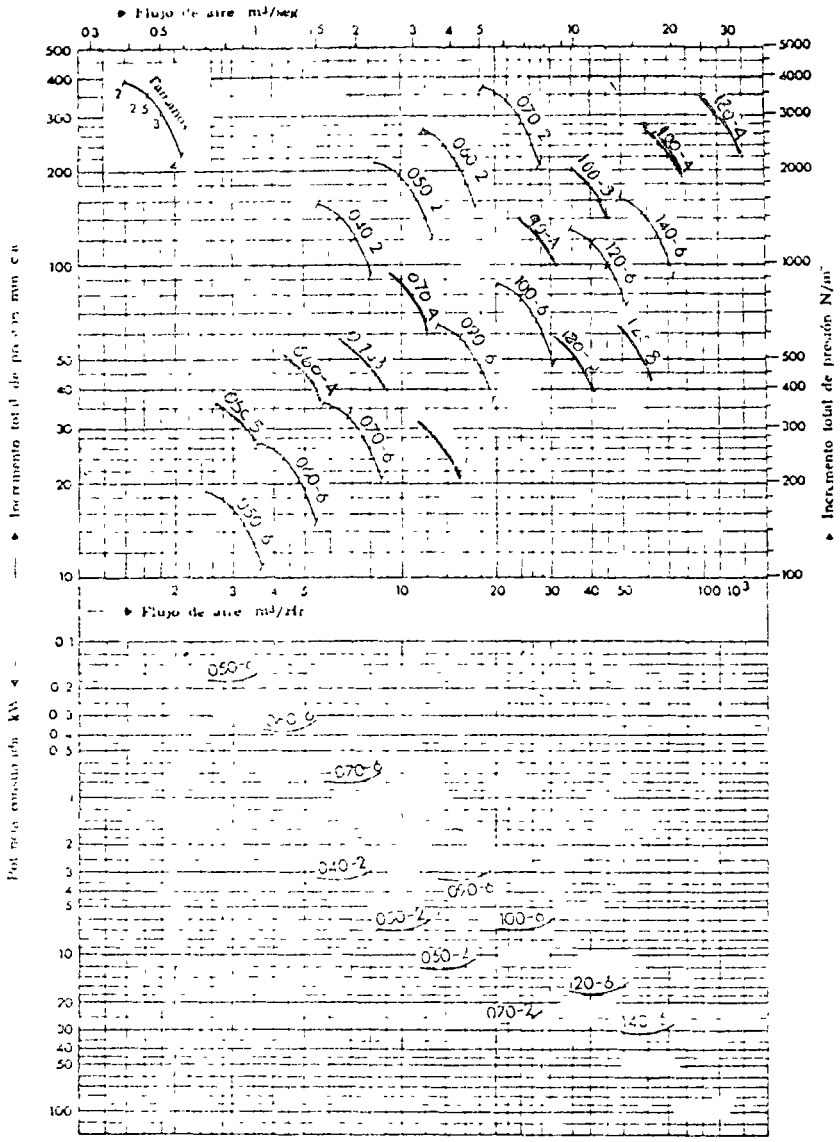
Ventilador helicoidal de alta presión especial para túneles:

Tamaño:	100 - 4
Volumen de aire:	42,700 m3/h
Velocidad angular:	1,450 r.p.m.
Temperatura de trabajo:	20°C
Potencia necesaria:	26 H.P.
Tubería metálica prefabricada de	91.4 cm de diámetro
Separación de ventiladores:	486 m
Tiempo de ventilación en rezaga:	30 min.

CAPACIDAD

52

La curva se refiere a aire con una densidad de 1.2 Kg/m³ Los grupos de las cifras indican el tamaño del ventilador y el numero de polos del motor



ESPECIFICACION

En caso de solicitud de cotización descripción en proyectos o pedidos se debe citar, el tipo (PHMD - 1) velocidad flujo de aire, densidad del aire, incremento total de presión, y los accesorios necesarios, o bien se utilizara el siguiente modelo de especificacion

Modelo de especificacion

Ventilador de flujo axial PHMD - 1 - b - c - d

Ejemplo 1 Pza

Ventilador de flujo axial PHMD - 1 - 040 - 1 - 6

Tamaño: 040, 050, 060, 070, 090, 100, 120, 140

Velocidad:
2 = 3000 rpm
4 = 1500 rpm
6 = 1000 rpm
8 = 750 rpm

Voltaje: Bajo datos de motores

Accesorios

Malla protectora PHMZ - 01 - b
"b" es el tamaño segun se indica arriba
Contrabrida BEPG Veaso el Lag. 211

* Las combinaciones de tamaños y polos son de acuerdo con el diagrama de arriba

Nota (A bajo datos de motores)

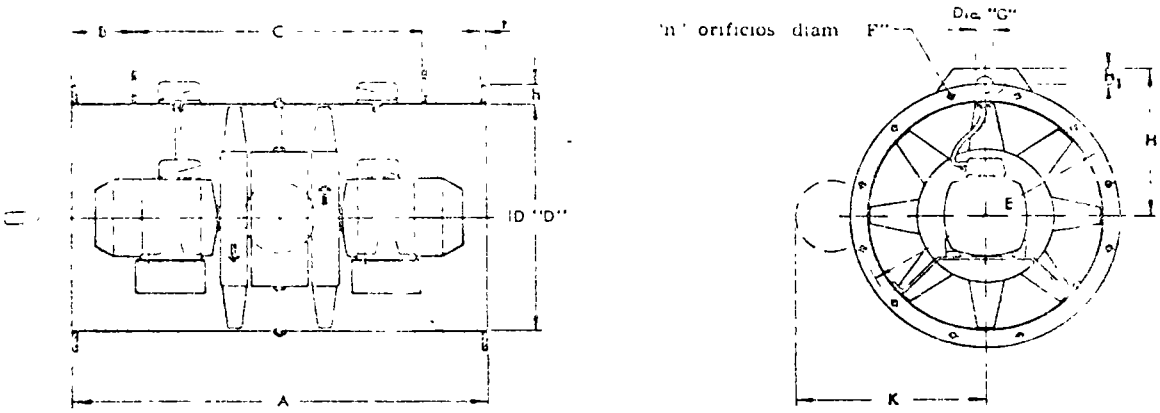
53

DATOS DE MOTORES

PHMD Tamaño	Motor Tipo	Potencia de placa kW	Hp	A la potencia de placa: Velocidad rpm	Corriente aprox A, a 220 V	440 V	Peso kg
010	M 90 L 2S-2	2.2	3	2880	8.1	4.0	16
	M 71 B 2S-2	0.37	0.5	1390	2.1	1.0	7
050	M 112 M 2S-2	4	5.5	2890	13.5	6.7	32
	M 90 A 2S-2	0.55	0.75	1390	2.8	1.9	9
	M 71 B 4S-6	0.18	0.50	880	2.8	1.4	7
060	M 132 SB 2S-2	7.5	10	2900	24	12	42
	M 90 S 4S-4	1	1.5	1390	4.9	2.5	13
	M 90 S 6S-6	0.37	0.75	900	2.4	1.2	10
070	M 160 M 2S-2	15	20	2900	50.2	25.0	85
	M 112 LA 2S-2	2.2	3	1420	8.6	4.4	22
	M 90 S 4S-4	0.75	1	900	4.1	2.0	13
090	M 132 M 2S-2	7.5	10	1440	27	13.5	52
	M 112 M 2S-2	2.2	3	930	9.5	4.7	32
	M 112 LA 2S-2	0.75	1.25	690	4.5	2.3	22
100	M 160 L 2S-2	15	20	1460	51.9	26.0	110
	M 132 M 2S-2	5.5	7.5	930	22	11.0	52
	M 132 S 3S-3	2.2	3	710	11.7	5.8	42
120	*	37	50	1470	122	61	*
	M 160 L 4S-4	11	15	960	43.2	19	110
	M 160 M 4S-4	[illegible]	7.5	710	22.5	9.9	100
140	*	[illegible]	100	1470	242	121	*
	*	22	30	970	80	40	*
	M 160 L 4S-6	7.5	10	720	31	14	115

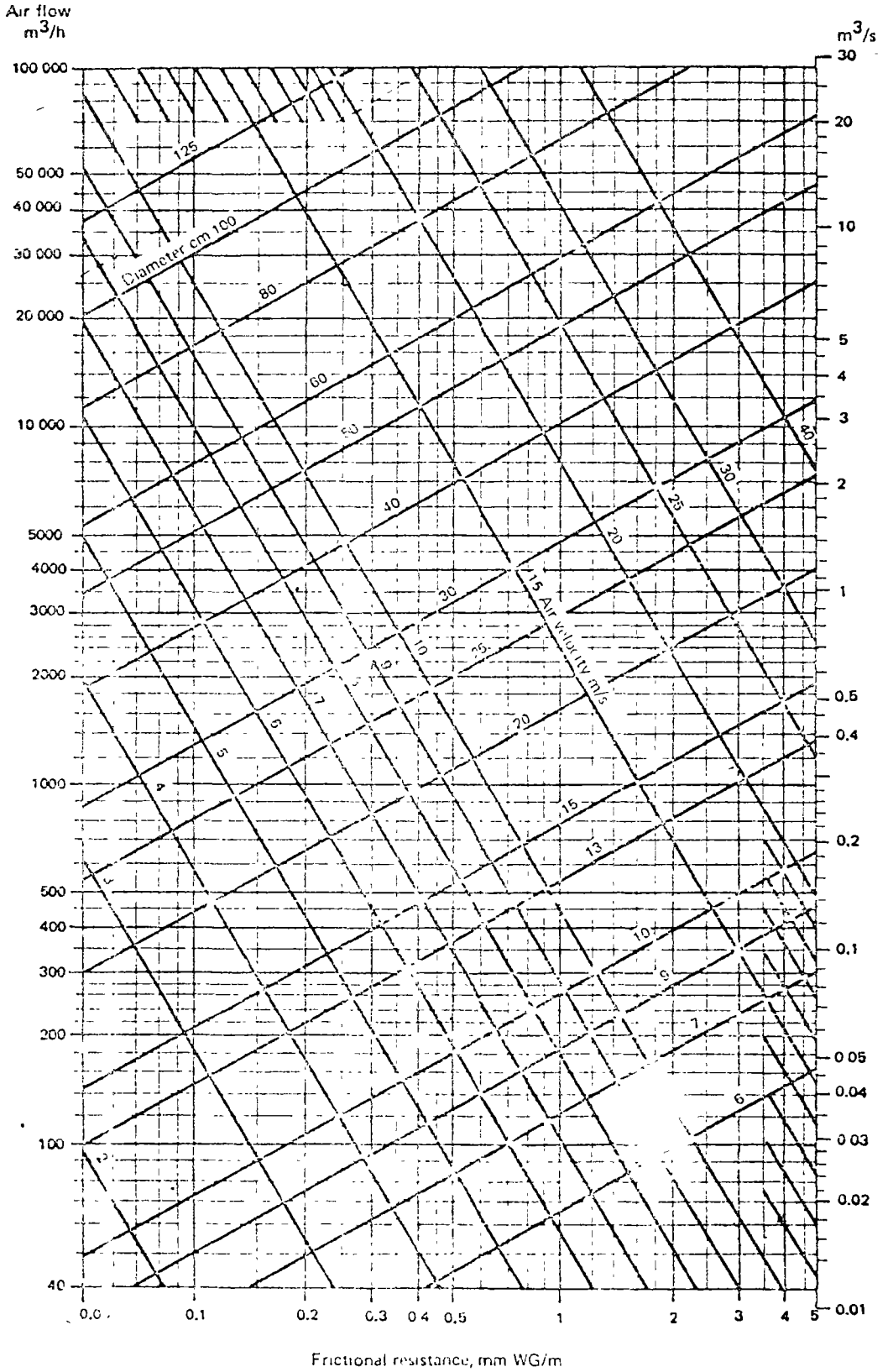
* Consultar con S.C.

DIMENSIONES Y PESOS

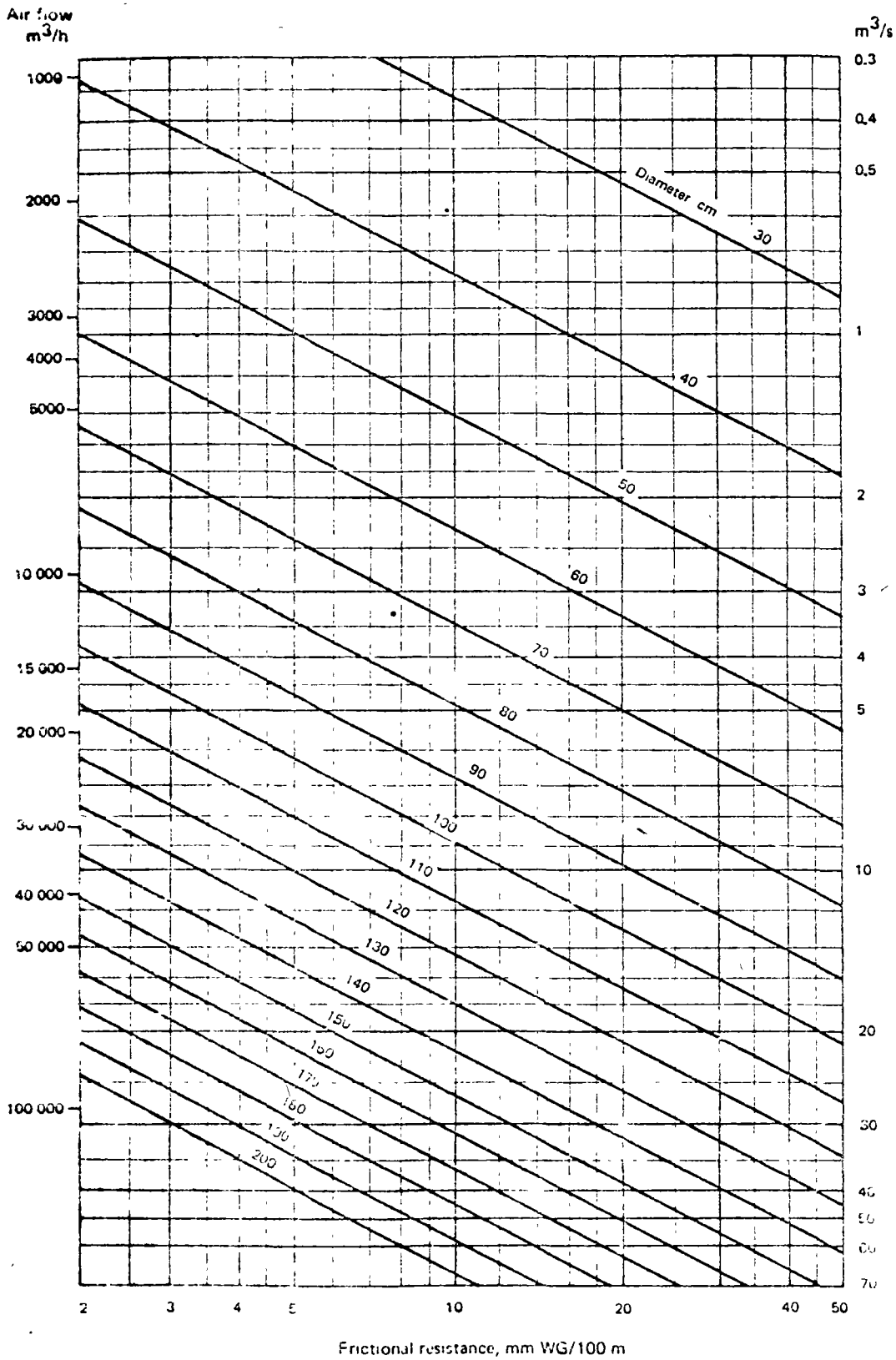


Tamaño	A	B	C	D	E	F	G	H	H_1	K	h	n	t	Peso *
40	700	100	300	400	456	15	40	280	40	410	45	12	12	45
50	900	100	400	500	556	15	40	330	40	460	45	12	12	85
60	1220	100	1020	600	656	15	50	406	50	510	45	16	12	135
70	1300	100	1100	700	770	18	50	456	50	560	57	16	12	175
80	1470	100	1270	800	870	18	50	557	50	740	57	20	12	265
90	1730	100	1410	1000	1070	18	50	607	50	790	57	20	12	390
120	1750	200	1550	1200	1284	22	50	707	50	890	67	24	15	525
140	1800	240	1470	1400	1494	22	50	807	50	996	67	24	15	710

Diagram 3 Frictional resistance in straight, circular-section ducts of sheet metal



Frictional resistance in straight, circular-section ducts of fabric



V. B O M B E O

1. GENERALIDADES.

En cualquier excavación subterránea es de esperarse que existan filtraciones de agua que hacen indispensable el bombeo para desalojar el agua y permitir una forma de trabajo aceptable.

En el caso de túneles con pendiente, si la excavación se hace hacia arriba el bombeo puede no ser necesario a menos que el gasto hidráulico lo amerite. Para excavación hacia abajo no existe otro medio de sacar el agua que no sea mediante bombeo.

El problema de bombeo se presenta con mayor intensidad en el caso de lumbreras, por ser en genera, una área pequeña de trabajo; es por eso que es conveniente que se efectuen previamente sondeos que nos den el perfil estratigráfico, pruebas de permeabilidad, flujo de agua, determinación del nivel freático, que nos permita planear y decidir la forma de ataque.

Normalmente el abatimiento del agua se hace con bombas centrífugas en traslapeo o bombas de pozo profundo. Es importante que el equipo esté adecuada al gasto que se espera, según los estudios y además tener equipo de reserva suficiente para cualquier eventualidad como puede ser descompostura de bombas o tener mayor gasto del previsto.

Se ha visto anteriormente que cuando el gasto hidráulico es muy grande el bombeo ya no es conveniente, por lo que habrá que hacer tratamientos especiales como pueden ser inyecciones, aire comprimido, congelación.

2. TIPO DE BOMBAS.

Los tipos de bombas son los siguientes:

1. Bombas reciprocantes — Accion simple
   Doble acción
2. Bombas centrífugas convencionales
3. Bombas centrífugas autocebantes
4. Bombas centrífugas verticales tipo turbina
5. Bombas neumáticas

3. DESCRIPCION DE LAS BOMBAS.

a) Bombas reciprocantes. Estas bombas funcionan mediante pistones. Para la de acción simple existe una cámara de admisión en un sólo lado del pistón; en los de acción doble esta cámara se encuentra en ambos extremos. Al tener movimiento el pistón expulsa el agua contenida en la cámara correspondiente.

Se fabrican bombas de dos pistones (duplex) y de tres pistones (triplex). Estas máquinas cuando son portátiles tienen una capacidad escasa por lo que su uso está en descenso.

b) Bombas centrífugas. Estas bombas de uno o varios impulsotre, los cuales están formados por varios alabes. Estos impulsores colocados en una flecha que tiene movimiento rotatorio impulsan el agua.

Estas bombas pueden ser de un solo paso cuando cuenta con un solo impulsor, o puede ser de paso múltiple cuando se tienen varios impulsores.

La capacicad de las bombas centrífugas depende del diámetro del impulsor y de la velocidad del mismo. Existen tres leyes de hidráulica que relacionan la capacidad de la bomba, la carga a que operan, la velocidad del impulsor y el diámetro del impulsor. Estas leyes, aplicables a bombas centrífugas son:

la. Para una velocidad de rotación constante, la capacidad de bombeo es directamente proporcional al diámetro del impulsor.

$$\frac{Q'}{Q''} = \frac{D'}{D''}$$

2a. Para una velocidad de rotación constante, la carga que puede vencer la bomba es directamente proporcional al cuadrado del diámetro del impulsor.

$$\frac{H'}{H''} = \left(\frac{D'}{D''}\right)^2$$

3a. Para una velocidad de rotación constante, la potencia requerida por la bomba es directamente proporcional al cubo del diámetro de su impulsor.

$$\frac{P'}{P''} = \left(\frac{D'}{D''}\right)^2$$

En las expresiones anteriores tenemos:

Q' = Capacidad.

H' = Carga a una velocidad de N' revoluciones por minuto y con un impulsor de diámetro D'

Q'' = Capacidad

H'' - Carga a una velocidad de N'' revoluciones por minuto y un impulsor de diámetro D''

P' y P'' = Potencia de la bomba.

Existen gráficas que nos resuelven estas ecuaciones para distintas eficiencias del equipo, como las mostradas a continuación:

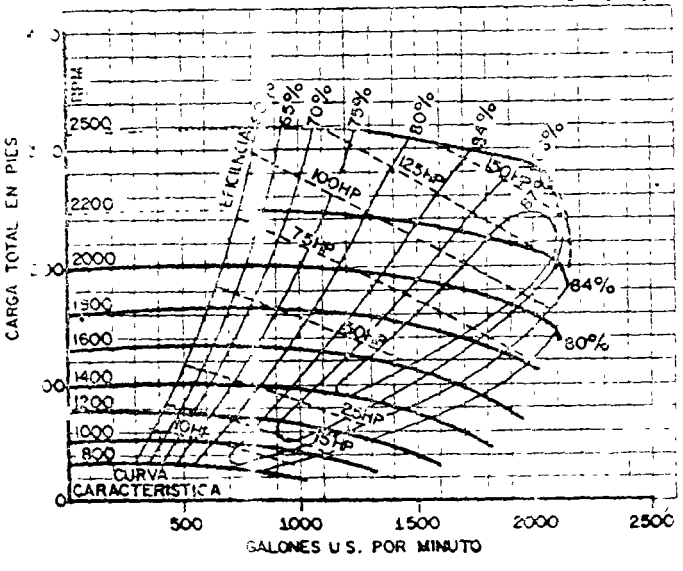


Fig. 19-4 Curvas típicas del rendimiento de una bomba centrífuga con impulsor de diámetro constante, en la que se hacen variar las velocidades de rotación del mismo. (Fairbanks Morse y Co.)

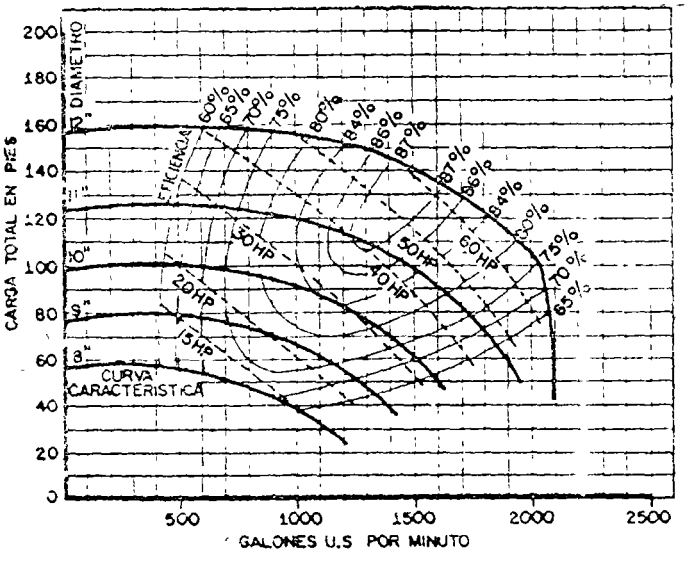


Fig. 19.5 Familias de curvas típicas representativas del rendimiento de una bomba centrífuga que se opera a una velocidad de rotación constante variando los diámetros de su impulsor. (Fairbanks Morse y Co.)

c) Bombas centrífugas autocebantes.- Este tipo de bomba es la comunmente empleada para desaguar de excavaciones, ya que tiene una capacidad de succión muy grande que aunado a que una vez cebada la bomba queda permanente, lo que facilita las operaciones.

d) Bombas centrífugas vertical tipo turbina para pozo profundo. Este tipo de bomba es el adecuado para pozos o lumbreras, o cuando se tiene que bombear grandes cantidades de agua. Existen variantes de este tipo de bomba, como son la de tipo propela o de flujo mixto - que resultan convenientes cuando la carga es pequeña y el volumen es grande.

e) Bombas neumáticas. Este tipo de bomba funciona a base de aire comprimido y existen dos tipos de sumidero y de lodos, los primeros - funcionan sumergidos en agua y pueden manejar agua sucia; las bombas de lodos permiten manejar líquidos con hasta 15% de sólidos en suspensión, esta bomba en ocasiones se emplea para inyección de lechada de cemento.

4. SELECCION DE LA BOMBA.

Para poder seleccionar la bomba adecuada es necesario conocer los siguientes datos:

a) Capacidad en litros por minuto o galones por minuto.
b) Altura de la descarga o carga total dinámica de bombeo.
c) Altitud sobre el nivel del mar de la instalación.
d) Condiciones de succión; es decir, si la bomba está ahogada, si va a trabajar con carga de succión negativa, si va a succionar de un depósito cerrado, diámetros y longitudes de la tubería de succión.
e) Condiciones físicas del líquido, temperatura, porcentaje de material sólido en suspensión, etc.

Con los datos anteriores cualquier fabricante podrá hacer los cálculos para determinar la bomba apropiada, lo cual es muy fácil pues ellos - tienen gráficas como la ilustrada en la figura No. 3, para cada tipo -

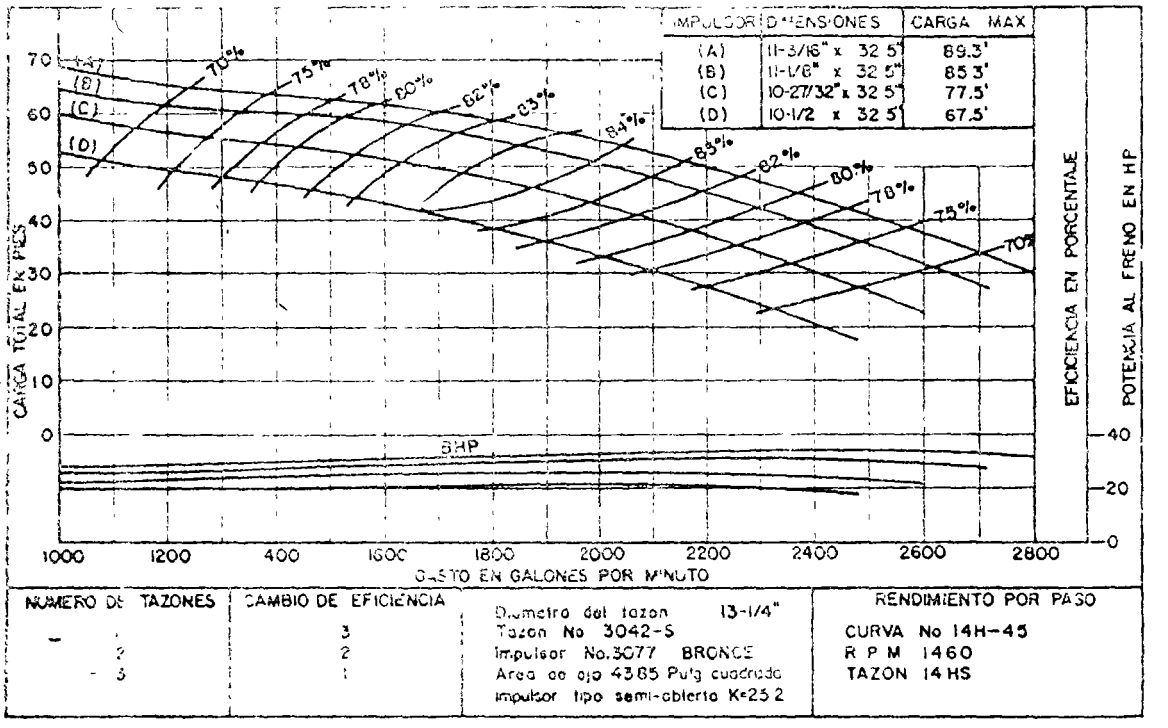


Fig 19.7 Carta de rendimiento eficiencia de un tazon Mod 14 HS de bomba vertical turbina de pozo profundo (Jacuzzi Universal, S A)

5. PLANEACION Y CONSTRUCCION DE DRENES Y CARCAMO.

Este aspecto es de suma importancia ya que si planeamos y construimos drenes y cárcamos debidamente situados podemos reducir el número de bombas y evitamos tener problemas de tránsito dentro del túnel.

Lo anterior no es fácil de obtener, pero si tomamos los siguientes requisitos que debe cumplir un sistema de bombeo, nos permitirá una mejor planeación.

a) Un proyecto correcto de las instalaciones de los equipos que debe comprender el diseño de la forma, tamaño y ubicación del tanque cisterna si son bombas verticales; vigilar que la carga neta de succión disponible de la instalación sea mayor o igual que la requerida por la bomba, el diseño correcto , el tamaño de la tubería de succión y descarga, así como del equipo eléctrico como motor de bomba, arrancador, subestación eléctrica.

b) La ubicación del equipo de bombeo deberá ser estudiada cuidadosamente de tal manera que la operación de bombeo no interfiera -- otras actividades dentro del túnel.

c) La instalación del equipo deberá ser la adecuada para que no se presenten vibraciones, falsos contactos, fugas por malas conexiones en los ductos de succión y descarga.

d) Teniendo ya definido las instalaciones y el equipo ahora es necesario tener una buena operación del sistema, lo cual se logra capacitando al personal de operación, haciendo que siga los instructivos y los respete.

e) Finalmente para lograr la continuidad de operación de los equipos de bombeo, es necesario que el mantenimiento preventivo sea el - adecuado al uso del equipo.

Ejemplo de una galería de bombeo

Para presentar el ejemplo se toma la galería de bombeo instalada en la Lumbrera 14A del Emisor Central del Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México.

Generalidades de la Obra.

El Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México, consiste en términos generales, en dos túneles interceptores y en un emisor central, que forman con su trazo un Y, mediante los cuales se desalojarán las aguas negras, grises y de lluvia aportadas por la Ciudad y sus alrededores.

Este sistema tiene una capacidad para 200 m3/seg, considerando como la máxima aportación cuando la Capital y su zona metropolitana sea poblada por 30 millones de habitantes.

Antecedentes históricos:

La Ciudad de México está construída en centro de una cuenca cerrada, formada por una cadena montañosa de origen volcánico que la circunda.

Por las condiciones orográficas de la Cuenca, los escurrimientos pluviales y la aportación de manantiales formaron el

gran lago de México y en un islote que existía en el centro de este lago, se fundó la capital del Reino Azteca, que vino a ser siglos después la Capital de la República Mexicana.

Las cenizas producto de las erupciones volcánicas, depositadas en el seno del lago fueron sedimentándose lentamente en forma floculenta, constituyendo al través del tiempo un suelo arcilloso sumamente compresible, al cual ahora se le ha dado el nombre genérico de "arcilla del Valle de México".

El explosivo crecimiento de la actual Capital de la República en el presente siglo, motivó que las fuentes de agua potable que la abastecían fueran agotándose, por lo cual hubo de incorporar nuevas fuentes de abastecimiento, entre las cuales la más inmediata fue bombear los acuíferos profundos del subsuelo de la Ciudad. Al causarse desequilibrio en las presiones del agua del subsuelo, debido al bombeo, el material arcilloso compresible inició un proceso de consolidación que se tradujo en acelerar el llamado "Hundimiento general de Valle de México". El cual perjudicó grandemente al sistema de alcantarillado, creando contrapendientes en las estructuras hidráulicas creadas para desalojar las aguas negras y pluviales.

En el año de 1910 quedó terminada la primera obra para desa

lojar artificialmente las aguas que aportaba la ciudad de México, que consisitió en un túnel de 11 kilómetros de largo, con una seccion de 2. m2 y pendiente de 0.0019 capaz de desalojar 15 m3/seg

En los años de 1940-46 se excavó otro tunel casi paralelo al anterior con lo que la capacidad de desfogue fué duplicada.

Para conducir las aguas desde la Ciudad de México hasta el 1er y 2do. de los túneles, se excavó un canal de 47 tons que se denominó "Gran Canal de Desague".

El acelerado hundimiento de la Ciudad produjo un desnivel entre la salida de los colectores y el principio del Gran Canal obligándose las autoricades a construir grandes cárcamos de almacenamiento, y de estos bombear el agua hasta el nivel natural del canal. La operación y mantenimiento de estas grandes estaciones de bombeo significaba un costo aproximado de cien millones de pesos al año.

En la década de los sesenta se iniciaron los estudios para resolver el problema de el desalojo de las aguas del valle hacia la vertiente del Golfo de México.

El resultado de estos estudios fue la construcción del "Sistema de Drenaje Profundo" que trabajaría por gravedad.

En la excavación de los túneles de éste Sistema se tuvieron todos los problemas que puedan presentarse en obras subterráneas y algunos más, siendo uno de los más importantes el manejo de las aguas producto de las filtraciones; las profundidades de bombeo variaron entre 46 y 230 mts y los gastos extraídos desde 100 lps hasta 4 500 lps.

El ejemplo que expongo es el de la Lumbrera 14A del Emisor Central pues su solución enmarca todos los problemas que se tuvieron en las demás lumbreras.

Galería de Bombeo de la Lumbrera 14A

1 - Generalidades

a) Estudio geológico: El tramo donde se localiza la Lumbrera 14A, queda entre las Lumbreras 13 y Lumbrera 14, y atraviesa en terreno formado por rocas volcánicas, brechas escoriáceas y ocasionalmente en rocas sedimentarias superyacentes.

Los basaltos pero principalmente las brechas escoriáceas presentaron condiciones de permeabilidad muy grande, por lo que la aportación de agua fue abundante, obligado por ello a excavar la Lumbrera 14A para dividir el tramo en dos y así cumplir con el programa fijado por las autoridades.

Excavación de la Lumbrera 14A

El terreno donde se excavó esta lumbrera está constituído por rocas basálticas, tobas conglomeráticas y basaltos vesiculares con alto coeficiente de permeabilidad, que aportarían un gasto grande de filtración. Para reducir las filtraciones durante la excavación, se hizo un tratamiento de impermeabilización a base de inyecciones de cemento y bentonita, para lo cual se formaron dos aureolas concéntricas de perforaciones de 6" de diámetro para introducir por ellos un tubo de "mangueritos" por el cual se inyectó la solución, esta pantalla así formada se llegó hasta 12 m abajo del nivel de la cintilla del túnel.

La impermeabilización lograda fue exitosa.

a) Estudio geo-hidrológico del tramo correspondiente a la lumbrera.

Datos de la sub-cuenca

Area de estudio considerada = 690 km^2

Compuesta de:

Rocas volcánicas =	274 km^2
Formación Taranjo =	336 km^2
Aluviones y depósitos fluviales =	80 km^2

b) Precipitación pluvial media anual 800 mm

c) Escurrimiento estimado de ES = $105 \times 10^6 m^3$

d) Los coeficientes de infiltración para cada uno de los tipos de roca, se estimaron en Rocas volcánicas = 13%, Formación, Tarango = 23% y Depósitos aluviales = 5%

e) El cálculo de la evapotranspiración fue de 570 mm anuales.

Con estos datos se estimaron los siguientes volúmenes:

Precipitación.

$690\ km^2 \times 800\ mm. = P = 552.0 \times 10^6 m^3$ (1

Escurrimiento:

$105.0 \times 10^6 m^3$ (2

Evapotranspiración

$690\ km^2 \times 570\ mm = E_v = 393.3 \times 10^6 m^3$ (3

Substituyendo estos valores en la ecuación general del ciclo

(1) $P = Es + E_v + I$

de donde:

$53.7 \times 10^6\ m^3$ (A)

$= 1.7\ m^3/seg$

Calculando E a partir de los coeficientes de infiltración -

(d) se obtiene otro resultado.

Rocas volcánicas	$28.5 \times 10^6 m^3$	
Form. Tarango	$62.5 \times 10^6 m^3$	
Aluviones	$3.1 \times 10^6 m^3$	
=	$94.1 \times 10^6 m^3$	(B)

Comparando los dos resultados (A) y (B) se obtiene una diferencia de $40.4 \times 10^6 m^3$ que representa tan solo el 7.3% del volumen total de precipitación. Por no tener datos exactos sobre el escurrimiento, considerando un 20% más en los datos obtenidos en (B) o sea $94.1 \times 1.20 \times 10^6 m^3 = 112.92 \times 10^6 m^3$. Lo que da un valor promedio anual de 3.58 m3/seg.

El túnel a todo lo largo del área considerada debería tener una infiltración por segundo mayor que la calculada, ya que primeramente se debería abatir el nivel freático agotando los acuíferos recargados.

La excavación del túnel estableció un flujo continuo de oriente a poniente, que sumado al agua almacenada en los acuíferos de la Sierra, llegó a tener un gasto de 4 m^3/seg.

Manejo del Agua en la Lumbrera 14A

Durante la excavación de la lumbrera, debido a la impermeabi

lización lograda no se tuvo nunca problema en el manejo del agua, y así se pudo excavar una galería de bombeo a un lado de la lumbrera (fig.2).

Las dimensiones de esta galería fueron de largo 16.75 m, ancho 4.00, y un cárcamo de 16.75 x 2.50 x 3.5 m de profundidad en la que se instalarían 8 bombas John ton 14 CC accionadas con motor de electricidad de 300 HP.

álculo de una bomba:

Datos:

Carga estática	150.00 m.
Carga de velocidad	0.95 m.
Carga de fricción y ditamentos	6.60 m.
Carga por [illegible]	7.45 m
Carga total =	165.00 m

Gasto probable que debería manejarse en esta galería.

Del programa de construcción se obtiene que a partir de la Lumbrera 14 [illegible] tendrían que excavar 187 metros hacia la Lumbrera 14 y 542 m hacia la lumbrera 13, que deduciendo del estudio geo-hidrológico aportarían 650 l [illegible]

De las curvas características de la bomba Johnston 14 CC y considerando una eficiencia de 83.3% y con una carga total de 165 m se calculó la potencia del motor necesaria para elevar un gasto por bomba de 650 ÷ 6.108 l.p.s.

$$HP = \frac{108 \times 165}{76 \times 0.833} = 280$$

El número de impulsores en la columna de succión, considerando que cada impulsor vence una carga de 15.9 m. es de 11..

Potencia que consumen los 11 impulsores.

$$11 \times 24.5 = 265 \text{ HP} \qquad 280$$

Siguiendo la política fijada en la obra de estandarización del equipo, el motor instalado fue de 300 HP, con lo cual se podrá tener una reserva para el arranque de un 15%.

El reglamento de seguridad de la obra establecía la obligación de tener un 20% de reserva de capacidad de bombeo, por lo que se instalaron 8 bombas. (Fig. 1 hojas 1 y 2).

Para la instalación del equipo de bombeo se siguieron los lineamientos que establece, el Instituto de Hidráulica de EE.UU. (Hydraulics Institute) fig. 3.6.1 y fig. 3

CARCAMO. Dimensiones L = 16.75 m

b = 2.00 m

h = 3.30 m

Separación lateral entre la pared y ℄ de la 1a. bomba 2.00 m, separación C.a.é entre ejes verticales 1.50 m.

Velocidad de llegada < 0.60 m/seg.

Nivel mínimo de bombeo = 2.00 m

Sumergencia = 1.13 m

CSPN disponible es mayor que CSPN requerido.

Desarenador.

fin de evitar el azolvamiento del cárcamo y el excesivo - desgaste de los impulsores, se excavó un desarenador que permitiera la sedimentación de sólidos menores de 1mm de diámetro.

$$Q = bhv \quad \therefore \quad b = \frac{Q}{hv}$$

Q = gasto en m^3/seg con que se alimenta la estación.

h = tirante en metros del tanque

b = ancho del tanque en metros

V = velocidad de flujo en m/seg.

El tiempo que tarda en recorrer horizontalmente la partícula debe ser igual al tiempo que tarda en sedimentarse.

Siendo w la velocidad de sedimentación

$$Th = Tv \quad \therefore \quad \frac{V}{L} = \frac{w}{h} \quad \therefore \quad L = \frac{Vh}{w}$$

La velocidad V máxima permisible, según CAMP $V = \alpha\sqrt{d}$

d = diámetro de la partícula.

α = coeficiente que depende del diámetro de la partícula que para el caso es de 44.

$$V = 44\sqrt{.05} = 31.2 \text{ cm/seg}$$

Con la gráfica de Rubey (fig. VI-3.3.1) determinamos la velocidad de sedimentación de una partícula de 0.5 mm de diámetro.

$$w = 6 \text{ cm/seg}$$

ancho del tanque $\quad b = \frac{Q}{hv} = \frac{0.650}{1.00 \times 0.312} = 2.00$

$$L = \frac{Vh}{W} = \frac{0.312 \times 1.00}{0.06} = [illegible]$$

Tomando en consideración que dentro del tanque desarenador se colocaría una rejilla para evitar la llegada de cuerpos flotantes al cárcamo y que esta disminuiría la velocidad del flujo, se redujo la longitud del desarenador a 9.00 metros.

AFORADORES

Las condiciones contractuales fijaban que el bombeo se pagaría en base del volumen de agua extraída. Se tuvo la necesidad de construir estaciones de aforo consistentes en un vertedor de cresta libre, el tipo de vertedor más comunmente utilizado en la obra fue el Cipolleti por ser en el que menos afecta la contracción lateral, la fórmula para calcular el gasto fue $Q = CLH^{3/2}$ con un valor del coeficiente C = 1.84, en la fig. VI-3.7.4 se muestra un plano de un vertedor usado en la Lumbrera 14.

DRENES

La sección elegida para los drenes fué rectangular revestida de concreto de b = 0.75 m por 0.80 m de ancho, para el dren de aguas arriba se le dió la pendiente del túnel o sea 0.002 y para el dren de aguas abajo se le fijó una pendiente contraria a la del tunel de 0.00 , esto nos indicó que la profundidad del dren sería variable entre 80 cms a

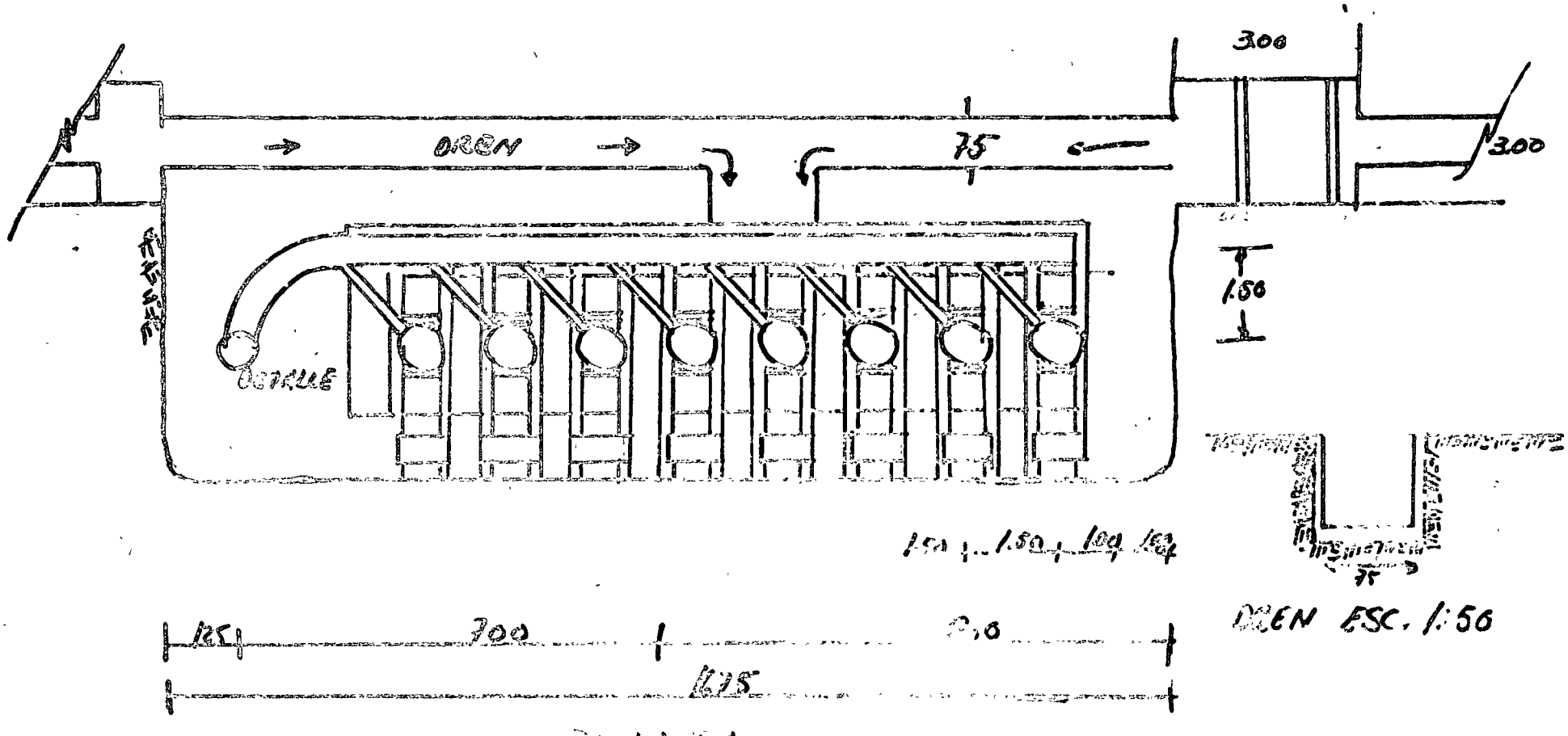
los 200 metros, pero considerando que el gasto iba - aumentando con el avance en la excavación con una variación casi amente lineal, la sección hidráulica del dren sería - suficiente la fórmula para conocer la velocidad del flujo - en los frentes fue la de Manning V = 1/2 2/3 para n = 0.015

Tuberías a Presión.

En la Obra del Sistema de Drenaje Profundo, nunca se condujo en ella a presión, por consiuerar más económico el uso de -- bombas de trespaleo, es decir en los frentes aguas abajo se instalaban bombas con motor eléctrico de potencia suficiente para conducir el agua hasta una galería de bombeo vertical.

En el estudio hecho en la Obra de Chingaza para el manejo -- del agua de filtración del Tunel "Palacio - Río Blanco" está bien tratado el problema de tuberías trabajando a presión. - Por razones no incluyo en estos apuntes este tema.

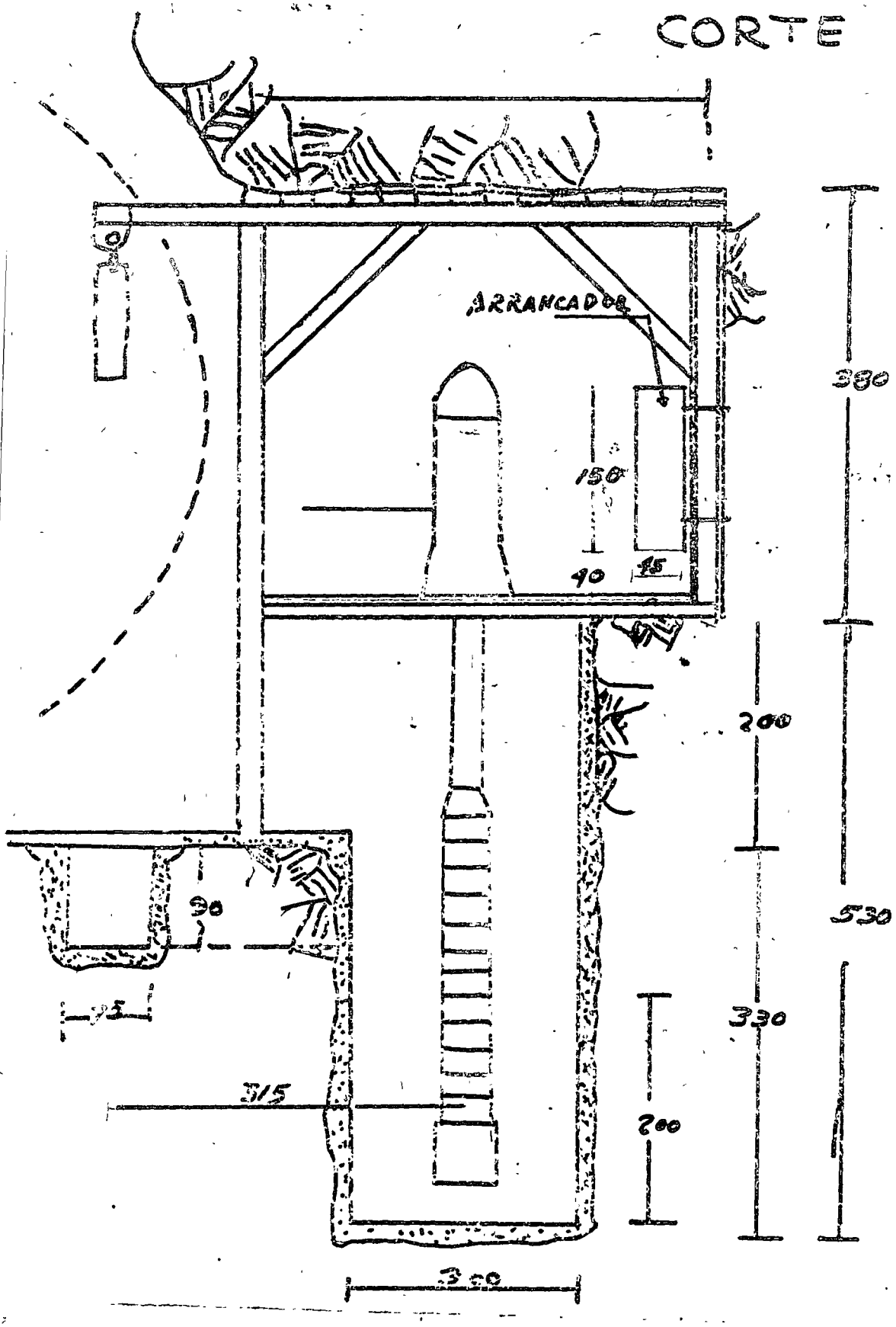
GALERIA DE BOMBEO L-14 A



PLANTA
ESC 1:100

CROQUIS DE LOCALIZACION

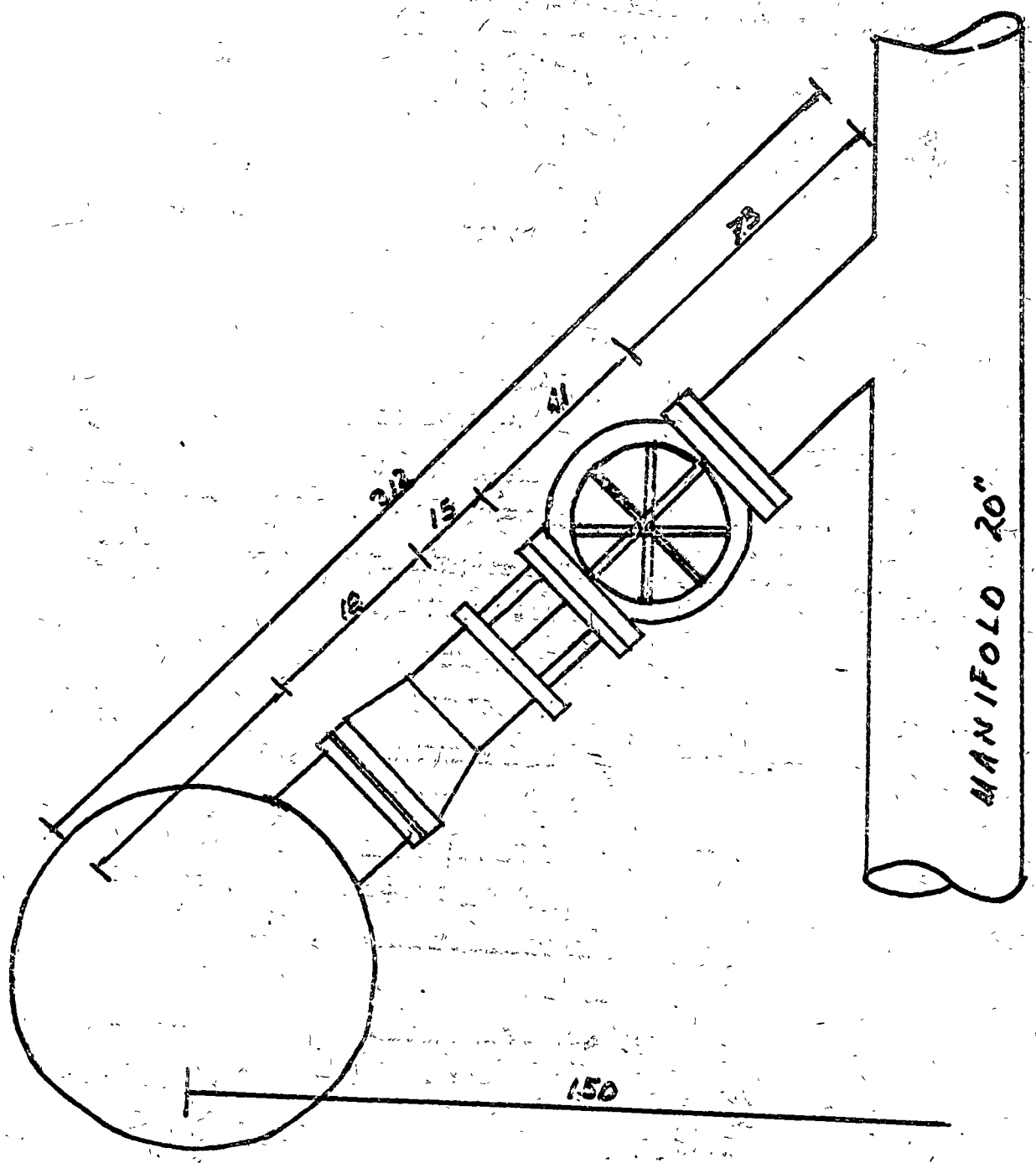
48 L 14



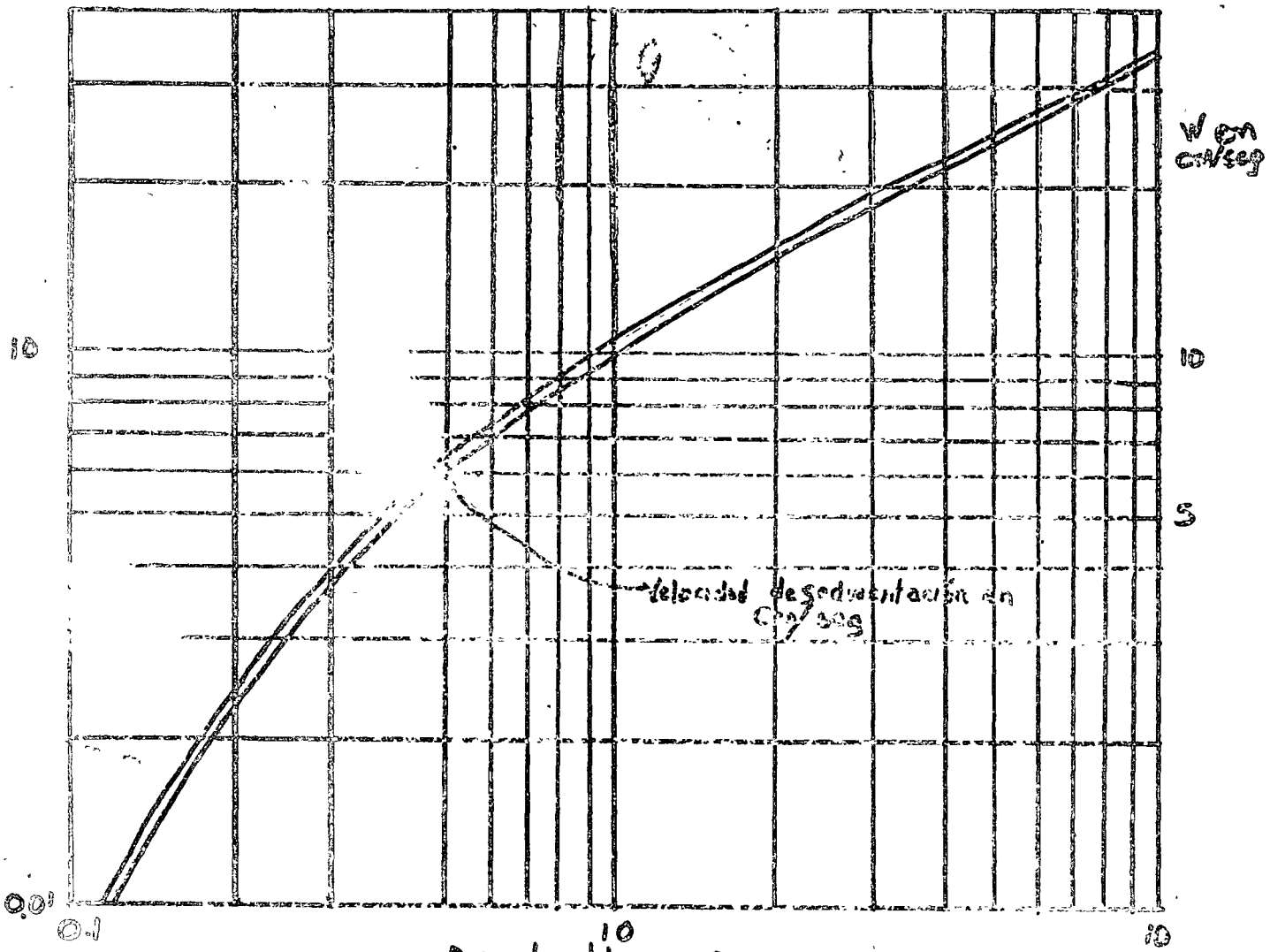
ESC 1:50

GALERIA DE BOMBEO

Fig 3



DETALLE DE CONEXION



Velocidad de caida o Sedimentacion W para dif. diametros de cuarzo segun RUBEY

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

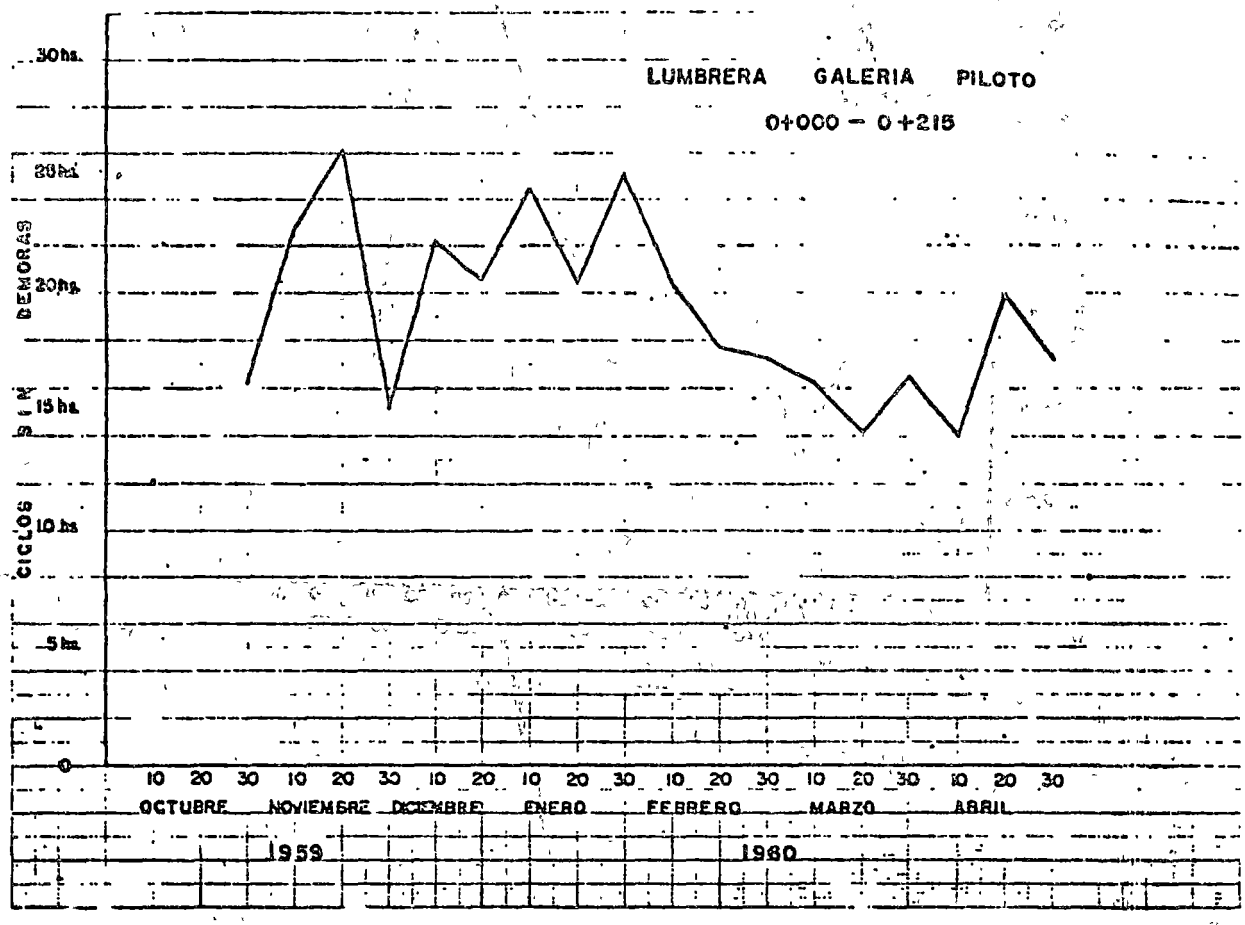
CONSTRUCCION DE TUNELES

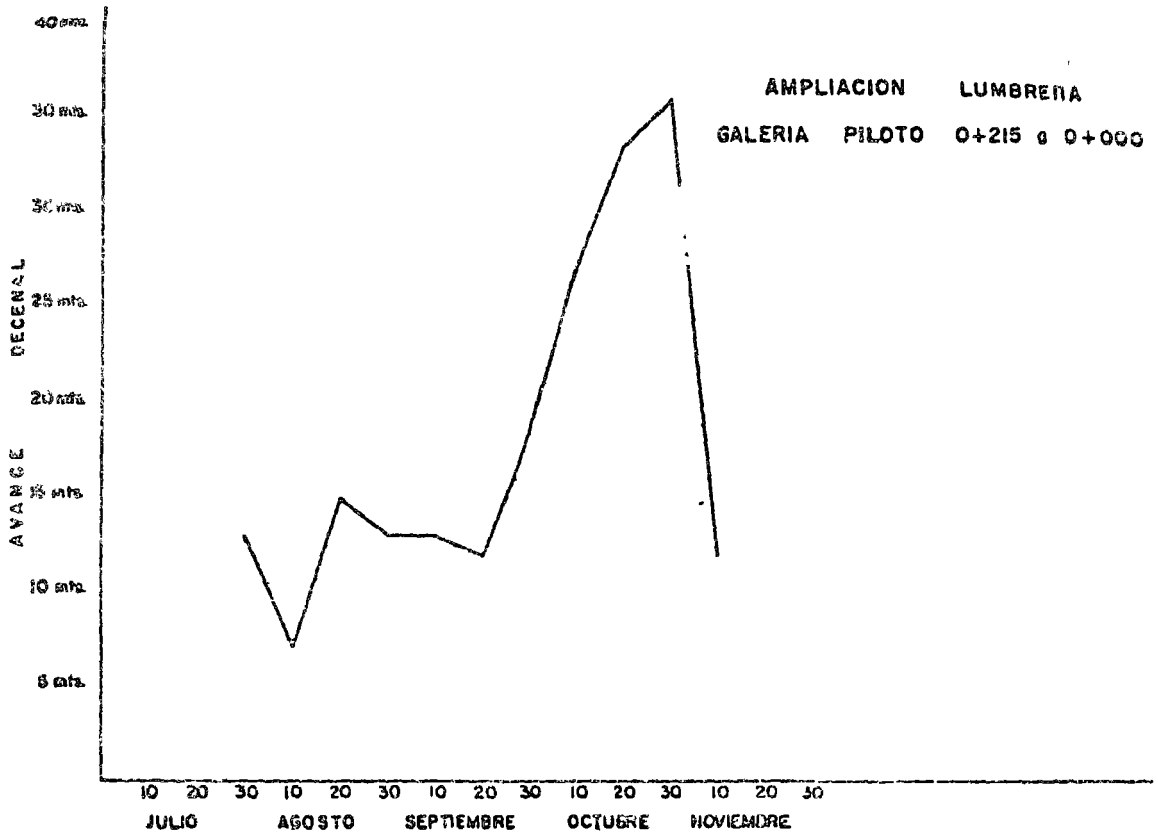
TEMA: LUMBRERAS Y TUNELES INCLINADOS
(COMPLEMENTO)

PROF. ING. FERNANDO FAVELA L.

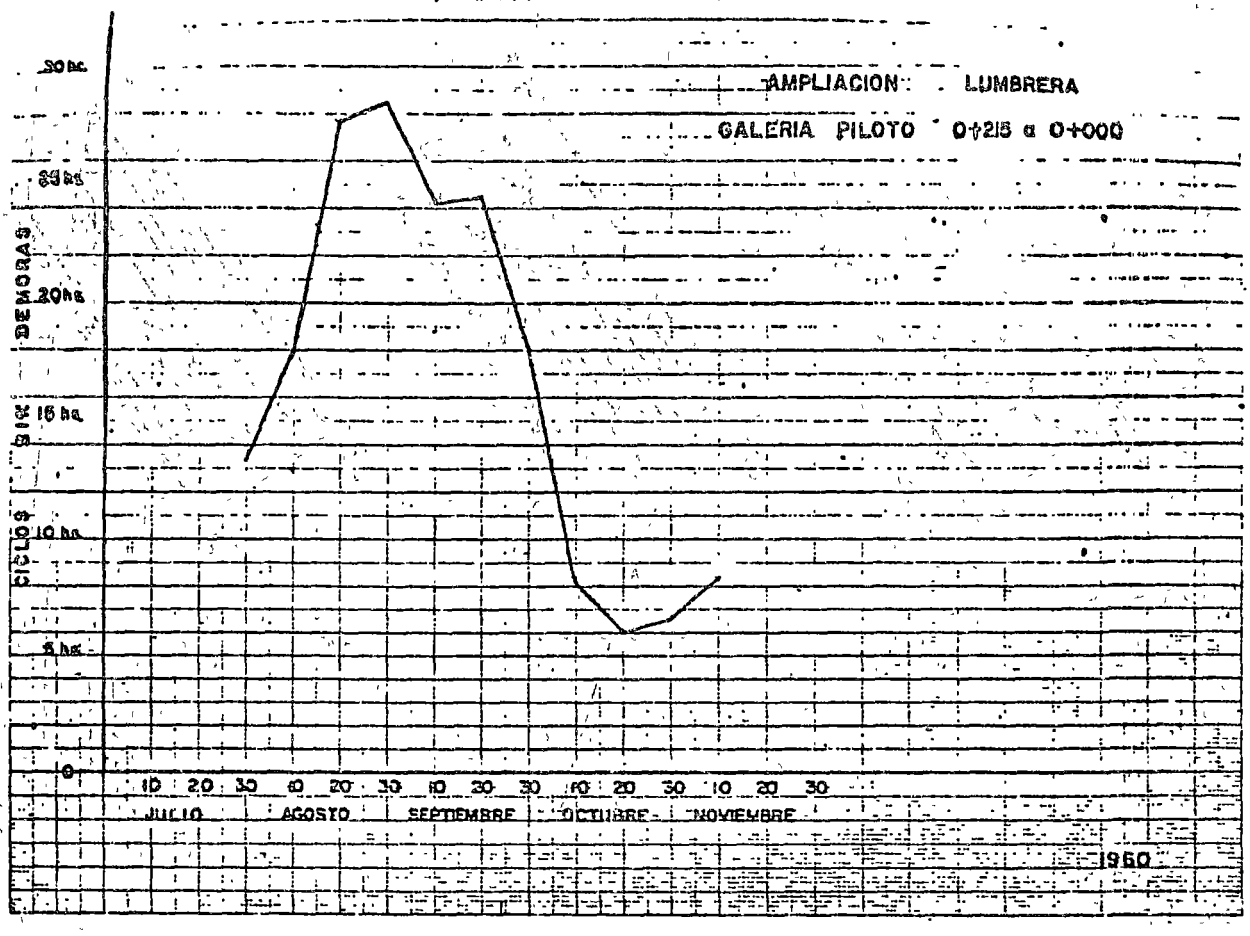
SEPTIEMBRE DE 1977.

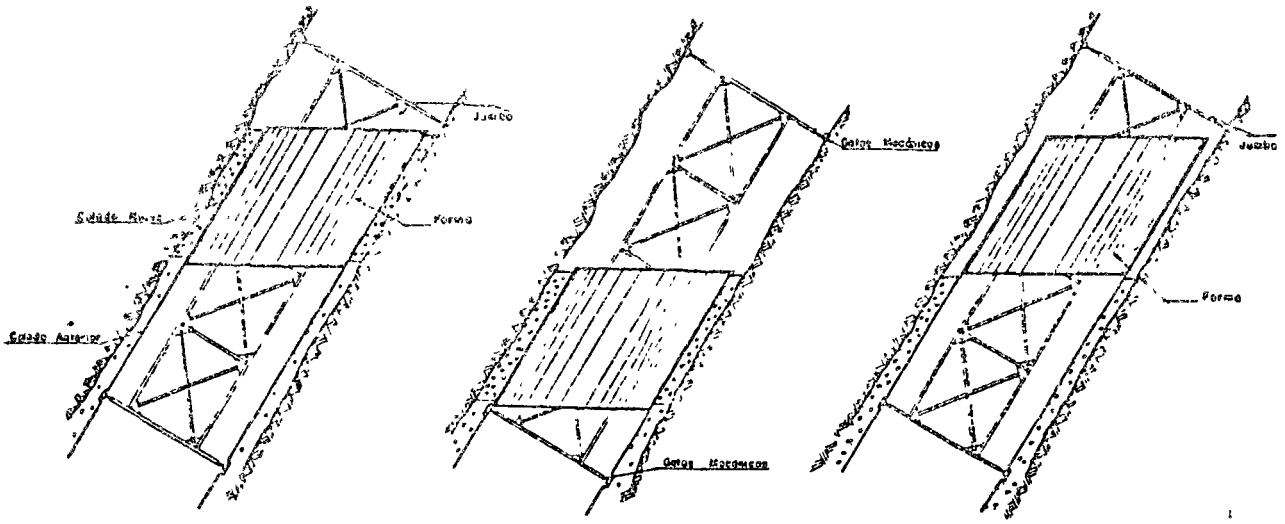
PALACIO DE MINERIA
Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.


LUMBRERA GALERIA PILOTO
0+000 — 0+215
30hs.
25hs.
20hs.
15hs.
10hs.
5hs.
0
DEMORAS EN CICLOS
10 20 30 10 20 30 10 20 10 20 30 10 20 30 10 20 30 10 20 30
OCTUBRE NOVIEMBRE DICIEMBRE ENERO FEBRERO MARZO ABRIL
1959
1960


AMPLIACION LUMBRERA
GALERIA PILOTO 0+215 a 0+000
AVANCE DECENAL
40 mts.
30 mts.
25 mts.
20 mts.
15 mts.
10 mts.
5 mts.
10 20 30 10 20 30 10 20 30 10 20 30 10 20 30
JULIO
AGOSTO
SEPTIEMBRE
OCTUBRE
NOVIEMBRE

1950


AMPLIACION LUMBRERA
GALERIA PILOTO 0+215 a 0+000
DEMORAS
CICLOS
50 hs.
30 hs.
20 hs.
15 hs.
10 hs.
5 hs.
0
10 20 30 10 20 30 10 20 30 10 20 30 10 20 30
JULIO
AGOSTO
SEPTIEMBRE
OCTUBRE
NOVIEMBRE
1960

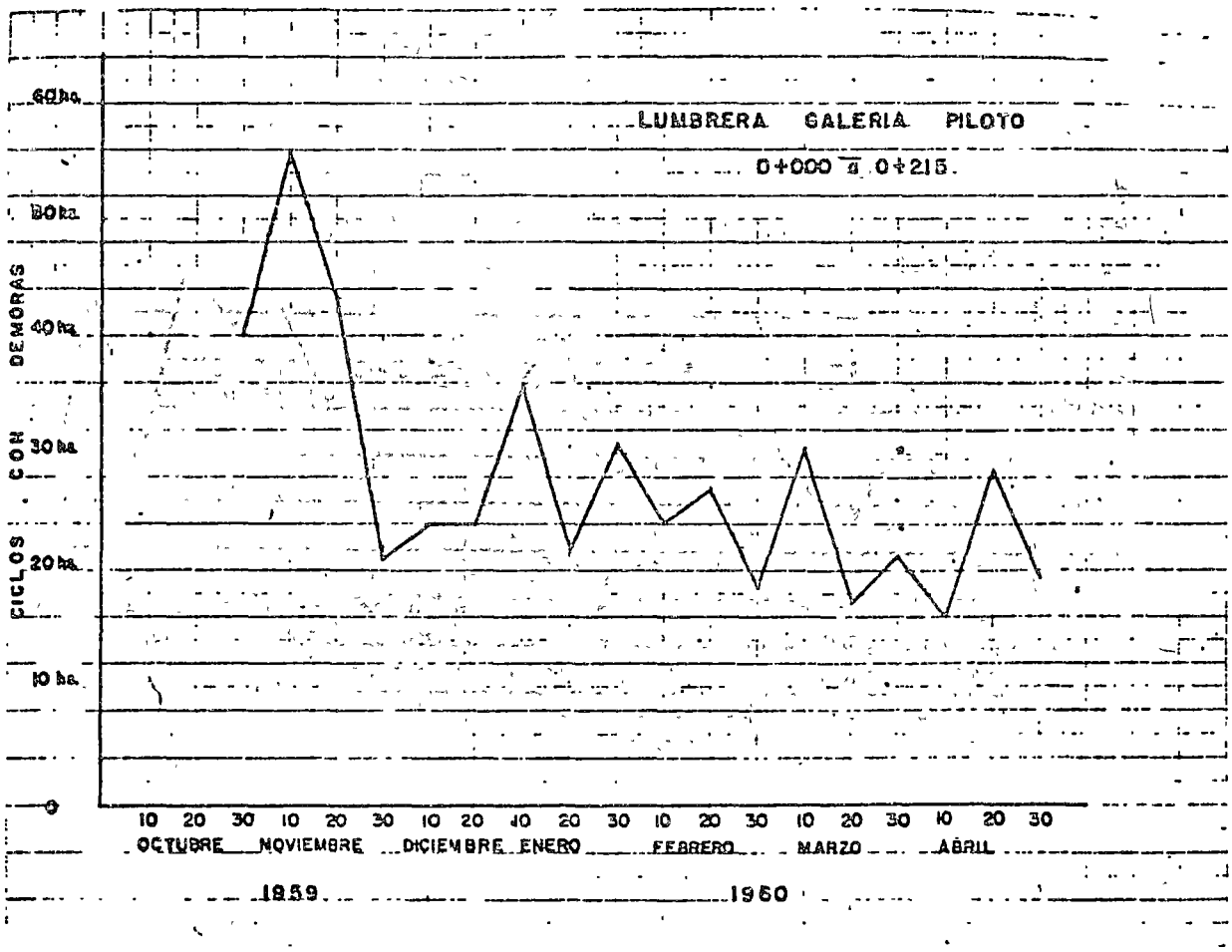


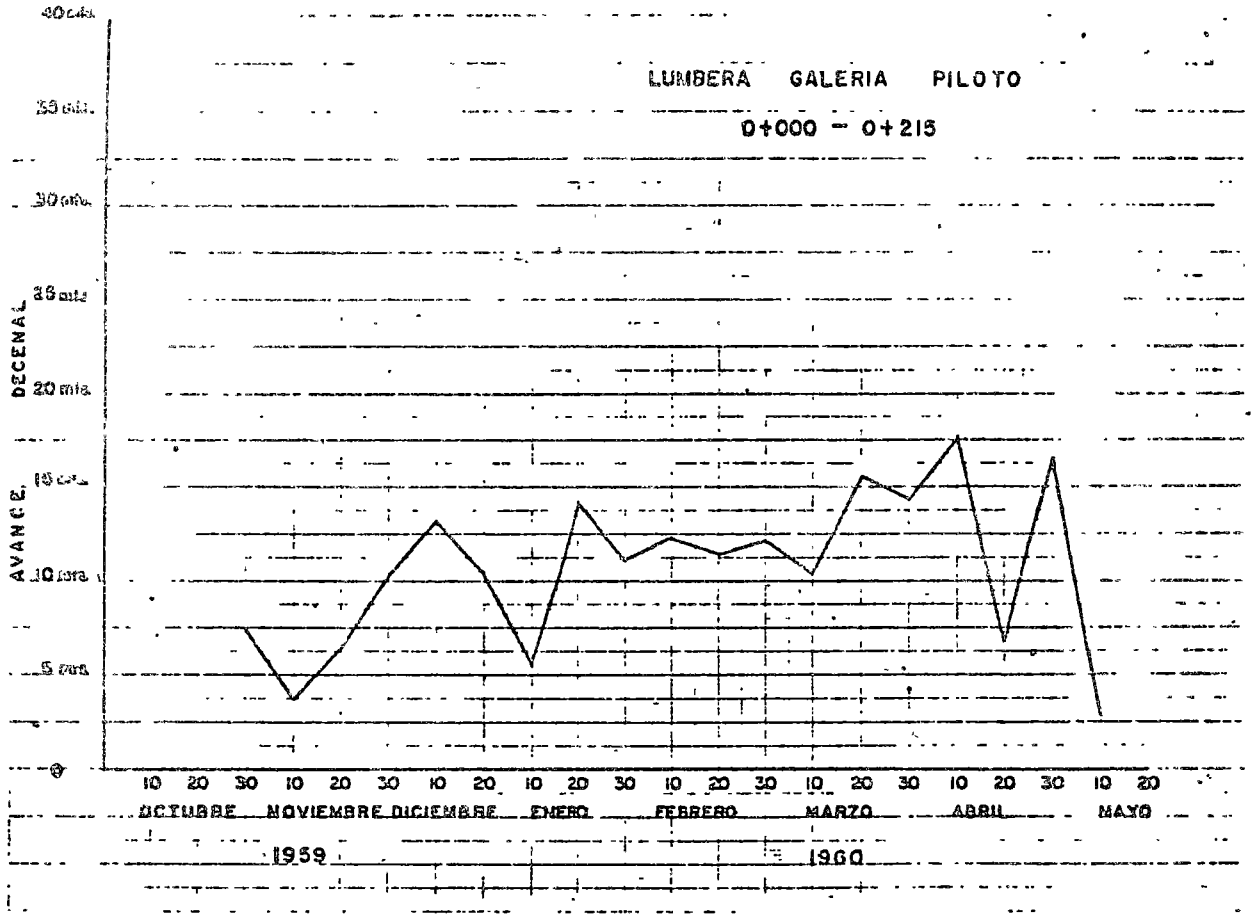
1 _ FORMA ACABADA DE COLAR

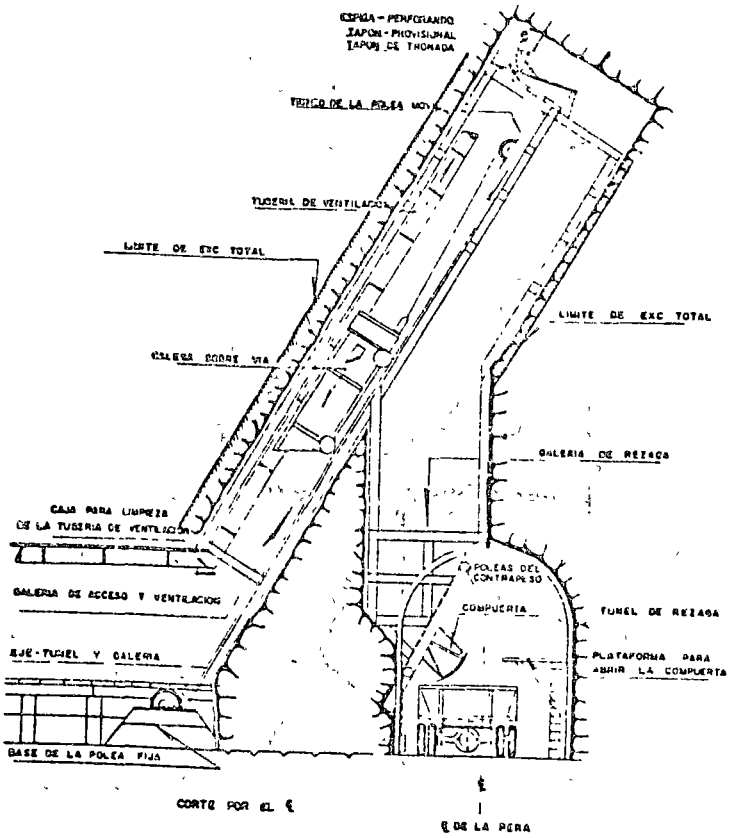
2 _ EL JUEGO CORRE SOBRE LA FORMA HASTA LA NUEVA POSICION

3 _ LA FORMA CORRE SOBRE EL JUEGO Y QUEDA LISTA PARA EL NUEVO COLADO

CROQUIS MOVIMIENTO DE FORMAS

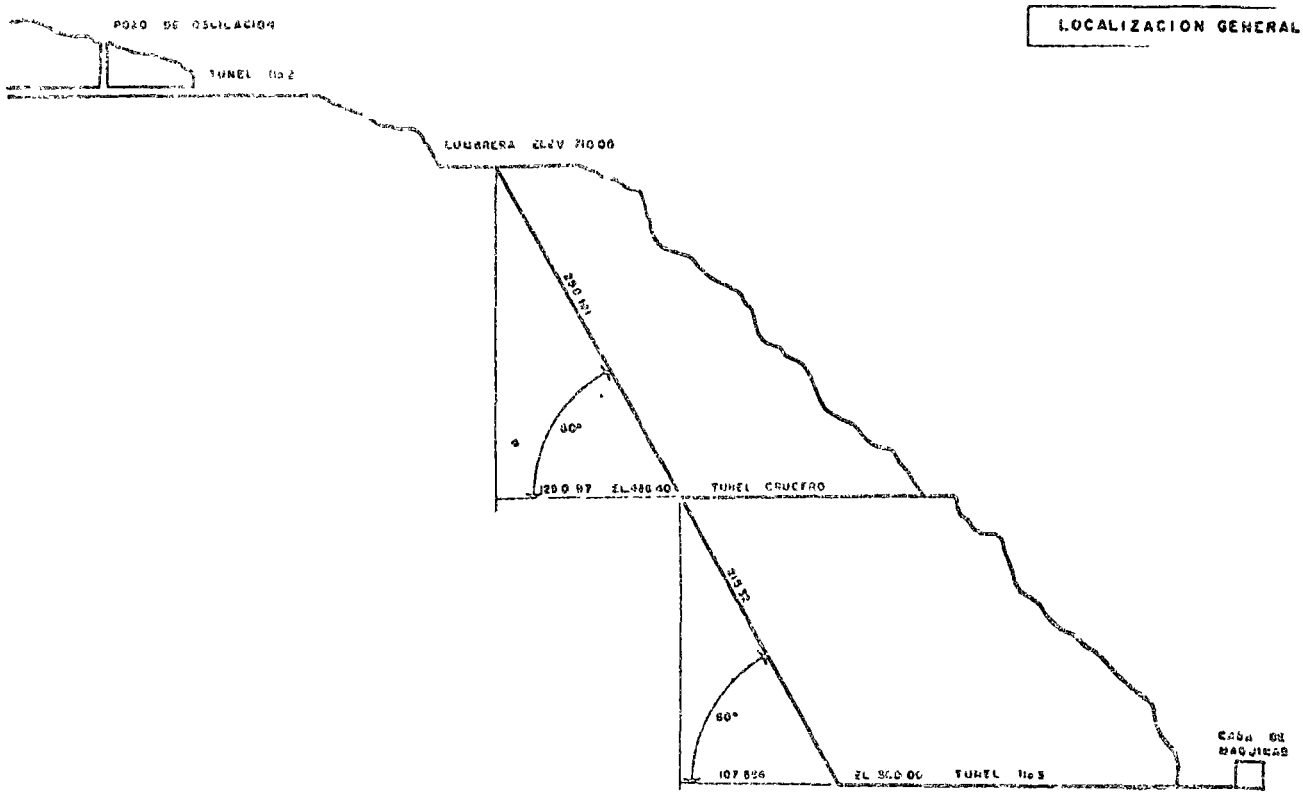

LUMBRERA GALERIA PILOTO
0+000 a 0+215.
CICLOS CON DEMORAS
60 ha.
50 ha.
40 ha.
30 ha.
20 ha.
10 ha.
0
10 20 30 10 20 30 10 20 30 20 30 10 20 30 10 20 30 10 20 30
OCTUBRE NOVIEMBRE DICIEMBRE ENERO FEBRERO MARZO ABRIL
1959
1960

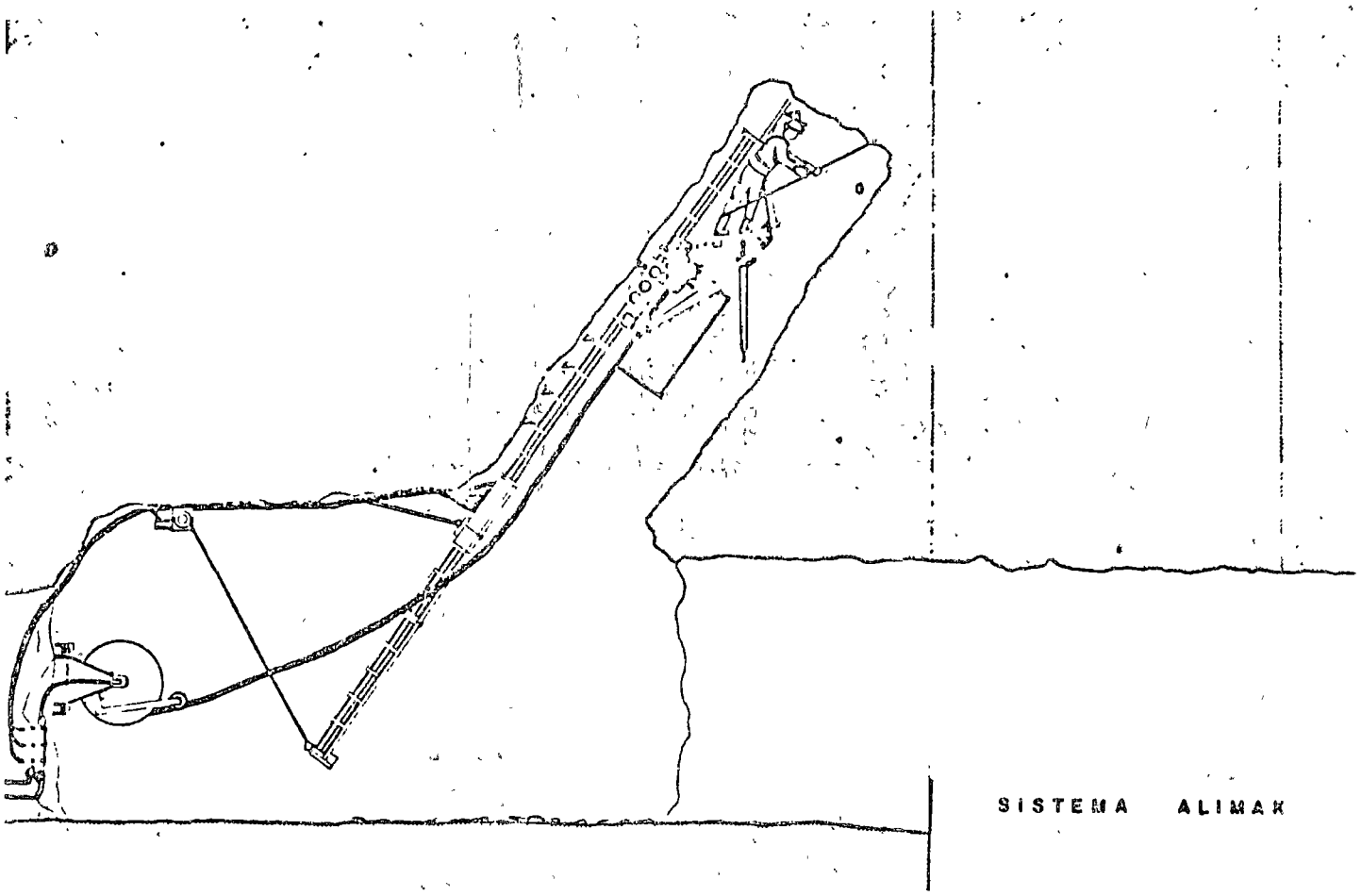

LUMBERA GALERIA PILOTO
0+000 — 0+215
DECENAL
AVANCE
40 cm.
35 cm.
30 cm.
25 cm.
20 cm.
15 cm.
10 cm.
5 cm.
0
10 20 30 10 20 30 10 20 10 20 30 10 20 30 10 20 30 10 20 30 10 20
OCTUBRE NOVIEMBRE DICIEMBRE ENERO FEBRERO MARZO ABRIL MAYO
1959
1960

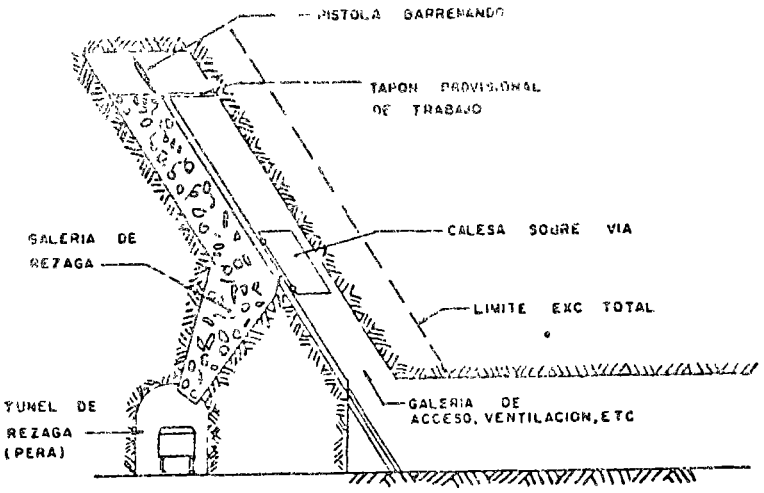


CROQUIS POZO
PILOTO Y TUNEL

LOCALIZACION GENERAL

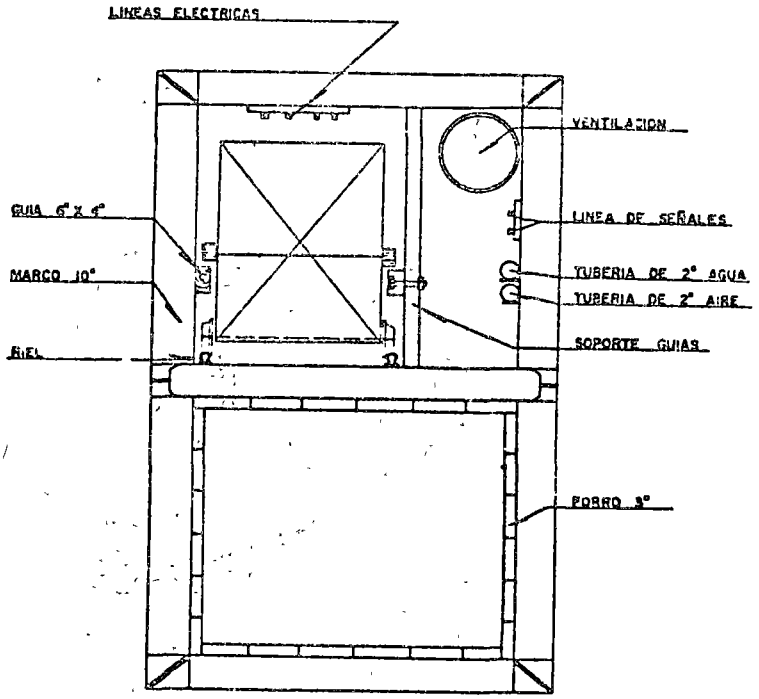



SISTEMA ALIMAR

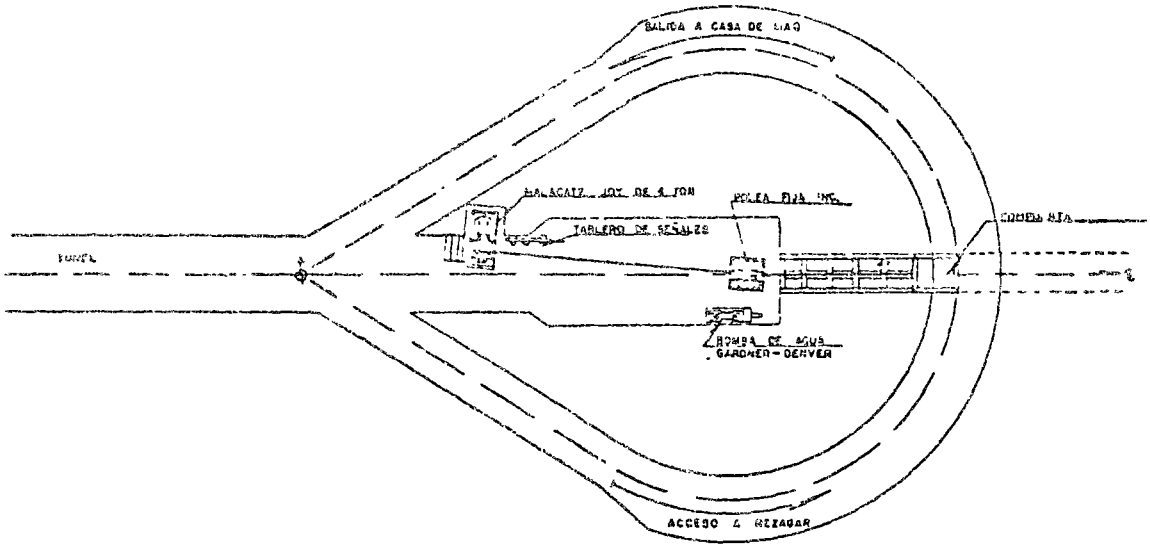


CORTE

CROQUIS POZO PILOTO



CORTE TRANSVERSAL
DE LA LUMBRERA



CROQUIS POZO
PILOTO PLANTA

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

CONSTRUCCION DE TUNELES

EXCAVACIONES DE TUNELES EN SUELOS BLANDOS

ING. ANDRES MORENO FERNANDEZ

AGOSTO DE 1977

EXCAVACION DE TUNELES EN SUELOS BLANDOS

I N D I C E

I. ANTECEDENTES

Debido al gran crecimiento y desarrollo industrial de las ciudades europeas en el siglo pasado, existió la necesidad de aumentar en forma acelerada la capacidad de las vías de transporte, aumentando su velocidad y en muchos casos fue imperativo construir túneles en suelos bajo el nivel freático, principalmente cuando el obstáculo a librar era un río.

Con este origen se inicia una carrera vertiginosa en la construcción de túneles en suelos blandos como sigue:

En 1818 Marc Brunel patenta en Londres el primer escudo (Fig. 1)

En 1825 Brunel principia la construcción de un túnel bajo el río Támesis, usando un escudo rectangular de 6.75x11.40 mts. (Figs. 2 y 3)

En 1830 Thomas Cochrane, patenta el uso del aire comprimido en la construcción de túneles y lumbreras.

En 1842 Brunel termina el túnel bajo el Támesis después de 17 años de trabajo (L=460 mts)

En 1879 Se utiliza por primera vez aire comprimido en un túnel, simultáneamente en Inglaterra (Antwerp) y Estados Unidos ---- (Hudson River).

En 1836 El Ingeniero Inglés Greathead usa por primera vez, un escudo con aire comprimido para la excavación de un túnel ferrocarrilero en Londres.

A partir de esta fecha, una gran cantidad de túneles en suelos blandos han sido construidos en casi todas las grandes ciudades del Mundo.

Como ejemplos de grandes túneles en suelos blandos, bajo el nivel freático se pueden citar:

- Los túneles bajo el río Hudson en New York
- Los túneles ferrocarrileros de la ciudad de Londres
- El Metro de París
- El Drenaje de la ciudad de Chicago
- El Metro de New York
- El Metro de la Ciudad de México
- Los Interceptores Oriente y Central del Drenaje de México.
- El Metro de San Francisco
- El Metro de Moscú.

THE SHIELD: ITS EARLY HISTORY, 1818 TO 1880

The manner in which the shield of 1818 was intended to work may be given in Mr. Brunel's own words (extract from patent Specification) :—

I shall premise by observing that the chief difficulties to be overcome in the execution of tunnels under the beds of great rivers lie in the insufficiency of the means of forming the excavation. The great desideratum, therefore, consists in finding efficacious means of opening the ground in such a manner that no more earth shall be displaced than is to be filled by the shell or body of the tunnel, and that the work shall be effected with certainty.

The best method I shall describe for obtaining this desirable result is applicable to a tunnel of large dimensions as well as to a simple drift or a driftway. In the formation of a drift under the bed of a river, too much attention cannot be paid to the mode of securing the excavation against the breaking down of the earth. It is on that account that I propose to resort to the use of a casing or cell, intended to be forced forward before the timbering which is generally applied to secure the work. This cell may be similar to one of those represented in Fig. 1, see letter *C*. The workman thus inclosed and sheltered may work with ease and in perfect security. It is obvious that the smaller the opening of a drift, the easier and the more secure the operation of making the excavation must be. A drift on dimensions not exceeding 3 feet in breadth by 6 feet in height, forms an opening of 18 feet area, whereas the body of a tunnel on dimensions sufficiently capacious to admit of a free passage for two carriages abreast cannot be less than 22 feet diameter, consequently about twenty times as large as the opening of a small drift. One of the modes which I propose to follow for the purpose of forming excavations suitable to tunnels of large dimensions consists in rendering the operation nearly similar to that of forming a small drift as being the most easy and the most secure way of proceeding. The apparatus represented in the Fig. 1, 2, 3 and 4, is one of the nature above described, and whereby a large excavation suitable to the dimensions of the proposed tunnel may be made. This apparatus is intended to precede the brick shell of the tunnel, and it is represented as in the work had already been commenced with a part of the tunnel *a, a, a, a*, Figs. 2 and 4, formed behind it. Fig. 1 represents a transversal view of an apparatus composed of small cells *A, B, C, D, E, F, G, H, J, K*, lying alongside of and parallel with each other. Each cell may be forced forward independently of the contiguous one, so that each workman is supposed to operate in a small drift indepen

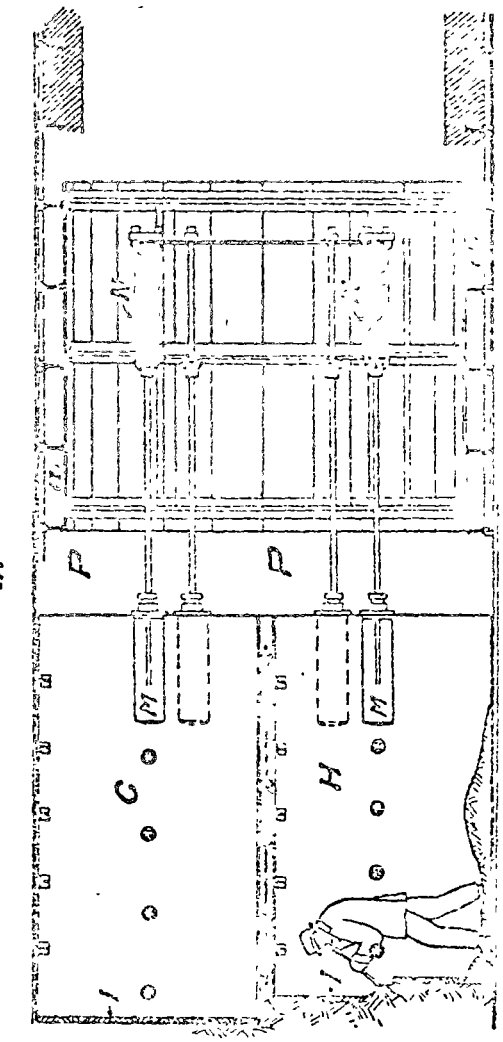


Fig. 3 Brunel's Shield.

From drawing attached to Specification of Patent No. 4204 of 1818.

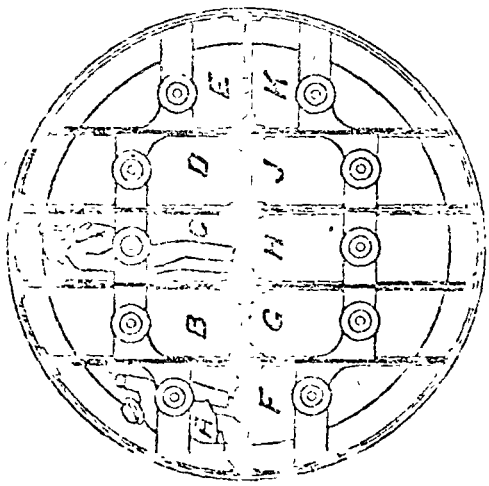


Fig.1 Escudo de brunel 1818

TUNNEL SHIELDS

That tunnel, now used by the East London Railway, crosses the Thames at Rotherhithe, and was originally intended to serve as a vehicular tunnel, or

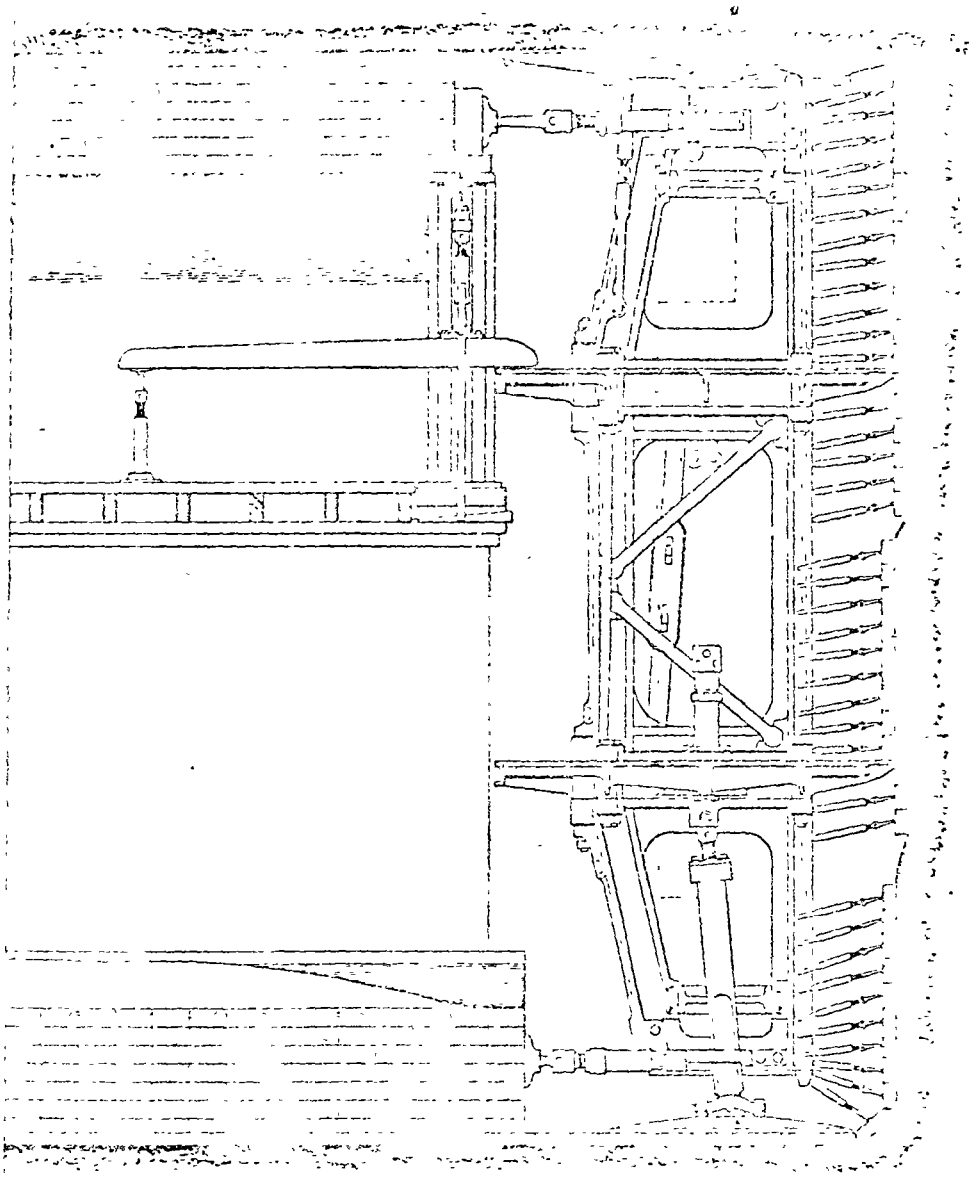


Fig. 2 Perfil del escudo de Brunel en rio Tamesis

FIG. 1. BRUNEL'S THAMES TUNNEL SHIELD
Section on line A, A (Fig. 2).

rather tunnels, for it consists of two brick tunnels side by side having a common pier in the centre.

The cross section of the masonry was a rectangle, the actual area of which was greater than that of any tunnel constructed since.

DIAGRAM

1 Top staves
2 Top abutting screws
3 Head
4 Top box of Frame no. 6
5 Tail jack
6 Wrought iron reinforcing member
7 Cast iron side frame member
8 Upper floor plate of Frame no. 6
9 Sling
10 Middle box of Frame no. 6
11 Leg
12 Bottom box of Frame no. 6
13 Poling boards
14 Jack forcing down floor boards
15 Shoe
16 Floor boards on which brick roadways rest
17 Brickwork of dividing wall
18 Bottom abutting screws
19 Brick roadway
20 Travelling stage
21 Roof centring
22 Jacks for adjusting roof centring
23 Western sidewall
24 Side staves
25 Roof brickwork

INSERT

A Poling board moved forward
B Poling board removed so that miner can excavate
C Poling board that has not been moved forward
D Poling screws

Clements (1970)

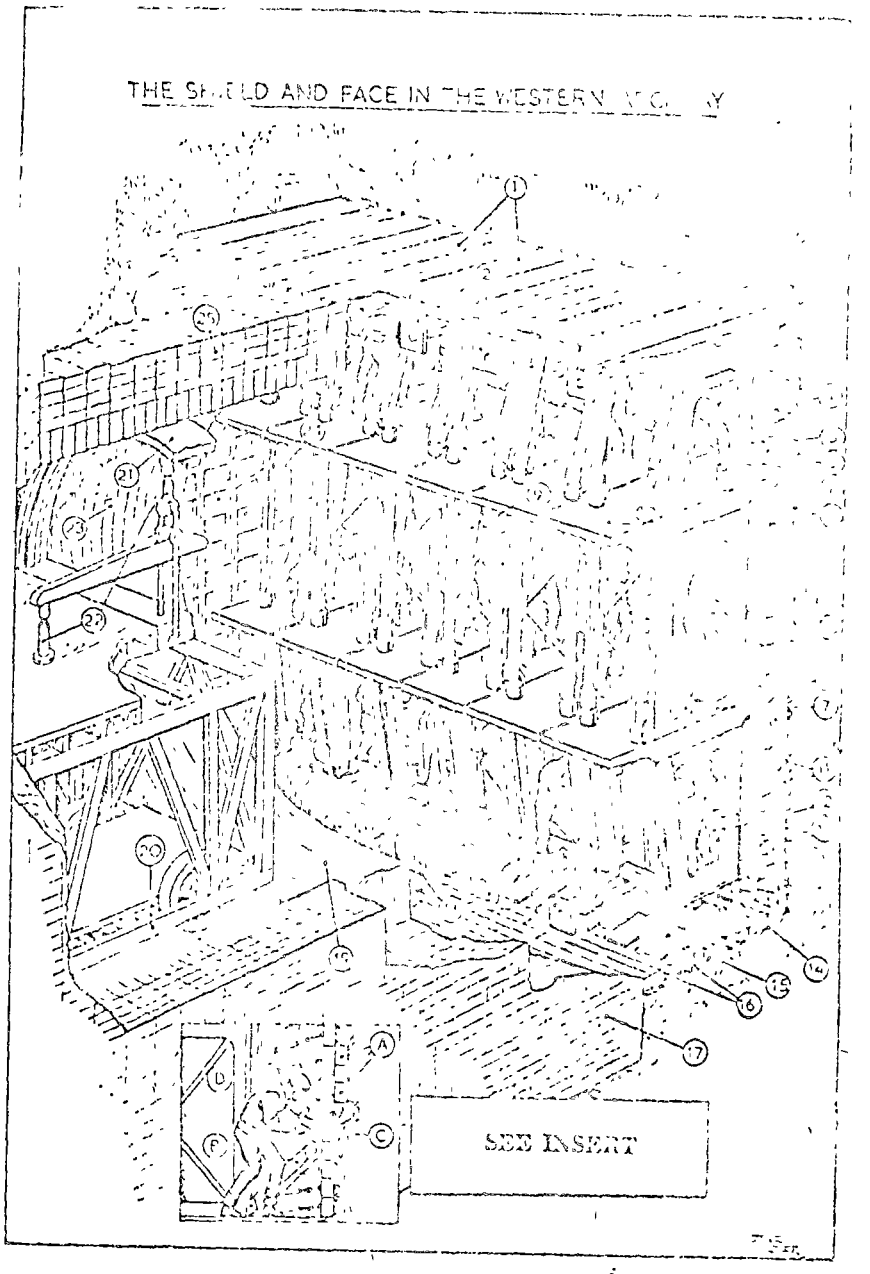


Fig. 3. Vista del escudo de Brunel en el río Tamesis.

II. REQUERIMIENTOS NECESARIOS PARA QUE EL TUNEL SE COMPORTE SATISFACTORIAMENTE.

1) El primer requerimiento es que el túnel se pueda construir, excavando con seguridad, manteniendo la integridad de la excavación cuando menos temporalmente, de manera de tener tiempo para colocar un ademe definitivoo permanente.

2) El segundo requerimiento es que la construcción del túnel no dañe exageradamente a los edificios vecinos, calles o instalaciones subterráneas.

3) El tercer requerimiento es que el túnel sea capaz de soportar en toda su vida útil todas las presiones y la evolución de ellas, debido al intemperismo, nuevos túneles en la vecindad, grandes excavaciones en la superficie, etc.

III. DISTRIBUCION DE ESFUERZOS EN LA PERIFERIA DEL TUNEL.

Existe una gran cantidad de teorías para el cálculo de los esfuerzos en el revestimiento de un túnel, sin embargo, de acuerdo con Peck, hay una teoría que concuerda razonablemente con la realidad, que consiste en lo siguiente:

Se considera un suelo idealmente homogéneo, donde a una profundidad z, se tiene un túnel, que tendrá un esfuerzo vertical igual a $\sigma_z = \gamma z$ y un esfuerzo horizontal igual a $\sigma_H = K_o \gamma z$ donde $K_o < 1$

Por un momento, pensemos que "mágicamente" colocamos un túnel en ese suelo y con esos esfuerzos, y que no alteramos ni el suelo de la periferia ni el suelo que se encuentra dentro, por lo tanto los esfuerzos serán iguales a los que consideramos inicialmente.

Supongamos ahora que el revestimiento es perfectamente flexible y que tiene una gran capacidad para soportar esfuerzos de compresión y que los esfuerzos tangenciales y cortantes son despreciables. En este momento tendremos una distribución:

$\sigma_z = \gamma z$ y $\sigma_H = K_o \gamma z$. Fig. 4

Ahora, si rápidamente extraemos el suelo del interior del túnel y como el anillo circular flexible solo puede estar en equilibrio si las presiones radiales son iguales en todos lados. Para que esto suceda es necesario que la intensidad del esfuerzo horizontal aumente y que el esfuerzo vertical disminuya hasta --

que todos los esfuerzos radiales sean iguales en todo el anillo. Entonces el anillo originalmente circular se deformará ligeramente para tomar una forma elíptica y redistribuir los esfuerzos radiales, no existiendo momentos flexionantes. Ahora los esfuerzos radiales uniformes tendrán un valor igual a - - - - - - - - -- 1/2 (1 + Ko) γ z (Fig. 5)

Teniendo en cuenta lo anterior, el ademe del túnel se deberá diseñar en forma elíptica con el diámetro horizontal igual a diámetro vertical multiplicado por Ko, de tal forma que al deformarse, se convierta en un anillo circular con esfuerzos uniformes y que cumpla con los siguientes requerimientos:

a) Ausencia de momentos flexionantes

b) Prevención de pandeos locales

c) Capacidad para soportar esfuerzos radiales

En la práctica la colocación de anillos elípticos dentro de un escudo circular involucra muchos problemas. Normalmente, la diferencia de diámetros que se aprovecha es solo la que da la tolerancia entre el revestimiento y el escudo que es de 4 a 7 -- cm.

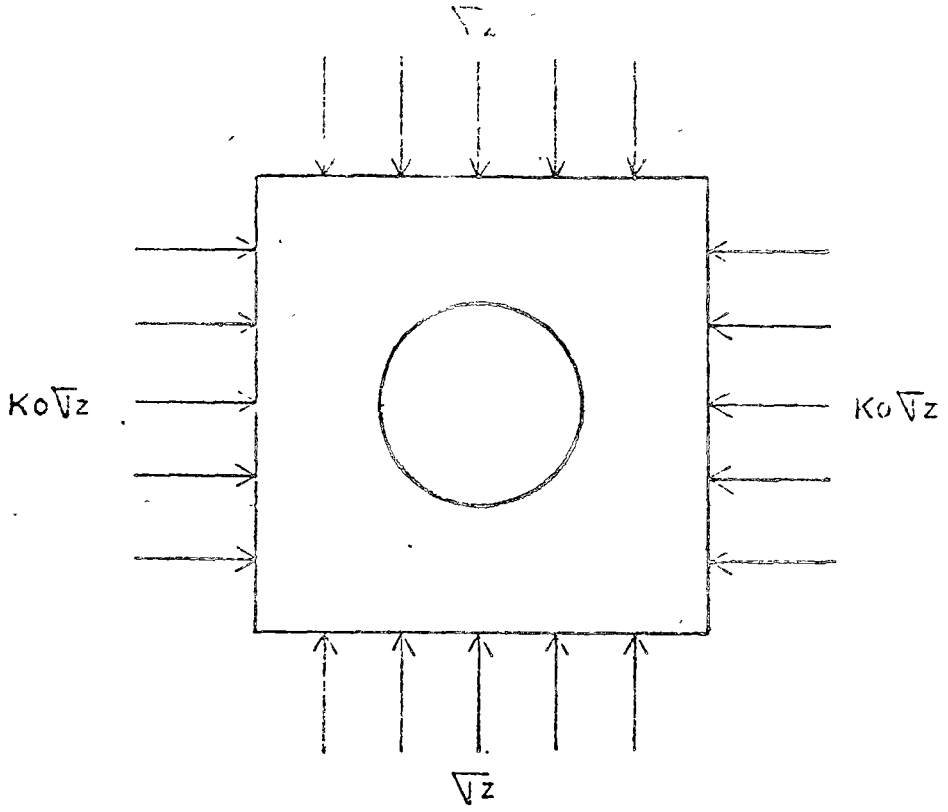


Fig. 4 Estado inicial de esfuerzos en la masa del suelo.

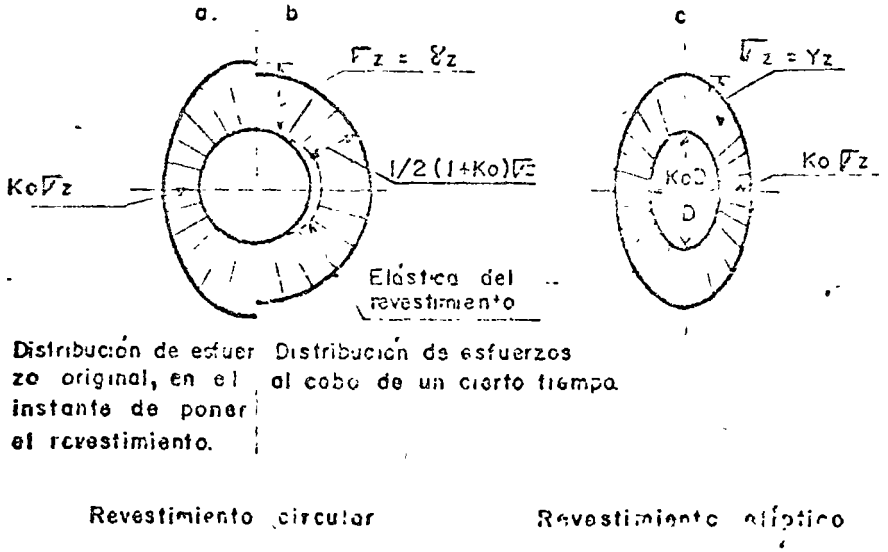


Fig. 5 Distribución de esfuerzos radiales en torno a revestimientos o ademes flexibles.

IV. ESCUDO

El escudo consiste esencialmente de un cilindro de acero - rígido, que tiene tres partes principales: La punta, la parte-- central y la cola o faldón.

Existen varias clases de escudos, los abiertos, los cerrados y los escudos o máquinas excavadoras, los escudos abiertos - son los más usados y en este trabajo, nos referimos sólo a ----- ellos. (Figs. 6 y 7)

El extremo delantero de la camisa o "cachucha) está muy reforzado, ya que su función fundamental es cortar el suelo al --- avanzar el escudo. Generalmente, la forma es la de un cincel,-- cuya cara está reforzada con soldadura extra-dura. Otra función de la cachucha es proporcionar protección a los trabajadores que se encuentran excavando en esta parte del escudo.

La parte central de escudo está destinada a alojar toda la estructura de empuje de los gatos, así como el equipo hidráulico de control (válvulas, mangueras, instrumentos, etc.) y al operador del escudo.

En la parte trasera o "faldón" es donde se arma elanillo-- de dovelas y no tienen ningún esfuerzo, toda la resistencia está dada por el espesor del anillo que normalmente varía entre 1" y - 3".

En el frente de escudo, en el cuerpo central existen va--- rios gatos frontales cuya función será la de ademar el frente de

escudo, mediante el uso de tableros de madera. Estos gatos -- tienen además la cualidad de retraerse al avanzar el escudo,-- manteniendo una presión constante en el frente de ataque. ---- (Fig. 8).

En la parte posterior de la parte central se encuentran alojados en la periferia del escudo los gatos frontales que empujarán el escudo hacia adelante apoyándose en los anillos de dovelas, armados dentro del faldón. (Fig. 9)

En el faldón está alojado un brazo erector para armar -- los anillos formados por dovelas, el cual está accionado por-- gatos hidráulicos y puede desplazarse 360° (Fig. 10)

Existe además un equipo auxiliar que generalmente se encuentra en la superficie que consiste en las bombas y depósi-- tos de aceite hidráulico, mismo que se transporta dentro del-- túnel en tubería de acero generalmente de 1 1/2" y se retorna en tubería de 2" Ø. La presión máxima es del orden de 5,000 - lb/in2 (350 kg/cm2) y la presión de trabajo normalmente es --- igual a 3,000 lb/in2 (210 kg/cm2)

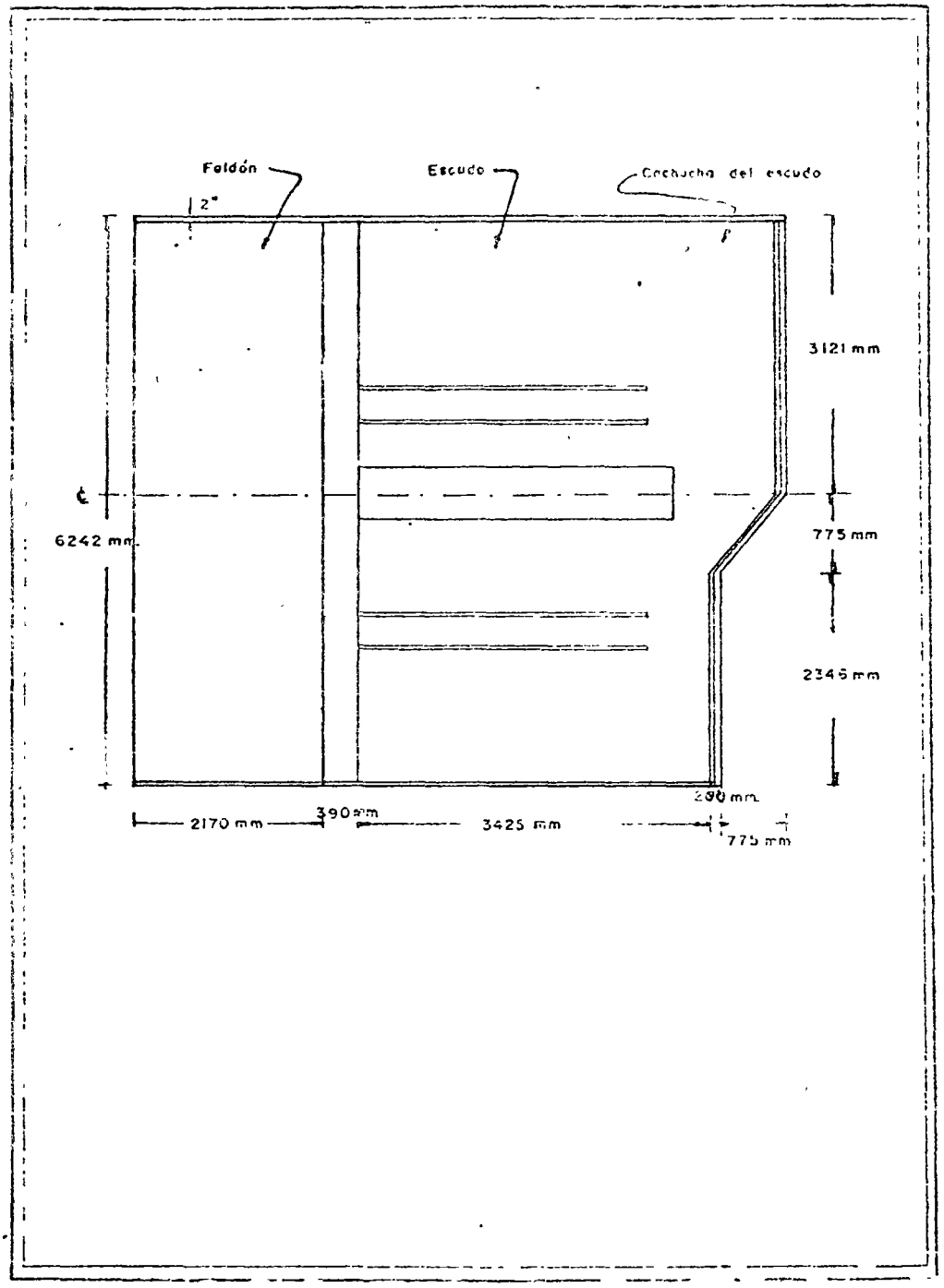


Fig. 6. Elevación de un escudo

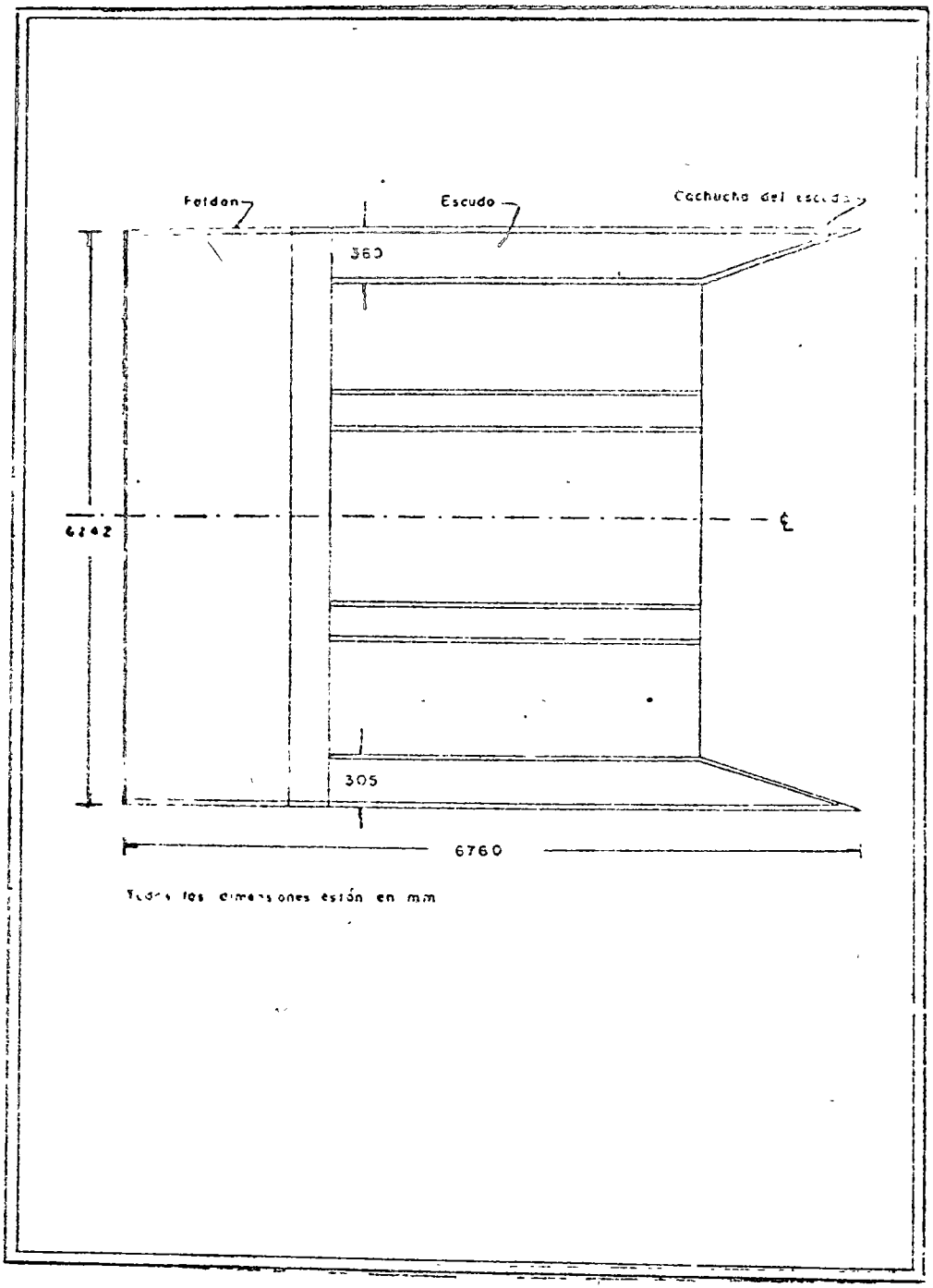


Fig. 7 Planta del escudo

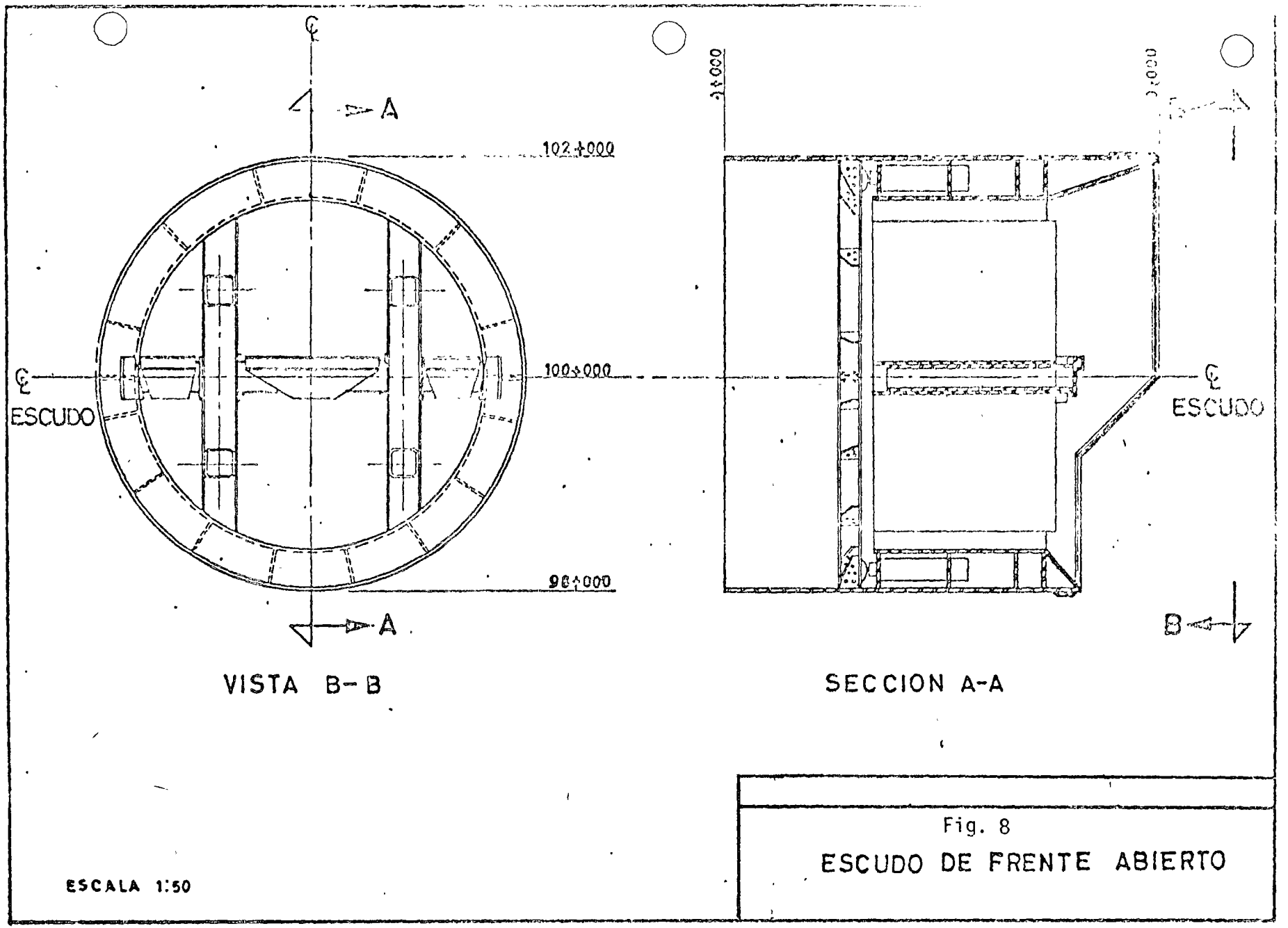


Fig. 8

ESCUDO DE FRENTE ABIERTO

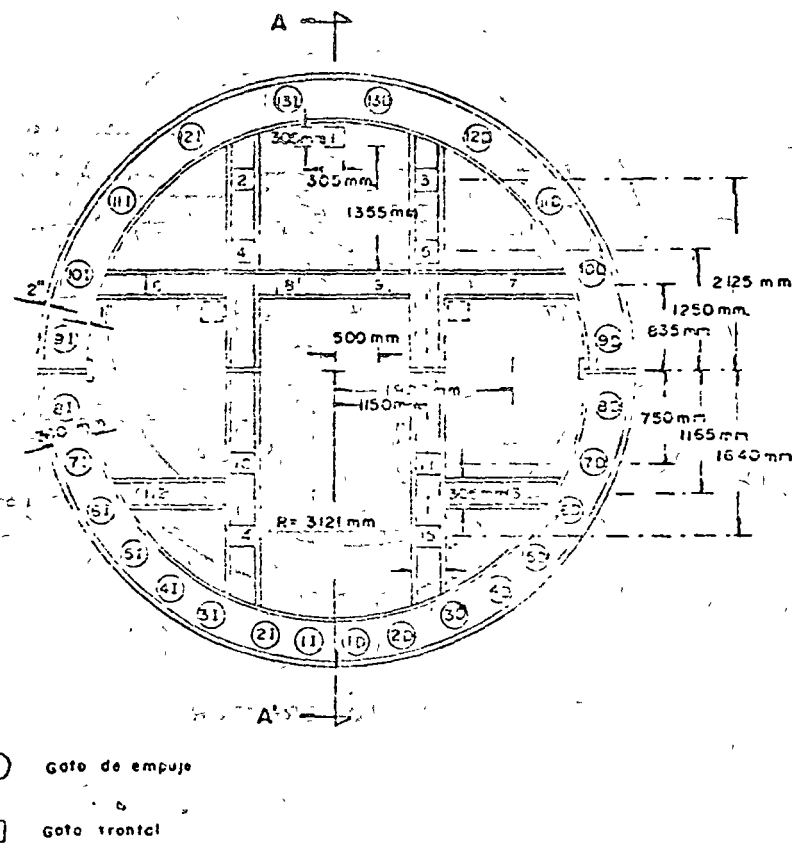


Fig. 9 VISTA POSTERIOR DEL ESCUDO

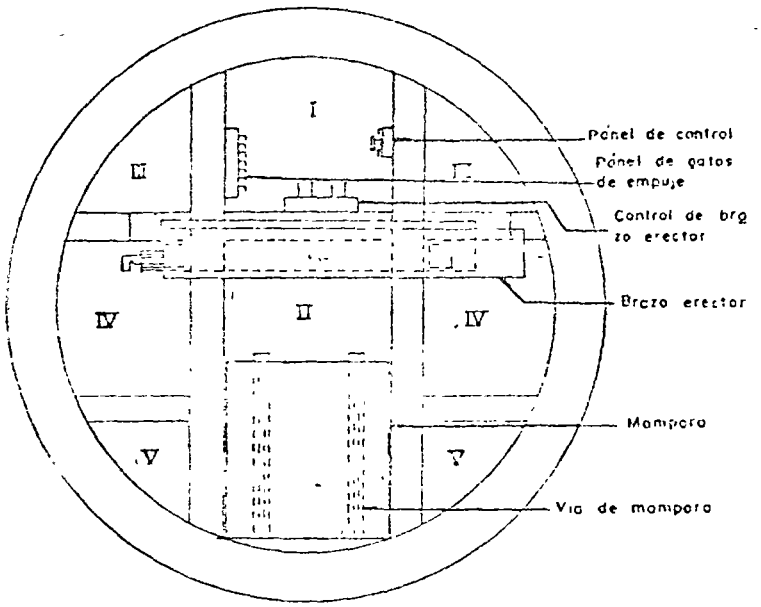


Fig. 10.- BRAZO ERECTOR

V. ADEME PRIMARIO.

El ademe primario de los túneles excavados en suelos blandos con escudos, consiste en dovelas ó segmentos que forman anillos, los cuales pueden o no estar ligados entre sí.

Estas dovelas pueden ser de concreto, de fierro fundido, o de acero. Pueden también sufrir expansión parcial o total o simplemente no expanderse.

Como ejemplo ilustrativo podemos citar el ademe primario del Interceptor Central que consistió en anillos de 11 dovelas de concreto con un espesor de 25 cm. y un ancho de 75 cm. y de una cuña o llave ligadas entre sí por tornillos de acero de 1 1/8" de Ø. Este anillo así construido no es susceptible de expanderse. (Fig. 11).

En ruta No. 1 del Metro, entre las estaciones Observatorio y Tacubaya se construyó un túnel con escudo, que utilizaba como ademe primario un anillo formado por tres dovelas, una de piso y dos superiores que sufren una expansión total al salir del escudo. (Fig. 12 y 13)

En el diseño de las dovelas se debe contemplar además de los esfuerzos debido al empuje de los suelos, los debidos a las cargas por manejo, transporte y muy importantemente a las producidas por los gatos de empuje.

VI. CICLO DE EXCAVACION.

El ciclo de excavación de un escudo de frente abierto consiste de las operaciones siguientes:

1) Excavación y ademe frontal
2) Rezaga o extracción de producto de la excavación
3) Avance del escudo
4) Erección del revestimiento primario

.-Excavación y ademe frontal.

La excavación y el ademe lo ejecutan los perforistas desde las plataformas de trabajo del escudo. Normalmente el frente se divide en seis partes, a saber: tercio superior: derecha e izquierda; tercio medio: derecha e izquierda y tercio inferior: derecha e izquierda. (Fig. 14)

La excavación se hace con martillos neumáticos y el "banqueo" se ejecuta de arriba hacia abajo, colocando el ademe inmediatamente después de terminar la excavación.

Además, se ejecuta una ranura de 60-80 cm. de profundidad y 20-40 cm. de ancho en la clave, para facilitar el avance del escudo.

Esta parte del ciclo toma entre 60-140 minutos dependiendo de las condiciones del terreno y del diámetro de escudo. Esta etapa del ciclo es la más delicada y la que requiere más experiencia.

.-Rezaga o extracción del producto de la excavación.

Simultáneamente a la excavación y al ademe frontal se inicia la extracción del producto de la excavación, generalmente usando una rezagadora, que entra dentro del cuerpo del escudo y extrae el suelo y lo deposita en una vagoneta. Esta operación puede tener una duración entre 40-120 minutos.

.-Avance del escudo.

Una vez terminada la rezaga, se procede al empuje del escudo para lo cual se levanta la mampara de la parte central con el objeto de que el suelo que pudiera desprenderse del frente durante el empuje no caiga dentro de la zona del faldón donde se hará la erección del anillo.

A continuación se accionan los gatos de empuje contra el último anillo de dovelas, y se hace avanzar el escudo, hincándolo dentro del frente, el ademe permanece presionando al suelo del frente gracias a la acción automática de retracción de los gatos frontales.

La expansión total de los gatos, se planea para cada empuje, tomando en cuenta los datos del trazo del túnel, siguiendo la dirección y el nivel programado; de esta manera se pueden dar curvas verticales y horizontales y generalmente se usa un teodolito con equipo Laser y un par de tarjetas para la incidencia del mismo. (Fig. 15)

En esta etapa lo más importante es guiar el escudo para conservar la línea del túnel dentro del proyecto. Esta parte del ciclo toma entre 8-15 minutos. (Fig. 16).

.-Erección del revestimiento primario.

Una vez terminada la expansión de los gatos de empuje,- que hicieron avanzar el escudo, se procede a retraer los ga-- tos, dando espacio para la colocación de las dovelas, usando- el brazo erector para formar el anillo. La colocación se em- pieza del piso hacia los lados y en la clave se coloca una -- pieza de cierre o "llave" (Fig. 17)

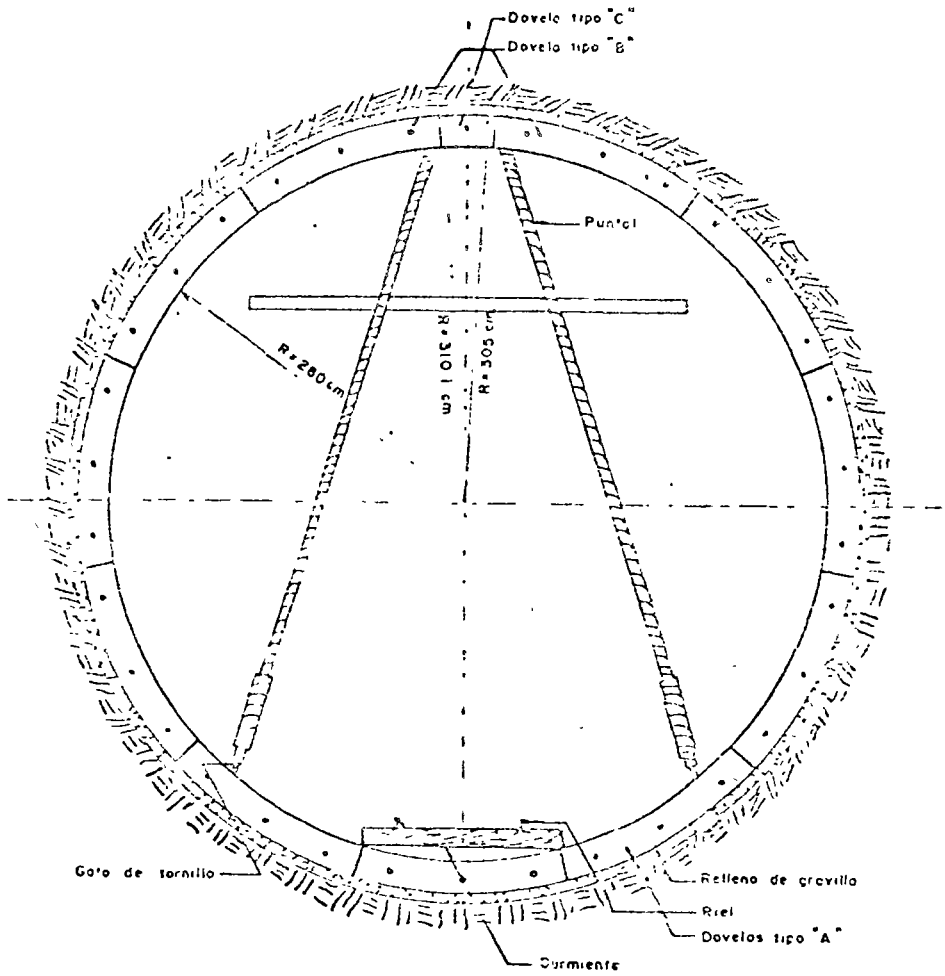


Fig. 11 — CORTE DE TUNEL

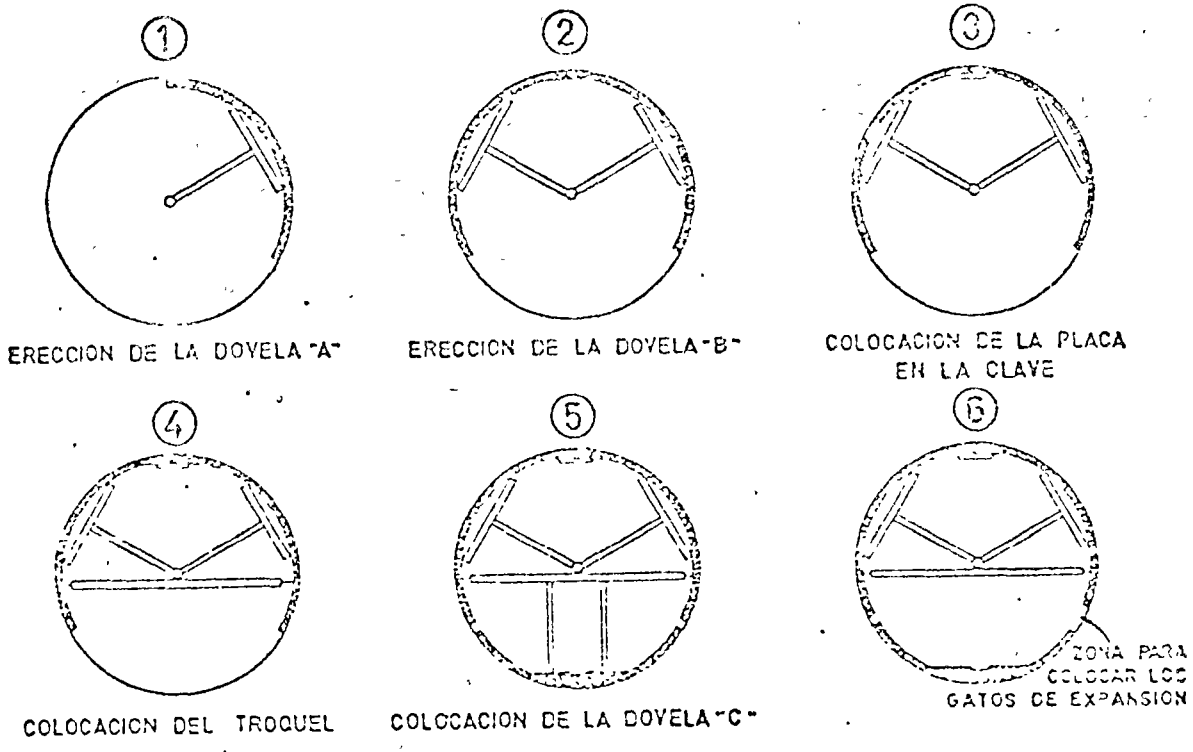


Fig. 12 Colocación del ademe primario consistente en tres dovelas

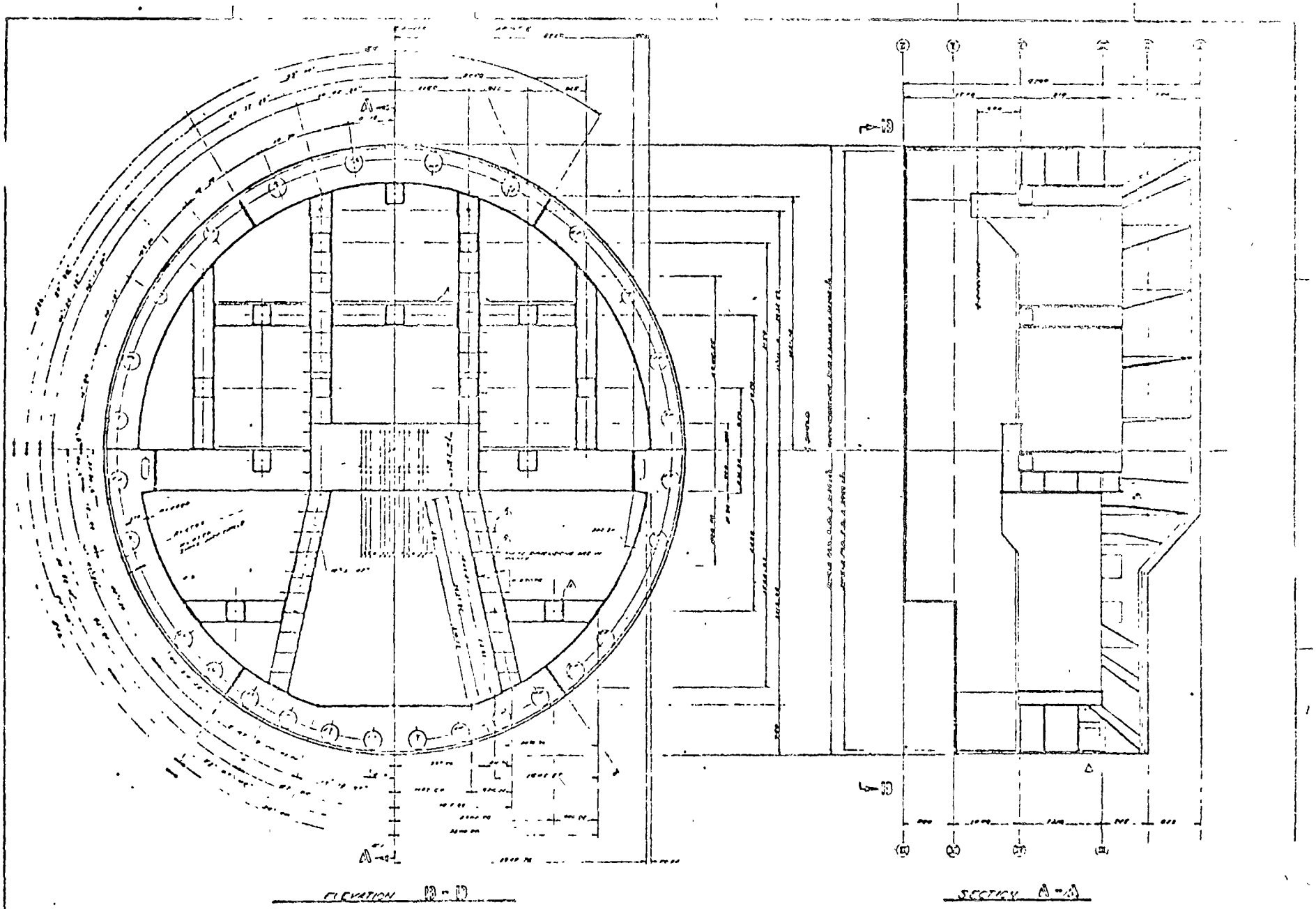


Fig. 13

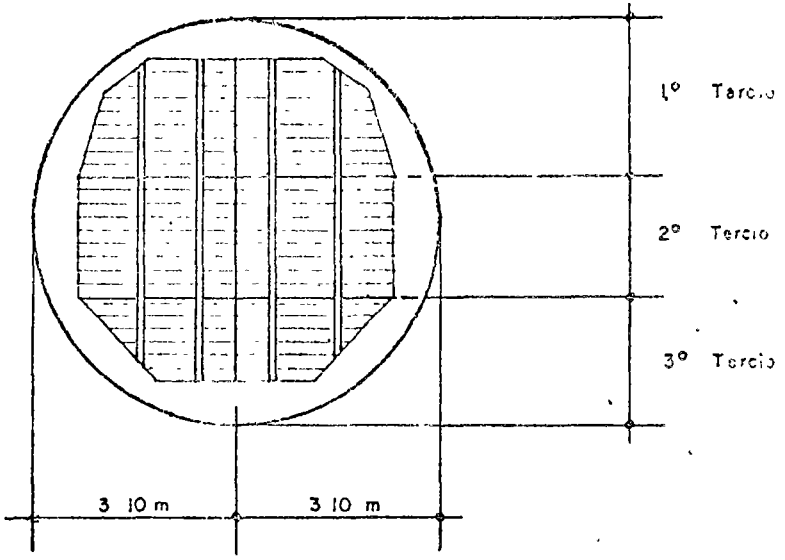


Fig. 14 Zonas de cdemado de la cara del túnel

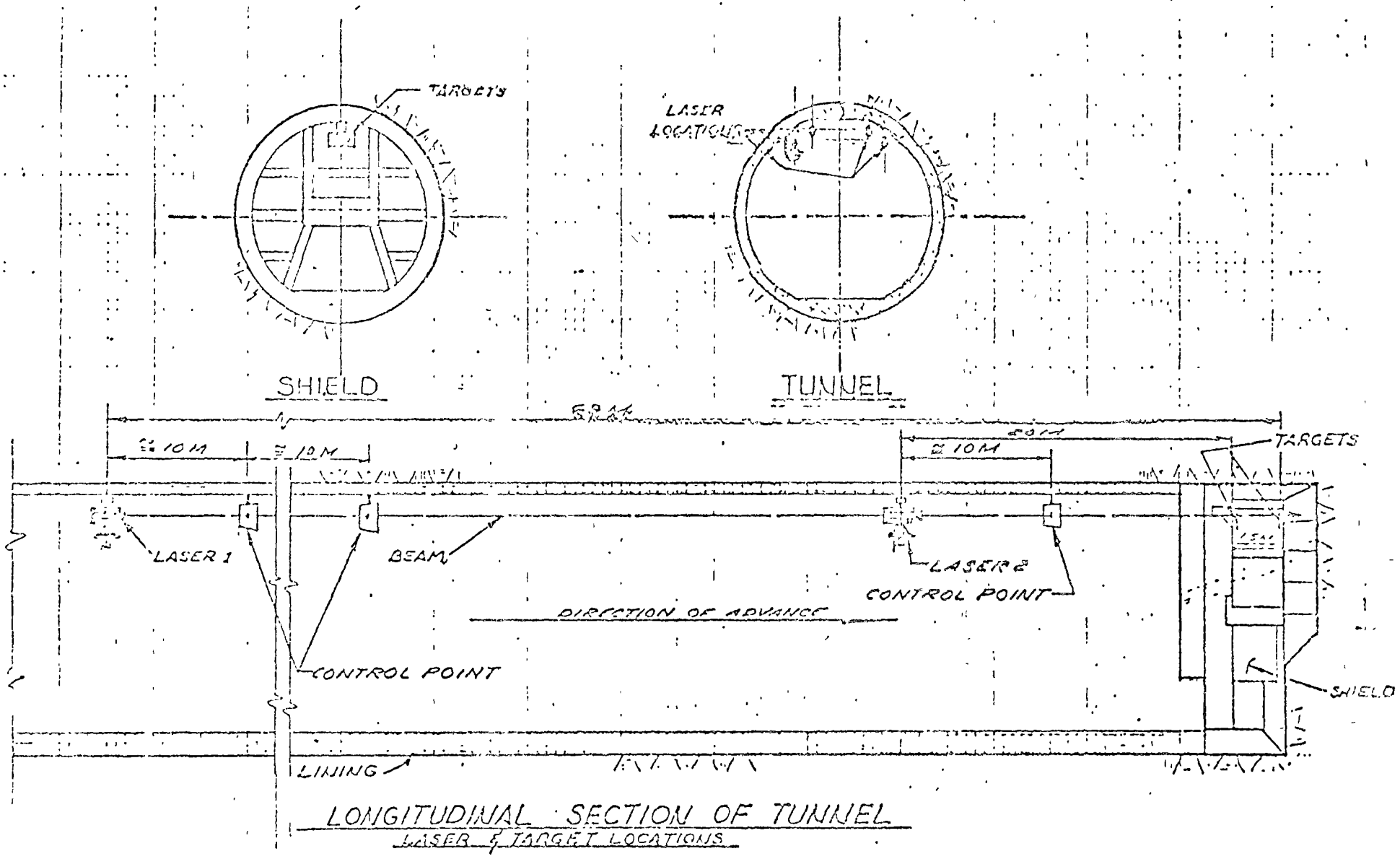

TARGETS
LASER LOCATIONS
SHIELD
TUNNEL
≅ 10 M
≅ 10 M
≅ 10 M
TARGETS
LASER 1
BEAM
LASER 2
CONTROL POINT
DIRECTION OF ADVANCE
CONTROL POINT
SHIELD
LINING
LONGITUDINAL SECTION OF TUNNEL
LASER & TARGET LOCATIONS

Fig. 15

ADITAMENTOS PARA CORREGIR EL ALINEAMIENTO

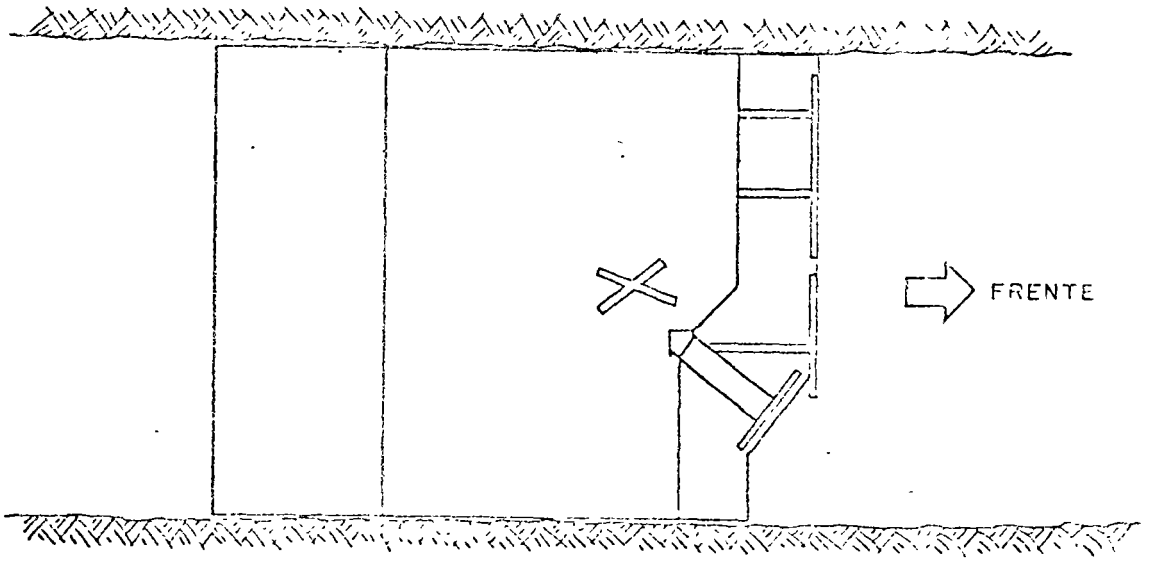
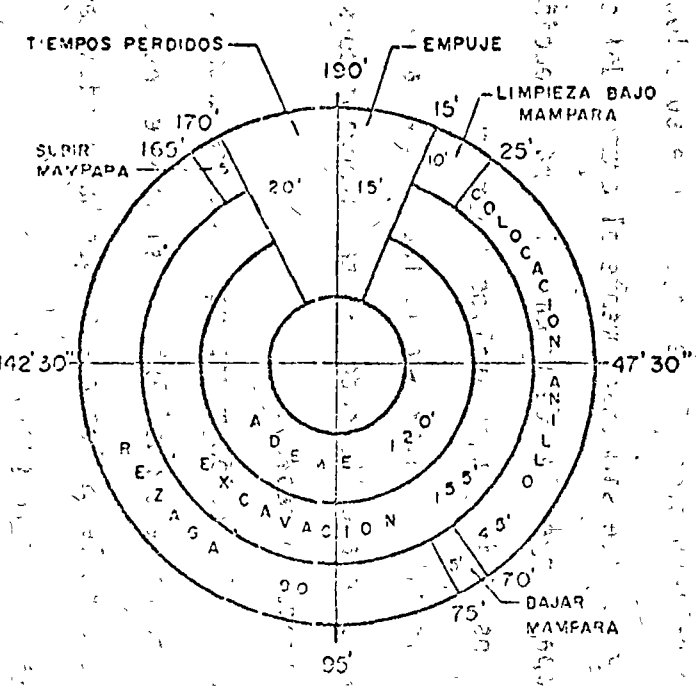


Fig. 16-- POSICION DE LAS ALETAS Y EL PUNTAL

EJEMPLO DE UN CICLO DE EXCAVACION



ESCUDO Nº _____ LUMBRERA _____ FRENTE _____

ANILLO Nº _____ CADENAMIENTO _____

FECHA _____ REPORTO _____

JEFE DE FRENTE _____

TIEMPOS OPTIMOS

AVANCE = 7.5 ANILLOS / DIA

CONCEPTO	INICIO	TERMINO	DIFERENCIA
EMPUJE			
LIMPIEZA BAJO MAMPARA			
COLOCACION ANILLO			
BAJAR MAMPARA			
REZAGA			
SUBIR MAMPARA			
EXCAVACION			
ADEME			

INYECCION GRAVILLA _____ SACOS _____

DEMORAS _____

Fig. 17 — CICLO DE EXCAVACION Y COLOCACION DE ANILLO CON ESCUDO

VII. INYECCIONES.

La inyección es una operación tendiente a rellenar los huecos entre revestimiento primario y escudo y de esa manera reducir los asentamientos en la superficie, asimismo, también se -- ejecutan para disminuir o reducir al mínimo las filtraciones hacia el túnel. Es práctica común ejecutarla en cuatro etapas.

1a. etapa. Relleno del espacio entre dovelas y terreno. Este espacio se debe de rellenar rápidamente con gravilla redonda (pea gravel) con tamaño entre 4 y 6 mm. Esta gravilla es colocada mediante el uso de una lanzadora neumática que se conecta a una manguera que se introduce en perforaciones que se ejecutan en algunas dovelas estratégicamente colocadas en los anillos. Este relleno tiene la ventaja de que su colocación es muy rápida y se hace simultáneamente al avance del escudo.

2a. etapa. Inyección de tapón. Es una inyección que se realice en los últimos tres anillos del tramo a tratar y que tiene como finalidad evitar que la lechada de la inyección se prolongue a la zona del escudo. Esta inyección consiste en un mortero de fraguado rápido.

3a. etapa. Inyección menos densa que la anterior, sigue siendo un mortero pero más fluido y sin acelerante, su función principal será rellenar los huecos que han quedado entre las dovelas, el terreno y la gravilla.

4a. etapa. Inyección para sellar y para impermeabilizar. -- Esta inyección es muy fluída y está formada de agua, cemento y - bentonita. (Fig. 18)

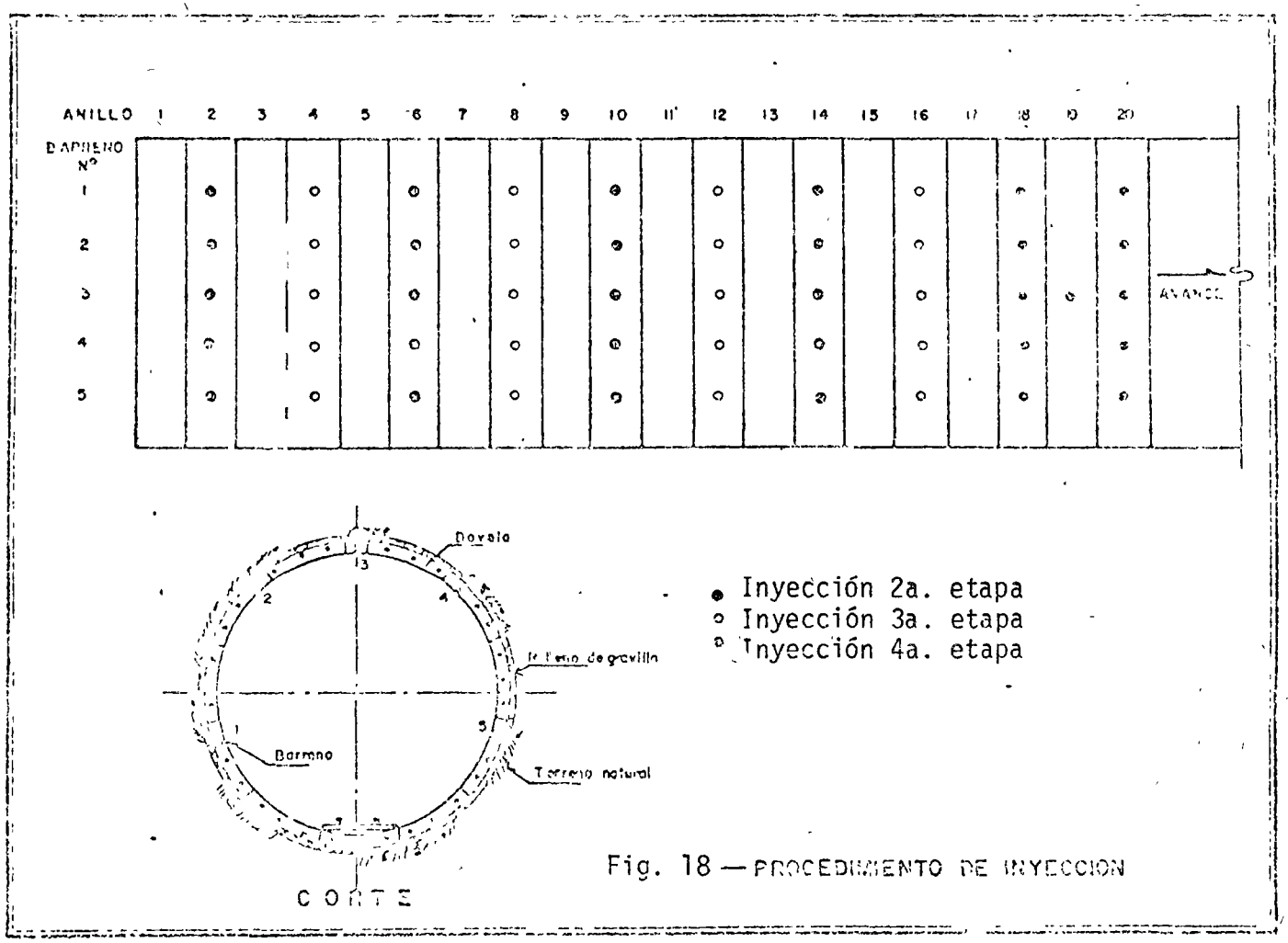


Fig. 18 — PROCEDIMIENTO DE INYECCION

VIII. ABATIMIENTO DEL NIVEL FREATICO.

Cuando el túnel se ejecuta en suelos situados bajo el nivel freático, es frecuente ejecutar un abatimiento del mismo con el objeto de facilitar las operaciones de la excavación, evitar las tubificaciones y pérdidas de suelo y en general para mejorar las condiciones de estabilidad del frente.

Como ejemplo ilustrativo se presenta brevemente el sistema de abatimiento usado en la excavación del Interceptor Central.

Este abatimiento consistió en una batería de pozos profundos colocados en dos líneas separadas 6 metros del eje de túnel, con pozos separados 15 mts. al tres bolillo. Los pozos son de 24" y se perforaron 20 mts. por debajo de la plantilla del túnel.

Dentro de los pozos debidamente ademados y con filtro adecuado, se colocó una bomba sumergible con capacidad de 15 lts/seg. para una carga hidráulica de 70 mts.

La batería tenía una longitud de 160 mts. 100 adelante del escudo y 60 detrás. (Figs. 19, 20 y 21)

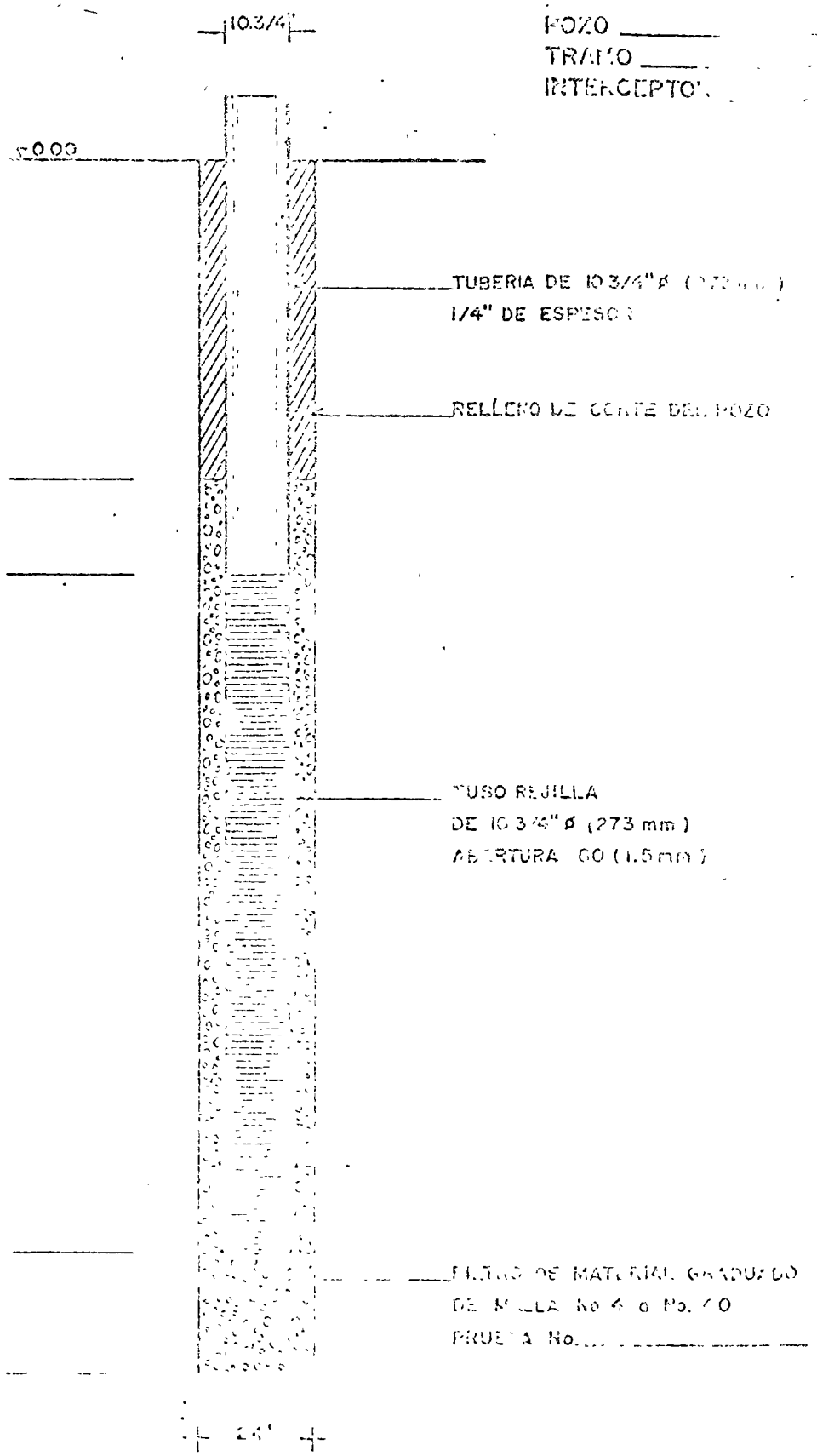


Fig. 19 Pozo de bombeo

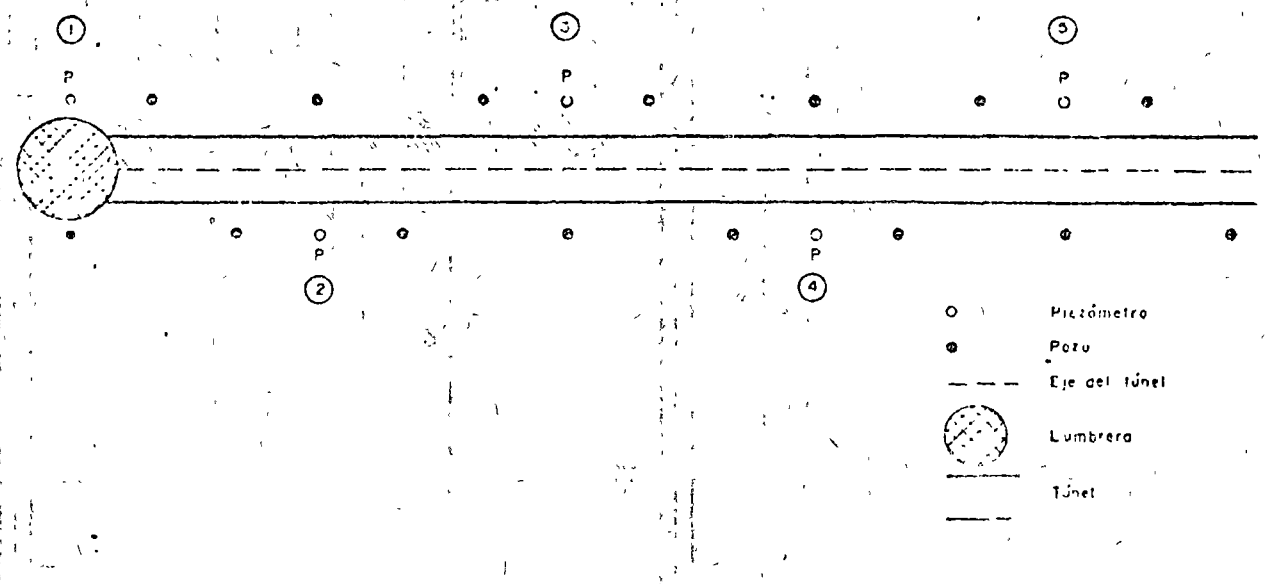
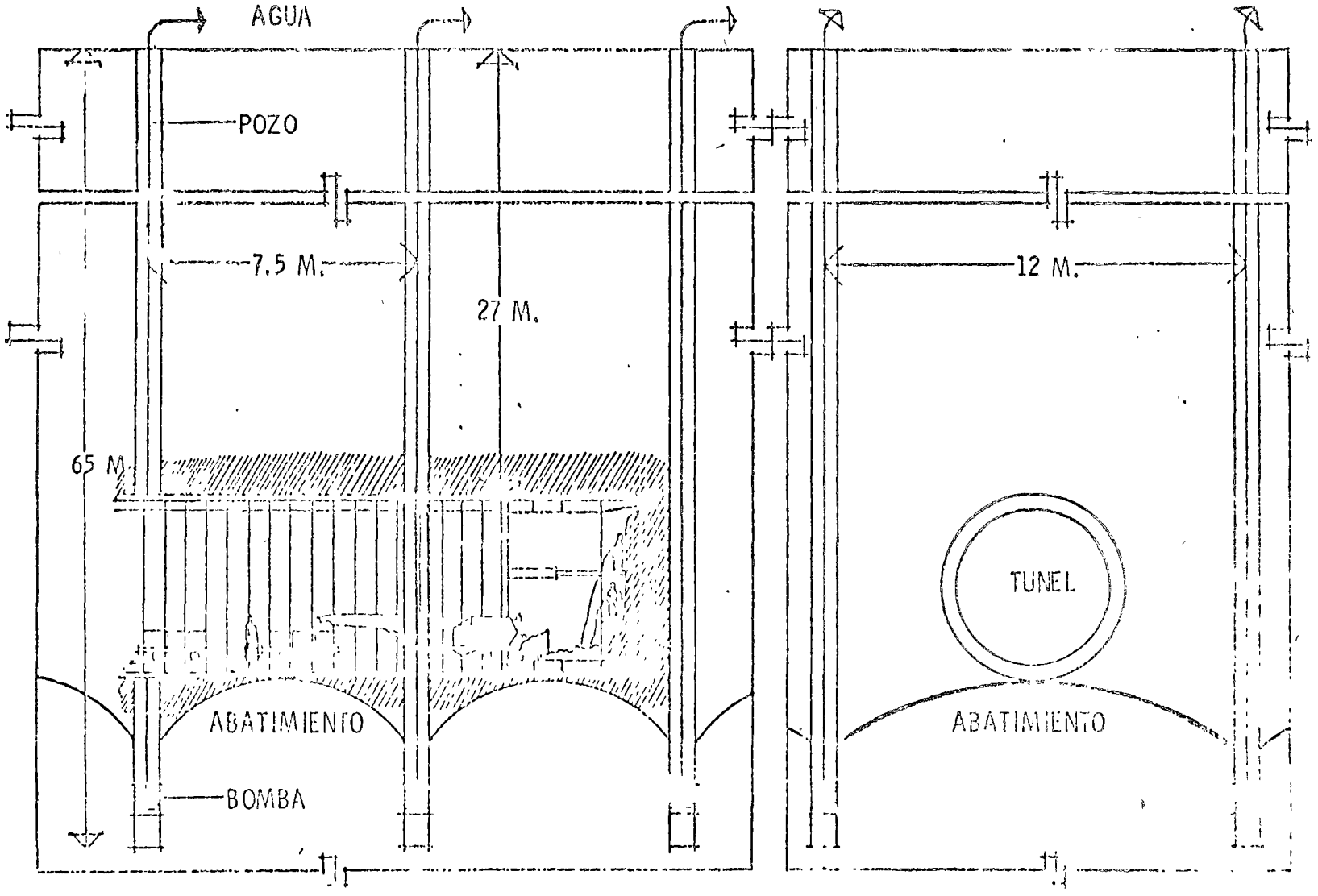


Fig. 20— LOCALIZACION DE POZOS DE BOMBEO Y PIEZOMETROS

Fig. 21 SISTEMA CONSTRUCTIVO ADOPTADO EN LOS TUNELES LOCALIZADOS EN MATERIALES TIPICOS DE LA ZONA DE TRANSICION



IX. ASENTAMIENTOS.

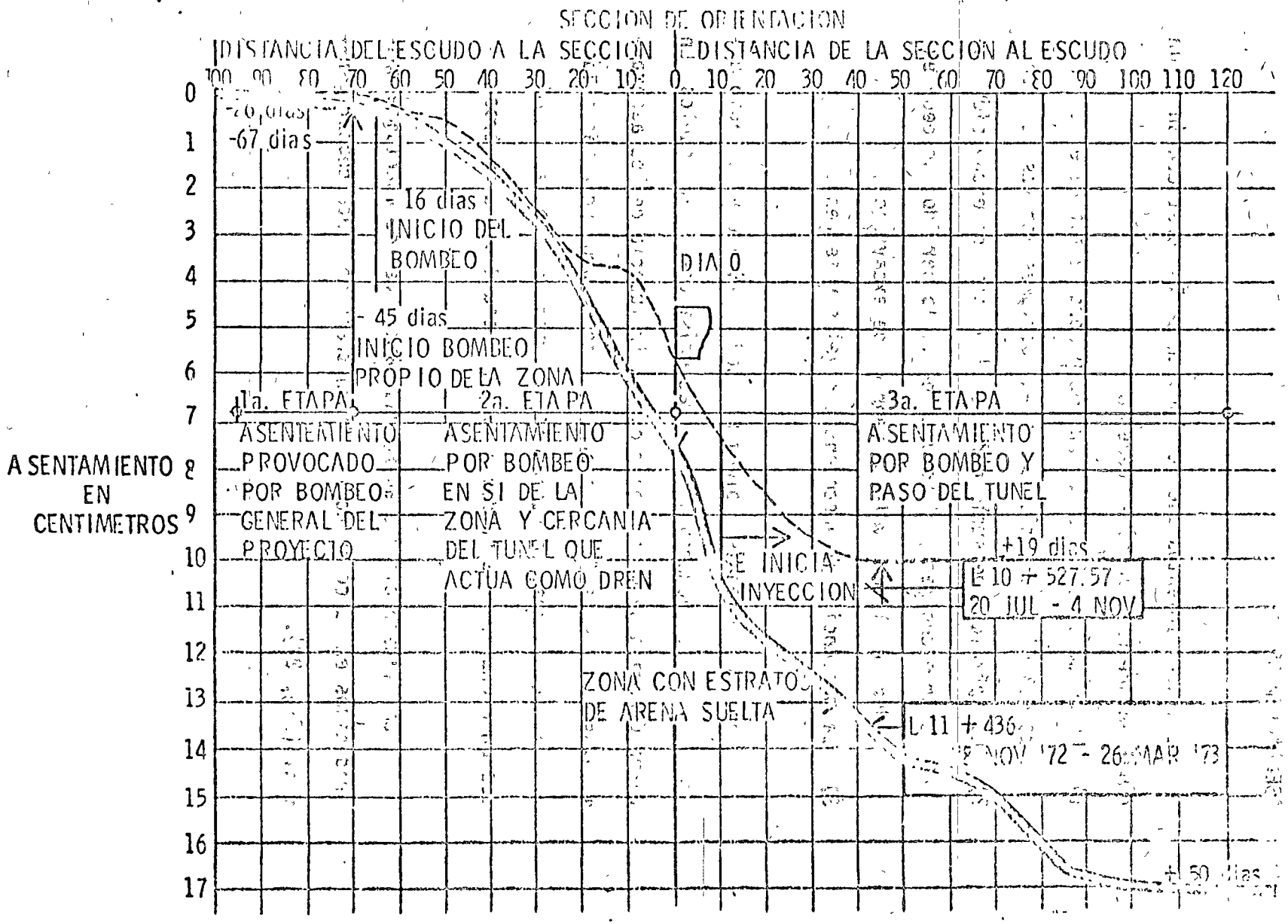
Los asentamientos que se producen en la construcción de un túnel en suelos blandos se deben a:

1) La consolidación de los suelos producida por el abatimiento del nivel freático o por extracciones locales de agua.
2) Las pérdidas de suelo durante el proceso de excavación. De acuerdo con Peck, el volumen de suelo perdido, no debe exceder el 1% del volumen teórico de excavación.
3) La presencia del hueco entre dovelas y terreno.

Los asentamientos evolucionan con el tiempo y su radio de acción varía de acuerdo a las características de los suelos. En forma genérica se puede decir que la influencia de los asentamientos en la superficie en arcillas no se prolongan más allá de 1 a 2 diámetros, no sucediendo lo mismo con los asentamientos en arenas que se pueden propagar hasta 2 o 3 diámetros.

Como ilustración se anexa una lámina de los asentamientos producidos en la construcción de un tramo del Interceptor Central (Fig. 22).

Fig. 2 GRAFICA ASENTAMIENTO - DISTANCIA A LA SECCION DE OBSERVACION EN MATERIALES DE LA ZONA DE TRANSICION



X. EL USO DE AIRE COMPRIMIDO EN LA CONSTRUCCION DE TUNELES EN SUELOS.

Desde el año de 1879, la Ingeniería de túneles, cuenta con la valiosa herramienta del aire comprimido a baja presión en -- aquellos túneles donde las condiciones de estabilidad del frente son precarias y los gradientes de filtración hacia la excavación producen situaciones peligrosas, como son el arrastre de material, tubificaciones, ebullición de las arenas, etc.

La teoría de este método es muy simple: al túnel se le adiciona una presión de aire a baja presión, en exceso de la atmosférica que actuará en todas las paredes y el frente, ayudando a mejorar la estabilidad del frente y a evitar o disminuir las -- filtraciones hacia la excavación.

Con objeto de facilitar la explicación del método nos referiremos a la construcción del túnel entre las lumbreras 9 y 10 del Interceptor Central, primera experiencia a nivel nacional.

XI. INFLUENCIA DEL AIRE COMPRIMIDO EN LA ESTABILIDAD DEL FRENTE DEL TUNEL.

Al analizar la estabilidad del frente del túnel 9-30 del Interceptor Central de acuerdo con el criterio de Broms y Bennemark, (Fig. 23), se tiene que la extrusión en la arcilla se presenta cuando los esfuerzos en el frente de túnel alcanzan los siguientes valores:

$$\gamma h \geq (6 \text{ à } 8)\ c$$

donde γh = presión total a la profundidad media del túnel.

c = cohesión de la arcilla en prueba no drenada.

Para el túnel en cuestión se tuvieron los siguientes valores:

γ = 1.3 ton/m3. h = 29 m. c = 5 ton/m2.

Se puede calcular un factor de seguridad contra la falla por extrusión como sigue:

$$F.S = \frac{8c}{\gamma H} = \frac{8 \times 5}{37.7} = 1.0$$

Factor muy cercano a la unidad, que para efectos prácticos, se puede pensar que existen grandes posibilidades de falla por extrusión.

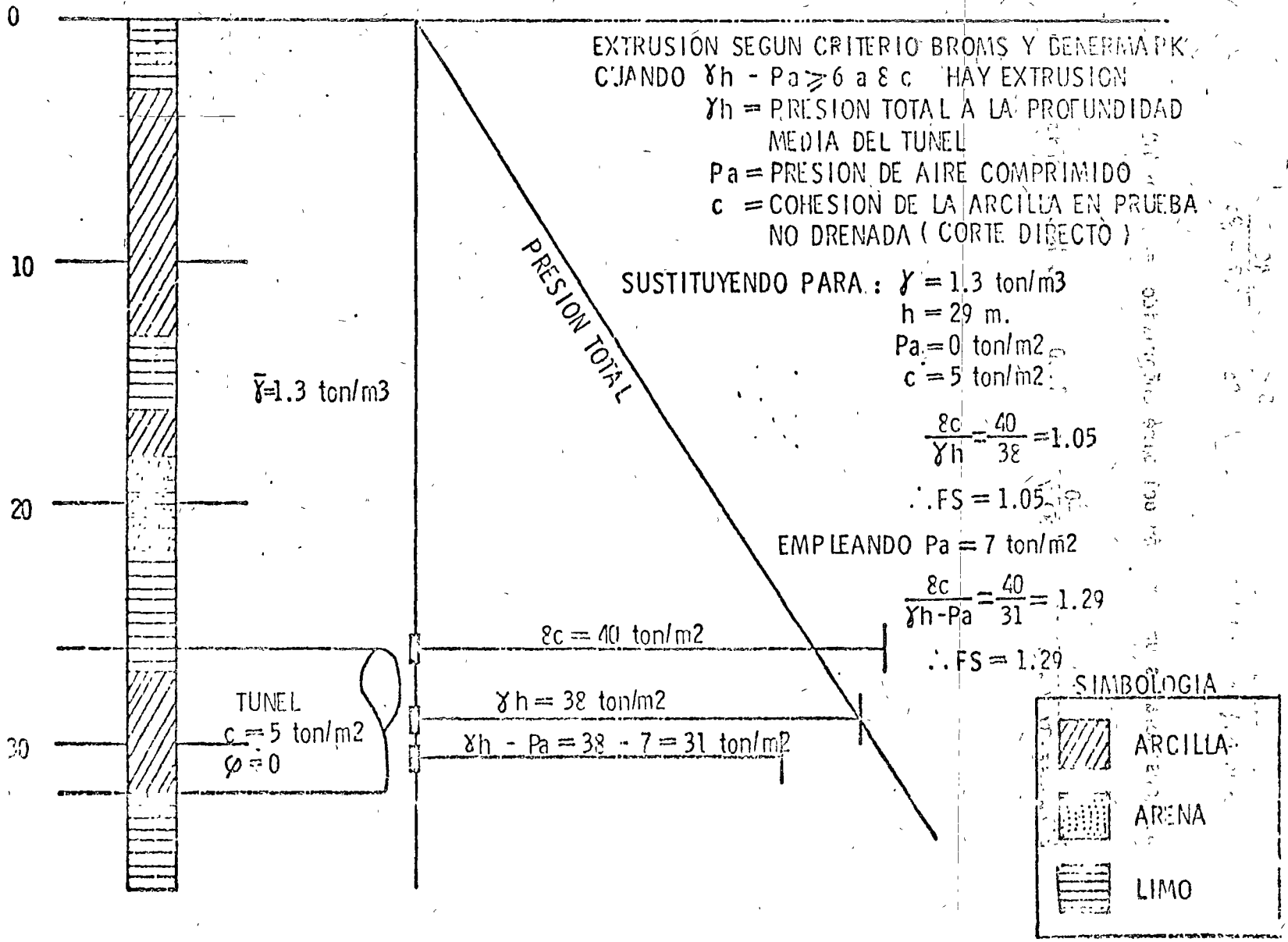
Veamos ahora el efecto del aire comprimido:

$$F.S_{Extrusión} = \frac{8c}{\gamma h - p_{aire\ com}} = \frac{8 \times 5}{37.7 - Pa} = \frac{40}{37.7 - Pa}$$

Si consideramos una presión del aire comprimido = 7 ton/m2.

$$F.S_{Extrusión} = \frac{40}{37.7 - 7} = \frac{40}{30.7} = 1.30$$ No habrá falla

Fig. 23 REVISION DE LA ESTABILIDAD DEL FRENTE 9-10 DEL INTERCEPTOR CENTRAL



XII. PRESIONES DE TRABAJO.

En la actualidad las normas internacionales vigentes para la excavación de túneles con aire comprimido, solo contemplan los -- trabajos efectuados al nivel del mar. La tabla vigente en los Estados Unidos es la de la Ciudad de Washington, D.C de 1971. (Fig. 24)

La esencia de dichas normas aparece en la tabla anexa, en la que aparecen los tiempos de descompresión, teniendo en cuenta la- presión de trabajo y el tiempo de exposición.

Estas tablas están formadas por las experiencias de muchos - años y de muchos lugares, de manera que los tiempos de descompre- sión permitan que el aire disuelto en los tejidos del personal,-- sea expulsado sin la formación de burbujas de nitrógeno que provo can enfermedades por descompresión. Estas tablas tenían que ser- modificadas por las condiciones de la Ciudad de México.

De acuerdo con E.R. Cross (autor de las tablas Technifacts - para buzos), los tiempos de descompresión para diferentes altitu- des pueden ser obtenidos de las tablas estandar, modificando las- presiones de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$P_C = \frac{P_{n.m.}}{P_B} = P_T \qquad \text{(Fig. 25)}$$

donde:

P_B = Presión barométrica a cierta altitud

$P_{n.m}$ = Presión barométrica al nivel del mar

P_T = Presión de trabajo

P_C = Presión corregida por altitud

Por lo tanto, para la elevación de la Ciudad de México --- (2,246 m.s.n.m.)

$$P_c = \frac{760 \text{ mm. de Hg}}{580 \text{ mm. de Hg}} = 1.31$$

Esta constante de 1.31 deberá afectar a los valores de las presiones, de acuerdo con el criterio de Benhke.

Usando la tabla Washington, por ejemplo si queremos trabajar a 20 psi en la ciudad de México durante turnos de 6 horas:

20 psi x 1.31 = 26.2 psi

para 28 psi el tiempo de descompresión será igual a 153 min.

Teóricamente, hacer estas correcciones no tendrá ningún problema, pero como no se puede arriesgar al personal a contraer alguna enfermedad, se hizo un programa de pruebas en cámara médica, de manera de comprobar la bondad de dichas hipótesis.

Esta investigación empezó con la selección del personal que en términos generales debía de cumplir con los siguientes requisitos:

- Integridad física
- Capacidad para desarrollar ejercicio físico

- No rebasar el 20% de sobrepeso
- Edad inferior a 35 años
- Aptitud para igualar presiones en los senos paranasales y oidos.-
- No padecer enfermedades de pulmón, oidos o articulaciones.

En base a estas condiciones, se efectuó un programa de pruebas--- a nivel de cámara médica, mediante el cual se pudo llegar a la siguiente tabla de descompresión en donde se probaron a presiones de 0.6 kg/cm2. (Figs. 26 y 27)

En todas las pruebas efectuadas se llevó un control muy estricto- de las condiciones de los trabajadores antes, durante y después de --- las mismas. Pudiédose construir la gráfica de incidencias de enfermedades por descompresión e intolerancia al aire comprimido contra pre-- siones de trabajo.

El porcentaje de enfermedades por descompresión a partir de la -- presión de 1.6 kg/cm2., empieza a aumentar notablemente, lo mismo sucede para la intolerancia al aire comprimido.

Se puede concluir, que la tabla corregida para la Ciudad de México, es válida hasta presiones de 1.5 kg/cm2. presentándose las incidencias de enfermedades por descompresión de acuerdo a las estadísticas-- mundiales.

Por lo tanto, si se quiere trabajar a presiones mayores de 1.5 -- kg/cm2, será necesario desarrollar una investigación médica tendiente- a determinar nuevos valores de tiempos de descompresión de manera que- la incidencia de las enfermedades e intolerancia al aire comprimido se encuentren a los niveles recomendados por las normas de Washington

A continuación se presentan las estadísticas encontradas en el período comprendido entre el 1o. de agosto de 1973 y el 14 de octubre de 1974.

Presión de trabajo Entre 0.6 y 0.8 kg/cm2

Trabajadores revisados *	730	100%
Trabajadores rechazados	134	18.3%
Número de compresiones	37,519	100%
Trabajadores con molestias:		
En senos paranasales	115	0.62%
En los oidos	236	0.31%
Trabajadores con enfermedades:		
Por descompresión	22	0.06%

* Estos trabajadores fueron previamente seleccionados de las plantillas de otros 5 escudos.

Fig. 24 TIEMPO TOTAL DE DESCOMPRESION
WASHINGTON, D. C. 1971

PRESION DE TRABAJO psig	PERIODO DE TRABAJO (HORAS)										
	½	1	1½	2	3	4	5	6	7	8	MAS DE 8
0-12	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
14	6	6	6	6	6	6	6	6	16	16	33
16	7	7	7	7	7	7	17	33	48	48	62
18	7	7	7	8	11	17	48	63	63	73	87
20	7	7	8	15	15	43	63	73	83	103	113
22	9	9	16	24	38	68	93	103	113	128	133
24	11	12	23	27	52	92	117	122	127	157	151
26	13	14	29	34	69	101	125	131	142	[illegible]	[illegible]
28	15	23	31	41	98	127	143	153	153	165	183
30	17	28	38	82	105	143	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
32	[illegible]	35	43	85	126	163	178	173	203	213	[illegible]
34	21	39	58	98	151	178	195	218	[illegible]	233	[illegible]
36	24	44	63	113	170	198	233	233	243	[illegible]	[illegible]
38	28	49	73	129	178	203	233	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
40	31	49	84	143	183	213	233	[illegible]	258	[illegible]	258
42	37	56	102	144	189	215	215	260	263	[illegible]	[illegible]
44	43	64	118	154	199	234	254	264	269	269	293
46	44	74	139	171	214	244	[illegible]	274	289	[illegible]	[illegible]
48	51	[illegible]	144	189	229	[illegible]	[illegible]	[illegible]	319	319	---
50	58	91	164	209	229	279	309	339	---	---	---

Fig. 25 CALCULO DEL FACTOR DE CORRECC ON POR DIFERENCIA DE ALTITUD (SEGUN CROSS)

$$Pc = \frac{P\ n.\ m.}{P\ b}\ Pt$$

DONDE :

Pb = PRESION BAROMETRICA A CIERTA ALTITUD

P n. m. = PRESION BAROMETRICA A NIVEL DEL MAR

Pt = PRESION DE TRABAJO

Pc = PRESION CORREGIDA POR ALTITUD

POR LO TANTO PARA LA ELEVACION DE LA CIUDAD DE MEXICO (2,246 m. s. n. m.)

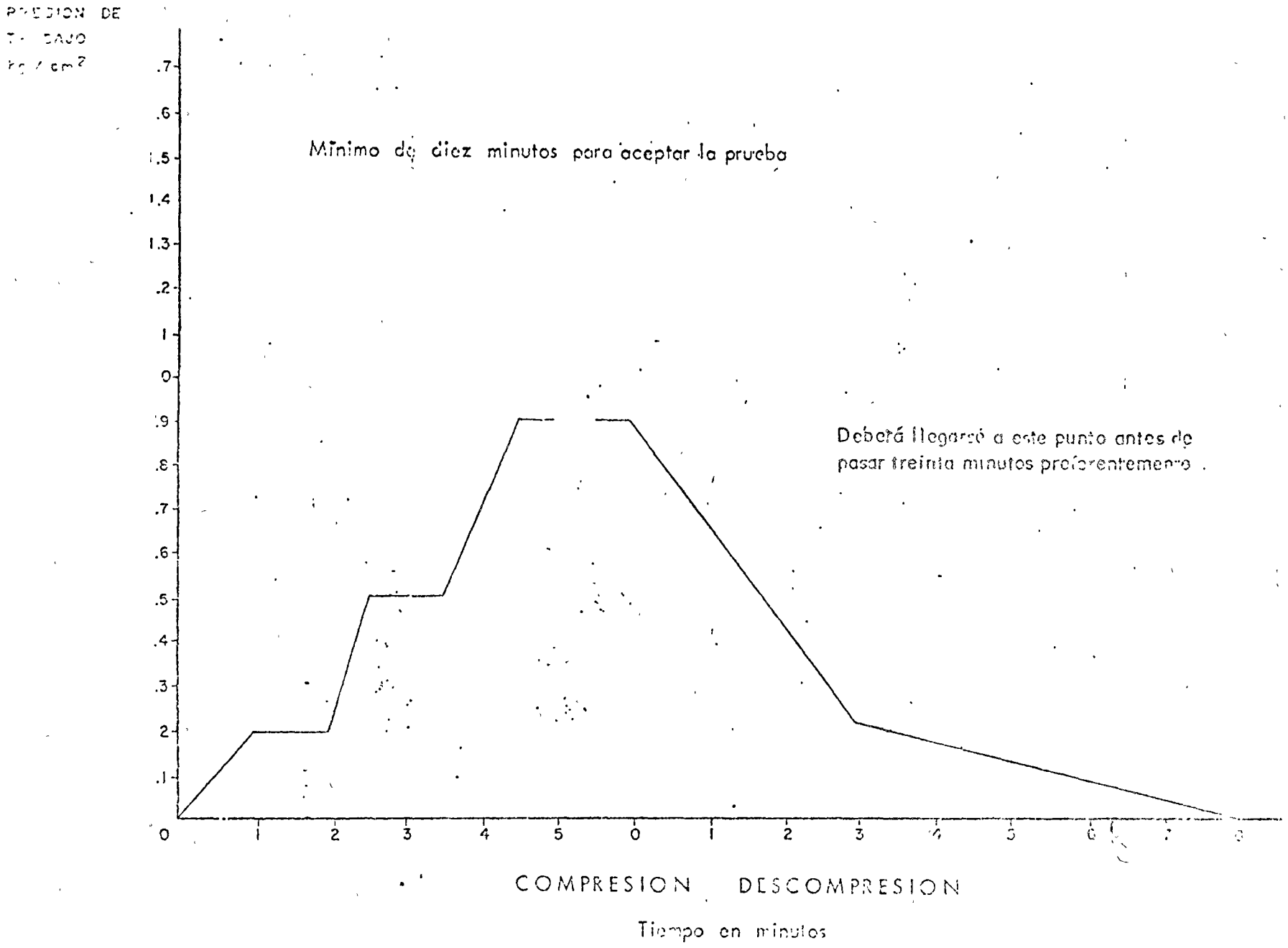
$$Pc = \frac{760\ mm\ de\ HG}{580\ mm\ de\ HG}\ Pt = 1.31\ Pt$$

Fig. 26 TIEMPO TOTAL DE DESCOMPRESION

MEXICO, D. F. 1973

PRESION DE TRABAJO Kg/cm2	PERIODO DE TRABAJO (HORAS)										
	½	1	1½	2	3	4	5	6	7	8	MAS DE 8
0.6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
0.7	6	6	6	6	6	6	6	6	12	12	24
0.8	7	7	7	7	7	7	13	21	35	35	51
0.9	8	8	8	8	9	12	33	48	56	61	73
1.0	8	8	10	12	13	28	56	68	77	88	112
1.1	8	8	12	19	24	53	76	86	96	116	125
1.2	11	11	19	25	43	76	102	111	120	133	140
1.3	12	14	25	29	58	96	121	128	134	140	156
1.4	14	17	30	36	76	111	132	145	147	150	171
1.5	16	24	33	45	101	132	149	159	160	172	188
1.6	18	29	39	65	109	147	169	172	184	192	208
1.7	20	36	44	86	128	167	182	197	207	218	251
1.8	22	40	59	99	152	181	197	220	226	236	254
1.9	24	41	64	113	172	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
2.0	28	49	73	128	180	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

Fig. 27 PRUEBA DE COMPRESION



XIII. EQUIPO USADO.

Para la excavación y construcción del túnel en aire comprimido, se requieren los siguientes elementos:

a) Equipo para aire comprimido a baja presión y las tuberías para llevarlo a la cámara de trabajo.

b) Equipo para aire comprimido en alta presión necesario para rompedoras, equipo de inyección, bombas, etc.

c) Planta de potencia del sistema hidráulico

d) Suministro de agua para limpieza y otros servicios

e) Equipo de alumbrado en el túnel

f) Sistema de comunicaciones de los servicios desde superficie al túnel.

g) Planta de bombeo

h) Transportación del equipo

i) Equipo de excavación

j) Plataforma de trabajo inmediatamente después del escudo

k) Equipo utilizado para apretar la tornillería de los segmentos

l) Equipo para inyección de gravilla

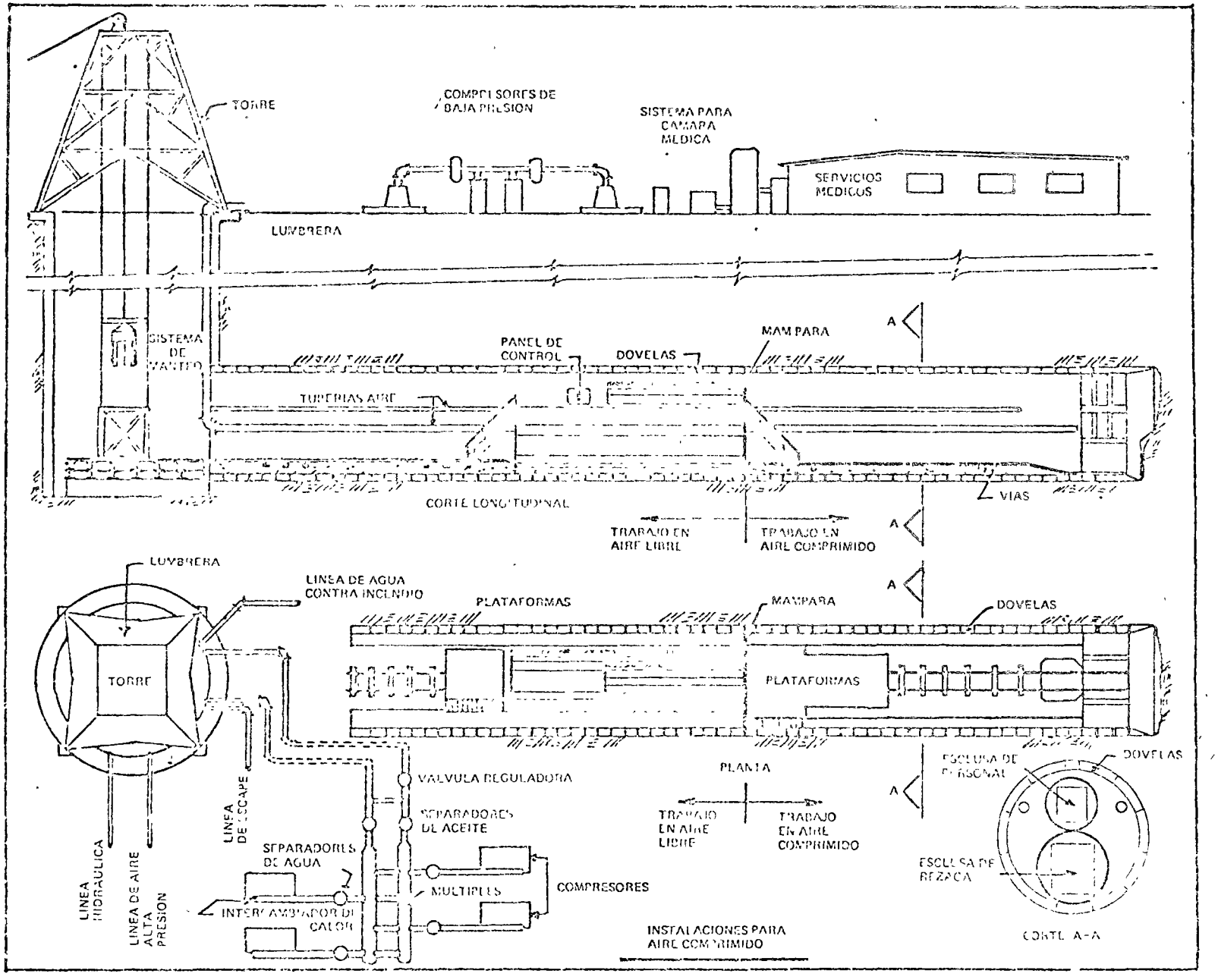
m) Equipo para inyección de lechada de cemento

n) Mampara y esclusas.

o) Los dispositivos de seguridad para usarse en aire comprimido.

Se muestra un esquema de las instalaciones generales en superficie, en la lumbrera 9, y en el interior del túnel (Fig. 23). Una mampara estanca a través de la cual se pasa, por intermedio de esclusas,

FIG. 28. INSTALACION TIPO DE AIRE COMPRIMIDO A BAJA PRESION



y que separa la cámara de trabajo bajo aire comprimido del resto del túnel. Esta mampara de acero permite, además de soportar la presión de aire comprimido, introducir a través de ella, personal, materiales y líneas eléctricas, hidráulicas, de aire a alta presión, de comunicación, etc.

Una esclusa de personal en donde se realiza la compresión de los trabajadores para poder entrar a la cámara de trabajo y la descompresión para salir de la misma. (Fig. 29)

Una esclusa de rezaga que sirve para el paso de materiales y equipo a la cámara de trabajo.

Se ha procurado que la cámara de trabajo sea lo más larga posible, con objeto de que las oscilaciones de presión sean insignificantes. El volumen de aire a presión necesario en esta zona, puede determinarse a través de fórmulas empíricas que toman en consideración las condiciones del suelo y el tamaño del túnel.

Para este trabajo se requerirá de un volumen aproximado de 5000 pies cúbicos que será suministrado por cuatro compresores de 2200 pies cúbicos de capacidad cada uno, trabajando a una presión de 30 libras por pulgada cuadrada.

En el suministro del aire existen dos aspectos que deben cuidarse: la temperatura del aire dentro de la cámara de trabajo y zona de esclusas y la concentración de contaminantes en el aire; para lo cual se dispone de enfriadores y separadores de aceite a la salida de los compresores que controlan estos dos aspectos. (Fig. 30).

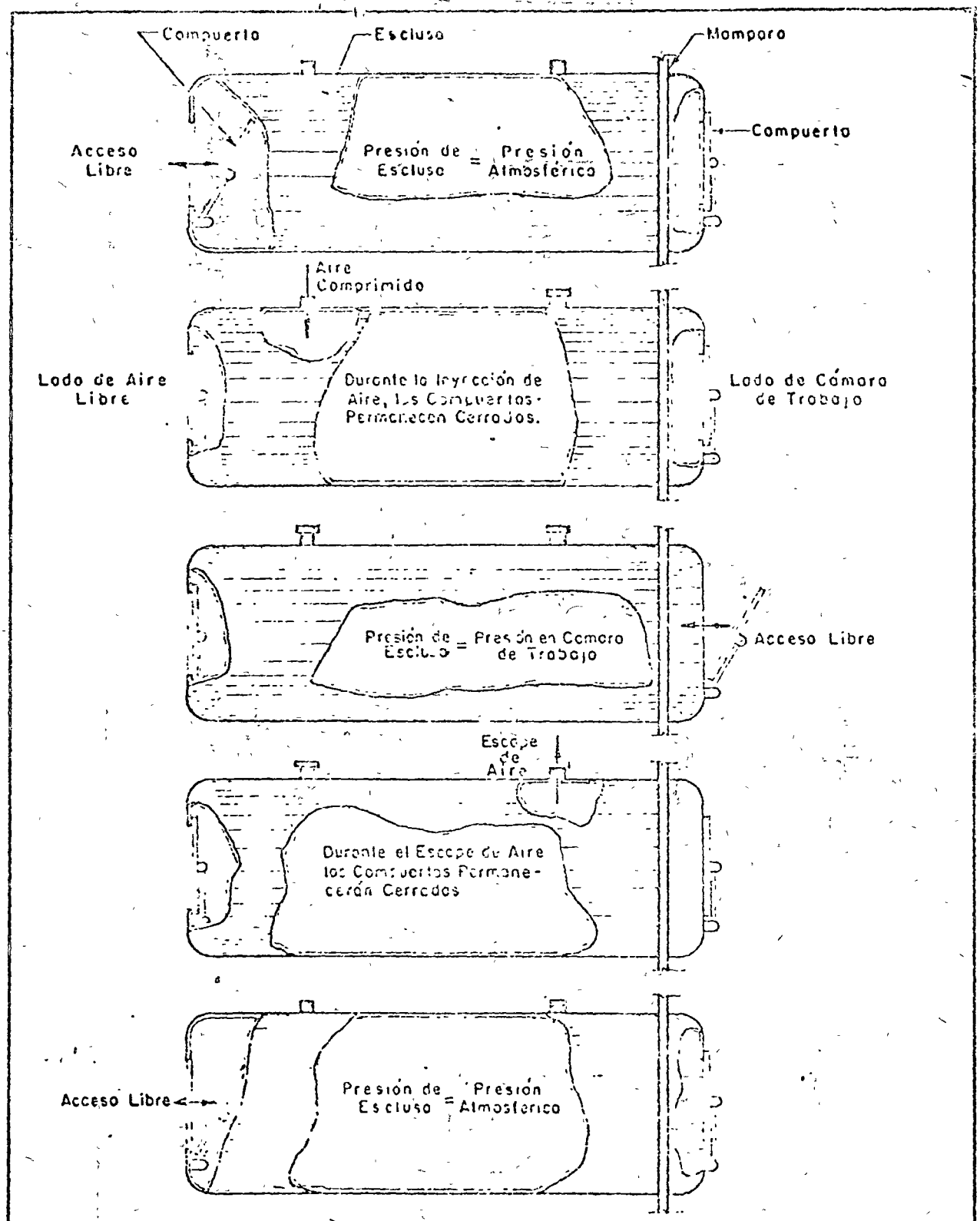
XIV. COMENTARIOS A LOS TRABAJOS CON AIRE COMPRIMIDO EN EL INTERCEPTOR - CENTRAL.

Los trabajos desarrollados con aire comprimido tuvieron muy - buenos resultados, adaptándose el personal rápidamente al ambiente extraño del aire comprimido.

Las complicaciones en el ciclo por el uso de las mamparas, se nulificó por el aceleramiento de otras actividades del ciclo como- fueron principalmente las actividades de excavación y ademe que -- fueran más rápidas que las obtenidas en los otros escudos sin aire comprimido. Los asentamientos observados fueron menores que los-- producidos en los tramos sin aire comprimido. El rendimiento promedio obtenido fue de 150 m/mes, ligeramente mayor al obtenido por los escudos a presión atmosférica (135-150 m/mes), lo que fue muy- satisfactorio ya que los materiales atravesados por el túnel a presión tuvieron condiciones estratigráficas y de resistencia más desfavorables que los otros tramos excavados.

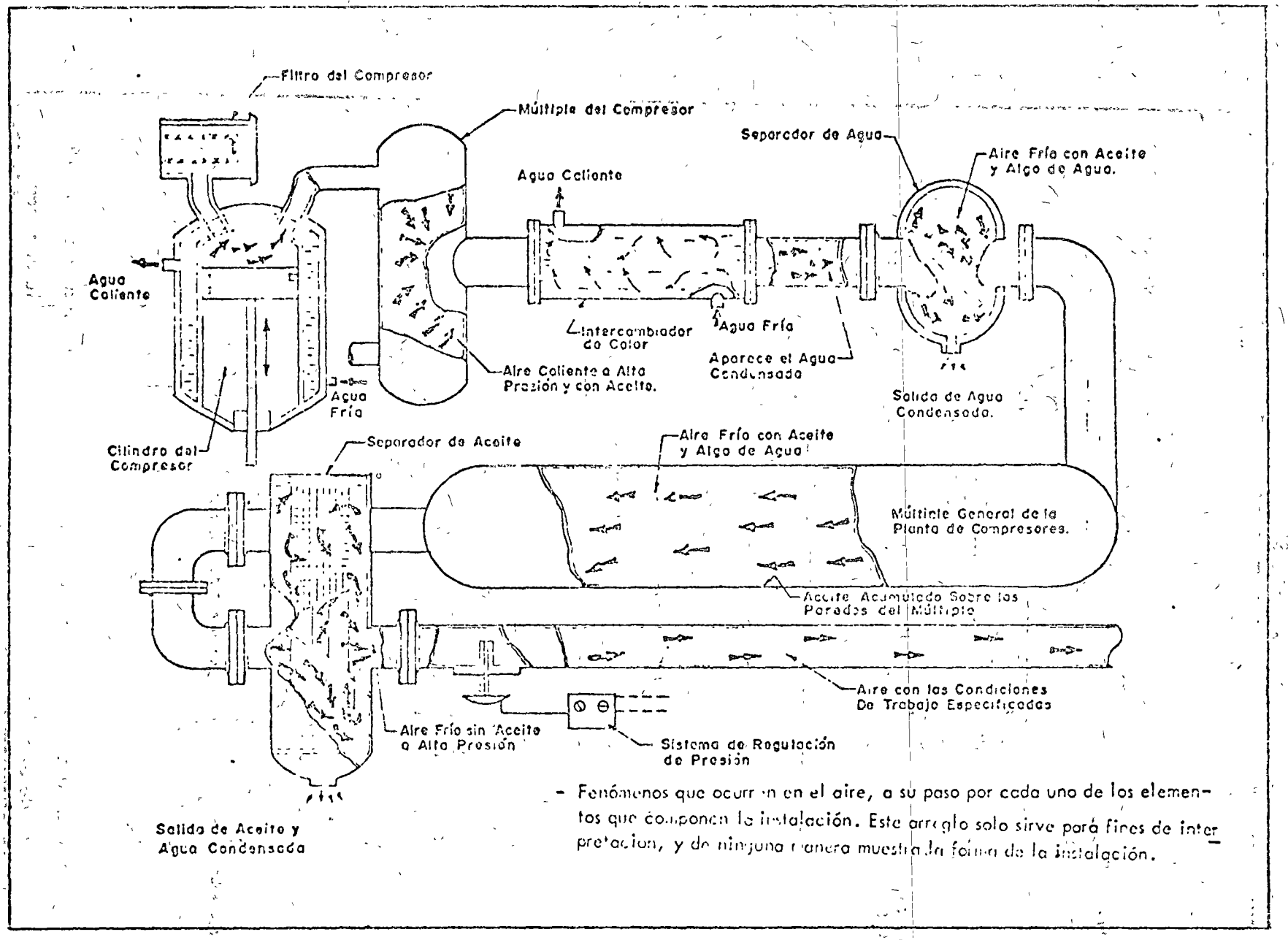
Finalmente, la experiencia que se obtuvo tendrá una aplica--- ción a corto plazo, en la segunda etapa del Drenaje Profundo, donde el empleo del aire comprimido será una herramienta indispensa-- ble.

FIG. 29 ESCLUSAS



- Forma en que se logra la comunicación entre la cámara de trabajo y la zona de aire libre, ya sea con la esclusa de personal o la de rezaga.

FIG. 30 EQUIPO DE PURIFICACION DEL AIRE COMPRIMIDO.



- Fenómenos que ocurren en el aire, a su paso por cada uno de los elementos que componen la instalación. Este arreglo solo sirve para fines de interpretación, y de ninguna manera muestra la forma de la instalación.

REFERENCIAS

Ayestarán L., Farjeat E. y Schmitter J. Aire comprimido en Túneles. IX Congreso Nacional de Ingeniería Civil (1974)

Brandt, C.T. et al, (1970) A Systems Study of Soft Ground Tunneling, Report for Office of High Speed Ground Transportation, Report No. DOT-FRA-OHSGT-231: (Order No. PB 194769 from CLEARINGHOUSE, Springfield, Va. 22151).

Broms & Bennemark (1967) Stability of chay at vertical openings. Journal of the soil mechanics and foundation division. Proceedings of A.S.C.E. January 1967.

Clements, Paul (1970), Marc Isambard Brunnel, Longmans, London.

Copperthwaithe, W.C., (1906) Tunnel Shields and the Use of Compressed Air in Subaqueous Works, D. Van Nostrand Company, New York (reprinted by A.A. Mathews, Inc. Arcadia, California)

Deere, D.U., R.B. Peck, J. E. Monsees and B. Schmidt (1969). Design of Tunnel Liners and Support Systems, Report for U.S. Department of Transportation, OHSGT, Contract 3-0152: (Order No. PB183799 from CLEARINGHOUSE, Springfield, Va. 22151)

Hewett, B. H. M., and S. Johannesson, (1922) Shield and Compressed Air Tunneling, New York, MacGraw-Hill Book Company. (Reprinted by A.A. Mathews, Inc.)

Hvorslev, M.J., (1949) Subsurface Exploration and Sampling of Soils for Civil Engineering Purposes. Waterways Sta., Vicksburg, Miss. (Reprinted by Engineering Foundation, 1965)

Jaeger, J.C. (1969). Elasticity, Fracture and Flow Methuen and Co. London, 3rd. Ed.

Krynine, D.P. and W.R. Judd, (1957). Principles of Engineering Geology and Geotechnics, McGraw-Hill Book Company, New York

Mayo, R.S. et al , (1968) Tunneling the State of the Art. Report for U.S. Dept. of Housing and Urban Development: (order No. PB 178036, from CLEARINGHOUSE, Springfield, Va. 22151)

Peck, R.B., (1969) "Deep Excavation and Tunneling in Soft Ground" State of the Art Volume, Seventh Int. Conf. on Soil Mech. and Fndu. Engr. pp. 225-290

Peck, R.B., D.U. Deere, J. E. Monsees, H. W. Parker, B. Schmidt (1969) Some Design Consideration in the Selection of Underground Support Systems, Report for U.S. Department of Transportation, OHSGT, Contract DOT-3-0152 (Order No. PB 190 443 for Clearinghouse, Springfield, Va. 22151)

RETC, (1972) Proceedings, Rapid Excavation and Tunneling Conference, AIME, 2 volumes, numerous papers.

Richardson, H.W. and R.S. Mayo, (1941) Practical Tunnel Driving, Mc-Graw-Hill Book Company, New York

Sandstrom, G., (1963) The History of Tunneling, Barrie and Rockliff, London.

Schmidt, B., (1969) Settlements and Ground Movements Associated with Tunneling in Soils, Ph, D. Thesis, Univ. of Illinois, Urbana.

Szechy, K., (1966) The Art of Tunneling. Translated from the Hungarian by D. Szechy, I. Lieskovszky, S. Szilvassy, and M. Eszto, Akamediai Kaido, Budapest.

Terzaghi, K., (1950) "Geologic Aspects of Soft-Ground Tunneling". Chapter 11 in Applied Sedimentation, P.D. Trask, ed., New York, John Wiley and Sons, pp. 193-209.

Terzaghi, K., and R. B. Peck, (1967) Soils Mechanics in Engineering Practice. New York, John Wiley and Sons, 2nd. edition.

Tinajero, J. Vieitez L. (1971) Asentamiento en la vecindad de túneles con escudo. IV Congreso Panamericano de Mecanica de Suelos. San Juan, Puerto Rico.

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

CURSO: CONSTRUCCION DE TUNELES

TEMA: S E G U R I D A D

I.- Desarrollo histórico de la Seguridad Industrial
II.- Leyes Laborales Mexicanas
III.- Costo de los Riesgos Profesionales
IV.- Control de la Imprevisión y Valuación
V.- Programa de Prevención de Accidentes.
VI.- Reglamento de Seguridad

-- Comisiones Mixtas de Seguridad e higiene
-- Equipos de Protección Personal
-- Explosivos.

ING. RAUL LOPEZ CALVILLO

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F. Tels: 521-40-28 521-7[illegible]

CONSTRUCCION DE TUNELES

S E G U R I D A D

ING. RAUL LOPEZ CALVILLO

AGOSTO DE 1977

I.- DESARROLLO HISTORICO DE LA SEGURIDAD INDUSTRIAL.

La historia del hombre primitivo en el mundo, la conocemos en gran parte por los vestigio que los siglos han dejado de su trabajo. Es así por lo que se supone que su primer trabajo organizado, fue la fabricación de puntas de flechas de pedernal, que requerían para suministrarse el alimento y vestido a través de la caza.

Con ésta primitiva actividad, aparecen los primeros accidentes de trabajo, que por el sentido natural del género humano a la conservación física y temor al dolor, debieron necesariamente hacerlo practicar en cierto grado la prevención de accidentes.

Esta práctica preventiva, manifestó características individualistas y defensivas, con pocos cambios a través de los siglos, hasta el triunfo de la mecanización de la industria a principios del Siglo XIX, en que las pérdidas de vidas humanas y mutilaciones derivadas del trabajo, llamaron la atención de gentes que por sentido humanitario, levantaron el clamor popular contra las detestables condiciones sociales de los obreros y la explotación de que eran objeto, dando orígen al establecimiento de las primeras leyes que regulaban el trabajo.

Es así por lo que la Seguridad Industrial pasó por tres importantes etapas de desarrollo:

La primera ya mencionada, con características individualistas y defensivas nacida de las experiencias elementales que adquirió el hombre primitivo al desempeñar su trabajo y que continuó hasta antes del advenimiento de la explotación industrial mecanizada.

La segunda etapa, se inicia como procedimiento organizado de prevención de accidentes, hasta que la administración industrial es presionada por la legislación del trabajo.

Esta etapa se originó en Inglaterra, cuna de la industrialización, a partir de 1833, en que el gobierno realizó algunas inspecciones y en 1850 comenzaron a llevarse a cabo mejoras nacidas de las recomendaciones hechas por la indignación del pueblo que sufrió las consecuencias de los accidentes de trabajo. A partir de entonces siguieron sus pasos otros países industrializados como Estados Unidos, Alemania y Francia, estableciendo

[illegible] legislación de trabajo que en materia de seguridad [illegible] estaría en ataque. Las causas definidas, físicas y mecánicas de los accidentes, tales como los peligros que constituyen partes específicas de maquinaria y condiciones inseguras de construcción y funcionamiento.

Desde este punto de vista se logró muy poco beneficio por la dificultad de hacer cumplir las leyes. Con esa experiencia se establecieron leyes que gravan a los patrones aumentándoles los costos de los accidentes, obligándolos a corregir las condiciones que los originan. En 1880 en Inglaterra se promulgó el Acta de Responsabilidad de los Patrones, que permitía a los representantes del trabajador fallecido cobrar los daños por muerte causada por negligencia.

Se estableció con lo anterior, que el patrón era legalmente responsable de la protección de sus trabajadores contra los accidentes.

Dentro del campo del derecho civil, los tribunales y la doctrina de Bélgica y de Francia, abrieron las puertas a la teoría del riesgo profesional, base de la ley francesa de 1898, que impuso a las empresas la obligación de indemnizar a los trabajadores por los accidentes ocurridos por el hecho, ó en ocasión del trabajo, y en 1919 otra ley francesa extendió la responsabilidad empresarial a las enfermedades profesionales.

Este criterio constituye un factor importante que encauzó al patrón hacia la localización de las causas de accidentes para [illegible] su prevención.

Es conveniente hacer resaltar que en esta segunda etapa histórica de la prevención de accidentes, todavía NO se consideraba a la Seguridad como parte inherente a la rutina de la industria, se consideraba como humanitarismo con algo de significación comercial en particular, por lo que al pago de indemnización por accidente de trabajo se refiere.

La tercera etapa y más importante por la que atraviesa la Seguridad, se inició gracias a una investigación realizada en [illegible] por la Travelers Insurance Company, en que se determinó la cantidad real de dinero pagado por el patrón, ya sea directamente ó a través de su asegurador por concepto de [illegible] y gastos médicos resultantes de los accidentes, representando para el patrón una quinta parte tan sólo del costo total de los accidentes.

Se encontró que las cuatro quintas partes restantes del costo de los accidentes, resultan del efecto sobre la organización [illegible], calidad, cantidad de producción, etc.

La importancia de este estudio fue confirmada en 1947 en una forma del Consejo Americano de Ingeniería (Estados Unidos), acerca de la relación de los accidentes con la producción.

En 1929 la Travelers Insurance Company (Estados Unidos), demostró que en un grupo unitario de 330 accidentes similares, solamente uno de ellos causó una lesión grave, mientras que 29 originaron lesiones leves y 300 no causaron lesión. Teniendo en consideración que del grupo de 330 accidentes, las causas que los provocaron fueron las mismas o similares, localizándolas en uno de esos accidentes, corrigiéndolas evitaríamos la posibilidad de la ocurrencia de los restantes del grupo.

Este progreso logrado por la Seguridad Industrial, ha hecho posible que sea una actividad inherente a la administración de negocios, no sólo porque es una tarea humanitaria que bien vale la pena por sí misma, sino también porque brinda beneficios económicos de considerable importancia. En toda empresa bien administrada, existe la aplicación de las técnicas de la Seguridad para controlar el problema de los accidentes.

Se ha demostrado que las causas que provocan accidentes, motivan una producción defectuosa, decrecimiento de la producción, ineficiencia y falta de economía general.

Mientras los patrones estén en posibilidad de controlar la cantidad y calidad de la producción, también lo estarán para restringir los accidentes.

Los trabajos de ingeniería requieren en ocasiones correr riesgos, pero éstos deben estar medidos y con amplio margen de seguro cuando intervienen vidas humanas, porque en caso contrario sería irresponsable la actitud.

II.- LEYES LABORALES MEXICANAS.

NOTA: La finalidad de este capítulo, es hacer una breve síntesis únicamente de los aspectos legales que tienen relación con la prevención de accidentes o la seguridad industrial.

Las Leyes Laborales Mexicanas emanan del Art. 123 de la Constitución de 1917, que fue la primera en el mundo en consignar derechos sociales o garantías sociales en favor de los trabajadores.

Apartado 123.

Fracción XIV: Indica la responsabilidad patronal en cuanto a accidentes de trabajo y enfermedades profesionales, así como el pago de las indemnizaciones correspondientes.

Fracción XV: Se consigna la responsabilidad patronal para la protección de sus trabajadores de los riesgos inherentes al trabajo.

Fracción XXIX: Considera de utilidad pública la expedición de la Ley del Seguro Social, la que comprenderá seguro de riesgos de trabajo.

(Art. 1o. LFT)* La ley Federal del Trabajo, rige las relaciones de trabajo comprendidas en el Art. 123 de la Constitución.

Artículo 50, LSS *

El patrón que haya asegurado a los trabajadores a su servicio contra riesgos de trabajo, quedará relevado en los términos que señala esta Ley, del cumplimiento de las obligaciones que sobre responsabilidad por esta clase de riesgos establece la Ley Federal del Trabajo.

El Art. 473 LFT* y Art. 48 LSS*, considera como riesgos de trabajo a los accidentes y enfermedades a que están expuestos los trabajadores en ejercicio o con motivo del trabajo, entendiéndose por accidente (Art. 474 LFT y Art. 49 LSS), toda lesión orgánica o perturbación funcional, inmediata o posterior, o por la muerte producida repentinamente en ejercicio, o con motivo del trabajo, cualesquiera que sean el lugar y el tiempo en que se preste; y por enfermedad de trabajo: todo estado patológico -- (Art. 475 LFT y Art. 50 LSS), derivado de la acción continuada de una causa que tenga su origen o motivo en el trabajo ó en el medio en que el trabajador se vea obligado a prestar sus servicios.

Art. 62, LSS, los riesgos del trabajo pueden producir:

1.- Incapacidad temporal;

* LFT: Ley Federal del Trabajo
* LSS: Ley del Seguro Social.

El Art. 490 LFT ; Art. 56 LSS, señala que en los casos de falta inexcusable del patrón, la indemnización podrá aumentarse hasta en un 25%, a juicio de la Junta de Conciliación y Arbitraje. El patrón tendrá la obligación de pagar al -- Instituto el capital constitutivo, sobre el incremento correspondiente.

Hay falta inexcusable de los patrones:

I.- Si no cumple las disposiciones legales y reglamentarias para la prevención de los riesgos de trabajo.

II.- Si habiéndose realizado accidentes anteriores, no adopta las medidas adecuadas para evitar su repetición.

III.- Si no adopta las medidas preventivas recomendadas por las comisiones creadas por los trabajadores y los patrones, o por las autoridades del trabajo.

IV.- Si los trabajadores hacen notar al patrón el peligro que corren y éste no adopta las medidas adecuadas para evitarlo.

V.- Si concurren circunstancias análogas, de la misma gravedad a las mencionadas en las fracciones anteriores.

COMENTARIO: Con el establecimiento del Instituto Mexicano del Seguro Social (Art. 123, Frac. XXIX), que cubre los riesgos -- del trabajo, el patrón queda relevado de la obligación que contrae en virtud de la Fracc. XIV del Art. 123, no así de su obligación en cuanto a lograr la protección de sus trabajadores de los riesgos inherentes del trabajo (Frac. XV, Art. 123).

En la Ley Federal del Trabajo, se establecen las responsabilidades y obligaciones de patrones y trabajadores, para que en esa forma quede más clara la participación patronal para la prevención de accidentes.

Artículo 47, LFT

XII: Establece que es causa de rescisión de la relación de trabajo sin responsabilidad para el patrón, el negarse el trabajador a adoptar las medidas preventivas ó a seguir los procedimientos indicados para evitar accidentes o enfermedades.

2.- Incapacidad permanente parcial;
3.- Incapacidad permanente total; y
4.- Muerte.

Art. 7 LSS, el Seguro Social cubre las contingencias y proporciona los servicios que se especifican, mediante prestaciones en especie y en dinero.

El Art. 487 LFT y Art. 63 LSS, señala que los trabajadores que sufran un riesgo de trabajo, tendrán derecho a:

I.- Asistencia médica y quirúrgica;
II.- Rehabilitación;
III.- Hospitalización, cuando el caso lo requiera;
IV.- Medicamentos y material de curación;
V.- Los aparatos de prótesis y ortopedia necesarios;
VI.- La indemnización fijada en el presente título.

Art. 65, LSS, el asegurado que sufra un riesgo de trabajo tiene derecho a las siguientes prestaciones en dinero:

1.- Si lo incapacita para trabajar, recibirá mientras dure la inhabilitación, el 100% de su salario.

2.- Al ser declarada la incapacidad permanente total del asegurado, éste recibirá una pensión mensual.

3.- Si la incapacidad declarada es permanente parcial, el asegurado recibirá una pensión calculada conforme a la tabla de valuación de incapacidad contenida en la Ley Federal del Trabajo.

El Art. 489, no libera al patrón de responsabilidad cuando:

I.- El trabajador explícita o implicitamente hubiese asumido los riesgos del trabajo.

II.- El accidente ocurra por torpeza o negligencia del trabajador.

III.- El accidente sea causado por negligencia ó imprudencia de algún compañero de trabajo o de alguna tercera persona.

Artículo 51, LFT

Es causa de rescisión de la relación del trabajo sin responsabilidad para el trabajador.

VII: La existencia de un peligro grave para la seguridad o salud del trabajador o su familia, ya sea por carecer de situaciones higiénicas el establecimiento o porque no se cumplan las medidas preventivas o de seguridad que las leyes establecen; y

VIII: Comprometer el patrón, con su descuido o imprudencia inexcusables, la seguridad del establecimiento o de las personas que se encuentren en el.

Artículo 132, LFT

Señala las obligaciones de los patrones, entre ellas son las siguientes:

XV: Organizar permanentemente o periódicamente cursos o enseñanzas de capacitación profesional o adiestramiento para sus trabajadores.

XVI: Instalar, de acuerdo con los principios de seguridad e higiene, las fábricas, talleres, oficinas y demás lugares eq que deben ejecutarse los trabajos...., adoptarán los procedimientos adecuados para evitar perjuicios al trabajador, procurando que no se desarrollen enfermedades epidémicas o infecciosas y organizando el trabajo que resulte para la salud y vida del trabajador la mayor garantía compatible.

XVII: Observar las medidas adecuadas y las que fijen las leyes para prevenir accidentes en el uso de maquinaria, instrumentos o material de trabajo, y disponer en todo tiempo de los medicamentos y material de curación indispensables, a juicio de las autoridades que correspondan....

XVIII: Fijar y difundir las disposiciones conducentes de los reglamentos de higiene y seguridad en lugar visible de los establecimientos y lugares en donde se preste el trabajo.

XXIV: Permitir la inspección y vigilancia que las autoridades del trabajo practiquen en su establecimiento para cerciorarse del cumplimiento de las normas....

Artículo 134, LFT

Son obligaciones de los trabajadores:

I.- Cumplir las disposiciones de las normas de trabajo que le sean aplicables.

II.- Observar las medidas preventivas e higiénicas que acuerden las autoridades competentes y las que indiquen los patrones para la seguridad y protección de los trabajadores.

XII.- Comunicar al patrón ó a su representante las deficiencias que adviertan, a fin de evitar daños o perjuicios a vidas de sus compañeros de trabajo ó de los patrones.

Artículo 135, LFT

Queda prohibido a los trabajadores ejecutar cualquier acto que pueda poner en peligro su propia seguridad, la de sus compañeros de trabajo o la de terceras personas, así como la de los establecimientos o lugares en que el trabajo se desempeñe.

Artículo 422, LFT

Se establece la elaboración del reglamento interior de trabajo entendiéndose por el mismo, el conjunto de disposiciones obligatorias para trabajadores y patrones en el desarrollo de los trabajos de la empresa y contendrá entre otras disposiciones:

VI: Normas para prevenir los riesgos de trabajo e instrucciones para prestar los primeros auxilios.

XI: Las demás normas necesarias para conseguir la mayor seguridad y regularidad en el desarrollo del trabajo.

Artículo 509, LFT

En cada empresa ó establecimiento se organizarán las Comisiones de Seguridad e Higiene que se juzguen necesarias, compuestas por igual número de representantes de los trabajadores y del patrón, para investigar las causas de los accidentes, proponer medidas para prevenirlos y vigilar que se cumplan.

III.- COSTO DE LOS RIESGOS PROFESIONALES

La industria de la construcción tiene la obligación de afiliarse al Instituto Mexicano del Seguro Social, y cubrir una prima de seguro por el concepto de riesgo profesional, la que de acuerdo al Reglamento de Clasificación de Empresas, le corresponde el grupo V, grado medio, que viene siendo el 125% del monto de la prima que por vejez, cesantía o muerte, cobra ese mismo instituto a sus afiliados.

La clasificación anterior ha considerado que los riesgos de trabajo en este tipo de industria, son los máximos.

El pago de la prima de riesgo profesional, es cubierto totalmente por el patrón.

Remitiéndonos a la información que nos proporciona el IMSS a través de su Departamento de Riesgos Profesionales, tenemos:

Costo de los riesgos profesionales ocurridos en 1972.

Conceptos:

a) Prestaciones en especie
b) Prestaciones en dinero
c) Gastos de administración
d) Incobrabilidades, depreciaciones e intereses actuariales.

T O T A L:	$	1,178'611,965.00
Total de casos:		319,058.00
Costo promedio por caso:	$	3,694.00

El costo así determinado lo llamamos directo y se considera como aquel que es necesario cubrir, para que el lesionado se encuentre en condiciones de laborar completamente restablecido, ó el pago del daño ocasionado por su incapacidad parcial permanente o su muerte, de acuerdo a lo ordenado en la Ley Federal del Trabajo en su Artículo 514.

Como ya lo hemos señalado en el inciso I de este trabajo*, existe un costo llamado indirecto para la empresa o patrón, que corresponde a cuatro veces el costo que tuvo que cubrir el Seguro Social por riesgo de trabajo.

Si consideramos la información proporcionada por el Seguro Social, específicamente la correspondiente a los trabajadores eventuales y temporales urbanos para la industria de la construcción para el año de 1968 tenemos:

Costo de los riesgos profesionales ocurridos en el año de 1968, en la industria de la construcción.

a)	(Costo Directo) Costo para el Seguro Social	$ 61'386,133.28
b)	Costo para la industria de la construcción. Costo Indirecto (4 por Costo Directo).	245'544,533.12
	Costo total al país	$306'930,666.40

El costo indirecto para la industria de la construcción debe analizarse ante un lapso prolongado o mediano y valuando los factores incidentales que intervienen en la ocurrencia de los accidentes, tales como:

a) Tiempo perdido del trabajador lesionado.

b) Tiempo perdido por los compañeros de trabajo, que por curiosidad o auxilio al lesionado, suspenden sus labores.

c) Tiempos perdidos por jefes y superiores que ayudan al lesionado, investigan las causas del accidente, seleccionan nuevo personal, adiestran al sustituto, reportan el accidente, etc.

d) Tiempo empleado del personal de primeros auxilios.

e) Daños a la maquinaria, equipo, herramienta y materiales o bienes de la empresa.

f) Tiempo improductivo del equipo mientras se repara.

g) Interferencias en el proceso de la obra.

h) Baja productividad del lesionado que vuelve al trabajo.

bajo.

i) Trámites administrativos para aclaraciones de pago de salarios.

(Recordar el estudio estadístico, que demostró que en un grupo unitario de 330 accidentes similares, solamente uno de ellos causó una lesión grave; mientras que 29 originaron lesiones leves y 300 no causaron lesión, pero todos afectaron la economía de la empresa).

Lo anterior nos señala la importancia económica que tienen la prevención de accidentes en la industria de la construcción la que se aúna al cuidado que se considera para la vida e integridad física del personal.

IV.- CONTROL DE LA IMPREVISION Y VALUACION.

La Seguridad Industrial es la actividad que tiene como objetivo la reducción de los accidentes, los que por medio del análisis se ha confirmado que ocurren por causas determinables, que pueden ser previstas. Por lo que accidente es:

"Todo hecho no deseado que ocurre por causas no previstas".

Desde este punto de vista los accidentes son también una medida con la que se puede cuantificar la imprevisión, y a través de ellos controlar que la misma se mantenga dentro de rangos humanamente razonables y decrecientes.

En esta forma estaremos en posibilidad de determinar por los accidentes que provocan lesión con incapacidad, si la planeación y el control del trabajo es correcta y si aprovechamos para beneficio de la producción, las experiencias que nos han proporcionado las imprevisiones que nos señalaron los accidentes ocurridos.

La seguridad se controla principalmente a través de los índices llamados de frecuencia y de gravedad, los que nos señalan respectivamente: el número de accidentes que provocan lesión con incapacidad al personal, por cada millón de horas laboradas, y los dias perdidos por incapacidad de los accidentes que provocan lesión, por cada millar de horas laboradas.

$$I.F. = \frac{\text{Número de Accidentes}}{\text{horas-hombre laboradas}} \times 10^6$$

$$I.G. = \frac{\text{Días perdidos por incapacidad}}{\text{horas-hombre laboradas.}} \times 10^3$$

Los índices anteriores nos permiten hacer una comparación entre los trabajos similares y determinar cual tiene un mayor control de la seguridad.

Para la industria de la construcción, el Instituto Mexicano del Seguro Social a través de la Comisión Técnica de Riesgos Profesionales señala, para la clase V, o sea la de los riesgos mayores:

CLASE V.

Grado del riesgo	I.F.	I.G.	Prima del Seguro
Grado mínimo : 50	69.48	1,024	83%
Grado medio: 75	97.00	1,397	125%
Grado máximo: 100	124.50	1,747	166%

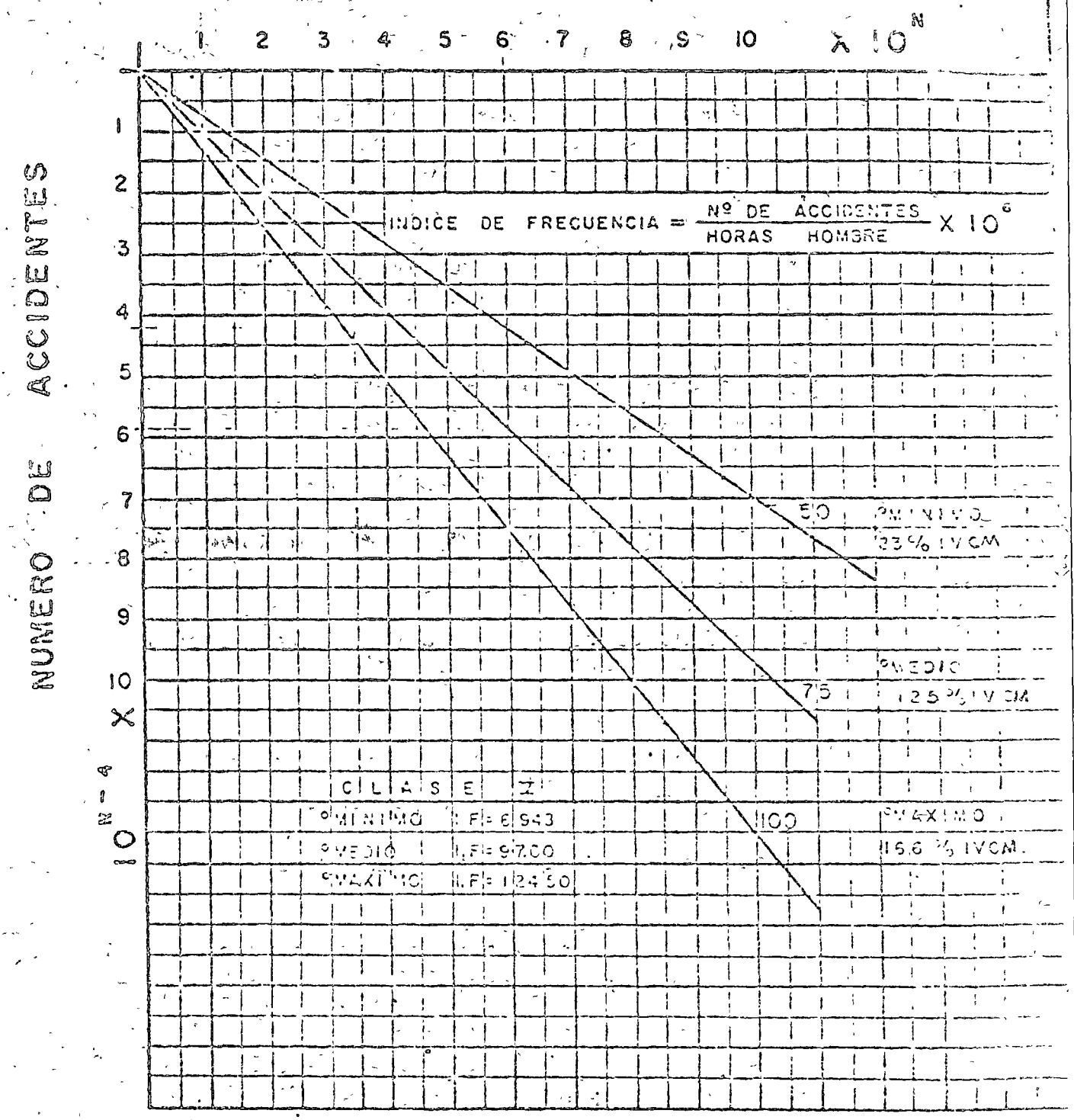
Las primeras cantidades corresponden al grado de riesgo, dentro de una clasificación de cien unidades.

La segunda y tercera cantidades. nos indican los índeces de frecuencia y gravedad que le corresponde respectivamente; la última columna, el monto de la prima de seguro que deberá cubrirse por concepto de riesgo profesional, expresada como un porcentaje de la prima de invalidez, vejez, cesantía y muerte (i.v.c.m.)

Con la clasificación anterior podemos normarnos un juicio previo a la realización de una obra de construcción, para conocer el monto aproximado de accidentes con lesión incapacitante que seguramente ocurrirán y emplear éstos como una medida que nos permita cuantificar nuestra imprevisión.
Supongamos una obra de construcción que requerirá 60 millones de horas-hombre para su realización.

Tomando en consideración los índices para la industria de la cons

INDICE DE FRECUENCIA PARA LA CLASE V
(COMISION TECNICA DE RIESGOS PROFESIONALES IMSS)



trucción proporcionados por la Comisión Técnica de Riesgos Profesionales del IMSS (señalados anteriormente) y construimos el nomograma #1, observamos que es posible que el número de accidentes con incapacidad sea entre 5,900 y 4,200 con lo que estaríamos dentro del grado medio de riesgo profesional de la CLASE V, por el que pagamos el 1.67% de la prima de invalidez, vejez, cesantía y muerte.

Si el número de accidentes que ocurrieran en la obra fuese menor de 4,200, indicaría un eficiente control de los elementos de la producción y sería posible de acuerdo a la ley del Seguro Social, que el importe de la prima por riesgo profesional en este caso se redujera hasta el 83% (Prima Irem) lo que acarrearía un incentivo económico, aparte del que se obtuviera por el control demostrado en el lapso de realización de la obra al haber laborado con normas estrictas de seguridad.

En otras palabras significa, que si en una obra de construcción se proporciona la instrucción y adiestramiento requeridos para las actividades que desarrolla el personal y se cuida que la maquinaria, equipo, herramienta e instalaciones, se encuentren y mantengan en condiciones aceptables de operación y funcionamiento, el resultado reflejará menor número de accidentes de trabajo, o sea menor número de interrupciones no deseadas, y por lo tanto el menor costo de producción.

A mayor control de los elementos de la producción, se obtendrán menores costos de fabricación.

Partiendo del axioma industrial anterior y conociendo que los accidentes son una medida de las deficiencias del control de la producción, vemos la relación directa que existe entre accidentes y costos de producción.

A menor número de accidentes, menor costo de producción.

Utilizando nuevamente los índices de frecuencia proporcionados por la Comisión Técnica de Riesgos Profesionales del IMSS para el grado de riesgo correspondiente a la clase V (nomograma # 1) podemos decir que nuestro costo medio de fabricación lo obtendremos cuando nuestro índice de frecuencia sea de 97.00 y que podríamos obtener un costo menor que sería proporcional a la reducción de nuestro índice de frecuencia y que puede expresarse:

Si I.F. = 97.00 obtenemos costo medio = c.med.

Si I.F. = 69.48 obtenemos costo mínimo = c.min.

$$c.min. = \frac{69.48}{97.00} c.med. = 0.718 \ c.\ med.$$

lo que equivale a una reducción humanamente posible del 28% en nuestros costos de fabricación.

Cabe aquí aclarar que esa reducción se obtendría logrando establecer la productividad óptima, entendiéndose por la misma a la relación entre la producción máxima obtenida y los recursos utilizados para alcanzarla.

Considerando que el costo de la empresa o costo indirecto por accidente es de 4 veces el costo directo.

Costo Indirecto = 4 x 3694 = $14766

y que en el caso de nuestro ejemplo, en que tendríamos

5900 accidentes sí nuestro I.F. = 97.00 y
4200 accidentes si nuestro I.F. = 69.48

la diferencia de accidentes sería de 1700 que equivale a un costo indirecto por éste concepto de:

1700 x 14776 = $ 25'000,000.00

valor que nos indica lo que costaría a la empresa el trabajar con una productividad media, y no la óptima alcanzada en México por empresas de la misma rama industrial.

Cada accidente que ocurra después de 4200 en las 60 millones de horas-hombre, costará a la empresa: $14,776.00

Al programar una obra se consideran rendimientos de acuerdo a un análisis previo y a la experiencia en trabajos anteriores; éstos rendimientos difieren de los reales, de acuerdo a la previsión de la infinidad de factores que los afectan.

enmarcándonos en la realidad de las limitaciones humanas, si consideramos como lo hemos estado haciendo, que los accidentes con lesión son una medida de la imprevisión de quienes realizan la obra y utilizamos a los accidentes para cuantificar los imprevistos, podemos valuar los rendimientos óptimos para los riesgos inherentes a la obra que se ejecuta.

Si en una construcción, se obtiene el índice de frecuencia correspondiente al grado de riesgo mínimo para la clase V en que están consideradas todas las empresas constructoras de acuerdo a los valores computados por el Seguro Social, se puede considerar que los rendimientos han sido los más altos, la productividad óptima y que se ha realizado bajo un estricto control de los elementos de la producción.

Es lógico suponer que dentro de la clasificación en la que el Instituto Mexicano del Seguro Social ha enmarcado a la industria de la construcción para efecto de los riesgos profesionales, existe una diversisdad muy amplia entre los peligros que representa para el personal, por ejemplo realizar una obra de canalización para red de drenaje en una población y la construcción de un túnel.

Para hacer más real el criterio expuesto anteriormente, en que nos basamos en el Indice de Frecuencia para valuar la imprevisión, es necesario que situemos al tipo de construcción por realizarse, en el grado de riesgo que comparativamente le corresponda con las otras actividades clasificadas en la clase V.

Se propone que para éste objeto utilicemos el Indice de Gravedad, o sea que se investigue en que grado de riesgo (dentro de la clasificación de 100 grados, en que a la clase V le corresponde del 50 al 100) se ubica una construcción de una casa de un nivel de más niveles, un camino, una red de alcantarillado, un túnel, etc. y de acuerdo a los mismos realicemos el análisis de la valuación de los imprevistos.

Se anexa el nomograma # 2 en que se señalan los índices de gravedad que corresponden a la clase V, proporcionados por la Comisión Técnica de Riesgos Profesionales del IMSS.

El procedimiento señalado pretende que a traves de experiencias que amplíen nuestro conocimiento en la materia, se afine de modo que pueda proporcionarnos una cuantificación real en nuestro medio, del monto de los imprevistos que se manifiestan por los accidentes.

Los valores humanos y de subsiscencia de la empresa generadora de bienes o servicios son primordiales y la Seguridad Indus --

(FAVOR DE LLENAR A MAQUINA O CON LETRA DE MOLDE)

REPORTE DE ACCIDENTE

QUE OCASIONO LESIONES Y/O DAÑOS MATERIALES PARA SER LLENADO POR EL SUPERVISOR.
(LLENESE UNO POR CADA ACCIDENTADO)

CON LESION: ☐ INCAPACITANTE ☐ NO INCAPACITANTE

SIN LESION ☐ CON DAÑO MATERIAL ☐

COSTO ESTIMADO DAÑOS $

DATOS DE LA EMPRESA

EMPRESA: | CONTRATO Nº.

REGISTRO PATRONAL IMSS: | SUBCONTRATISTA DE (EMPRESA): | AREA DE TRABAJO:

TRABAJO QUE ESTA DESARROLLANDO:

DATOS DE LA PERSONA ACCIDENTADA

NOMBRE: | Nº DE REGISTRO IMSS: | SEXO: | EDAD:

EMPLEO DEL ACCIDENTADO: | SALARIO/DIA: | ADMINISTRO PRIMERA ATENCION MEDICA:

EL ACCIDENTADO FUE TRASLADADO A: | AUTORIDAD QUE TOMO CONOCIMIENTO DEL ACCIDENTE:

LESION(ES) Y PARTE(S) DEL CUERPO AFECTADA(S):

DATOS DEL ACCIDENTE

LUGAR EXACTO DONDE OCURRIO: | FECHA: | HORA:

¿QUE OPERACION REALIZABA?:

¿CORRESPONDIA A SU TRABAJO NORMAL? SI ☐ NO ☐

¿COMO OCURRIERON EL ACCIDENTE, LA LESION Y/O LOS DAÑOS MATERIALES Y QUE LOS OCASIONO DIRECTAMENTE?

CONDICIONES INSEGURAS QUE PROVOCARON EL ACCIDENTE:

¿USABA SU EQUIPO DE PROTECCION CORRESPONDIENTE? SI ☐ NO ☐

¿SU EQUIPO DE PROTECCION ES ADECUADO Y SUFICIENTE? SI ☐ NO ☐

ACTOS INSEGUROS DEL LESIONADO U OTRA(S) PERSONA(S) QUE PROVOCARON O PROPICIARON EL ACCIDENTE:

ACCIONES TOMADAS POR EL RESPONSABLE DE LA OBRA PARA EVITAR REPETICION DE ESTE TIPO DE ACCIDENTE:

TESTIGO: | NOMBRE DEL SUPERVISOR:

TESTIGO: | FIRMA DEL SUPERVISOR: | FECHA:

ENTERADO DEL INGENIERO RESIDENTE Y DEL ENCARGADO DE SEGURIDAD:

trial proporciona los medios para satisfacerlos: al elemento humano cuidando de su salud e integridad física, y de la empresa cuidando su economía.

V.- PROGRAMA DE PREVENCION DE ACCIDENTES.

Teniendo el conocimiento de los antecedentes históricos de la prevención de accidentes, las leyes laborales que nos obligan, y el costo que significan los accidentes en una actividad productiva, no queda más que aceptar se lleve a cabo un programa de prevención de accidentes, cuyas características estarán regidas por el tipo de obra a realizarse.

Se requiere establecer un reglamento de medidas preventivas que nos señale las normas, los procedimientos y lineamientos generales del programa de seguridad.

Establecidas las normas de seguridad, deberán integrarse elementos auditores que verifiquen a través de inspecciones el cumplimiento de los mismos.

Como señalamos anteriormente que los accidentes obedecen a causas determinables, deberá realizarse la investigación y análisis de cada uno de ello que haya ocasionado incapacidad en el trabajador y determinar las causas que lo originaron, para de inmediato aplicar la acción correctiva que nos pueda eliminar la posibilidad de ocurrencia de los ya mencionados 330 accidentes provocados por las mismas causas, de acuerdo a las estadísticas norteamericanas.

Debe también buscarse la reducción de los accidentes haciendo una revisión analítica y sistemática de las operaciones. localizando los riesgos y tomando las medidas de precaución necesarias; este procedimiento favorece el interés de la reducción de costos, para lo que se recomienda que se realice por cada unidad supervisora. La reducción se obtendrá por medio de una operación más cuidadosa o por mejores técnicas y a veces por las dos posibilidades conjuntas.

Los medios anteriores de prevención de accidentes, nos señalan con precisión el tipo de instrucción o adiestramiento que debe impartirse a los trabajadores, ya sea en operaciones específicas cuando por las condiciones de las mismas lo requieran o en aspectos generales, tal como el manejo de materiales.

Todo programa de seguridad debe llevarse a cabo bajo políti

cas de comprensión y estímulo a todos los niveles, creando conciencia que la seguridad se logra con el decidido interés de cada uno de los que colaboran en la producción.

Las características del programa de seguridad, se marcarán de acuerdo al monto del costo de la obra, su peligrosidad, su ubicación, el elemento humano disponible y la maquinaria y equipo que se va a usar.

REGLAMENTO DE SEGURIDAD

I N D I C E .

W. MALACATES

- Guías
- Controles del malacate
- Frenos del malacate
- Conexión entre el malacate y la alimentación de fuerza
- Elemento móvil para el ascenso ó el descenso de personal
- Jaulas
- Botas y jaulas sin guías
- Indicador de profundidad
- Cables
- Factor de seguridad
- Unión entre el cable y el bote, jaula o plataforma
- Sujeción del cable del acero
- Cable de acero que no llena las condiciones de seguridad
- Inspección de los cables de acero
- Diámetro de poleas y tambores
- Cejas del tambor
- Dispositivos de seguridad
- Inspección de malacates
- Operadores de malacate
- Operación de los malacates
- Precauciones adicionales en operación de malacates cuando se transporta personal.
- Pruebas a operadores de malacates, grúas, palas mecánicas, etc.

X. EXPLOSIVOS

- Almacenamiento de explosivos
- Polvorines de primera clase
- Polvorines de segunda clase

- Transporte de explosivos
- Transporte de explosivos en vehículos que no operen sobre vías.
- Transporte de explosivos bajo tierra
- Movimiento de explosivos

- Manejo de explosivos
- Perforación y carga de explosivos
- Atacado de explosivos

- Voladuras o tronadas
- Generalidades
- Localización de los cables para voladuras
- Mantenimiento del equipo
- Uso del explosor
- Voladuras con el circuito de alumbrado
- Alambrado para voladuras
- Cables de distribución
- Interruptores para la voladura
- Prueba del circuito para la voladura
- Conexión a corto circuito de los cables auxiliares de distribución y de los cables conductores.

- Conexión entre el interruptor y la línea para la voladura.
- Interruptor de seguridad
- Llaves para asegurar los interruptores
- Antes de la voladura
- Después de la voladura
- Barrenos cebados
- Desechos de explosivos

Y. TRANSPORTES

- Vehículos en la superficie
- Vehículos en el túnel

Z. PARARRAYOS

- Torres localizadas en las lumbreras
- Polvorines

NORMAS COMPLEMENTARIAS

AA Excavación de túnel con escudo
AB Revestimiento definitivo de concreto

SEGURIDAD EN TRABAJOS DE VOLADURA DE ROCAS*

I. ORGANIZACION

A. COMITE EJECUTIVO DE SEGURIDAD

1. El Comité Ejecutivo de Seguridad estará integrado por:

   Gerente de Construcción
   Asesor Técnico de la Empresa
   Jefe del Departamento de Seguridad y
   Representante del Sindicato

2. Cualquiera de sus integrantes fungirá como presidente del Comité y de los restante se nombrará un secretario.

3. Los miembros del Comité Ejecutivo de Seguridad tendrán el derecho de voto.

4. Las funciones y responsabilidades de este Comité son:

   a. Vigilar que se sigan las políticas de seguridad de la empresa; proponer el cambio de éstas cuando sea preciso y recomendar nuevas políticas y otros procedimientos que amplíen y aseguren la aplicación de la política general de seguridad de la Empresa.

   b. Dictar normas de seguridad.

   c. Investigar la causa de los accidentes y ordenar las medidas necesarias con el propósito de que no se repitan.

   d. Ordenar que se suspenda la ejecución de un trabajo que implique riesgo para los trabajadores, hasta que se observen las medidas preventivas requeridas.

   e. Aplicar sanciones a quiénes violen o no den cumplimiento a las medidas de seguridad estipuladas en este Reglamento. Estas sanciones serán amonestación, suspensión y rescisión del contrato de trabajo.

B. DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD

1. La Empresa suministrará y usará los dispositivos de seguridad y salvaguardas y adoptará, a través del Departamento de Seguridad, los sistemas, medios, métodos, opera

* Las normas de seguridad indicados en este trabajo fueron tomados del Reglamento de Seguridad e higiene de Túnel, S.A.

ciones y procesos razonablemente adecuados para que el trabajo y el sitio del mismo sean seguros a fin de lograr el objetivo de prevenir accidentes a los trabajadores.

2. El Departamento de Seguridad iniciará y conservará un programa para la prevención de accidentes. Este programa proverá: instrucción sobre seguridad, inspecciones regulares de todos los frentes de trabajo y de todo el equipo, adopción y uso de un código de prácticas y procedimientos de seguridad para las operaciones, integración de las Comisiones Mixtas de Higiene y Seguridad, etc.

3. Es de la competencia del Departamento de Seguridad:

   a. Establecer directivas para instruir y adiestrar, en seguridad, a los trabajadores.

   b. Dictar normas de seguridad.

   c. Efectuar inspecciones en los frentes de trabajo.

   d. Investigar la causa de los accidentes.

   e. Promover campañas, conferencias, mesas redondas, etc. para conservar ó desarrollar el interés por la seguridad entre los trabajadores.

   f. Vigilar que se cumplan las normas de seguridad.

   g. Llevar las estadísticas, determinar índices de frecuencia y gravedad y construir las gráficas respectivas.

C. COMISIONES MIXTAS DE HIGIENE Y SEGURIDAD

1. En cada lumbrera se establecerá una Comisión, por turno, compuesta por un ingeniero de construcción, el supervisor de seguridad y dos miembros del Sindicato.

2. Cada Comisión constará de igual número de representantes del patrón y de los trabajadores.

3. El patrón designará a sus representantes en la Comisión Mixta de Higiene y Seguridad y los representantes obreros serán designados por el Sindicato titular del Contrato Colectivo de Trabajo.

4. Para ser miembro de la Comisión Mixta de Higiene y Seguridad, se requiere:

a. Ser trabajador de la Empresa o representante del -- patrón;

b. Poseer la instrucción y experiencia para el buen desempeño del cargo;

c. Gozar de la estimación general de los trabajadores.

d. No ser afectos a bebidas alcohólicas, drogas enervantes ó al juego;

e. De preferencia, ser jefe de familia.

5. Son obligaciones de las Comisiones Mixtas de Higiene y Seguridad:

a. Dar instrucción sobre medidas preventivas a los trabajadores.

b. Poner en práctica todas las iniciativas de previsión.

c. Practicar inspecciones periódicas en los frentes de trabajo, por lo menos una vez al mes, a fin de cuidar de la observancia de las disposiciones preventivas, así como para indicar todas las medidas que juzguen convenientes.

d. Si el Supervisor de Seguridad, advierte que una norma no se cumple; entonces actuando como inspector del Departamento de Seguridad debe informar al Jefe de este organismo, quien a su vez lo notificará al Comité Ejecutivo de Seguridad.

e. Investigar las causas de los accidentes y señalar medidas para prevenirlos.

f. Vigilar que se cumplan las disposiciones del Reglamento de Seguridad de la Empresa y las de los Reglamentos de Medidas Preventivas de Accidentes del Trabajo y de Higiene del Trabajo.

g. Vigilar que se cumplan las medidas preventivas dictadas por el Comité Ejecutivo de Seguridad y las señaladas por las Comisiones Mixtas de Higiene y Seguridad.

h. Cuando los miembros de las Comisiones Mixtas de Higiene y Seguridad tengan conocimiento de que se está llevando al cabo un trabajo peligroso, sin tomarse -

en cuenta las medidas preventivas obligatorias, emplearán todos los medios posibles para lograr que se suspenda la ejecución del trabajo, hasta que se observen las medidas de seguridad necesarias.

i. Celebrar sesión por lo menos una vez al mes, en la que se señalen las deficiencias encontradas en materia de higiene y de seguridad, de la cual se levantará acta cuya copia será enviada a la Dirección del Trabajo y Previsión Social.

D. SUPERVISORES DE SEGURIDAD

1. Los Supervisores de Seguridad asignados a cada frente de trabajo, desempeñarán las funciones siguientes:

a. Vigilar que se cumplan las disposiciones contenidas en el Reglamento de Seguridad de la Empresa TUNEL, S.A. DE C.V. para la construcción del Emisor Central e Interceptores Central y Oriente, así como las recomendaciones adicionales y modificaciones posteriores que se boletinen.

b. Recomendar medidas de seguridad cuando se descubran posibles causas de accidentes.

c. Realizar la inspección diaria de los frentes de trabajo que tiene asignados.

d. Investigar las causas de los accidentes con lesión o sin ella e informar al Departamento de Seguridad y a la Superintendencia de la Obra.

e. Formar parte de la Comisión Mixta de Higiene y Seguridad como representante patronal.

f. Entregar con toda oportunidad a la Jefatura del Departamento de Seguridad y al Superintendente de la Obra los reportes relacionados con sus actividades (recomendaciones de seguridad, medidas cumplidas, accidentes ocurridos, etc.) así como las actas de inspección mensual de la Comisión Mixta de Higiene y Seguridad.

g. En todos los casos en que el fuego, los explosivos, los barrenos, etc. sean una amenaza o cuando cause lesiones al personal o daños a los trabajos del túnel, hará de inmediato un informe a la Jefatura del Departamento de Seguridad y a la Superintendencia de

la Obra.

h. Auxiliar al Departamento de Seguridad en todos los aspectos relacionados con la prevención de accidentes.

E. INSTRUCCION

1. Todos los trabajadores recibirán frecuentemente instrucciones para la prevención de accidentes. Las instrucciones se darán por lo menos una vez al mes.

2. Cuando se contrate a un trabajador, la persona encargada de ello determinará el grado de experiencia de dicha persona en el trabajo para el que le ha contratado y la instruirá sobre los peligros del trabajo y sobre la realización de sus labores dentro de las condiciones de seguridad.

3. La instrucción al personal de nuevo ingreso se impartirá en el Departamento Médico, en el Centro de Contratación y en el frente de trabajo al que sea asignado.

a. En el Departamento Médico se le informará:

1). del servicio de emergencias del puesto de socorro y ambulancia.

2). vacunación.

3). necesidad de las mascarillas que se usan en el túnel.

4). funciones y procedimientos del I.M.S.S. en cuanto a enfermedades generales y accidentes de trabajo, pago de incapacidades, aviso de trabajo, forma RPM-1, atención a familiares y visitas a los trabajadores hospitalizados.

b. En el Centro de Contratación se instruirá al trabajador sobre:

1). finalidad de la obra.

2). condiciones generales del sitio de trabajo

3). funciones del Supervisor de Seguridad

4). necesidad de ejecutar el trabajo en forma segura.

5). series audio-visuales de Seguridad.

F. SUPERVISORES DE SEGURIDAD

1. Todos los Supervisores de Seguridad asignados a cada frente de trabajo, desempeñarán las funciones siguientes:

a. Vigilar que se cumplan las disposiciones contenidas en el Reglamento de Seguridad de la Empresa TUNEL, S.A. DE C.V. para la construcción del Emisor Central e Interceptores Central y Oriente, así como las recomendaciones adicionales y modificaciones posteriores que se boletinen.

b. Recomendar medidas de seguridad cuando se descubran posibles causas de accidentes.

c. Realizar la inspección diaria de los frentes de trabajo que tiene asignados.

d. Investigar las causas de los accidentes con lesión o sin ella e informar al Departamento de Seguridad y a la Superintendencia de la Obra.

e. Formar parte de la Comisión Mixta de Higiene y Seguridad como representante patronal.

f. Entregar con toda oportunidad a la Jefatura del Departamento de Seguridad y al Superintendente de la Obra los reportes relacionados con sus actividades (recomendaciones de seguridad, medidas cumplidas, accidentes ocurridos, etc.) así como las actas de inspección mensual de la Comisión Mixta de Higiene y Seguridad.

g. En todos los casos en que el fuego, los explosivos, los malacates, etc. sean una amenaza o cuando cause lesiones al personal o daños a los trabajos del túnel, hará de inmediato un informe a la Jefatura del Departamento de Seguridad y a la Superintendencia de la Obra.

h. Auxiliar al Departamento de Seguridad en todos los aspectos relacionados con la prevención de accidentes.

c. El Supervisor de Seguridad de la lumbrera en que el trabajador vaya a prestar sus servicios, lo presentará con el Ingeniero Jefe de la obra y jefes de inmediatos, lo acompañará a recibir su equipo de protección personal y le informará sobre:

1). turno de trabajo en que deberá presentarse y rotación de los turnos.

2). servicio de transporte de personal

3). servicio de comedor

4). alojamiento en los colectivos

5). atenciones de botiquín y primeros auxilios y -

6). disposiciones generales de seguridad en la - - obra y particulares, de acuerdo, con el oficio que desempeñe.

G. INSPECCIONES

1. Los Supervisores de Seguridad realizarán las inspecciones regulares de todos los sitios de trabajo y de todo el equipo para observar las infracciones a las prácticas y a las instrucciones de seguridad. Deberán estudiar y discutir la causa de los accidentes ocurridos al personal y los medios para su prevención. Impartirán - instrucción sobre seguridad entre los trabajadores y -- los estimularán para que éstos hagan sus gestiones que promuevan la seguridad.

2. Todas las sugestiones que promuevan la seguridad serán estudiadas oportunamente por el Departamento de Seguridad y se conservará un registro por escrito de las medidas tomadas.

3. Los resultados de las inspecciones que realice la Comisión Mixta de Higiene y Seguridad y el Supervisor u - - otra persona de Seguridad en cada frente de trabajo, se entregarán al Superintendente de la Obra, para su cumplimiento.

4. En aquellos casos en que el peligro para la vida de los trabajadores o el perjuicio para el interés público - - sean inminentes, el Departamento de Seguridad ordenará por escrito, con acuse de recibo, las medidas que -- considere necesarias y se dará aviso a la Gerencia de -

Construcción correspondiente.

H. INVESTIGACION DE ACCIDENTES

1. Para conocer las causas de los accidentes y dictar las medidas de seguridad necesarias para evitar que se repitan, se investigarán todos los accidentes.

2. Los Supervisores de Seguridad, en cada frente de trabajo llevarán un registro de todos los accidentes que ocurren con motivo de sus operaciones.

3. Los Supervisores deberán dar aviso al Departamento de Seguridad y al Superintendente de la Obra de:

   a. accidentes mortales

   b. accidentes que provoquen incapacidad permanente, total o parcial.

   c. accidentes que pongan en peligro la vida de los trabajadores.

   d. cambios peligrosos en las condiciones de trabajo y

   e. hechos que amenacen la paralización temporal de los trabajos.

4. Además de lo dispuesto en el inciso anterior, los Supervisores deberán consignar los accidentes con lesión, en:

   a. el reporte semanal de accidentes de trabajo y

   b. en la forma especial para "reporte de accidente"

5. Cuando las lesiones sean leves, pero impidan al lesionado continuar desempeñando sus labores, el Supervisor de Seguridad deberá llenar la forma "reporte de accidente".

I. BOLETINES DE SEGURIDAD

1. En todos los túneles se colocará un tablero para boletines de seguridad en el sitio cercano a la entrada, a la boca de la lumbrera o en cualquier punto en el que se reúna el personal antes de entrar a sus frentes de trabajo.

2. En este tablero para boletines se colocarán todas las notificaciones sobre precauciones generales de seguridad -

y otros avisos pertinentes.

J. CARTELES Y SEÑALES

1. En todas las labores en que se manejen materias nocivas para la salud o en las cuales pueden producirse dichas materias, es obligatorio advertir a los trabajadores de los peligros a que puedan estar expuestos, mediante carteles, señales luminosas u otros medios adecuados.

2. En estas labores los trabajadores están obligados a utilizar los medios de protección que les proporcione la Empresa.

X. E X P L O S I V O S

ALMACENAMIENTO DE EXPLOSIVOS

1. Los explosivos se almacenarán con apego a las disposiciones establecidas en el Reglamento para el Transporte y Almacenamiento de Explosivos y Artificios y uso y consumo de éstos.

2. Los polvorines son los lugares dispuestos para el almacenamiento de explosivos. Excepto cuando estén en transporte o bajo la custodia de algún transportista y pendientes de su entrega al consignatario, todos los explosivos se almacenarán en polvorines pertenecientes a una de las dos clases especificadas en el siguiente inciso.

Polvorines de primera clase

3. Polvorín de primera clase designa a cualquier edificio o estructura utilizados para el almacenamiento de más de 45 kg. de explosivos y polvorín de segunda clase es una caja resistente en la que se pueden almacenar pequeñas cantidades de explosivos que no excedan de 45 kg.

4. Los polvorines de primera clase deberán reunir los siguientes requisitos:

a. Tendrán paredes construídas de tabique; concreto, ladrillo, bloques de cemento o madera cubierta por el exterior con hierro o con aluminio para darle resistencia al fuego.

b. Las aberturas para ventilación estarán protegidas para evitar que entren chispas.

c. Las puertas se conservarán cerradas y aseguradas con llave, excepto cuando se abran para movimientos de su existencia. Serán de un material resistente al fuego por el exterior.

d. No se permitirán en el polvorín ni en sus cercanías, fósforos, lámparas descubiertas ni fuego de ningún tipo.

e. Si se requiere iluminación artificial solamente se usará lámpara eléctrica, linterna eléctrica ó lámpara eléctrica para casco. Las lámparas estarán dentro de globos a prueba de vapor y se conservarán a una distancia de por lo menos 1.50 metros de los explosivos y detonadores. El alumbrado será por conduit y el interruptor estará situado fuera del polvorín.

f. Los polvorines se conservarán limpios y secos. No se permitirá que se acumule papel, aserrín cajas vacías, hierba, matorrales ni cualquiera otra basura a una distancia de menos de 30 metros del polvorín.

5. En los sitios en los que estén situados polvorines, se colocarán letreros con las palabras: "EXPLOSIVOS, NO ACERCARSE", escritas de una manera legible, con letras de no menos de 7.5 centímetros de altura. También puede usarse en dichos letreros la inscripción: "PELIGRO, EXPLOSIVOS".

6. Un polvorín de primera clase en el que se almacenen explosivos estará situado y separado por lo menos 30 metros de cualquiera otra estructura.

7. Los estopines o detonadores no se almacenarán en polvorines en los que se almacenen explosivos.

8. La cantidad de detonadores o explosivos que se pueden almacenar en cualquier polvorín depende de la distancia a la que ese polvorín esté situado del edificio, carretera ferrocarril u otro polvorín más cercano y de la protección que le presten barreras naturales o barreras artificiales eficientes.

Polvorines de segunda clase

9. Se pueden almacenar pequeñas cantidades de explosivos que no excedan de 45 kg. en polvorines de segunda clase, en el túnel.

10. Los detonadores se pueden conservar en un polvorín independiente de segunda clase, situado por lo menos a 15 metros de otros polvorines de segunda clase.

11. Si las condiciones lo permiten, los polvorines de segunda clase se deben colocar en recesos del túnel o de sus ademes, pero no deben estar nunca a menos de 1.50 metros de cables eléctricos.

12. Se conservará sobre un sitio visible del polvorín de segunda clase un letrero en el que estén escritas legiblemente las palabras: "POLVORIN, EXPLOSIVOS, PELIGRO".

13. Excepto cuando sea necesario que personas autorizadas lo abran, el polvorín se mantendrá en todo momento firmemente cerrado con llave.

14. No se almacenarán explosivos, con la excepción de lo permitido en el caso de los carros de explosivos, en ningún sitio dentro del túnel cuando su descarga accidental pueda cortar el escape del personal.

15. Dentro de los polvorines se usarán herramientas de madera o cobre para abrir las cajas o bolsas que contengan explosivos.

16. Se prohíbe estrictamente fumar o entrar con luces descubiertas dentro de los polvorines.

TRANSPORTE DE EXPLOSIVOS

17. Para el transporte de explosivos se cumplirán todas las disposiciones legales: Federales, Estatales y Locales.

<u>Transporte de explosivos en vehículos que no operen sobre vías.</u>

18. Los vehículos usados para el transporte de explosivos, deben llenar los requisitos siguientes:

a. Serán de una construcción resistente, estarán en buenas condiciones de trabajo y sus plataformas estarán bien apretadas para evitar que los explosivos caigan del vehículo.

b. Los extremos y los costados de los vehículos estarán cerrados hasta una altura suficiente para evitar que las cajas o paquetes caigan.

c. La carga sobre un chasis abierto debe estar cubierta

con una lona impermeable y resistente al fuego.

d. Los cables del sistema eléctrico del vehículo, deben estar completamente aislados de la carga, para prevenir un corto circuito.

e. Los vehículos deben estar debidamente señalados así como dar adecuada protección al público por la naturaleza de la carga. Para el efecto deben exhibir en cada uno de sus costados y en la parte trasera, en el exterior, un aviso en el que aparezca la palabra "EXPLOSIVOS", en letras de no menos de 7.5 centímetros de altura, sobre fondo de un color marcadamente contrastante.

19. No se debe permitir metales de contacto con los explosivos, excepto chasises metálicos aprobados para transportar explosivos (antichispas).

20. No deberán transportarse con explosivos, metales, líquidos inflamables o substancias corrosivas.

21. Se recomienda transportar los explosivos y los detonadores en vehículos separados y no en el mismo vehículo. Cuando no se usen los envases originales, se podrán transportar en bolsas de lona o plástico o en recipientes rígidos construídos de materiales no conductores.

22. En los vehículos que transporten explosivos solamente se realizarán servicios o reparaciones que no representen riesgo alguno.

23. La carga y descarga de los explosivos debe ejecutarse cuidadosamente.

24. Al cargas los vehículos no se debe rebasar el límite señalado por el fabricante ni sobrepasar la altura de los lados del camión.

25. Se prohibe estrictamente fumar en los vehículos que transportan explosivos.

26. Nadie con excepción del operador del vehículo y de sus ayudantes viajará en los vehículos que transportan explosivos.

27. El operador del vehículo debe evitar zonas de congestionamiento de tráfico y paradas innecesarias o en lugares como gasolineras, talleres, etc.

28. El operador del vehículo debe asegurarse que los explosivos estén separados de detonadores o estopines, cuando

esté permitido transportarlos en el mismo vehículo.

Transporte de explosivos bajo tierra

29. Los explosivos se transportarán hasta el frente en cajas o paquetes adecuados. Si deben transportarse 45 kg. o más de una sola vez al interior de un túnel provisto de vías, existirá un carro para explosivos.

30. El carro para el transporte de explosivos en el túnel estará construído especialmente para ese fin y contendrá compartimentos separados para la dinamita y los estopines; estos compartimentos deben mantenerse cerrados excepto cuando sea necesario abrirlos para introducir o sacar explosivos. Ambos compartimentos deben estar debidamente aislados de la estructura metálica del carro y de cualquier contacto posible con conductores en los extremos, parte superior y costados.

31. Si el carro de explosivos es transportado por una locomotora eléctrica, se exigen barras de tiro aisladas entre el carro de explosivos y la locomotora.

32. A cada lado del carro, destinado al transporte de explosivos en el túnel, se escribirá la palabra: "EXPLOSIVOS", en letras de 7.5 cm. de altura.

33. Los explosivos se colocarán en el carro de explosivos en cajas ya abiertas para que no sea necesario romperlas para abrirlas en el frente del túnel.

34. Los estopines se colocarán en el primer compartimentos del carro de explosivos, en una caja adecuada, con divisiones separadas para cada retraso. Los compartimentos para los estopines y para los explosivos deben estar separados por un mínimo de 65 centímetros de espacio de aire.

35. Solamente se colocará o transportará en el carro de explosivos una cantidad nominal en exceso a la necesaria para la operación de un turno. Si el carro de explosivos se lleva al interior del túnel y se saca después para cada cuele, solamente se colocará o transportará en él una cantidad nominal en exceso sobre la cantidad de explosivos necesaria para ese cuele.

36. Si el carro de explosivos es transportado por una locomotora, el movimiento se hará jalando el carro de explosivos y no empujándolo. Si se hace en un tren debe ir en el extremo posterior y nunca enganchado entre vagonetas.

tas.

37. Cuando el carro de explosivos sea movido a mano, una persona deberá ir adelante, por lo menos a una distancia de 25 metros, para prevenir a otros vehículos que se aproximen en sentido contrario.

38. Se llevará a cada frente de trabajo solamente la cantidad de explosivos que se requieran en el turno: los explosivos que no se empleen inmediatamente en el lugar donde vayan a utilizarse, se regresarán a su lugar de origen.

39. Un letrero en el carro de explosivos indicará si éste se encuentra "LLENO" ó "VACIO".

Movimiento de explosivos

40. Los explosivos y los estopines no se bajarán ni subirán juntos en la misma jaula, plataforma o bote, a menos que esto sea en el carro de explosivos.

41. Los explosivos no se bajarán ni subirán en la misma jaula, plataforma o bote, con otros materiales, suministros o equipo.

42. Los explosivos no se transportarán junto con el personal en la jaula, plataforma, bote o cualquier otro vehículo.

43. Los explosivos se pasarán con prontitud de la jaula, plataforma o bote al carro de explosivos.

44. Los explosivos no deben almacenarse provisionalmente ni apilarse alrededor del brocal de la lumbrera ni en la estación correspondiente.

45. Los explosivos que no se empleen inmediatamente en el lugar donde van a utilizarse, se colocarán en lugar seguro, separándolos según su naturaleza y cantidad.

46. Los envases vacíos, las cajas y papel de envoltura se enviarán inmediatamente a la superficie para ser destruídos.

47. En todas las operaciones que supongan movimiento, manejo y realmacenamiento de explosivos, se tomarán las precauciones razonables para evitar el acceso de personas no autorizadas.

MANEJO DE EXPLOSIVOS

48. Cuando se vayan a sacar del polvorín abastecimiento de -

explosivos, se tomarán en primer lugar los que hayan permanecido en el polvorín mayor tiempo.

49. Los detonadores no se retirarán de sus paquetes originales a menos que se vayan a usar pronto.

50. Los paquetes de explosivos se llevarán a una distancia segura del polvorín antes de abrirlos.

51. No se abrirá ninguna caja de explosivos con herramientas metálicas que produzcan chispas.

52. Los cebos que no se hayan preparado en un polvorín especial se deben llevar hasta una distancia segura de otros trabajadores no incluídos en las operaciones de voladura.

53. Está estrictamente prohibido fumar en las estaciones de distribución de explosivos o durante las operaciones de manejo de explosivos.

54. Los detonadores y los explosivos que sobren después de terminarse la carga se deben regresar inmediatamente a sus sitios de almacenamiento adecuado.

55. No se colocarán explosivos donde puedan estar expuestos a flama, excesivo calor, chispas o impacto.

56. Los envases de explosivos se deben levantar y colocar siempre cuidadosamente; nunca se deben deslizar uno sobre otro, ni dejar caer.

57. Debe cerrarse la cubierta de las cajas de explosivos o empaques después de ser usados.

58. No se deben conectar los detonadores, a los cartuchos de dinamita dentro de un polvorín o cerca de cantidades excesivas de explosivos.

59. No se manejarán ni usarán explosivos durante la proximidad o desarrollo de cualquier tormenta eléctrica. Todas las personas deberán retirarse de los explosivos a un lugar seguro.

60. No se debe intentar el rescate o uso de detonadores o cualesquiera otros explosivos que hayan estado saturados de agua, aún si ya han sido secados. Consúltese al fabricante.

61. No se debe golpear, desarmar o intentar remover o investigar el contenido de un detonador ni tratar de arrancar los alambres de un estopín.

62. Nunca se debe usar explosivos o equipo para voladuras -- que se encuentre deteriorado o dañado.

63. No se permitirá la presencia de personas no autorizadas o innecesarias durante el manejo y uso de los explosivos.

64. Queda estrictamente prohibido a los trabajadores acarrear explosivos en los bolsillos de su ropa o llevarlos sobre su persona.

65. El cebo debe prepararse cuidadosamente, cerca del frente y llenar los requisitos siguientes:

a. que el detonador no pueda zafarse del cartucho cebado, y que esté en la posición más segura y eficiente.

b. que esté impermeabilizado cuando sea necesario.

c. que pueda colocarse con todos sus aditamentos, dentro del barreno, con seguridad y facilidad.

66. Los cartuchos que formen parte del cebo no deberán ser rajados.

67. El punzón que se utilice para perforar el cartucho y preparar el cebo, debe ser una varilla de madera, cobre, -- aluminio o algún otro material que no produzca chispa.

Perforación y carga de explosivos

68. Debe examinarse toda laja o roca antes de barrenarla, -- golpearla o romperla y asegurarse de que la operación se puede realizar sin peligros de los explosivos que toda vía pueda contener.

69. Nunca se perforará con explosivos dentro de los barrenos ni se profundizará la barrenación ni ninguna parte de -- los barrenos que hayan sido cargados con explosivos o -- donde existiera un fuque.

70. Antes de iniciarse las operaciones de carga, todos los circuitos eléctricos se retirarán a una distancia segura del frente. No operará ninguna locomotora eléctrica ni ningún circuito alimentador a meros de 60 metros del -- frente.

71. Se usarán lámparas de turbina de aire ó reflectores para la iluminación del frente para las operaciones de carga. Si la corriente para los reflectores es suministrada por baterías o por una locomotora eléctrica, estas luces no se colocarán a menos de 15 metros del punto en que se -- realicen las operaciones de carga. No se utilizarán lám

paras con cubierta metálica.

72. Se prohíbe fumar y usar llamas abiertas en zonas en las que se inicien operaciones de carga o en las que estén a punto de iniciarse.

73. Durante las operaciones de carga solamente el personal verdaderamente necesario para la carga y la conexión -- permanecerá en el frente.

74. La carga no se iniciará sino hasta después de haber terminado toda la barrenación y después de haber limpiado o soplado todos los barrenos.

75. Si se llegase a encontrar una piedra u obstáculo dentro de un barreno cuando esté parcialmente cargado, dicha - piedra será extraída con una cucharilla de cobre, bronce u otro material que produzca chispa.

76. No se soplarán barrenos sin dar aviso de ello a todos - los demás trabajadores en el frente.

77. Solamente se utilizarán atacadores de madera (faineros) para retacar explosivos; estos atacadores no tendrán incluído polvo abrasivo, puntas de metal ni partes metálicas a menos que sean anclas de un metal no ferroso para prolongar la longitud del atacador. El extremo del atacador será plano y del diámetro mínimo necesario para - que no pase a los lados del cartucho en el interior del barreno.

78. Antes de cargar los barrenos debe introducirse el atacador hasta el fondo del barreno para determinar si éste está libre; en caso de estarlo sosténgase el atacador - con la mano en la boca del barreno sin soltarlo hasta - introducir el cebo para determinar si éste llegó hasta el fondo del barreno; en caso contrario infórmese al sobrestante.

79. Al cargar barrenos debe introducirse un cartucho de explosivos y retacarlo antes de introducir el cartucho siguiente.

80. No se deben forzar los cartuchos de dinamita al introducirlos en los barrenos o para pasar cualquier obstrucción en los propios barrenos.

81. No se debe cargar un barreno de perforación con explosivos después del ensanchamiento del fondo por explosión de una carga, hasta estar seguro de que esté frío y que no - contiene ningún metal o material caliente o incandescente.

82. No se debe hacer volar un barreno de perforación cerca de otro cargado con explosivos.

83. El detonador debe insertarse, sin forzarlo, dentro del agujero hecho en el cartucho de dinamita, con un punzón de madera diseñado para ese propósito.

84. No se debe rajar deformar o abandonar el cartucho de dinamita conectado al cebo.

85. No se conectarán estopines excepto por métodos recomendados por el fabricante.

86. Durante la carga no se deben amontonar los explosivos sobrantes cerca de áreas de trabajo.

Atacado de explosivos.

87. No ataque dinamita que ha sido removida de su cartucho.

88. No ataque explosivos con objetos metálicos de cualquier clase. Use herramientas atacadoras de madera (fajineros) con ninguna parte expuesta de metal.

89. Nunca ataque el cartucho conectado al estopín. Evite el atacado violento.

90. Debe atacar los explosivos en el barreno de perforación con arena, tierra, barro u otros materiales permisibles, inertes e incombustibles.

91. No desenrolle los cables o use estopines durante tormentas de rayos o cerca de cualquier otra productora de cargas de electricidad estática.

92. No enrede o maltrate cables de estopines durante el atacado.

93. No desenrolle los alambres o use estopines en la vecindad de radiotransmisores, excepto a distancias de seguridad. Consúltese al fabricante.

94. Debe cuidar que el circuito de encendido esté completamente aislado de tierra u otros conductores así como de cables "pelados", rieles, tubos u otros cursos de corrientes extraviadas.

95. No tenga alambres eléctricos o cables de cualquier clase cerca de estopines u otros explosivos, excepto en el momento y para el propósito del encendido de la tronada.

96. Debe probar todos los estopines o cada uno cuando sean conectados a un circuito, usando solamente un galvanómetro específicamente diseñado para los detonadores.

97. No use en el mismo circuito cualquier estopín hecho por más de un fabricante, o estopines de diferentes estilos o funciones aunque sea fabricado por el mismo fabricante a menos que su uso esté aprobado por el fabricante.

98. No intente encender un circuito de estopines con menos que la mínima corriente especificada por el fabricante.

99. Debe estar seguro que todos los extremos de los alambres que están conectados estén pulidos y limpios.

100. Debe mantener los alambres de los estopines en corto circuito hasta que esté listo el encendido.

VOLADURAS O TRONADAS

Generalidades

101. Personas competentes y autorizadas para el uso de explosivos estarán a cargo inmediato de todas las operaciones de voladura. No se empleará a nadie de menos de 21 años de edad en las operaciones de carga o de voladura a menos que esté bajo la supervisión directa de un trabajador experimentado.

102. Las fuentes de energía para las voladuras eléctricas pueden ser: explosores, circuitos de iluminación o circuitos de fuerza. Cuando se usan explósores, las conexiones deben ser en serie, con la excepción de conexiones en paralelo o combinadas que se apeguen a las recomendaciones del fabricante del explosor. En el caso de los circuitos de iluminación o de fuerza, las conexiones pueden ser en serie, en paralelo o en una combinación de ambos sistemas.

103. Se usarán únicamente estopines eléctricos en la excavación de lumbreras y tiros; en la excavación de estaciones de lumbreras y tiros y en cualquier sitio en donde el refugio cercano sea inadecuado para proteger al personal de las rocas despedidas por la voladura o de la onda de choque.

Localización de los cables para voladuras.

104. Los cables para voladura se alojarán en el lado del tú -

nel opuesto al de todas las líneas de fuerza e iluminación y lejos de tuberías, rieles y conductores similares. Se suspenderán de una manera apropiada de aisladores y se protegerán de cualquier contacto con los anillos de acero usados para el adome del túnel.

105. No se usarán circuitos o sistemas conectados a tierra para las voladuras por medios eléctricos.

Mantenimiento del equipo

106. Los cables y permanentes para voladura, los interruptores de seguridad y los interruptores para voladura serán conservados en condiciones adecuadas por una persona competente.

107. Todos los tubos y rieles metálicos estarán conectados eléctricamente entre sí y conectados a tierra en la lumbrera o tiro o en el portal, estos tubos y rieles tendrán conexiones eléctricas cruzadas a intervalos de no menos de 300 metros en toda la longitud del túnel.

Uso del explosor

108. Solamente una persona debidamente capacitada en los sistemas de voladura operará el explosor o lo conectará con los cables; estas conexiones no se harán sino hasta después de haber terminado todos los trabajos preparatorios para la voladura y después de retirar al personal hasta un sitio seguro.

Voladuras con el circuito de alumbrado ó de fuerza

109. No se usará corriente eléctrica procedente de los circuitos de iluminación o de fuerza para hacer detonar cargas excepto cuando las conexiones eléctricas con dicho circuito de iluminación o de fuerza se hagan por medio de una caja de interrupción cubierta.

110. Cuando la voladura se haga por medio de un circuito de iluminación o de fuerza, nadie entrará al sitio en el que se hizo la voladura sino hasta después de haber desconectado los cables de voladura permanentes de la fuente de energía eléctrica y hasta después de haber asegurado en la posición "abierta" el interruptor usado para la voladura.

111. Cuando la voladura se hace por medio de un circuito de fuerza, este circuito se interrumpirá por lo menos en un sitio mediante un intervalo contra rayos de un mínimo de 1.50 metros en el lado de salida del interruptor usado para la voladura, excepto durante la realización de ésta

Se instalarán conexiones de clavija y receptáculo para que el cierre o la interrupción del circuito en este -- punto sea una operación manual sencilla.

Alambrado para voladuras

112. Los cables permanentes para voladura y los conductores provisionales serán de alambre macizo de cobre, imper - meable y aislado y tendrán la capacidad suficiente para la corriente necesaria para la voladura.

113. Todos los empalmes estarán correctamente hecho; los -- alambres se unirán de tal manera que queden eléctrica - y mecánicamente seguros. Los empalmes de los cables -- permanentes se aislarán con cinta o algún otro medio -- efectivo.

Cables de distribución

114. Los cables permanentes de distribución serán del diámetro adecuado, de alambre macizo de cobre o de alambre - de algún otro metal que los fabricantes de estopines recomienden para las condiciones previstas.

Interruptores para la voladura

115. Se instalará un interruptor de operación externa para la voladura de las cargas, en buenas condiciones de servi - cio y en los puntos desde donde se haga la voladura. Este interruptor quedará instalado en el lado del túnel -- opuesto al correspondiente a los circuitos de ilumina -- ción y fuerza.

116. Este interruptor se mantendrá normalmente en la posición "desconectado".
En la posición "desconectado" los dos cables del circuito quedarán en corto circuito, pero no conectados a tierra. El interruptor se dispondrá de tal manera que no -- pueda permanecer en la posición de "voladura" al soltar la palanca.

117. El interruptor para la voladura estará a no menos de 300 metros del frente del túnel si la longitud de éste excede de 300 metros, o en el portal o superficie si la longitud excavada es menor.

Prueba del circuito para la voladura

118. El circuito usado para la voladura se probará antes de -

hacer detonar las cargas. Para estas pruebas se utilizará un galvanómetro diseñado especialmente para los trabajos de voladura.

Conexión a corto circuito de los cables auxiliares de distribución y de los cables conductores.

119. Los cables auxiliares de distribución se conectarán en corto circuito hasta el momento en el que se conecten con los alambres conductores. Los alambres conductores se conectarán en corto circuito torciendo los extremos desnudos uno con otro hasta el momento en el que se conecten en el cable permanente usado para la voladura. La persona que haga la conexión con los cables auxiliares de distribución tendrán en su posesión los dos extremos de los alambres conductores y después llevará estos alambres conductores desde el frente hasta los cables permanentes para la voladura. Los cables auxiliares deben colgar o estar suspendidos de soportes de madera o de algún material aislante.

Conexión entre el interruptor y la línea para la Voladura.

120. La conexión entre el interruptor usado para la voladura y la línea permanente para la voladura debe ser un cable de fuerza portátil de dos conductores, que se extienda a través del túnel. Estará provisto de clavija y receptáculos adecuados. Estas clavijas y receptáculos tendrán una capacidad no inferior a 60 amperes; no serán intercambiables con ningunas otras clavijas ni receptáculos utilizados en el túnel. Entre el receptáculo y la fuente de alimentación de fuerza debe haber un interruptor asegurado y dispuesto de tal manera que no pueda permanecer en la posición de "conectado" o "voladura" al soltar la palanca.

Interruptor de seguridad

121. Aproximadamente a la mitad entre el interruptor usado para la voladura y el extremo del cable permanente para la voladura es conveniente instalar un interruptor de seguridad. Debe ser de un tipo que pueda asegurarse en la posición "desconectado", pero que permanezca en la posición "conectado" al liberarse y soltar la palanca. Este interruptor quedará libre y en la posición "conectado" cuando el sobrestante o la persona que opere el interruptor para la voladura pase al interruptor de la voladura después de haber completado las conexiones en el frente

Llaves para asegurar los interruptores

122. a. Las llaves del interruptor para la voladura y del interruptor de seguridad deben estar en posesión del sobrestante o de la persona que haga la voladura.

b. Cuando sea necesario hacer reparaciones o pruebas de las líneas de voladura o de las usadas para hacer detonar las cargas, el sobrestante o la persona que hace la voladura debe abrir los candados y permanecer en el interruptor hasta que puedan volverlo a asegurar.

c. No se harán preparaciones para carga ni voladura sino hasta que los interruptores estén asegurados y las llaves otra vez en posesión del sobrestante o de la persona que hace la voladura.

d. Al final del turno, el sobrestante o la persona que hace la voladura entregará las llaves al sobrestante o a la persona que hace la voladura correspondiente al siguiente turno.

e. El Superintendente debe guardar en su oficina y bajo llave un juego duplicado de las llaves. No debe existir en el túnel ningún otro juego de llaves que correspondan a los candados de los interruptores para la voladura.

Antes de la voladura

123. Se dará aviso en todas las direcciones cuando vaya a volarse, se protegerán todas las entradas al sitio o sitios en los que se vaya a detonar cargas.

124. No se conectarán los alambres conductores a la línea permanente para la voladura sino hasta que todo el personal se haya retirado del frente, con excepción de las personas que hagan la conexión.

125. Todo el personal, inclusive el que haga la conexión, se retirará hasta el punto en el que está instalado el interruptor para la voladura.

126. No se harán trabajos innecesarios en el frente durante la carga o después de ella y antes de la voladura.

127. No debe tronarse una carga sin una señal positiva del responsable de la voladura, quién deberá cerciorarse que todo el excedente de explosivos están en lugar seguro y todas las personas y vehículos están a una distancia de

seguridad o bajo cubierta.

Después de la voladura

128. Después de la voladura, el personal debe esperar por lo menos 10 minutos antes de regresar al punto de la explosión (puede requerirse un período más prolongado, con el objeto de dar el tiempo necesario para la limpieza del aire mediante el sistema de ventilación).

129. Los interruptores usados para la voladura deben asegurarse en la posición "desconectado"; debe desconectarse el cable portátil y al regresar al frente, los alambres conductores deben desconectarse de los extremos del cable permanente para la voladura; los extremos descubiertos de cada uno de ellos se conectarán entre sí a corto circuito torciéndolos uno con otro.

130. Después de cada voladura y antes de iniciar una nueva barrenación, deberá efectuarse una investigación cuidadosa en busca de barrenos cebados a fin de dispararles de nuevo.

131. Los chocolones o fuques, carrizos o porciones de barreno que sobren de los barrenos no quedados (no cebados) se revisarán cuidadosamente para dispararlos de nuevo, en su caso. Por ningún motivo se barrenará en dichos chocolones o carrizos.

132. Si se encuentran barrenos cebados en una voladura hecha con estopines eléctricos, se probarán los detonadores, si éstos están en corto circuito, se conectarán nuevamente y se dispararán; en caso contrario, se usará un nuevo cebo para dispararlos.

133. No se intentará investigar un fallido demasiado pronto, se hará con apego a las reglas estipuladas para el efecto y si no las haya se esperará por lo menos una hora.

134. No se debe perforar, barrenar o jalar una carga de explosivos que ha fallado. Los cartuchos no quemados deben ser manejados solamente por una persona competente o experimentada o por otra persona bajo la dirección de aquella.

Barrenos cebados

135. La mejor solución al problema de barrenos cebados (quedados), es previniéndolos. Cuidadosa atención para cargar y técnicas previamente discutidas para tronar, minimizan

este problema. Sin embargo, cuando ocurren, su manejo requiere el conocimiento y habilidad de una persona -- competente y experimentada en voladuras.

136. El modo ideal de disponer de un barreno cebado es tro - nándolo. Esto puede ser posible removiendo la carga de un barreno por medio de un chorro de agua. sin embargo, cuando están involucradas grandes cargas y el explosivo ha sido roto o parcialmente removido del agujero, puede salir como un disparo excesivo de material de rocas. Si esta es la situación, significa que se debe descargar - la mayor parte del barreno.

137. Cuando los barrenos cebados sean detonados, todo el personal y equipo deberá estar colocado tan lejos como la distancia normal de tronada, en anticipación de un estallido excesivo.

Desechos de explosivos

138. No se debe abandonar cualquier explosivos.

139. Los explosivos se deben desechar o destuir en estricto acuerdo con los métodos aprobados, previa consulta al fabricante.

140. No se deben dejar abandonados explosivos, cartuchos vacíos, cajas, conductores u otros materiales usados en - el empaque de explosivos, en lugares en que personas no autorizadas o ganado puedan tener acceso a ellos.

141. La madera, papel o materiales fiborosos empleados en el empaque de explosivos, no deben quemarse en una cueva,- incinerador u otro espacio confinado ni deben ser usa - dos para cualquier propósito. Deben ser destruídos, quemándolos en lugares abiertos y aislados, no debiendo -- acercarse ninguna persona a menos de 35 metros, después de iniciado el fuego.

Vehículos en la superficie

1. Los operadores de vehículos deben ser conductores ex - pertos y únicamente los autorizados deben mover el equipo.

2. Los operadores de vehículos deben observar estrictamente los reglamentos de tránsito:

a. No exceder peso límite, altura de carga y veloci -

del límite.

b. No retroceder a menos que un ayudante a pie le haga señales.

c. Hacer alto total en cruces con FFCC, carreteras principales, cruceros peligrosos, etc.

d. Llevar señales de emergencia y,

e. Estar equipado con un extinguidor.

3. Los operadores de vehículos deben conservar en buenas condiciones mecánicas y exteriores los vehículos.

a. Luces
b. Bocinas
c. Frenos
d. Parabrisas
e. Espejos

4 No permanecerán en la cabina los operadores de vehículos mientras el camión sea cargado por equipo de excavación o haya riesgo de caer algún objeto sobre la misma.

5. La carga no debe exceder la capacidad de peso, ni debe sobresalir del cuerpo del camión de modo tal que constituya un peligro para otros vehículos, peatones y estructuras.

6. En caso que el material sobresalga del extremo posterior del vehículo, debe marcarse con bandera roja y luz roja en la noche.

7. El material suelto debe ser amontonado o cubierto para evitar que las vibraciones del transporte lo aflojen y pueda regarse.

8. Los conductores de vehículos deben asegurarse que el camión esté frenado apropiadamente durante la carga y si se encuentra en pendiente colocarle calzas que detengan las ruedas.

9. Los vehículos de carga utilizados regularmente para el transporte de trabajadores deben dotarse de asientos seguros con resguardos laterales y posteriores para evitar caídas, instalando los aditamentos necesarios para subir o bajar.

10. No se permitirá al personal subir o bajar si el vehículo está en movimiento.

11. No se permitirá al personal viajar en las salpicaderas, estribos, defensas o encima de las capotas u otros lugares.

12. No se utilizarán vehículos de volteo para el transporte de personal, a menos que el cuerpo del vehículo haya sido adecuadamente asegurado para evitar que se suelte.

13. Se realizará mantenimiento e inspección periódicos del vehículo. Diariamente los conductores revisarán frenos dirección, llantas, luces y demás partes importantes.

14. Los conductores deberán apagar el motor siempre que se cargue combustible.

15. Para el transporte de explosivos véase el instructivo correspondiente.

Z. PARARRAYOS

Torres localizadas en las lumbreras

1. Se instalarán 4 puntas de protección de 1.22 metros (Cat. HB-13). Estas puntas irán montadas en bases adecuadas, fijadas directamente a la superficie de la construcción.

2. Las puntas anteriores se interconectarán entre sí por medio de cable de diseño y construcción especial (cobre trenzado, de 29 hilos Cat. HB-29X.)

3. Se utilizarán abrazaderas de cobre para cable (Cat.HB-166), para fijar los conductores a la construcción, colocándose a una distancia no mayor de un metro entre ellas.

4. Para satisfacer las distintas necesidades se usarán los conectores rectos (Cat. HB-122), zapata (Cat. HB-130), "T" (Cat. HB-112), Cruz (Cat. HB-125), y para permitir la inspección y prueba periódica del sistema, se instalarán los conectores de bajada. (Cat. HB-146).

5. La resistencia a tierra de cada electrodo no deberá ser mayor de 25 ohms.

Planos

6. La localización de las puntas de protección, recorrido de cable y conexiones a tierra se encuentra indicada en los planos anexos.

Polvorines

1. Se instalarán cuatro puntas de protección de 0.30 metro (Cat.HB-57X) en la parte superior de cuatro postes metálicos. Estos postes se colocarán en las esquinas de la construcción y dentro de las distancias mínimas especificadas en las normas. Las puntas irán montadas en bases adecuadas fijadas directamente a los postes antes mencionados.

2. Para asegurar su protección adecuada, de acuerdo con las normas relativas a estructuras que contienen sustancias peligrosas, se colocarán cables aéreos entre los postes diagonalmente opuestos que se mencionan en el párrafo anterior. Estos cables se interconectarán entre sí, a las puntas y a tierra, en cada poste. El cable que se instalará, de diseño y construcción especial para sistemas de pararrayos, es de cobre trenzado, de 29 hilos (Cat.HB-29X).

3. Se utilizarán abrazaderas de cobre para cable (Cat. HB-165), para fijar los conductores a los postes, colocándose a una distancia no mayor de un metro entre ellas.

4. Para satisfacer las distintas necesidades se usarán los conectores rectos (Cat.HB-122), Zapata (Cat. HB-130), "T" (Cat. HB-112) Cruz (Cat. HB-125) y para permitir la inspección y prueba periódica del sistema se instalarán los conectores de bajada (Cat. HB-146).

5. Serán necesarias en este caso cuatro conexiones a tierra El cable de bajada para ellas se fijará a la construcción directamente con la abrazadera (Cat. HB-165) y se protegerá convenientemente en su parte inferior, rematándose a electrodos a tierra formados con el remilete (Cat. HB-235).

6. No deberá construirse ningún excusado a menos de 30 metros de ningún pozo.

7. El contenido de los excusados de fosa de tierra deberá cubrirse diariamente con arena, cal, cenizas de madera u otro material apropiado.

8. Cuando el contenido de una fosa de tierra esté a menos de 60 centímetros de la superficie del terreno, deberá llenarse con tierra.

7. Los excusados deberán tener un piso liso e impermeable.

D. INSTALACIONES PARA ASEO PERSONAL

1. Deberán proporcionarse instalaciones adecuadas para lavarse, a los trabajadores. Estas instalaciones no se usarán para ningún otro objeto.

2. Deberá haber cuando menos un lavabo por cada 20 trabajadores que tengan descanso y tiempo libre para comer al mismo tiempo.

3. En los lavabos habrá una corriente suficiente de agua limpia y un medio adecuado para eliminar el agua de desechos; se proporcionará jabón no irritante en cantidad suficiente y se prohibirá el uso de toallas comunes.

4. Se instalarán baños de regadera deberá limpiarse completamente cuando menos una vez por día de uso, y deberá desinfectarse en forma efectiva.

E. HABITACIONES

1. Las habitaciones individuales o colectivas, deberán ser suficientes y apropiadas; protegidas de la intemperie, humedad del suelo, sabandijas, mosquitos y otros insectos.

2. Las habitaciones estarán provistas de alumbrado y, de ser necesario, calefacción y debidamente ventiladas.

3. Los dormitorios deberán proporcionar cuando menos 14 metros cúbicos de espacio por persona, y cuando menos 6 metros cuadrados de piso por persona y tener una altura promedio de cuando menos 2.5 metros.

4. Los dormitorios deben tener ventanas que se abran al aire libre y que puedan abrirse para proporcionar una abertura igual cuando menos a un décimo de espacio del piso.

5. Debera proporcionarse una cama para cada trabajador, un colchón o bolsa, una almohada y las sábanas y cobijas necesarias.

6. Las camas deberán estar cuando menos a 40 centímetros del piso.

7. Los muros de los dormitorios deberán ser fácilmente lavables y los pisos de un material impermeable y cuando menos a 30 centímetros arriba del piso en el exterior.

8. Los dormitorios y la ropa de cama deberán lavarse y desin-

fectarse a intervalos apropiados.

9. Los dormitorios para trabajadores que laboran en túneles y obras subterráneas, deberán estar en la superficie y separados de los comedores.

10. Las cuevas, chozas de paja, tiendas de campaña y almacenes y establos no deberán usarse para habitación.

IV. SERVICIOS MEDICOS

A. PUESTO DE SOCORROS O CENTRAL DE URGENCIAS

1. En los lugares en que laboran 100 ó más trabajadores, deberá establecerse un puesto de socorros, bajo la responsabilidad de un médico, ubicado cuando menos a 60 metros de las cocinas, instalaciones sanitarias o lugares para animales.

2. Los puestos de socorros deben establecerse en lugares estratégicos y estar debidamente equipados.

B. PRIMEROS AUXILIOS

1. En los campamentos deberá haber a la mano y disponibles medios adecuados y personal para prestar primeros auxilios y, durante las horas de labores, en los frentes de trabajo.

2. En todos los túneles se tendrán materiales adecuados para primeros auxilios, y cualquiera otra facilidad para dar la atención apropiada a los trabajadores lesionados.

3. Los materiales para primeros auxilios se conservarán en estado sanitario y en condiciones de usarse.

4. En todos los frentes de trabajo se establecerán los medios de comunicación necesarios (teléfono, radio, etc.) para solicitar los servicios médicos.

5. Se harán inspecciones frecuentes de todos los materiales para primeros auxilios.

6. Se dispondrá de facilidades adecuadas para dar atención médica oportuna a los trabajadores lesionados.

7. Los cobertores de lana, sábanas o cubiertas impermeables se conservarán en paquetes sellados a prueba de -

humedad y polvo.

8. Se colocará una camilla, con un cobertor de lana, una cubierta impermeable o una cubierta equivalente y materiales para primeros auxilios en un sitio conveniente dentro de todos los túneles de más de 400 metros de longitud o en algún sitio cercano a ellos, para utilizarse en la atención a los trabajadores lesionados.

9. Todos los Supervisores de Seguridad y los sobrestantes y por lo menos un trabajador en cada cuadrilla, deberán haber recibido instrucción en primeros auxilios en el curso de los últimos dos años y deberán ser competentes para administrar el tratamiento de emergencia apropiado.

10. La instrucción debe ser impartida por un médico, enfermero o persona que tenga un Diploma ó Certificado en vigor de Instructor de Primeros Auxilios.

11. Para neutralizar las quemaduras ocasionadas por el acelerante Sigunit A (SIKA), se recomienda una solución de ácido bórico de 3% p.p. y para la protección de la piel el uso de cremas a base de silicones (por ejemplo: Atrix).

12. Todos los trabajadores tienen la obligación de asistir a las prácticas de primeros auxilios y salvamento, cuando sean requeridos para ello.

C. BOTIQUINES

1. Deberán proporcionarse botiquines de primeros auxilios, instalándose en lugares apropiados, cerca de los frentes de trabajo, y deberán estar protegidos contra daños y contaminación por polvo, humedad, etc.

2. Los botiquines de primeros auxilios deberán contener compresas y vendajes, pomadas para quemaduras, antisépticos, tela adhesiva, torniquetes, tijeras de punta roma, etc., y demás medicamentos y material médico estipulado para prestar primeros auxilios.

3. Los botiquines de primeros auxilios deberán contener instrucciones sencillas y claras para seguirse en las emergencias, y deberán surtirse después de cada ocasión de uso.

4. Los botiquines de primeros auxilios deberán estar a cargo de una persona responsable que esté capacitada para prestar primeros auxilios, y su contenido deberá ser revisado cuando menos una vez al mes por la persona que lo

tenga a su cuidado.

D. CAMILLAS

1. Deberá haber a la mano camillas para el transporte de lesionados, y dos cobijas limpias para cada camilla.

2. En ningún caso habrá menos de una camilla por cada 100 trabajadores por turno.

E. EQUIPO DE SALVAMENTO

1. Los frentes de trabajo deberán contar con una cuadrilla de salvamento, adiestrada y provista de elementos adecuados para desempeñar sus funciones.

2. Deberá tenerse disponible y a la mano equipo de rescate y de resucitación.

3. Los miembros de las cuadrillas de salvamento deberán pasar un examen médico anual y, además, todos aquellos que se juzgue necesario.

F. AMBULANCIAS

1. Para evitar, en los sitios aislados, las esperas innecesarias de atención a los trabajadores lesionados se dispondrá de una ambulancia para su transporte inmediato a las clínicas o Centros Hospitalarios.

2. La ambulancia es un vehículo de uso exclusivo para trasladar personal lesionado en accidente de trabajo, del frente en que ocurre el accidente a la Central de Emergencias de la Gerencia correspondiente y de ésta, si el caso lo amerita, a la Clínica del Instituto Mexicano del Seguro Social.

3. El médico de guardia en la Central de Urgencias, es responsable del manejo de la ambulancia y del personal de la misma.

4. Durante sus recorridos en servicio, la ambulancia llevará encendidas las luces intermitentes y los flashes.

5. No se usará la sirena en el trayecto entre lumbreras cuando se vaya por algún lesionado ni cuando se le traslade a la Central de Urgencias de la Gerencia que le co

rresponda. Sólo por órdenes del médico de guardia, podrá usarse la sirena en carretera y cuando la ambulancia vaya con destino a alguna Clínica del I.M.S.S.

6. La ambulancia no desarrollará una velocidad mayor de 60 km/h. en el trayecto entre lumbreras y sólo rebasará esta velocidad pero sin pasar de 100 km/h., cuando viaje en ella el médico en turno. Rara vez es necesaria la rapidez en el transporte del lesionado del sitio del accidente al hospital y, generalmente, esto no ayuda al herido y con frecuencia provoca severas lesiones y hasta la muerte. "ES MAS IMPORTANTE PARA EL TRABAJADOR LESIONADO, SU TRANSPORTE CUIDADOSO AL HOSPITAL QUE LA RAPIDEZ DE SU LLEGADA".

7. Los conductores de ambulancia deben tener especial cuidado en su trabajo y obedecer el reglamento de tránsito.

8. Al finalizar su turno, los conductores de ambulancia entregarán ésta a su relevo, perfectamente limpia, con los combustibles necesarios y reportarán cualquier falla mecánica en dicho vehículo.

G. ENFERMEDADES CONTAGIOSAS

Cuando se presente o se sospeche que hay una enfermedad contagiosa en el campamento, la Empresa deberá notificarlo a la Autoridad Sanitaria competente.

H. AVISOS

Deberán colocarse avisos en lugares estratégicos manifestando la ubicación de los botiquites de primeros auxilios; ambulancia, camilla y el lugar en donde puede encontrarse a la persona encargada de prestar los primeros auxilios; ubicación del teléfono más cercano y número telefónico y nombre de la persona o Centro que haya de llamarse, sitios de los extinguidores de incendio, etc..

SEGURIDAD EN EL MANEJO DE EXPLOSIVOS

Todos los explosivos son peligrosos y deben ser manejados y usados con cuidado por personas competentes y experimentadas y bajo la vigilancia de éstas. Todas las personas que manejan explosivos tienen la responsabilidad de conocer y poner en práctica todas las medidas aprobadas de seguridad.

De todo accidente que ocurre con explosivos, (que generalmente reviste serias consecuencias) se analizan a fondo las causas que lo originaron y se determinan las normas de seguridad necesarias para evitar accidentes similares. Por lo tanto debemos considerar el cúmulo de experiencias de muchos años, de muchas gentes y de muchos lugares.

Con el conocimiento anterior deben establecerse procedimientos estrictos de manejo y uso de explosivos en los que se eviten los riesgos o se proteja de los mismos.

Solo en los polvorines y en el carro de explosivos o perrera deben almacenarse los explosivos, diferenciándose uno del otro en que en el primer caso podemos tener la dotación requerida para varios turnos de trabajo y en el segundo, solo la necesaria para las tronadas de un día de trabajo, con un lógico excedente que evite problemas por falta del mismo.

Los polvorines de la obra se han construído de modo que cumplen todas las recomendaciones de seguridad.

El carro de explosivos o perrera tiene dos compartimentos separados para alojar en uno los artificios y en el otro solo la dinamita. Debe contar con llave que asegure las puertas de los compartimentos.

La perrera siempre que esté cargada, deberá ser jalada por la locomotora y no empujarse.

Se ha elaborado un procedimiento de trabajo para solicitar el servicio de transporte de explosivos del polvorín a la obra, que se hace en camionetas acondicionadas para ese fin.

Nunca se transportan en el mismo vehículo la dinamita y los estopines, ésto sólo se autoriza en la perrera o carro de explosivos.

Los explosivos al llegar a la obra, deberán ser transladados de inmediato por la persona encargada al carro de explosivos o perrera. Deberá bajar en viajes separados la dinamita y los estopines, no debiendo hacer uso de la jaula otras personas o llevar otros materiales. Se le dará aviso al malacatero que se van a bajar los explosivos.

(Cuando el carro de explosivos se encuentre en la superficie, se almacenan la dinamita y estopines en sus compartimentos respectivos, se cierra con candado y puede bajarse al túnel en la plataforma correspondiente, siguiendo las indicaciones de no viajar en la plataforma más que el encargado).

El responsable de bajar los explosivos, deberá comunicarse al túnel para que en ese momento no haya aglomeración de personal

o maniobras que pudieran ser riesgosas.

Generalmente el pedido de los explosivos al polvorín se hace por cajas de dinamita y por piezas de estopines de diferentes tiempos. Deberá proporcionarse para los estopines una caja de madera con divisiones para cada retardo y que en ésta forma el encargado del polvorín lo surta al del transporte y en la misma se lo entreguen al del túnel, quién los guarda en la perrera.

La perrera será jalada por la locomotora al frente donde se vayan a preparar los cebos, no viajando más que el operador y el encargado de los explosivos, debiendo estacionar la perrera al lado contrario al de líneas de corriente eléctrica, en lugar donde no estorbe y esté libre de riesgos de choque.

Se sacan los cartuchos de dinamita y estopines que se requieran para los cebos, llevándose a una mesa de madera donde se preparan. Esta mesa debe situarse alejada de las líneas de corriente.

Es importante vigilar que en ésta etapa de preparación de los explosivos debe evitarse el acceso a la zona de personas innecesarias.

Para la preparación de los cebos, solo se utilizarán herramientas de madera.

Los cebos que se vayan terminando deberán colocarse en cajas de madera, con separadores para cada retardo, las que se cerrarán y transportarán al frente cuando se hayan terminado los trabajos de barrenación y se haya cortado la corriente en el jumbo.

La iluminación necesaria para cargar el frente deberá proporcionarse con lámparas de turbina de aire instaladas en el jumbo o con reflectores eléctricos separados del jumbo a distancias no menor de 15 mts.

Al terminar la barrenación y haber cortado la corriente en el jumbo, teniendo lista la iluminación para carga el frente, se llevan al jumbo las cajas de dinamita requeridas y los cebos.

Solo se emplearán faineros de madera para retacar los barrenos.

Los explosivos que sobren después de cargar el frente, se regresarán a la perrera, debiendo desarmar los cebos que hubieren quedado y se regresará la perrera a un sitio seguro.

Teniendo en consideración los múltiples riesgos que existen en el transporte superficial, descenso a túnel y acarreo a la perrera de los explosivos, se considera más seguro dotar los

requerimientos diarios en cada lumbrera y almacenarlos en la perrera.

Solo personas competentes y autorizadas para el uso de explosivos, estarán a cargo inmediato de todas las operaciones de voladura.

El explosor o líneas de circuitos de iluminación se utilizan como fuente de energía para la tronada. Dependiendo de lo anterior las conexiones se harán en serie o en paralelo y combinación de ellas, siguiendo las recomendaciones de los fabricantes de explosivos y de los explosores.

Los cables para la tronada se alojarán en el lado del túnel opuesto al de todas las líneas de fuerza e iluminación y lejos de tuberías, rieles y conductores similares. Se suspenderán de una manera apropiada de aisladores y se protegerán de cualquier contacto con los marcos de acero usados para el ademe del túnel.

No se usarán circuitos o sistemas conectados a tierra para las voladuras.

Los cables permanentes para voladura y los interruptores para voladura, serán conservados en condiciones adecuadas por una persona competente.

Solamente una persona debidamente capacitada en los sistemas de voladura operará el explosor o lo conectará con los cables; estas conexiones no se harán hasta después de haber terminado TODOS los trabajos preparatorios para la voladura y después de retirar al personal hasta un lugar seguro.

Solamente se usará corriente eléctrica procedente de los circuitos de iluminación para hacer explotar cargas, cuando las conexiones eléctricas con dicho circuito se hagan por medio de una caja de interrupción cubierta.

Cuando la voladura se haga por medio de un circuito de iluminación, nadie entrará al sitio en que se hizo la voladura, sino hasta después de haber desconectado los cables de voladura permanentes de la fuente de energía eléctrica y hasta después de haber asegurado en la posición "abierta" el interruptor usado para la voladura.

Se instalarán conexiones de clavija y receptáculo para que la operación de cierre o de interrupción del circuito en este punto, sea una operación manual sencilla y serán de un tipo que evite que la clavija sea extraída accidentalmente; no serán intercambiables con ninguna otras clavijas ni receptáculos utilizados en el túnel.

Los cables permanentes para voladura y los conductores provisionales, serán de alambre macizo de cobre impermeable y aislado. Tendrán capacidad suficiente para conducir la corriente necesaria por la voladura y en ningún caso serán de un diámetro menor que el recomendado por el fabricante de los explosivos.

Todos los empalmes estarán correctamente hechos, los alambres se unirán de tal manera que queden eléctrica y mecánicamente seguros. Los empalmes de los cables permanentes, se aislarán con cinta o algún otro medio efectivo.

Se instalará un interruptor de operación externa en buenas condiciones de servicio y en los puntos desde donde se haga la voladura de las cargas.

Este interruptor quedará instalado en el lado del túnel opuesto al correspondiente a los circuitos de iluminación y fuerza

Este interruptor se mantendrá normalmente en la posición desconectado. En la posición "desconectado" los dos cables del circuito quedarán en corto circuito, pero no conectados a tierra. El interruptor se dispondrá de tal manera que no pueda permanecer en la posición de "volar" al soltar la palanca.

El interruptor para la voladura estará a no menos de 300 metros del frente del túnel si la longitud de éste es mayor, o en el portal o superficie si la longitud excavada es menor.

El circuito usado para la voladura se probará antes de hacer explotar las cargas. Para estas pruebas se utilizará un galvanómetro diseñado especialmente para los trabajos de voladura.

Los cables auxiliares de distribución se conectarán en corto circuito hasta el momento en el que se conecten con los alambres conductores. Los alambres conductores se conectarán en corto torciendo los extremos desnudos uno con otro, hasta el momento en el que se conecten con el cable permanente usado para la voladura.

La persona que haga la conexión con los cables auxiliares de distribución, tendrá en su posesión los dos extremos de los alambres conductores y después llevará estos alambres conductores desde el frente hasta los cables permanentes para la voladura. Deben colgar o estar suspendidos de soportes de madera o de algún material aislante.

Las llaves del interruptor para la voladura deben estar en posesión del sobrestante o de la persona que haga la voladura. Cuando sea necesario hacer reparaciones, prolongaciones o plac

bas de la línea de voladura o de las usadas para hacer explotar las cargas, el sobrestante o la persona deben abrir los candados y permanecer en el interruptor hasta que puedan volverlo a asegurar.

No se harán preparaciones para carga ni voladura hasta que el interruptor esté asegurado y las llaves en posesión del sobrestante o de la persona que hace la voladura.

Al final del turno, el sobrestante o la persona que hace la voladura entregará las llaves al sobrestante o a la persona que hace la voladura correspondiente al siguiente turno. El superintendente debe guardar en su oficina y bajo llave, un juego duplicado de las llaves. No debe existir en el túnel ningún otro juego de llaves que correspondan a éste candado.

Antes de iniciarse las operaciones de carga, todos los circuitos eléctricos se retirarán a una distancia segura del frente.

No se conectarán los alambres conductores a la línea permanente para la voladura sino hasta que todo el personal se haya retirado del frente con excepción de las personas que hagan la conexión. Todo el personal se retirará con él hasta el punto en el que está instalado el interruptor para la voladura. No se harán trabajos innecesarios en el frente durante la carga o después de ella y antes de la voladura.

Después de la voladura, el personal debe esperar el tiempo necesario para la limpieza del aire mediante el sistema de ventilación. Los interruptores usados para la voladura deben asignarse en la posición "desconectado", debe desconectarse el cable portátil y al regresar al frente, los alambres conductores deben desconectarse de los extremos del cable permanente para la voladura; los extremos descubiertos de cada uno de ellos se conectarán entre sí a corto circuito torciéndolos uno con otro.

Todo intento para retirar explosivos o tacos de un barreno cargado estará estrechamente supervisado por el sobrestante.

Si está dentro de la seguridad hacerlo, se debe colocar un nuevo cebo en el barreno para volver a volarlo debiédolo enfriar previamente.

No se barrenará sobre el fuque de la tronada anterior.

De taparse algún barreno durante la carga deberá emplearse una cuchara de bronce o cobre para retirar el obstáculo y nunca volver a meter la barrena cuando se ha cargado parte del frente.

MEDIOS DE PREVENCION DE ACCIDENTES

INSPECCION

INVESTIGACION DEL ACCIDENTE

INSTALACION

ANALISIS DE SEGURIDAD DEL TRABAJO

ING. EDDIE MEDINA CARRIZO

FUENTES MAS COMUNES DE ACCIDENTES EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION.

CAIDAS DE PERSONAS O CAIDAS DI MATERIALES.

De cimbras durante erección, modificación o desmantelado.
De cimbras debido a colapso o falla total o parcial
De plataformas de Trabajo, andadores, plataformas colgantes, etc.
De escaleras fijas o de mano.
A través de aberturas en los pisos o paredes.
A través de techos de materiales frágiles.
De techos inclinados.
Durante el trabajo en picos resbalosos.
De estructuras de construcción durante demolición o erección.
De elevadores o en cubos de elevadores.
Dentro de excavaciones.
Dentro del agua.
En el piso chocando contra objetos
En el piso al cargar o transportar cargas.

EXCAVACIONES Y PERFORACION.

Atrapados por caída de material.
Golpeados por material debido a derrumbes de los lados.

EQUIPO DE LEVANTAMIENTO.

Caídas de la plataforma o jaula.
Atrapados por el elevador.

MAQUINARIA ELECTRICA Y NO ELECTRICA.
FUEGOS Y/O EXPLOSIONES.
RESBALADURAS Y/O GOLPES CONTRA OBJETOS.
CLAVOS SALIENTES EN LA MADERA.
HERRAMIENTAS DE MANO.
TRANSPORTE FERREO Y DE OTROS TIPOS.
ELECTRICIDAD.

COMO PUEDE UN SUPERVISOR LOGRAR SEGURIDAD EN SU TRABAJO.

1.- Ser un buen ejemplo para sus subordinados y desarrollar -- buenos hábitos.

2.- Considerar que sus trabajadores laboran con seguridad y mostrarles que para todos es muy importante el trabajar con seguridad. Hablar frecuentemente acerca de la seguridad.

3.- Actuar y corregir condiciones y actos inseguros sin dilatación.

4.- Insistir en tener el área de trabajo limpia.

5.- Asegurar que todos los trabajadores son capaces de llevar a cabo su trabajo en una manera segura y si es necesario llevar a cabo entrenamiento.

6.- Asegurar que están en uso sistemas de trabjado adecuados y checarlos frecuentemente.

7.- Vigilar que las reglas y reglamentos se cumplan en todo - tiempo. Deberá ser rutina un chequeo diario.

8.- Investigar accidentes e inspeccionar el área de trabajo - para tratar de evitar futuros accidentes.

9.- Distribuir equipo de protección donde sea necesario y explicar su propósito. Asegurar que éste se use adecuadamente.

10.- Asegurar que las herramientas de mano están en buenas condiciones y que se usan correctamente.

11.- Revisar sus acciones y rutinas a intervalos regulares.

INSPECCION DE SEGURIDAD

GUIA DE LOCALIZACION DE CONDICIONES INSEGURAS MAS COMUNES.

Marque con un X las condiciones deficientes que encuentre.

EXCAVACIONES Y CIMENTACIONES.

Carencia de apuntalamiento

Lados derrumbándose

Cimbras o madera usada con clavos salientes.

Hay muy cerca de caminos o andadores.

Bordes no protegidos.

Tierra muy cerca de la excavación.

Rellenos de realizados alrededor de cimentaciones terminadas.

ACCESOS.

Insuficientes al lugar de trabajo.

Sin pasamanos.

Construidos inadecuadamente.

De material defectuoso.

PISOS

Agujeros no protegidos

Agujeros cubiertos con placas no marcadas.

Agujeros cubiertos con placas débiles.

Acceso limitado.

Material almacenado cerca del borde del agujero.

Agujeros cerca de entradas

Tornillos, pernos o varillas salientes.

CIMBRAS.

Erigidas por trabajadores no entrenados.

Construidas inadecuadamente

Carencia de accesos.

Carencia de soportes de base.

Carencia de uniones.

Carencia de pasamanos.

Carencia de rodapiés

ESCALERAS PORTATILES

Muy cortas
No aseguradas correctamente

No usadas correctamente

Dañadas
Colocadas en ángulo erróneo

OPERACIONES DE LEVANTAMIENTO

No usando el equipo correcto

Eslingas sobrecargadas

Práctica de eslingado incorrecto.

Sobrecargando las grúas

Usando grúas sobre terreno no nivelado y sin estabilizar.

Indicador de carga segura inoperativo.

LIMPIEZA

Circulaciones obstruídas
Remoción inadecuada de basura o desperdicios.

Estibados inseguros o muy altos

Material no almacenado en órden.

ELECTRICIDAD

Conexiones inseguras (sin clavijas)

Uso de equipo inseguro

Carencia de protecciones

Cables desnudos

Cables dañados

GUIA DE LOCALIZACION DE ACTOS INSEGUROS

1.- ¿Los trabajadores, manejan sin autorización la maquinaria, herramienta, dispositivos y otro equipo?

2.- ¿Trabajan u operan maquinaria a velocidad peligrosa?

3.- ¿Quitan protecciones o hacen que no funcionen las proteccio - nes y otro equipo de seguridad?

4.- ¿Emplean herramientas o equipo defectuoso?

5.- ¿Usan las herramientas o el equipo en forma insegura?

6.- ¿Emplean las manos o alguna otra parte del cuerpo en lugar de las herramientas?

7.- ¿Estiban, manejan o depositan materiales en forma insegura?

8.- ¿Se paran debajo de cargas suspendidas o trabajan cerca de aberturas en el piso?

9.- ¿Viajan sobre la carga en vehículos?

10.- ¿Transitan por vías de ferrocarril o cruzan vías o caminos transitados en sitios no seguros para el cruce?

11.- ¿Reparan o ajustan equipo en movimiento, o sujeto a presión, o cargado eléctricamente, o que contiene substancias peligrosas?

12.- ¿Distrae alguien la atención de los trabajadores o les dá bro - mas o sorpresas?

13.- ¿Usan dispositivos para seguridad o el equipo de protección personal que se necesita y se les ha suministrado?

14.- ¿Qué otros actos inseguros se cometen?

15.- ¿Cumplen con los reglamentos y reglas de seguridad?

16.- ¿Conocen los trabajadores las reglas de seguridad?

17.- ¿Chocan las condiciones de uso del equipo de levantamiento?

18.- ¿Está disponible y se usa correctamente?

19.- ¿Mantienen su área de trabajo limpia y ordenada?

20.- ¿Gustan de usar bromas de mal gusto en el trabajo a sus compañeros?

SUGESTIONES PARA CONTROLAR CONDICIONES INSEGURAS Y MANTENER ORDEN Y LIMPIEZA.

1.- Fije con qué frecuencia conviene realizar las inspecciones y una vez atentuada sujétese a ese calendario.

2.- Defina el curso que va a seguir el recorrido y el tiempo que se empleará en él.

3.- Anticipe a sus trabajadores la forma, frecuencia y objeto de las inspecciones.

4.- Ponga usted el ejemplo en cuanto a orden y limpieza.

5.- Explique a cada compañero la responsabilidad que tiene en cuanto a orden y limpieza e indíqueles la razón para esa responsabilidad. Explíqueles también cómo pueden cumplirla.

6.- Trate de aconsejar claramente a los trabajadores sobre la seguridad y cerciórese de que le han entendido.

7.- Facilite el aseo del área de trabajo, y coopere a ello cuidando de la conservación de recipientes en lugares estratégicos y vigilando que éstos se vacíen oportunamente.

8.- Procure que no se almacenen "temporalmente" objetos o materiales en lugares que no corresponden.

9.- Debe eliminarse el hábito de almacenar en los lugares de trabajo, exceso de materiales. Este es uno de los peóres hábitos en contra de la limpieza y el orden.

10.- Debe asegurarse que los solventes y líquidos inflamables se guarden en recipientes adecuados y en los lugares asignados para este objeto. No deberá permitirse en ningún momento que se guarden en el área de trabajo estas substancias, excepto las necesarias para uso inmediato.

11.- Estimule a los trabajadores para que informen a sus superiores de las condiciones que conducen al desaseo, a la falta de orden y consecuentemente pueden propiciar accidentes.

12.- Coopere con el personal encargado del manejo de materiales, a fin de que las zonas de almacenaje temporal estén bien marcadas o identificadas y sean fáciles de usar.

INVESTIGACION DEL ACCIDENTE

PROCEDIMIENTO.

1.- Vaya al lugar del accidente tan pronto como sea posible.
2.- Obtenga una idea general de la situación y qué fué el accidente.
3.- Interrogue testigos primero en términos generales y luego en términos específicos.
4.- Determine hechos.

QUIEN FUE LESIONADO
QUE PASO, DONDE, CUANDO Y COMO.
QUE TRABAJO SE ESTABA HACIENDO, COMO, CON QUE EQUIPO.
CON AYUDA DE QUIEN, PORQUE SE ESTABA HACIENDO Y BAJO QUE INSTRUCCIONES.
QUE ESTUVO ERRONEO.
QUE CAUSO LA LESION.
QUE PASO INMEDIATAMENTE DESPUES DEL ACCIDENTE.

Si es posible interrogue a la persona accidentada.

5.- Determine:

I) Las condiciones inseguras que contribuyeron al accidente.
II) Los actos inseguros que contribuyeron al accidente.
III) Porqué siguieron las condiciones inseguras.
IV) Porqué se cometieron los actos inseguros.

Obtenga las opiniones de los testigos pero haga sus propias conclusiones.

6.- Decida qué acciones tomará para eliminar o corregir los puntos 5 (I) (II) (III) (IV) anteriores y prevenir repetición en esta situación o en alguna otra situación similar.

7.- Ponga en práctica las acciones que ha decidido.
8.- Reporte el accidente en los formatos oficiales establecidos.

IMPORTANTE.

CUANDO INTERROGUE A LAS PERSONAS:

NO SALTE A CONCLUSIONES.
NO HAGA PREGUNTAS QUE INSINUEN UNA RESPUESTA.
SEA CONSIDERADO Y TRANQUILO

ANALISIS DE SEGURIDAD DE LAS OPERACIONES.

P R O C E D I M I E N T O.

I.- DIVIDA LA OPERACION EN SUS DETALLES COMPONENTES.

a).- Anticipe a los interesados el análisis que va a hacer.

b).- Observe la operación varias veces y determine donde va a comenzar y a terminar su análisis.

c).- Anote los detalles; pesos, distancias, condiciones del material y objeto, condiciones del local, etc.

II.- LOCALICE LOS RIESGOS.

a).- Obrenga la colaboración de los trabajadores y otras personas afectadas.

b).- Determine en cada detalle el riesgo presente.

c).- Consulte la experiencia de accidentes anteriores.

III.- DETERMINE EL METODO SEGURO.

a).- Primero trate de eliminar el riesgo; si no puede eliminarse, determine cómo puede protegerse la máquina o el equipo involucrado.

b) Si no puede protegerse la máquina o el equipo, ¿cómo puede protegerse el trabajador?, ¿qué instrucciones deben dársele?

c).- Ponga por escrito el Método Seguro.

IV.- APLIQUE EL METODO SEGURO

a).- Obtenga la aprobación de su jefe, subordinados y otras personas, y reconozca la colaboración recibida.

b).- Adiestre al personal en el Método Seguro.

c).- Compruebe resultados.

SIEMPRE HAY UN METODO MEJOR Y MAS SEGURO

HOJA DE ANALISIS DE SEGURIDAD

OPERACION: ANALIZO:

DEPARTAMENTO: FECHA:

METODO ACTUAL			METODO MEJORADO	
DETALLES	RIESGOS	CORRECCION	DETALLES	INSTRUCCIONES

CENTRO INDUSTRIAL DE PRODUCTIVIDAD

FABRICA CONTINENTAL DE TORNILLOS

MEMORANDUM

México, D.F., marzo 8 de 1973.

DE: JUAN LOPEZ M.
Departamento de Embarque.

A: SR. FEDERICO MENDOZA
Jefe de Producción.

ASUNTO: MEJORAS EN LA REVISION Y MANEJO DE CAJAS QUE SE EMBARCAN, MEDIANTE UN NUEVO METODO.

Podemos lograr las siguientes mejoras:

1.- Evitar lesiones a nuestro trabajador y daños al producto, que vienen ocasionando transtornos y gastos.

2.- Revisar y despachar 100 cajas más al día.

3.- Aprovechar más espacio en el Departamento de Embarque, haciendo los siguientes cambios:

1.- Mejorar el acabado de las cajas.

2.- Dotar de guantes de lona al trabajador.

3.- Dotar al Departamento de tres carritos de 1.20 x 1.50 x 0.75 M., los cuales pueden construirse en nuestro Taller Mecánico.

Acompaño los detalles de Método que se sigue actualmente y que propongo, el cual fue logrado con la colaboración y sugestiones del trabajador encargado, señor Enrique Reynoso.

RACION: Revisión y Marcado de cajas de tornillos.
ARTAMENTO: Embarque

LOCALIZO: Juan López M.
FECHA: 5 de marzo de 1973

METODO ACTUAL			METODO MEJORADO	
DETALLES	RIESGOS	CORRECCION	DETALLES	INSTRUCCIONES
ina a tomar caja ado tosco. inclina a tomarla. levanta-pesa 20 Kgs.	Astillas-Machucón Relajamiento caída caja.	Mejorar acabado de cajas.	Camina a tomar carro cargado con 6 cajas. Lo lleva a área de trabajo.	
lleva a banco de bajo. deposita revisa a tapa coloca a martillo y clavos	Caída de caja Machucón Astillas.	Distribuir 6 cajas en carro de 0.75 M. de alto para revisarlas y rotularlas sobre carro.	Revisa 6 cajas. Toma 6 tapas Las coloca. Toma martillo y caja con clavos. Las clava	Usar guantes de lona. Revisar mango y cabeza-mango lir pio.
va tapa a martillo y clavos a crayón. ta tipo de tornillos a crayón.	Golpe con martillo.	Instruir en manejo	Dejar martillo y clavos. Toma crayón Rotula cajas. Dejar crayón	Tomar extremo de mango y clavar acercando la cab za del martillo.
a caja. lleva a punto de embarque..	Machucón Caída de caja	Las cajas se entregan a punto de embarque, sin remover las del carro que las trajo.	Lleva carro a punto de embarque. Vuelve por otro, carro cargado.	
inclina a dejarla deposita en el suelo levanta.	Relajamiento. Machucón			

RESUMEN DE LA 1A. SESION

1.- Los accidentes generalmente son el resultado de falta de control o ineficiencia. Por lo tanto, para prevenir accidentes, el trabajo debe ser planeado, organizado y controlado. Estos aspectos son principalmente la responsabilidad de quienes ejercen funciones de dirección.

2.- La finalidad de la Seguridad Industrial es proteger el trabajador en el desarrollo de sus labores y accesoriamiento a los familiares que dependen de él a la economía del país - reducir al mínimo los daños a la planta y equipo.

3.- Accidente y lesión no es la misma cosa. La lesión es consecuencia del accidente, y al ocurrir éste se puede producir la lesión.

4.- Se debe tratar de eliminar los accidentes y automáticamente se estará protegiendo a la persona contra una lesión.

5.- No todos los accidentes causan lesión, pero siempre afectan a uno o más de los elementos de la producción.

6.- El accidente es un acontecimiento imprevisto que interrumpe o transtorna el desarrollo ordenado de la actividad que se realiza, y cuando este accidente ocurre en un lugar de trabajo, siempre afecta a uno o más de los elementos de la producción.

7.- En la producción, sea de objetos o servicios, generalmente intervienen cinco elementos: hombre, maquinaria, equipo, materia prima y tiempo.

8.- Se considera que el costo total de un accidente se compone de dos partes:

a).- El costo directo.
b).- el costo oculto o indirecto.

El costo directo está representado por los salarios de la persona lesionada durante el período de su incapacitación; su atención médica e indemnización en casos de incapacidad permanente. Este costo ordinario es cubierto por el Seguro Social o por compañías aseguradoras.

El costo indirecto u oculto está representado por diversos perjuicios, entre ellos: interrupciones en la producción, da

a la maquinaria, materia prima, producto o instalaciones; costo de adiestramiento de personal sustituto, desperdicios derivados del accidente, etc.

Este costo indirecto es absorbido por la Empresa.

Las estadísticas y los estudios contables que se han hecho revelan que el costo indirecto suele ser 4.5 y más veces mayor que el costo directo.

9.- El trabajador en sus distintas categorías es el hombre clave para la seguridad en el trabajo, ya que es la causa de ésta, pues se trata de protegerlo, y en esta forma proteger el factor humano de la producción.

SALUD OCUPACIONAL

EFECTOS EN LA PRODUCTIVIDAD DE LOS AGENTES AMBIENTALES

LA FATIGA Y OTROS FACTORES COMO CAUSA DE ACCIDENTES.

PRIMEROS AUXILIOS

DR. FRANCO TRUJILLO
Secretaría del Trabajo
y Previsión Social

SALUD OCUPACIONAL

La salud ocupacional, es la parte de las ciencias de la salud que se encarga de mantener el más alto nivel físico, mental y social del trabajador, cualesquiera que sea su profesión u oficio, prevenir los accidentes y enfermedades en los centros de trabajo, por medio de la eliminación o minimización de los agentes nocivos al trabajador y finalmente adaptar el trabajo al hombre y cada hombre en su trabajo.

La salud ocupacional es una ciencia multidisciplinaria, en la que intervienen diferentes profesionistas, desde el médico especialista en esta rama, médicos de las diversas especialidades, ingenieros en sus diferentes campos, arquitectos, químicos, toxicólogos, abogados, higienistas, psicólogos, psiquiatras, sociólogos, laboratoristas, etc. etc.

Unas con otras, las disciplinas científicas que han desembocado en el ancho campo de la salud ocupacional han creado ligas cada vez más estrechas entre sí. Sappington, en los Estados Unidos, define la salud industrial como "una forma especializada de práctica médica y de salud pública, que combina ciertos elementos de la medicina, ingeniería, química, toxicología, psicología, sociología, estadística y los principios de la prevención de las enfermedades y de la promoción de la salud, con el fin de incrementar la eficiencia física y mental del trabajador y mejorar la producción en calidad, cantidad y permanencia". Husey tambien en los Estados Unidos compara la salud ocupacional con un banquillo de tres patas, representando una la medicina, otra la ingeniería y la otra las ciencias sociales, y comenta que hasta ahora hemos tratado de balancearnos en el banquillos sobre dos patas y en ocasiones sobre una sola, resultando una posición muy incómoda.

De lo anterior surgen los aspectos médicos, legales, técnicos y sociales de la salud ocupacional.

El aspecto médico enfoca la salud ocupacional bajo el concepto ecológico de la enfermedad y abarca en el mantenimineto de la salud del trabajador a todos los niveles de la prevención como son: la promoción de la salud, prevención específica, diagnóstico y tratamiento oportuno, limitación de incapacidades y rehabilitación.

El aspecto legal lo constituye el derecho del trabajo, que a partir del 1o. de mayo de 1917 es el estatuto proteccionista del trabajador por mandato constitucional y que corresponde a los; obreros, jornaleros, empleados, domésticos, artesanos burócratas, médicos, abogados, artistas, ingenieros, deportis

bas, técnicos, tec., en fin, a todo aquel que presta un servicio personal a otro mediante una remuneración y cuyas normas se encuentran en la Ley Federal del Trabajo que emana del artículo 123 Constitucional.

La Ley Federal del Trabajo define a los riesgos, accidente y enfermedad, en materia laboral, en la forma siguiente:

Artículo 473.- Riesgos de trabajo son los accidentes y enfermedades a que están expuestos los trabajadores en ejercicio o con motivo del trabajo.

Artículo 474.- Accidente de trabajo es toda lesión orgánica o perturbación funcional inmediata o posterior, o la muerte, producida repentinamente en ejercicio, o con motivo del trabajo cualesquiera que sean el lugar y el tiempo en que se presenten. Quedan incluídos en la definición anterior los accidentes que se produzcan al trasladarse el trabajador directamente de su domicilio al lugar de trabajo y de éste a aquél.

Artículo 475.- Enfermedad de trabajo es todo estado patológico derivado de la acción continuada de una causa que tenga su origen o motivo en el trabajo o en el medio en que el trabajador se ha obligado a prestar sus servicios.

El aspecto técnico corresponde a los procedimientos que deben efectuarse para resolver en forma satisfactoria el problema que plantean los riesgos del trabajo.

El aspecto social deriva del derecho humano, el cual se establece bajo la doctrina o filosofía de la seguridad social y se refiere a las prestaciones a que tienen derecho el hombre en razón de su trabajo y cuando por motivo del mismo o de otra índole, perdió su estado de salud, de capacidad para el trabajo o su vida.

En el medio ambiente de trabajo, cuando se mantiene un equilibrio entre el agente, el trabajador y la microatmósfera de trabajo, no se presenta enfermedad o accidente, cuando este equilibrio es roto el agente que es un riesgo potencial, se presenta como tal.

Clasificación de los agentes. La necesidad de clasificar a los agentes es con el fin de tener un sistema de identificación, de valoración y poder establecer bases para su control.

FISICOS:

RUIDO
VIBRACIONES
RADIACIONES
ILUMINACION
PRESION
TEMPERATURA DEL AIRE

VELOCIDAD DEL AIRE
HUMEDAD DEL AIRE.

2.- QUIMICOS:

PARTICULADOS:

HUMOS
POLVOS
NEBLINAS
ROCIOS

NO PARTICULADOS:

GASES
VAPORES

3.- BIOLOGICOS:

VIRUS
BACTERIAS
HONGOS
RIKETSIAS
PARASITOS

4.- MECANICOS.

5.- PSICOSOCIALES.

Para la valoración del ambiente de trabajo generalmente se procede en dos etapas:

Primera.- La visita preliminar, para determinar que operación y área (s) de trabajo presentan agentes que puedan ser perjudiciales y.

Segunda.- La visita complementaria, para determinar la concentración y tipo de agente en el medio ambiente de trabajo, por medio de un estudio detallado que incluye muestreo del ambiente y uso de instrumentos de lectura directa; parámetros que se confrontarán con los tiempos de exposición a los agentes.

Este tipo de evaluaciones son realizadas generalmente por el ingeniero higienista u otros profesionistas adiestrados en este terreno, que auxilian al mismo.

La visita preliminar es de gran utilidad y ahorra tiempo y esfuerzo, cuando el investigador detecta sensorialmente las ope

raciones y/o condiciones peligrosas a las cuales se les aplicara el estudio especifico. En la visita preliminar se deberán considerar los siguientes puntos o factores:

La higiene general de la empresa
Materias primas, productos y subproductos.
Fuentes y tipos de agentes contaminantes.
Detección de actos y condiciones inseguras.

Higiene general de la empresa.- Las condiciones de higiene o sanidad generales de la empresa deben de apegarse a las normas establecidas por la Ley (Código Sanitario, Ley Federal del Trabajo, etc.) observando las condiciones higiénicas más elementales, como desecho de desperdicios, control de plagas, suplemento de agua potable y alimentos.

Materias primas productos y subproductos.- La industrialización moderna hace necesario la utilización de nuevos tipos de materiales, así como combinaciones de estos con otros ya conocidos; por este motivo es importante obtener y conocer todos los materiales usados en la empresa y sus combinaciones posibles en la industria, auxiliándonos en ocasiones muy frecuentes de los proveedores y en otras realizando actividades de investigación profunda.

Posteriormente se establecerá la acción tóxica de los materiales a nivel del humano con la ayuda del toxicologo, médico especialista en Medicina del Trabajo, patólogo etc.

Antes de que una substancia química nueva sea usada en un proceso industrial, o antes de que se envíe al mercado, se deben investigar sus propiedades toxicológicas para establecer las medidas preventivas adecuadas, asi como apegarse a las normas oficiales de seguridad Mexicanas, de la Dirección General de Normas, de la Secretaría de Industria y Comercio.

Fuentes y tipos de agentes contaminantes.- Durante la visita inicial se pueden detectar sensorialmente muchos agente potencialmente nocivos, en las operaciones y procesos de trabajo, actos y condiciones inseguras.

Por ejemplo se detectan ambientes polvosos, sin embargo los polvos que no son visibles son los realmente peligrosos, ya que son los que tienen el tamaño necesario para que sean respirables; en áreas donde no se observen polvos, no quiere decir que esten excentos de ellos.

Por medio del olfato detectamos la presencia de humos, gases, vapores que en ocasiones también son visibles. El ruido lo detectamos por medio del oido, tambien sensorialmente detectamos variaciones -

de la temperatura, humedad, iluminación, radiaciones calóricas, etc. Debe aclararse que no se considera un estudio completo si solamente se realiza la detección sensorial, ya que definitivamente no son medios de valoración sensorial, ya que definitivamente no son medios de valoración exactos.

Dentro de la misma visita debemos observar el número de trabajadores expuestos y los tiempos de exposición en antigue - dad frecuencia y futuro, así como las medidas de protección general y personal.

Detección de actos y condiciones inseguras.- Por medio de la observación directa de los procesos y operaciones se detec - tan los actos inseguros que realizan los trabajadores y las condiciones inadecuadas en las cuales se realiza su trabajo ambas causantes de enfermedades y accidentes de trabajo.

Al realizar la visita complementaria, para llevar a cabo una correcta evaluación, son necesarios los siguientes puntos:

Conocer la naturaleza de la substancia y condición en que se encuentra, o del agente en general.

Conocer la intensidad de la exposición.

Conocer el tiempo de exposición en antiguedad, frecuencia y futuro.

Conocer la susceptibilidad individual de los trabajadores.

Los tres primeros puntos se pueden determinar durante la visita complementaria, el cuarto punto es motivo de estudio médico detallado.

El muestreo es uno de los primeros pasos en la evaluación del ambiente de trabajo. Un suficiente número de muestras del aire ambiental recolectadas a diferentes tiempos de la jornada de trabajo y dentro de condiciones exactas de operación, dará como resultado suficiente información para identificar la concentración e identididad del agente contaminante.

Estos muestreos deben ser realizados por personal adiestrado en el campo de la higiene industrial, que conozca las técni - cas para recolectar las muestras y para realizar su análisis, sin embargo existen muchos aparatos de lectura directa que pueden ser manejados por personal previamente adiestrado.

La medición de los agentes físicos es generalmente por medio de instrúmentos de lectura directa, como: el decibelímetro para la medición de ruido, luminómetro para medición de luz etc. es imposible describir a todos y cada uno de los agentes

ga otro escrito.

El siguiente paso en la evaluación del ambiente de trabajo es el comparar los resultados de las mediciones y análisis de campo con los resultados obtenidos de los exámenes médicos y de laboratorio clínico y toxicológico realizados a los trabajadores, auxiliándonos tambien con las cifras ya establecidas de máximos permisibles para ocho horas de trabajo.

La interpretación de los resultados es la etapa final en la evaluación del ambiente de trabajo, debiendo ser ésta realizada por un equipo de especialistas adiestrados en el campo de la salud ocupacional. Antes de que se determine que un grupo de trabajadores se exponga a un agente debe tener en cuerta los factores siguientes: la naturaleza del agente y condiciones en que se presenta, intensidad de la exposición y tiempo de exposición de los individuos.

Aplicación de medidas específicas.- La aplicación de las medidas específicas para el control de los agentes, depende de tipo de que se trate, pudiendo aplicar una o más medidas correctivas, las que a continuación se exponen, siempre tendiendo a evitar el contacto hombre-agente y combatir este último de ser posible siempre en su origen.

Las medidas correctivas en orden de importancia son:

1.- Modificación del agente o su substitución.
2.- Modificación del procedo.
3.- Aislamiento de la maquinaria
4.- Aislamiento del departamento
5.- Aislamiento del proceso PARCIAL O TOTAL
6.- Aislamiento del trabajador
7.- Equipo de protección general
8.- Equipo de protección personal
9.- Modificación del tiempo de exposición
10.- Control médico y de laboratorio

Otros métodos de control o preventivos son la educación consistente en materia de higiene del trabajo al personal que labora en el seno de la industria.

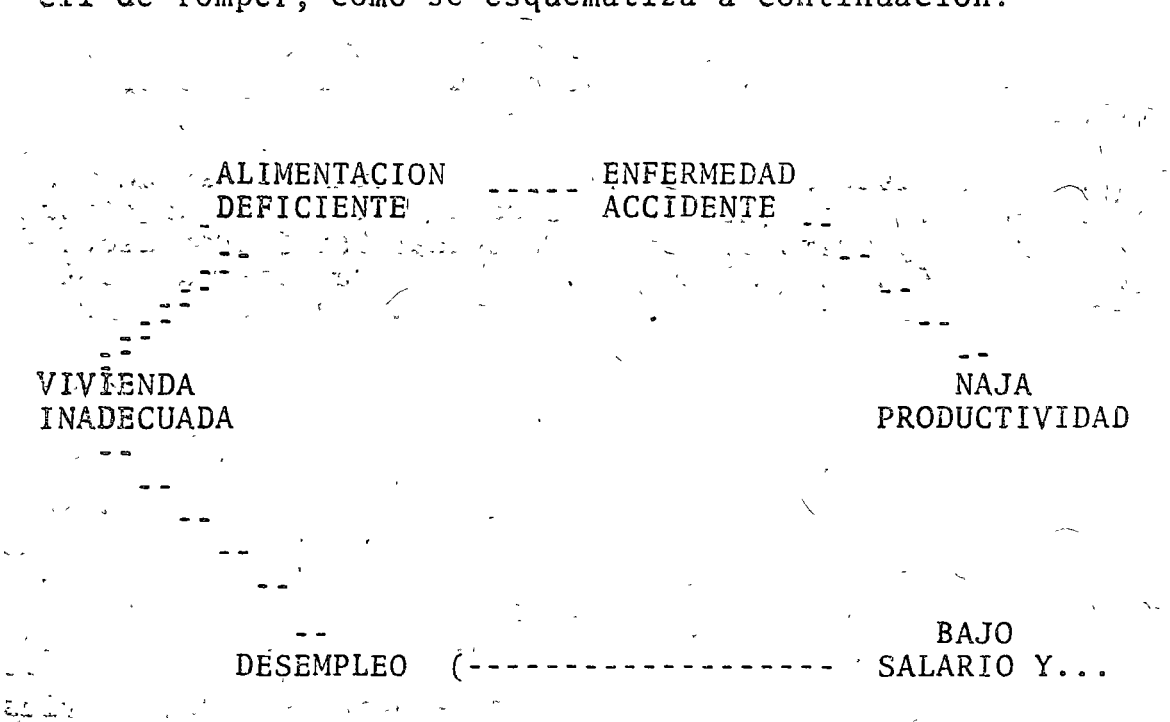
La higiene personal es importante como control de la salud de los trabajadores, evitando de este modo en invariables ocasiones la incidencia de enfermedades.

EFECTOS EN LA PRODUCTIVIDAD DE LOS AGENTES AMBIENTALES.

Es definitivo que el nivel de productividad disminuye en el individuo o en un grupo de estos ante un medio ambiente agresivo, que trae como consecuencia enfermedades o accidentes.

Es muy importante establecer, y hacer conciente de que la seguridad e higiene nunca deben de separarse de la producción. Con esto quiere decir que sin las medidas adecuadas de prevención, si la productividad sufre alteraciones en el sentido negativo, tanto a nivel del trabajador como a nivel de toda la industria consecuentemente.

El detrimento de las funciones físicas y mentales de los individuos, producidos por enfermedad y/o accidente, mina su capacidad de trabajo, que lo encierra dentro de un círculo difícil de romper, como se esquematiza a continuación:



Al existir enfermedad o accidente se presentará cierto grado de incapacidad físico-funcional en el trabajador que consecuentemente no desarrollará en forma integral dentro de su trabajo, dando como resultado bajo salario, inclusive el desempleo que redunda en habitar en viviendas inadecuadas y alimentación deficiente, que propician enfermedades, cerrando asi nuevamente el

círculo.

Se ha propuesto para romper este círculo, eliminar la enfermedad y el accidente, y esto por medio de la prevención principalmente, y para poder aplicar esta se requiere del conocimiento e identificación de los agentes agresivos así como de las medidas de eliminación o control, ya descritos con anterioridad.

Es innecesario mencionar que los accidentes que producen lesión la gran mayoría dejar secuelas que crean individuos inválidos e improductivos total o parcialmente. Como otra consecuencia los accidentes alteran la dinámica familiar, pérdidas económicas y materiales cuantiosas, cabe mencionar por lo anterior que, en el año próximo pasado, el costo de accidentes de trabajo, alcanzó la alarmante cifra de $26,800 millones. El índice de frecuencia registrado por el Instituto Mexicano del Seguro Social en el año de 1972, fué de 47 accidentes con incapacidad por cada millón de horas-hombre trabajadas, valor que aumentó alarmantemente de 1970 a 1972.

De las enfermedades de trabajo más frecuentes en nuestro medio que producen variables grados de incapacidad, podemos mencionar las siguientes:

Enfermedades del sistema broncopulmonar.- Afectan la estructura y funcionamiento de éste sistema. El conocimiento de las alteraciones anatómicas permite predecir o entender las funcionales. Actualmente los métodos de estudio de las alteraciones anatómicas contribuye al desarrollo de pruebas funcionales y esto ha permitido establecer con mayor precisión la etilogía y grado de incapacidad de varias enfermedades de éste sistema. Como agentes causantes tenemos los polvos, humos, gases, vapores, virus, bacterias y hongos como principales.

Las intoxicaciones o envenenamientos, son de gran importancias en los temas de la Medicina del Trabajo; pueden ser clasificados como criminales, suicidas, accidental, o industrial, éste último tipo es el que nos interesa esencialmente para los fines de la materia. Sus agentes causantes son generalmente los químicos y biológicos, actuando a diferentes niveles como: Irritantes al contacto con elementos del organismo, por ejemplo, inflamación y dolor de vias digestiva y respiratorias cuando son ingeridos o inhalados.

Neurotóxicos actuando sobre el sistema neuromuscular, estos incluyen a la mayoría de los tóxicos los cuales pueden actuar en dosis mínimas, nuevamente los principales agentes causales son los químicos y biológicos.

Tóxicos sanguíneos, alteran la hemoglobina y corpusculos sanguíneos.

Las acciones de los tóxicos no son generalmente exclusivas de una clase de estructura o función. Todas las funciones sufren directa o indirectamente y al final la causa es la muerte.

Otro capítulo muy importante es el de las dermatosis profesionales, ya que la piel es uno de los sistemas mas directamente en contacto con el medio externo, y por lo tanto muy rico en alteraciones físico-funcionales, podriamos decir que casi todos los agentes mencionados en el capítulo anterior ejercen su acción sobre este organo, que es la piel, produciendo si no invalidez, si incapacidad para el trabajo en un alto porcentaje. Dentro de este caítulo incluimos los órganos de la visión, que ocupan los primeros lugares en cuanto a lesión se refiere.

MONOXIDO DE CARBONO

Sinónimos	Ninguno
Descripción	Gas incoloro, inodoro, [illegible]
Contaminación	Combustión incompleta de materiales carbonosos.
Concentración máx. permisible	100 ppm. en aire.

		Absorción	Inhalación
TOXICIDAD		PATOLOGIA	Forma carboxihemoglobina y, por tanto, anoxia en los tejidos.
		SIGNOS Y SINTOMAS.	Carboxihemoglobina por debajo de 10%: ninguno Carboxihemoglobina entre 10 y 30%: Dolor de cabeza Somnolencia Lasitud Náuseas y vómitos Velocidad respiratoria aumentada. Aumento de la velocidad del pulso Carboxihemoglobina entre 30 y 40%: Los mismos síntomas descritos, más: Disminución de la visión. Disminución de la presión sanguínea. Incoordinación muscular Carboxihemoglobina entre 40 y 60%: Los mismos síntomas descritos, más: Debilidad generalizada

Enfermedades del oido.- Entre las alteraciones más frecuentes se encuentran las hipoacusias, o sorderas parciales y anacusias o sorderas totales, causadas por la alta intensidad del ruido por presiones (barotrauma), por intoxicaciones o por traumatismo craneoencefálico.

Desde 1911 la psicología industrial ha hecho grandes progresos en el campo de la salud ocupacional y de la productividad llenando un gran vacío en ambos órdenes, ya que la esfera mental y emocional del trabajador juega un papel importantísimo en su salud integral y sus aptitudes son factores decisivos en el éxito o fracaso de su trabajo. La psicología industrial después de demostrar que además de los recursos que promuevan el bien estar físico, son muy importantes los recursos de orden psicológico aplicados al individuo, ha trasendido su actitud individualista y sin descuidar el factor individual, se ha colocado en el terreno social considerando al trabajador como un miembro de un grupo en el que según la expresión de Chase, por encima de los cronómetros, de los métodos de productividad y de los incentivos materiales, se siente impedido por la necesidad interior de encontrar un ambiente donde poder afianzarse, pertenecer y cumplir una función, donde sienta la importancia de realizar su trabajo.

Elton Mayo demostró que el trabajador no es una entidad aislada que produce resultados uniformes dependientes de su estado de salud y del medio ambiente, sino que es un ser humano incluido en un grupo y sus relaciones con este grupo son decisivas en su salud mental y en su rendimiento.

Esta situación ha revelado que la empresa realiza dos importantes funciones: la económica y la social, es decir producir bienes y dar satisfacciones humanas entre sus trabajadores.

LA FATIGA Y OTROS FACTORES COMO CAUSA DE ACCIDENTES

Fatiga y aburrimiento.

Muchas autoridades consideran que la fatiga aumenta el riesgo de accidentes, ya que, cuanto mayor es la misma, mayor es también el riesgo; pero la relación entre la fatiga y los accidentes es sumamente compleja, no es facil sacar de ella conclusiones sencillas.

La fatiga reduce la atención del trabajador, entorpece sus movimientos y le hace descuidar las precauciones. Sin embargo la fatiga corriente de la jornada de trabajo no se refleja claramente en las tasas de accidentes correspondientes a las distintas horas de la jornada. Además la influencia de la fatiga varía según las personas. Un trabajador apasionado por su labor le dedicará toda su atención y no se cansará, en tanto que un trabajador sin el menor interés en su labor sufre distracciones y comete descuidos en momentos en que la fatiga no puede ejercer una influencia importante en su comportamiento.

A menudo los accidentes guardan menos relación con la fatiga física que con la actitud mental del trabajador. Esta actitud depende en gran parte del hecho de que el trabajo que hace le guste o nó, y en este caso también influye el medio ambiente en general.- Todo cuanto contribuya a aumentar su interés y satisfacción en el trabajo factores tales como hacerlo responsable por la labor que ejecute, que la dirección de la empresa reconozca sus méritos, y que se le tenga al tanto de cuanto sucede en la fábrica- tendrá a reducir su propención a los accidentes.

Algunas personas se adaptan perfectamente al trabajo monótono ya que lo hacen casi automáticamente y sin pensar. A veces sufren accidentes cuando por un motivo u otro falla algo en sus máquinas o en las piezas que fabrican y ellos siguen ejecutando los mismos movimientos automáticamente, esto ha sucedido muchas veces a operarios de prensas para metales. Si la prensa tiene un defecto en el mecanismo de embrague, el martinete puede bajar un poco más tarde que de costumbre; el trabajador ya ha metido la mano bajo la prensa para retirar la pieza de trabajo y el martinete le hiere o lesiona. En muchos casos estos accidentes pueden evitarse instalando un resguardo adecuado. A otras personas les irrita el trabajo monótono; tratar de encontrar variaciones en el ciclo siempre idéntico de movimientos, y entonces sufren un accidente. En otros casos los trabajadores sufren accidentes por que son superiores intelectualmente para ese tipo de trabajo y no porque hayan "jugado con la máquina", como consignan a veces las conclusiones de las investigaciones realizadas sobre algunos accidentes.

MONOXIDO DE CARBONO

TOXICIDAD.	SIGNOS Y SINTOMAS	Confusión mental Carboxihemoglobina 60% o más: Inconsciencia Convulsiones Muerte
	TESTS DE DIAGNOSTICO	Carboxihemoglobina desde 10% en adelante La hemoglobina puede estar aumentada El electrocardiograma puede presentar taquicardia visual y alteraciones del espacio ST El electroencefalograma puede mostrar descargas epileptoides difusas y focales que despues desaparecen.
	TRATAMIENTO	Oxígeno y respiración artificial Sintomático y de fortalecimiento general Estrecha vigilancia durante 24 horas de los pacientes que han llegado a estar inconscientes.
	SECUELAS	Se puede presentar bronconeumonía en la intoxicación grave. La pérdida del sentido de orientación y de la memoria y la inestabilidad emocional pueden persistir durante varias semanas. La incapacidad permanente es rara y no se ha consignado en pacientes que hayan estado inconscientes durante menos de 3 horas.
MEDIDAS PREVENTIVAS.		Ventilación adecuada Mascarilla con adsorbente químico o corriente de aire. Reconocimiento periódico de la atmósfera donde se sospeche la existencia de monóxido de carbono.

experiencia e inexperiencia.- Sería difícil distinguir entre la influencia de la edad y la que ejerce la experiencia. Los trabajadores aún no familiarizados con el ambiente de la fábrica pueden distraerse por la multitud de impresiones nuevas que perciben, lo cual, unido a su falta de experiencia en el trabajo, puede explicar la relativa frecuencia de accidentes en el personal de nuevo ingreso. Mucho depende la formación profesional que los trabajadores reciban antes de ingresar a la industria y de la manera en que se les incorpora y dirige.

Los trabajadores experimentados no tropiezan con dificultades por la falta de familiaridad con el medio circundante, pero el acostumbramiento a los riesgos del trabajo a menudo los hace menos cautelosos, lo que constituye un factor negativo.

Predisposición a los accidentes.- Las estadísticas revelan que hay trabajadores que nunca han tenido un accidente y otros que han tenido varios en un período determinado. Esto da a entender que ciertos trabajadores son más propensos a accidentes que otros; con frecuencia se dice que tienen predisposición a los accidentes de trabajo.

Ante esto se puede considerar que cuando algunos trabajadores tienen más accidentes que otros que trabajan en las mismas condiciones es posible, pero no seguro, que esta diferencia se deba a un motivo específico.

Como la actitud de un trabajador depende en gran parte de sus condiciones de vida dentro y fuera de la empresa, y como esas condiciones cambian con el tiempo, no es lógico esperar que un trabajador conserve siempre su estabilidad psicológica, de modo que el mismo trabajador propenso a los accidentes durante un período dado, puede perfectamente dejar de serlo en un período ulterior.

Las investigaciones sobre la propensión a los accidentes han demostrado que ésta a veces consiste en distraerse por un motivo interno, en estar "nervioso" o en no reaccionar, en correr riesgos como prueba de independencia, en bravatas y en asumir aires de "sabelotodo". La propensión a los accidentes también puede darse cuando personas emotivas realizan labores que requieren coordinación rítmica o efectúan un trabajo monótono. Si su constitución mental no le permite prestar atención casi simultánea a varias cosas, este rasgo constituirá un tipo de propensión capaz de provocar accidentes, no sólo así mismo sino también a los demás.

Los accidentes pueden deberse al recuerdo o impresión de un accidente previo. Si después de haber sufrido un accidente el --

El medio ambiente laboral del trabajador constituye un importante factor psicológico para la seguridad. Cuando las relaciones entre los empleadores y los trabajadores son malas y cuando los trabajadores están descontentos con sus jornadas con los horarios u otras condiciones de trabajo, el número de accidentes tiende a aumentar. En cambio, cuando las relaciones de trabajo son satisfactorias parece darse el caso contrario. Las medidas de bienestar encaminadas a hacer más llevadera la vida del trabajador también aumenta la seguridad.

El comportamiento de los trabajadores suele reflejar su medio ambiente material y psicológico. Jornadas razonables, buenas relaciones humanas dentro de la empresa, buena comprensión entre la dirección y el personal, decisiones acertadas en materia de ascensos y, al mismo tiempo, lugares de trabajo bien dispuestos y conservados, instalaciones sanitarias muy superiores al mínimo indispensable, servicios de bienestar, etc.; todos estos factores materiales e intangibles influyen en el comportamiento del trabajador, y han demostrado ser conducentes a una mayor seguridad. Como los mismos factores ejercen considerable influencia en el movimiento de la mano de obra, también aumentan indirectamente la seguridad al contribuir a la estabilidad del personal.

Los trabajadores ocupados en talleres sucios, desordenados, donde las herramientas y los materiales y desperdicios están desparramados por todas partes, no suelen reaccionar de la misma manera que si trabajaran en talleres limpios y agradables, y en donde reine el orden.

El respeto de los sentimientos y la dignidad del trabajador contribuye a su serenidad y ánimo y constituye uno de los factores psicológicos más importantes para la seguridad, consecuentemente el trabajador se siente más inmune ante los accidentes cuando la dirección de la empresa se preocupa por su parte activa en el trabajo y por su suerte.

Las condiciones de vida fuera de la empresa también ejercen su influencia; habitar hacinados en barrios de tugurios también tiene afectos morales y físicos deprimentes en la actitud del trabajador en la empresa y tiende a aumentan el número de accidentes. Aquí tambien puede demostrarse que la seguridad no puede separarse de los demás aspectos de la vida, ya que guarda relación con todos ellos.

Como es natural, debe evitarse cualquier iniciativa que pueda dar la impresión de que se inmiscuye en la vida privada de un trabajador. Sin embargo algo puede hacerse cuando el departamento de personal de la empresa cuente con personas dedicadas a la asistencia social.

[illegible] menos del 90% de los accidentes; los defectos físicos y mentales, alrededor del 3%, y la falta de destreza menos del 6%. El 60% restante se debió a los defectos de la personalidad reflejados en la propensión a los accidentes. El Doctor Desaxmay y el Ingeniero Lecoco, en Francia, propugnan la colaboración estrecha y permanente del ingeniero y el Médico en la prevención de los accidentes, y Johnstone declara que, sin duda no todos los aspectos abarcados por un programa de medicina industrial pueden ser considerados medicina en el sentido tradicional de la palabra. En el impuso que la guerra dió a este programa - asegura - la medicina industrial emergió de un pasado de una vida en que parecía girar en órbitas estériles hasta llegar a ser una nueva fuerza para la salud del pueblo, y sin bien la medicina del trabajo ha sido considerada en los últimos años una especialidad, no es de ningún modo una especialidad restringida. Si se aplica con propiedad, vuelve a llevar a la íntima relación de un médico interesado por su paciente, de la cual es tan noble ejemplo el viejo médico de familia y, a este respecto, la medicina del trabajo se halla en pleno contraste con las especialidades médicas limitadas, ya que no se interesa solamente por los ojos del paciente, por su alergia o por su corazón. Se interesa por el hombre y por todo lo que aumente o disminuya su bienestar.

trabajador vuelve a encontrarse en una situación análoga a la que precedió a su aparición o debe seguir trabajando -- con el mismo tipo de máquina, es posible que siente una in seguridad, un temor, o un resentimiento, etc., capaz de -- causar otro accidente.

Otra fuente importante, sobre todo en nuestro medio, de -- accidentes debidos a la actitud psicológica del trabajador, es el deseo de hacer muestra de sus conocimientos, valentía o destreza, es decir, el deseo de sentirse importante, de - llamar la atención, de ser admirado.

Condiciones fisiológicas.- Algunos accidentes pueden atri - buirse al estado físico del trabajador. Muchos tienen de - fectos de la vista sin saberlo; otros sufren de cierto gra- do de sordera y otros más tienen enfermedades (por ejemplo epilepsia) que los exponen, así como a sus compañeros, a -- riesgos superiores a los normales. Los médicos que exami - nen a los aspirantes a trabajos o puestos debieran vigilar especialmente estos casos y, cuando no puedan eliminarse es tas deficiencias, debiera encontrarse, si las circunstan -- cias los permiten, trabajo adecuado para los trabajadores - afectados. Como ya se ha dicho, el problema no consiste en cómo excluir del trabajo a esas personas, sino más bien en - cómo emplearlas con provecho, pese a sus defectos e invali- dez.

Los accidentes debidos a intoxicaciones guardan estrecha -- relación con los originados por defectos e invalidez. Por ejemplo, los accidentes causados por inhalación de monóxido de carbono, que provoca errores de apredíación (que pueden darse entre los conductores de grúas en fundiciones), y los accidentes causados por personas intoxicadas por el alcohol, el tricloretileno, etc.

Heinrich, en su tratado clásico de prevención de accidentes industriales, señala la importancia del factor psicológico en la génesis del accidente de trabajo y la atribuye a cau- sas humanas el 88% de los 75,000 casos estudiados por él. - El Doctor Schulginger, en su interesante libro The accident syndrome, corrobora la apreciación de Heinrichy en su origi nal enfoque del problema identifica un sidrome en el indivi duo, integrado por factores fisiológicos, psicológicos; am- bientales y caracterológicos, cuya presencia determina la - ocurrencia del accidente o influye en su realización.

El doctor Roonald Mac Keith encontró que, en una investiga- ción realizada, en la Gran Bretaña, las fallas mecánicas --

[illegible]

[illegible], sin la seguridad de poder actuar correctamente; nunca empeorar el estado de la víctima con una intervención oficiosa o inoportuna.

[illegible] la intervención de personas que resulten ser más un estorbo que una ayuda.

Informar a la víctima sobre la gravedad de sus lesiones; siempre dándole ánimos.

Cargar o jalar a la víctima tomando como apoyo el cinturón ya que hay lesiones que pueden agravarse con esta maniobra.

Una vez administrados los primeros auxilios, debe ser solicitada la ayuda del médico y si ha sido posible conocer los datos correspondientes, dar aviso a los familiares de la víctima.

El médico o la institución que se haga cargo del paciente, deberá tener conocimiento del tipo de auxilios suministrados y las condiciones en que fué atendida primeramente la víctima.

HEMORRAGIAS

Para el caso de los primeros auxilios, puede entenderse por hemorragia la pérdida o salida de sangre por vasos arteriales, venosos o capilares, rotos en forma o extensión variables.

La hemorragia puede hacerse: hacia afuera del cuerpo, es la externa, hacia adentro de él es la interna.

[illegible] la hemorragia es abundante entra dentro de las grandes urgencias, debido a que pone en peligro la vida.

Conducta a seguir:

Detener la herida; comprimirla directamente con la mano, o mejor si se cuenta con un pedazo de tela limpia, por un tiempo que puede [illegible] 5 a 10 minutos. La tela puede ser fijada al lugar de la lesión con una venda, un cinturón, una corbata etc.

Cuando la hemorragia sea debida a la amputación traumática de una [illegible] un miembro, al machacamiento de una mano o un pie y cuando la presión directa no resuelva el problema del sangrado se aplicará

PRIMEROS AUXILIOS

Los primeros auxilios son los cuidados inmediatos temporales que se suministran a la víctima de un accidente, o de una enfermedad que sobreviene repentinamente, en tanto se obtienen los servicios de un médico; su principal objetivo es salvar la vida.

Estos cuidados van encaminados a procurar ayuda a la víctima tanto en el aspecto físico como en el mental y todo aquel que los imparta debe conocer cómo actuar y qué no hacer. La mayor parte de los accidentes son, por fortuna, de poca importancia y sus consecuencias pueden ser resueltas fácilmente; pero los que revisten alguna gravedad deben ser atendidos por personas entrenadas, las que ante todo deben procurar no aumentar, con su intervención, la seriedad de la situación. En estos casos deben impartirse a la brevedad posible las primeras atenciones convenientes; se dejará a la persona en reposo, preferentemente acostada, comprobando su estado general y el de sus lesiones y actuando en consecuencia; el conservar a la víctima quieta y tranquila evita el agravamiento de muchas lesiones y, desde luego, facilita la apreciación correcta de su estado, lo que permite dar la ayuda adecuada.

LAS GRANDES URGENCIAS

Debe considerar que se las verdaderas urgencias las dan: el paro respiratorio, la hemorragia abundante, la intoxicación aguda y el estado de choque, la herida toráxica acompañada de asfixia...

Las reglas generales que deben observarse son las siguientes:
Trasladar a la víctima a un sitio seguro, si esto fuera necesario, cuidando de no agravar las lesiones.

Ventilar el lugar si el aire ambiente es tóxico.
Si la víctima presenta dificultad respiratoria, aflojar las repas.

Aplicar las medidas de auxilio propias del caso.
Atender las heridas, tanto las grandes como las pequeñas.
Colocar la cabeza del paciente de lado, en caso de no existir fractura de cuello o craneo, para facilitar la respiración y en caso de vómito evitar la asfixia. El cuerpo tambien estará de lado, con la rodilla y el codo que quedan hacia arriba, apoyados en el piso. Esta es una posición de seguridad.

Que NO debe hacerse:

Dar líquidos o sólidos a la persona parcial o totalmente incons-

cabecenabal; la compresión debe ser prolongada; puede no dar resultado satisfactorio, puede ser util la introducción, con gran cuidado y a una profundidad suficiente, en el lado que sangra, un algodón mojado con adrenalina.

Hemorragia del esófago, estómago y "del pulmón".

Dejar al paciente en completo reposo.

Solicitar atención de urgencia.

Captar la cantidad y el tono de la sangre, brillante u oscura para informar al médico o institución que atienda al paciente.

La compresión directa sobre algunos puntos puede ayudar a disminuir o detener la hemorragia, sobretodo cuando esta se hace sobre planos duros, los huesos.

Cuellos: Se hace la compresión sobre la carótida a un lado de la tráquea, presionando hacia atrás, sobre la columna vertebral.

Hombro: Se comprime la arteria subclavia sobre la primera costilla, presionando hacia atrás, abajo de la extremidad externa de la clavícula.

Miembro superior: Se comprime la arteria humeral a la mitad de la distancia entre el codo y la axila, en la cara interna del brazo.

Miembro inferior: Se comprime la arteria femoral en su principio a la mitad de la ingle, contra el hueso de la pelvis.

Del oído: La ayuda consistirá solamente en recostar a la persona sobre el lado que sangra, en "posición de seguridad" y mantener una conducta de espera y observancia, por la posibilidad de fracturas de base de craneo. No se intente detener la hemorragia, ni se lavara el oído.

De la nariz. Comprimir el lado que sangra, sobre todo el tabique nasal; la compresión debe ser prolongada; puede no dar resultado satisfactorio, puede ser util la introducción, con gran cuidado y a una profundidad suficiente, en el lado que sangra, un algodón mojado con adrenalina.

Hemorragia del esófago, estómago y "del pulmón".

Dejar al paciente en completo reposo.

un torniquete por arriba de la herida o sea "entre esta y el corazón"; la sangre cuya salida se impide con este procedimiento es la arterial.

Para impedir la pérdida de sangre venosa la compresión se hace "por debajo" de la herida; para lograr ésto generalmente basta con efectuar una compresión más o menos fija y sostenida por debajo de la lesión (o bien directamente sobre de esta). No debe usarse alambre ni cuerda en vez de tela.

Si puede usarse una banda de hule, preferentemente ancha. El torniquete debe quedar visible.

Si la atención médica se retarda, se debe aflojar el torniquete cada 15 o 20 minutos y volverlo a apretar. En caso de que la hemorragia se haya suspendido, el torniquete se puede dejar flojo, pero no se elimina la posibilidad de que la hemorragia repita. La presión del torniquete se disminuye con el objeto de permitir que llegue sangre arterial a los tejidos vecinos.

La compresión directa sobre algunos puntos puede ayudar a disminuir o detener la hemorragia, sobretodo cuando esta se hace sobre planos duros, los huesos.

Cuellos.- Se hace la compresión sobre la carótica a un lado de la tráquea, presionando hacia atrás, sobre la columna vertebral.

Hombro.- Se comprime la arteria subclavia sobre la primera costilla, presionando hacia atrás, abajo de la extremidad externa de la clavícula.

Miembro superior: Se comprime la arteria humeral a la mitad de la distancia entre el codo y la axila, en la cara interna del brazo.

Miembro inferior: Se comprime la arteria femoral en su principio, a la mitad de la ingle, contra el hueso de la pelvis.

Del oído: La ayuda consistirá solamente en recostar a la persona sobre el lado que sangra, en "posición de seguridad" y mantener una conducta de espera y observancia, por la posibilidad de fractura de base de cráneo. No se intente detener la hemorragia, ni se lavará el oido.

De la nariz: Comprimir el lado que sangra, sobre todo el

Solicitar atención de urgencia.

Captar la cantidad y el tojo de la sangre, brillante u obscura informar al médico o institución que atienda al paciente.

PARO RESPIRATORIO.

En esta grave situación debe tratase de normalizar la función respiratoria lo más pronto posible; van de por medio la vida y la conservación en buen estado de las funciones de los órganos, principalmente el cerebro.

En el caso de ahogamiento y estrangulación debe procederse a dar respiración boca a boca, inicialmente en forma inmediata, preferentemente en el lugar mismo donde se encuentre el accidentado.

En la electrocución, para poder auxiliar efectivamente a la víctima, ésta no deberá encontrarse en contacto con la corriente que le causó el choque; si la persona que interviene puede hacerlo sin peligro para sí misma, deberá cortar la corriente. Se aplicará respiración boca a boca, asi mismo en los casos de envenenamiento por substancias químicas y por gases (falta de oxígeno), previo retiro del paciente del sitio del accidente.

Respiración boca a boca.- Se deberá seguir los puntos:

1.- Colocar a la persona "boca arriba"
2.- Pasar una de las manos por detrás del cuello de la víctima y levantando de modo que la cabeza "caiga" hacia atrás.
3.- Procurar que se mantenga la cabeza en la posición señalada y llevar con las manos la mandíbula de la víctima hacia delante. Con esto se evita que la lengua caiga hacia atrás e impida la circulación del aire a los pulmones.
4.- Respirar profundamente y aplicar la boca sobre la de la víctima, de modo que no pueda haber salida o pérdida de aire entre una y otra. Tapar la nariz de la persona y soplar hasta que se levante el pecho de ésta.
5.- Separarse de la víctima y repetir la operación antes explicada de 15 a 18 veces por minuto.

CUERPOS EXTRAÑOS.

Del ojo:

Lugar más común debajo de los párpados, o enclavado en la región anterior del globo ocular (conjuntiva corneal o cornea). En estos casos es preferible dejar el problema en manos del médico, especialista. La ayuda solo consistirá en cubrir el ojo con un apósito.

Del oido:

No intervenir. Dejar el problema al médico.

De las vías respiratorias altas (nariz):

Remitir al médico. No intervenir.

De las vias respiratorias bajas (laringe, tráquea, bronquios):

Hospitalizar de urgencia.
En tanto se obtiene ayuda médica hacer lo siguiente:

Colocar al paciente sobre un costado, con la cabeza más baja que los hombros. Rápida y cuidadosamente tratar de limpiar la garganta de la víctima con los dedos, jalando la lengua hacia afuera, iniciar respiración boca a boca si es necesario.

De las vias digestivas:

Si el cuerpo extraño es pequeño y como será eliminado por las heces. Si es filoso o puntiagudo remitir a un médico.

De la piel:

Extraer el cuerpo extraño con pinzas, la punta de una navaja o un alfiler.

CHOQUE

El conjunto de síntomas o manifestaciones clínicas constituyen que el choque pueda presentarse como consecuencia de diversas causas, como son los traumatismos, las descargas eléctricas, la acción de medicamentos como la insulina, penicilina etc. Tienen diversas manifestaciones, entre las que pueden identificarse por el examen físico:

Ojos: Dilatación de las pupilas, mirada "vaga", imprecisa.
Piel: fría, pálida, sudorosa.
Respiración: Superficial o irregular o ambas.
Pulso: Débil y rápido, o ausente.
Reacciones mentales lentas o ausentes.
Calosfrío
Náuseas o vómito.
Conducta a seguir:

Conservar el paciente recostado, lo cual favorece la irrigación cerebral, excepto cuando hay dificultad para respirar - que se deberá elevar la cabeza.

Elevar las extremidades inferiores para facilitar aún más el aporte sanguíneo a la cabeza y tórax. Excepto cuando hay lesión en cabeza o miembros inferiores y dificultad respiratoria.

Vigilar la temperatura; mantenerla dentro de límites normales.

F R A C T U R A S .

Una fractura es la rotura de un hueso.
Una clasificación sencilla de ellas puede ser:
Cerradas: El hueso no perfora la piel al fracturarse.
Abiertas: La fracción rota del hueso produce herida de la - piel y hay comunicación al exterior con la fractura
Complicadas: El hueso o fragmentos del mismo lesionan órganos o se trata de una fractura múltiple, hasta de varios fragmentos pequeños.
Fractura cerrada: Esta se reconoce porque produce dolor localizado a su nivel, imposibilidad de movimientos, deformación de la soza que la rodea, crepitación debido al roce de los fragmentos óseos. No buscar este signo si no se tiene experiencia.
Fracturas cerradas; conducta a seguir" (miembros)

Debe inmovilizarse la fractura en el sitio mismo donde está - el paciente, antes de su traslado. Para este fin se usan férulas o tablillas, recubiertas con material suave que sirva - como cojín, así mismo recubir el miembro afectado. Las tablillas o férulas deben abarcar las articulaciones superior e inferior del miembro.

Fracturas abiertas, conducta a seguir: (miembros)

El paciente deberá permanecer acostado, controlar la hemorragia entablillar.

NO TRATAR DE QUE EL MIEMBRO RECUPERE SU POSICION O FORMA NORMAL.

La conducta a seguir en el caso de fracturas complicadas es el mismo tipo, que el anterior, para el caso de las personas que imparten los primeros auxilios.

Fractura de mandíbula: Inmovilizar con una venda o tela fuerte abarcando la cabeza y por debajo del mentón.

Fractura de columna vertebral: SOLO DEBE SER ATENDIDA POR INEXPERTO EN PRIMEROS AUXILIOS.

Se presenta al caer sobre el dorso, o en posición de sentado. Nunca debe doblarse la columna, colocando al cuerpo en el mismo eje, de cabeza a pies, sobretodo para efectuar transporte.

Esto debe hacerse:

Sobre superficies planas y duras.
"Almohadillando" los huecos que, en posición horizontal, quedan "debajo de la cintura y de la nuca".
Con la ayuda de cuerdas, por ejemplo, que contribuyan a fijar a la victima a la superficie dura.
Colocar al paciente en la camilla o tablón dos o más personas.

Fracturas de pelvis: Igual conducta que la anterior.

Facturas de craneo: Pueden suponerse cuando existe pérdida del conocimiento, pupilas desiguales, sangrado por oidos y nariz, vómitos, a veces pulso lento.

Conducta a seguir:

Colocar al lesionado en posición de seguridad y tratar de mantenerlo en esa posición; remitir al médico.

Fractura de costillas:

Pueden suponerse cuando ha habido un golpe fuerte en tórax, hay dolor intenso, aumento de la respiración, así como tos.

Conducta a seguir:

Colocar al paciente en posición semisentada. Aplicar una venda ancha, de 10 cms., alrededor del torax, apretado, sobre la zona fracturada. Preferentemente lo aplicará una persona adiestrada.

LUXACIONES Y ESGUINCES

Luxación es la salida de un hueso de su articulación.
Un esguince es la rotura o la lesión de los ligamentos de una articulación, sin que exista desplazamiento de los huesos; puede, por otra parte, asociarse a una fractura o a una luxación. El manejo de ambos casos se hará como el de una fractura.

QUMEADURAS

Tienen dos causas principales: El calor y las substancias químicas.

Las quemaduras se clasifican en superficiales y profundas. Pueden complicarse con choque.

Factores de gravedad:

La extensión de la quemadura: si comprende más del 70% de la superficie corporal es mortal; entre el 50% y 70% es muy grave.

El sitio: Son mas serias en la cara, las regiones genitales las manos.

La profundidad: en tanto lesionan mas tejidos de afuera adentro la gravedad es mayor.

La edad: a menor edad son más graves, o en el hombre senil.

Conducta a seguir:

Si la superficie de la quemadura es amplia, cubrirla con tela limpia. Protegerla del polvo. Administrar agua a la víctimas si está consciente. Solicitar el traslado al hospital.

NO dar bebidas alcohólicas.
NO hablar o respirar sobre las quemaduras.
NO tocar la piel con las manos, hasta donde sea posible.
NO romper las ampulas.
El uso del hielo es conveniente. A veces da poco de alivio colocar sobre una quemadura superficial una tela limpia, empapada en agua bicarbonatada: dos cucharadas por litro. Puede usarse un vendage compresivo "flojo".

Cuando se trate de quemadura por sustancias químicas, lavar

con AGUA abundante, sobretodo si es en ojos. Lavar durante 15 a 20 minutos.

No usar ningún tipo de medicamento.

NO TRATAR DE NEUTRALIZAR LOS ACIDOS O BASES; PUEDE AGRAVARSE LA QUEMADURA.

Cuando la quemadura sólo produjo enrojecimiento de la piel - no hay mucho que hacer.

TRANSPORTE DE LOS HERIDOS

Si no puede precisarse la gravedad de las lesiones y la persona, al permanecer en el lugar, no corre peligro de recibir nuevas heridas, no se le moverá de donde se encuentra hasta tanto no llegue la ambulancia.

En el caso de que sea urgente el traslado rápido a un lugar -- más seguro, tratar de que el cuerpo del herido se mantenga - - acostado horizontalmente y en línea recta, a menos que esta posición no pueda lograrse debido al terreno irregular.

Si el terreno es plano y no se dispone de camilla para movilizar a la víctima, ésta será tomada por los pies y los hombros y arrastrada protegiéndole la cabeza.

Serán atendidas la hemorragia y las heridas y vigiladas la respiración y el pulso, aplicándose las medidas adecuadas. Puede ser improvisada una camilla o una sábana, sacos y camisas, fijos a trozos largos de madera.

En el caso de fracturas y heridas es conveniente para seguridad del lesionado, que participen tres personas en su traslado si - no se cuenta con una camilla apropiada. Cuando se trata de casos de ahogamiento pueden ser suficientes dos.

Debe existir en todas partes grupos de personas entrenadas en - el rescate y transporte de heridos.

NORMAS COMPLEMENTARIAS

AA.- EXCAVACION DE TUNEL CON ESCUDO

1.- Almacenar las dovelas en sitios cercanos a las lumbreras, estibándolas en forma que queden suficientemente estables, de modo que no representen peligro.

Si se utiliza la vía pública para almacenar dovelas: 1o. cuidar que no se reduzca la visibilidad de los automovilistas en los cruceros; 2o. no dejar pasillos reducidos que puedan emplearse para circulación de peatones fuera de las esquinas; 3o. no dejar dovelas que puedan voltearse al empuje manual.

2.- El acarreo de las dovelas, de los sitios de almacenamiento al brocal de la lumbrera, deben realizarse con camión-grúa.

3.- Los camiones-grúa deberán encontrarse en buenas condiciones de operación.

a) Efectuar mantenimiento preventivo de la unidad.

b) Evitar fugas del sistema hidráulico de la grúa.

c) Mantener la plataforma de carga libre de obstáculos, de madera con clavos y basura.

d) Tener piso antirresbalante la plataforma de carga.

e) Llevar accesorios para el movimiento de dovelas:

- Barreta para voltear las dovelas.
- Barra de 3/4 de diámetro para insertar en los orificios

centrales de la dovela, y poder ser izada.

- Estrobo de cable de acero de 1/2" de diámetro para fijarlo al gancho de la grúa y a la barra.

f) Proporcionar el equipo de protección personal: casco, guantes, botas con puntera de acero y equipo de lluvia, al operador del camión-grúa y su ayudante.

4.- Prohibir circule el camión-grúa con la pluma levantada.

5.- Las dovelas deberán apilarse en sitio próximo al brocal, donde no estorbe a la circulación del personal.

6.- Apilar las dovelas de acuerdo a las necesidades de orden de instalación en el túnel:

a) Una te, una normal, y una cuña.
b) Una te, dos normales.
c) Dos perforadas, una normal.
d) Dos perforadas, una normal.

7.- Para bajar las dovelas al fondo de la lumbrera, deberá emplearse la jaula para materiales o un cable del malacate de maniobras o manteo.

8.- No permitir que el personal baje con las dovelas en la jaula de materiales.

9.- No permitir que el personal de túnel pase o trabaje bajo las dovelas suspendidas del cable del malacate.

10.- Cuando se bajen las dovelas utilizando el cable del malacate, deberá proveerse de un "balancín" que permita el movimiento simultáneo de 3 dovelas.

11.- La herramienta deberá estar en condiciones que permitan una adecuada seguridad.

a) Perno con cabeza y rosca en buenas condiciones.

b) Tuerca que asegure que no se corra el perno.

c) Grillete asegurado en la oreja del balancín.

12.- El gancho del cable del malacate deberá tener seguro.

13.- Se deberá amarrar un cable de manila de 3/4 de diámetro al balancín, para que manejado por 2 obreros, evite el movimiento pendular de las dovelas al ser levantadas.

14.- En el túnel se depositarán las dovelas sobre una plataforma habilitada con 2 polines de 4" x 6" x 9' separados 40 cms.

15.- El señalero del malacate prestará especial atención en las maniobras de acomodo de dovelas en la plataforma, para que pueda dar señales oportunas y correctas.

16.- Retirar los pernos del balancín utilizando la herramienta apropiada.

17.- Reinstalar los pernos en el balancín teniendo cuidado que la tuerca haya sido suficientemente atornillada, para evitar que por cualquier causa se safe.

18.- La locomotora jalará la plataforma con dovelas hasta el cambio California, donde se hará la maniobra para que siendo empujada se lleve al frente hasta el encuentro de la vía.

19.- Prohibir al personal se translade sobre la plataforma con dovelas.

20.- Mantener limpia y despejada el área donde se bajarán las dovelas.

21.- Utilizar únicamente maniobristas adiestrados, para bajar las dovelas de la plataforma a la cola del escudo.

22.- Instalar topes de fierro en los extremos de la vía.

23.- Vigilar que la iluminación en el área de maniobras sea suficiente y correctamente dirigida.

24.- Mantener libre de material y residuos sólidos la cola del escudo, donde se instalará el anillo de dovelas.

25.- Cuidar la correcta instalación de lainas que se utilicen.

26.- Revisar que los anillos de dovelas vayan quedando uniformes en su cara de empuje con los gatos del escudo.

27.- Vigilar que el ancho de las dovelas sea igual, salvo en los casos de fabricación especial para las curvas del túnel.

28.- Cuidar que los barrenos de las dovelas coincidan, para facilitar la colocación de tornillos.

29.- Revisar que la polea empleada para izar las dovelas en el último anillo instalado, se encuentre en condiciones de operación.

30.- Revisar que la placa de sostén de la polea que se coloca en la cuña del último anillo, se encuentre firmemente atornillada y en buenas condiciones.

31.- Mantener en buenas condiciones el cable de acero empleado para izar las dovelas, verificando que la gaza tenga guardacabo en

[illegible] se sujeta el cerrojo que al extremo [illegible] encuentre dilatado.

32.- Conservar en buenas condiciones el cerrojo que se emplea para asegurar las dovelas en sus perforaciones intermédias.

33.- Asegurar el extremo del cable que se fija a la locomotora.

34.- Un señalero (ayudante del operador de la locomotora) colocado arriba de la plataforma de dovelas, indicará el movimiento que deberá hacer la locomotora para bajar las dovelas a la posición del escudo.

35.- El señalero colocará el cerrojo con el que se agarra la dovela.

36.- [illegible] personal maniobrista competente, estará a cargo de guiar las dovelas a la cola del escudo mientras se encuentre izada y de fijarla al brazo del escudo.

37.- Personal con categoría de maniobrista, tendrá a su cargo colocar los tornillos que afianzan las dovelas en su posición.

38.- Proporcionar llave neumática para el apriete de las tuercas.

39.- Mostrar al personal del lado donde el brazo del escudo eleva la próxima dovela.

40.- No dejar tornillos o cuñas sueltos en los huecos de las dovelas.

41.- No utilizar dovelas que se observen fracturadas o resquebrajadas por golpes.

42.- No permitir se dejen dovelas sin acomodar correctamente.

43.- Terminado de instalar el anillo de dovelas se colocarán dos puntales con contravonteo.

44.- El movimiento de retirar e instalar puntales deberá hacerse con 3 maniobristas.

a) Sujetarlo con cable manila en la parte superior.

b) Quitar cuñas de apriete del puntal con barreta o maza.

c) Ayudar a detener el puntal, para que no se salga de su posición de apoyo.

45.- Al colocar un puntal deberá verificarse que no quede flojo.

46.- Mantener en buenas condiciones de operación el manómetro instalado en la alimentación de aire comprimido de la olla de lanzado de gravilla.

47.- Revisar periódicamente las condiciones físicas de la manguera de lanzado de gravilla.

48.- Supervisar que la presión en la olla y las condiciones de humedad de la gravilla sean óptimas, en prevención a que se tape la manguera.

49.- Para destapar la manguera de lanzado de gravilla, cerrar el flujo de presión y utilizar alambrón para aflojar el material. No golpear la manguera.

50.- Instalar válvula de seguridad de cierre automático de la presión, a la olla de gravilla.

51.- Revisar que se encuentre firme la conexión de la boquilla de lanzado de gravilla, a la manguera.

52.- Sujetar con cable manila a los tornillos de dovelas, la boquilla de lanzado de gravilla.

[illegible] aplicar la firmeza de la boquilla de lanzado [illegible] yectar presión a la olla.

54.- Afianzar la manguera de lanzado a los puntales, cuando no se use.

55.- Mantener en condiciones de seguridad los andamios que usa el personal de inyección de gravilla, asegurando los extremos de los tablones.

56.- Proporcionar mazo corto (macora) al personal que coloca los tapones de madera en los orificios de inyección de gravilla.

57.- Derechar costales para gravilla que se encuentran rotos.

58.- Entrobar las zapatas de apoyo, de los gatos de avance del escudo.

59.- El operador del escudo cuidará que el personal se retire de la zona de peligro, antes de iniciar el avance.

60.- Emplear madera en buenas condiciones físicas, para el calce que se logra con los gatos hidráulicos del frente.

61.- Tener especial cuidado en el mantenimiento del brazo del escudo, para evitar caída del perno que detiene la quijada, o salida de posición del brazo del escudo, o fallas en el cilindro hidráulico.

62.- Durante la colocación de latas entre dovelas, coordinar mentalmente los movimientos del brazo del escudo, con los del trabajador.

63.- Chequear la placa de acero que se coloca entre la quijada -

del brazo del escudo y la dovela, de modo que no pueda salir se de su posición durante la colocación de la dovela en su sitio.

64.- Durante el empuje del escudo, no permitir que el personal permanezca bajo el último anillo de dovelas instalado.

65.- Mantener en buenas condiciones de operación el cerrojo de la mampara del escudo.

66.- Cuidar que las herramientas neumáticas para la excavación, se encuentren en buenas condiciones.

67.- Retirar a los perforistas del frente de trabajo durante el empuje del escudo.

68.- Mantener en buenas condiciones de operación la rezagadora neumática. Revisar en cada turno: a) condiciones de las mangueras de aire; b) las conexiones de la manguera; c) seguro a la conexión con la máquina; d) chicotes para el accionamiento del brazo; e) banda transportadora y su unión; f) lubricación de la máquina; g) estado general de la máquina.

69.- Instalar válvula de seguridad en la alimentación de la manguera de aire a presión.

70.- Revisar que el "puente" se encuentre con sus pernos y asegurado con tornillo.

71.- Antes de iniciar el movimiento de la rezagadora, verificar que no haya personal en las áreas del movimiento.

72.- Retirar al personal del área de ataque de la rezagadora.

[illegible] fuera del área de [illegible] de la [illegible] nal que pasa la rezaga.

74.- El ayudante del operador de rezagadora cuidará que manguera de alimentación de aire no tenga obstáculos durante el movimiento.

75.- No rebasar la capacidad de los botes de rezaga.

76.- Instruir a los ganchero a bajar inmediatamente el asa de los botes, cuando se apoyan en la plataforma, cuidando de no colocar sus manos cerca de los pernos de giro ni en las partes que golpean con el bote.

77.- Los ganchero deberán retirar la cantidad de rezaga que exceda la capacidad del bote.

78.- Los ganchero deberán retirarse del área de la lumbrera durante el movimiento de botes en el tiro y la descarga en las tolvas.

79.- Colocar los botes vacíos en la plataforma, dejando las asas apoyadas en el bote y del lado exterior de la plataforma.

80.- Mantener libre de rezaga las plataformas en que se colocan los botes.

81.- Mantener en buenas condiciones los polines colocados sobre las plataformas, para garantizar el seguro apoyo de los botes.

82.- Revisar periódicamente las condiciones físicas de las asas y sus pernos de giro, corrigiendo cualquier deficiencia en [illegible].

83.- Revisar periódicamente la gaza y el gancho que sujeta los botes de rezaga.

84.- Mantener libre de obstáculos el área bajo la lumbrera, que ofrezca seguridad en el movimiento de los ganchero.

85.- Prohibir se realicen maniobras en el brocal durante la realización de trabajos bajo el área de la lumbrera.

86.- Asegurarse que el señalero atienda diligentemente su trabajo, ordenando al operador del malacate en forma precisa.

NORMAS [illegible]

A6. TRABAJOS EN AIRE COMPRIMIDO.

Entrada y Salida de la Cámara de Trabajo:

Generalidades.-

1.- Responsabilidad del médico.- El médico deberá dictar los procedimientos a seguir para entrar o salir de la cámara de trabajo de acuerdo con las disposiciones de estas normas de seguridad. El médico entrenará personas competentes llamados encargados de esclusa para personal, para que operen las esclusas por donde el personal deba pasar.

2.- [illegible] esclusa para personal.- Deberá estar siempre un encargado de la esclusa para personal en el puesto indicado cuando haya personal dentro de éstas o se esté trabajando con aire comprimido. Deberá controlar la entrada de personas al túnel, supervisará la compresión y descompresión de las esclusas para [illegible] y llevará los registros que indique el médico.

3.- Entrada autorizada.- Cuando el túnel tenga aire comprimido, el encargado de la esclusa para personal permitirá sólo la entrada a las personas que tengan el permiso médico. Las personas que hayan estado ausentes por más de diez días deberán tener autorización reciente del médico para volver a entrar. La esclusa de personal será el paso obligado para entrar a la cá

mara de trabajo.

4.- Salida autorizada.- A ninguna persona se le permitirá salir del túnel si no pasa por la esclusa para personal y permanece el tiempo de descompresión requerido, de acuerdo con las tablas de descompresión que se verán más adelante.

5.- Decantación.- La decantación es el método de descompresión que lleva al trabajador de la presión de trabajo del túnel, rápidamente a la presión atmosférica en la esclusa para personal, para ser transferido antes de cinco minutos a otra esclusa para ser recomprimido. No será usado en este proyecto rutinariamente.

6.- Puesto del encargado para la esclusa de personal.- Este puesto deberá estar equipado cuando menos con:

a. Un manómetro de registro contínuo que indique la presión de la cámara de trabajo y de sensibilidad tal, que un cambio de presión de 0.035 kg/cm^2 en 5 minutos sea visible.

b. Un manómetro de registro contínuo con las cualidades descritas, que señale la presión de la esclusa para personal.

c. Manómetros que indiquen las presiones del túnel y de la esclusa para personal.

d. Un reloj.

e. Un termómetro que indique la temperatura del interior de la esclusa para personal.

f. Las válvulas necesarias para controlar la entrada y salida del aire a la esclusa para personal.

[illegible] Proporcionarle un [illegible] de calentamiento que [illegible] por la [illegible] a no menos de 22°C durante la descompresión.

12.- Compresión.- La compresión en la esclusa de personal no deberá exceder en el primer minuto de 0.2 kg/cm². Cuando menos durante un minuto será mantenida esta presión y si nadie manifestó incomodidad se elevará hasta 0.5. kg/cm² en el siguiente medio minuto, debiendo esperarse otro minuto para observar, si no hay incomodidad de algún trabajador. Si no existe incomodidad de nadie, se elevará la presión hasta conseguir la presión del túnel, a la velocidad de 0.7 kg/cm² por minuto. Si alguien se queja se detendrá la compresión y la presión se bajará [illegible] kg/cm². Dicha [illegible] no más de 5 minutos en espera de alivio del trabajador. De continuar la molestia, se bajará gradualmente hasta cero la presión y se enviará al trabajador al Servicio Médico.

13.- Descompresión:

14.- Exposición simple.- Esta exposición consiste en una exposición continua al aire comprimido seguida de un período de descompresión, siempre que la exposición no haya estado precedida al seguida de otra exposición al aire comprimido en un intervalo de cuando menos 12 horas.

a) Tiempo de exposición.- Es igual al tiempo en horas que se ha permanecido en el túnel, excluyendo el tiempo de compresión y descompresión.

b) Presión de exposición.- Es igual a la presión más alta a la que la persona haya estado expuesta durante sus labores. No deben tomarse en cuenta las variaciones rápidas de presión si son mínimas (menores de 0.3 kg/cm^2 y de corta duración (menores de quince minutos). Cuando la presión ha variado más de 0.3 kg/cm^2, la presión será el promedio de las presiones tomadas a la mitad y a la terminación del tiempo de exposición.

15.- Exposición múltiple.- Se considera exposición múltiple, cuando hay dos o más exposiciones al aire comprimido en un intervalo menor de 12 horas.

a) Tiempo de exposición.- El tiempo de exposición para una exposición múltiple, será la suma de los tiempos de las exposiciones respectivas, exceptuando el tiempo de compresiones y descompresiones.

b) Presión de exposición.- La presión para una exposición múltiple, será la máxima presión de trabajo a que un trabajador haya estado expuesto o la presión calculada para exposiciones múltiples.

16.- Tablas de descompresión.- Las tablas de descompresión que serán usadas a la altitud de la Ciudad de México, han sido modificadas de acuerdo con la diferencia de presión barométrica con relación al nivel del mar, de las tablas computadas y conocidas como "Tablas del Estado de Washington", señalándose los valores para las diferentes presiones en kilogramos sobre

[illegible] establecerse para comunicarse con [illegible] esclusa para personal: a) Teléfono con conmutación para frente de túnel; b) En la parte interna de la campana -- c) Planta de compresoras; d) Servicio Médico y [illegible] na del Superintendente del aire comprimido.

h. Un registro de la esclusa de personal de todas las entradas y salidas del túnel. El registro tendrá la fecha, número de turno, nombre de todas las personas que entren a la esclusa con anotación de la duración de la compresión, la presión de exposición, el plan de descompresión usado, así como la hora de entrada y de salida de cada persona que entra en la esclusa para personal.

7.- Esclusas de aire.

8.- La esclusa para personal deberá estar situada con el punto más bajo de su puerta preferentemente un metro por arriba del nivel más alto esperado del agua.

9.- Necesidad de esclusa larga.- Sólo será necesaria cuando el tiempo de descompresión para un turno regular de trabajo alcance de los 75 minutos. Tiene las características de esclusas para personal. Deberá probarse de manera que demuestre la resistencia necesaria para una presión de cuando menos 0.6 kg/cm^2.

10.- Esclusa de rescate.- Deberá estar provista con válvulas, tuberías y manómetros que permitan la salida del personal de [illegible] trabajo en caso de emergencia sin ayuda exterior.

Deberá tener teléfono directo con el puesto de encargado de esclusa para personal.

11.- Esclusa para personal.- Deberá ser lo suficientemente grande para contener a todos los trabajadores de un turno regular de trabajo en el túnel. Tendrá cuando menos 1.50 mts. de altura y un volúmen de 0.85 m^3 de aire por ocupante. El número máximo de ocupantes deberá indicarse en forma visible en cada puerta, no debiendo excederse de este número, excepto en casos de emergencia. La esclusa para personal contará con:

a) Un manómetro que indique la presión del aire en el túnel.

b) Un manómetro que indique la presión en la propia esclusa.

c) Un reloj.

d) Un termómetro que indique la temperatura de la propia esclusa.

e) Tuberías y válvulas que permitan el control de la presión de aire desde el interior de la propia esclusa y desde fuera de ambas puertas.

f) Tuberías y válvulas que permitan la ventilación.

g) Un teléfono ó interfón conectado con el puesto del encargado de la esclusa para personal.

h) Ventanas de observación en cada extremo de la esclusa que permitan la observación de todo el personal.

i) Un sistema de alumbrado adecuado para todas las partes interiores y los instrumentos.

j) Asientos adecuados para todos los trabajadores.

centímetro cuadrado, a partir de 2.6 hasta 2.8 y para [illegible]

[illegible] "[illegible]".

a) La tabla de Descompresión N° 1 indica el tiempo total de descompresión en minutos para varias combinaciones de tiempo de exposición y de presión de exposición.

b) La Tabla de Descompresión N° 2 indica los siguientes detalles para las mismas combinaciones de tiempo de exposición y de presión de exposición.

1.- Número de etapas.

2.- Presión final del aire (kg/cm^2) para cada etapa.

3.- El tiempo en minutos para cada etapa.

4.- La reducción de la presión del aire (kg/cm^2) para cada etapa.

5.- El tiempo total de la descompresión en minutos.

c) Las tablas de Descompresión N° 3, N° 4 y N° 5, serán usadas para casos de "exposiciones múltiples" y son modificadas para la altura de la Ciudad de México, de las recomendadas por la U.S. Navy ([illegible]), por el nivel del mar.

[illegible] Además de aprovechar las técnicas de descompresión y los procedimientos aplicables en casos de emergencia previsible, deberán ser dictados por el médico. El oxígeno podrá ser usado eventualmente en algunas descompresiones por indicación personal del médico.

NORMAS COMPLEMENTARIAS

AC. TRABAJOS EN AIRE COMPRIMIDO.

Disposiciones Generales:
(Sección II-A)

1.- La empresa notificará a las Autoridades que correspondan, la realización de trabajos en aire comprimido.

2.- Superintendente del Aire Comprimido.- Ingeniero inmediatamente responsable de la obra, que estará familiarizado con todas las normas de seguridad que se apliquen y será el responsable por el cumplimiento de las mismas. Este ó un asistente autorizado, deberá estar presente en todo momento en el lugar de la obra mientras se esté trabajando en la cámara de trabajo.

3.- Médico.- Médico contratado para supervisar el programa para la selección de personal y otras medidas tendientes a conservar la salud e integridad de los trabajadores que laboren en aire comprimido. Deberá estar familiarizado con lo relacionado a los requisitos físicos y aspectos médicos del trabajo en aire comprimido y con el tratamiento de la enfermedad causada por descompresión. El médico y sus asociados deberán estar habilitados físicamente para entrar a la cámara de trabajo.

4.- Ninguna persona deberá estar expuesta a una presión mayor de

[illegible] Kg/cm² [illegible] en caso de emergencia o mientras [illegible] [illegible] [illegible] bajo la supervisión del médico. Presiones de aire superiores de 2.52 Kg/cm² solo podrán ser permitidas en casos de [illegible] suplementarias a estas normas.

5.- Resistencia de estructuras.- La resistencia de los diferentes elementos de la construcción que resistirán cargas de presión serán verificados y aprobadas para tales presiones bajo la responsabilidad del Superintendente en aire comprimido. Estos elementos incluyen los soportes de la excavación del túnel, lumbrera, mampara y cortinas de seguridad. Las esclusas deberán ser probadas de acuerdo a las normas de seguridad.

6.- Instrucciones al personal.- El Superintendente del aire comprimido [illegible] las medidas necesarias para que cada trabajador tenga conocimiento de las medidas de seguridad que deberán seguir en el trabajo bajo aire comprimido. Todo trabajador deberá obedecer las normas de seguridad en aire comprimido y en excavación de túnel con escudo.

7.- Entrenamiento en primeros auxilios.- Los siguientes trabajadores deberán haber aprobado cursos de primeros auxilios a satisfacción del médico:

Superintendentes del aire comprimido.

[illegible] del Superintendente.

Encargados de esclusa para personal.

Auxiliares de esclusa médico.

Supervisores de Seguridad

Sobrestantes y Cabos.

Y dos substitutos de Sobrestante o Cabo.

8.- Instrucción en primeros auxilios.- Todos los trabajadores señalados deberán recibir instrucciones sobre primeros auxilios por el médico, antes de iniciarse las labores en aire comprimido y después a intervalos no mayores de tres meses.

9.- Identificación del personal.- La Compañía dará a cada uno de los trabajadores en aire comprimido una placa como identificación, que deberá llevar el número de registro e identificar a la persona como trabajador en aire comprimido. Llevará así mismo la dirección y el teléfono de la esclusa del servicio médico e instrucciones generales de que hacer en caso de enfermedad por descompresión o síntomas o molestias de causa no identificada. Esta placa por disposición de la Compañía, deberá llevarse consigo todo el tiempo tanto en el lugar de trabajo como fuera de éste.

10.- Avisos.- En lugares visibles de la obra con aire comprimido serán colocados avisos de sugerencias para los trabajadores.

11.- Inspección periódica.- El Superintendente del aire comprimido designará a una persona, quién inspeccionará toda la maquinaria, el equipo, estructuras y lugares de trabajo por lo menos una vez al día mientras se trabaje con aire comprimido. Los reportes deben ser archivados diariamente.

[illegible]nibilidad de las normas de seguridad.- Estas normas deben [illegible] estar disponibles en los sitios de trabajo y bajo la responsabilidad del superintendente.

13.- Idioma español.- Todos los trabajadores deberán saber leer y escribir el español en la medida necesaria para asegurar su seguridad y la del personal.

14.- Condiciones peligrosas.- La ruptura de tubos que transporten grandes volúmenes de agua a presión, gas ó productos derivados del petróleo serán considerados peligrosas.

15.- Trabajo solitario.- Nadie podrá trabajar tan lejos de los demás que no se le oigan sus gritos.

NORMAS COMPLEMENTARIAS

AC. TRABAJOS EN AIRE COMPRIMIDO.

Definiciones:
(Sección II-B)

1.- Superintendente del aire.- Aquel individuo competente, designado por la empresa, quien es responsable por la obra.

2.- Presión de aire.- La fuerza del aire sobre la unidad del área. (En el sistema inglés es en libras por pulgada cuadrada, psi). En el sistema métrico es en kilogramos por centímetro-cuadrado, kg/cm^2.

3.- Presión absoluta.- Es la presión manométrica más la presión atmosférica, (psia), kg/cm^2-a.

4.- Presión atmosférica.- La presión normal del aire libre atmosférico. Al nivel del mar la presión atmosférica se estima en 1.03 kg/cm^2-a (14.7 psia). La presión manométrica es siempre kg/cm^2-m (cero psig) al nivel del mar.

5.- Presión manométrica.- La presión medida por un manómetro indicando la presión que excede la presión atmosférica, (psig) (kg/cm^2-m).

6.- Presión de trabajo.- La presión que el Superintendente del aire o su asistente autorizado establezca para la cámara de trabajo, según la necesidad.

7.- Presión baja.- Una presión de trabajo no mayor de 1.03 kg/cm^2-m, (14.7 psig).

presión alta.- Una presión de trabajo mayor de 1,03 kg/cm² (14 psig).

8.- Suministro de aire.- El aire comprimido usado en la cámara de trabajo.

9.- Suministro de aire de presión baja.- Aire comprimido usado para subir y mantener la presión en la cámara de trabajo y en las esclusas de aire.

10.- Suministro de aire de presión alta.- Aire comprimido normalmente usado para el equipo y herramientas neumáticas.

12.- Médico.- Un médico con licencia, contratado por la empresa para supervisar el programa médico que aquí se describe.

13.- Mampara.- Una estructura a prueba de escape de aire que separa la cámara de trabajo del aire libre o de otra cámara bajo una presión menor. Generalmente es atravesada por una o más esclusas, por la tubería de aire y otras instalaciones.

14.- Patrón.- El contratista, la firma, corporación u otra organización que lleve a cabo el trabajo.

15.- Ingeniero.- Un ingeniero con licencia para ejercer la profesión en el estado o distrito de su jurisdicción. El ingeniero deberá ser experto en el tipo de trabajo. El ingeniero a que se hace referencia en estas normas de seguridad, no tiene que ser la misma persona en cada caso o en todos los casos.

16.- Nivel normal.- La presión atmosférica normal.

17.- Inundación rápida.- Una situación crítica debido a una crecida súbita del agua en la cámara de trabajo, cuando la presión

do aire sea bajada intencionalmente o por otro motivo. Un túnel perforado por el sistema de aire comprimido, bajo agua, tal como bajo un río o bahía, será considerado propenso a una inundación rápida, en cualquier tipo de terreno.

18.- Cortina de seguridad.- Un diafragma impermeable colocado a través de la parte alta del túnel entre el frente y la mampara, con el fin de evitar la inundación de la clave del túnel entre la cortina de seguridad y la mampara, dando un refugio seguro y escape de una inundación o túnel inundado.

19.- Pozo.- Una entrada hecha desde la superficie del terreno a un punto subterráneo y cuyo eje mayor inclina a la horizontal con más de 20 grados.

20.- Shafting.- Un conducto sellado e impermeable de la cámara de trabajo a un punto situado por arriba del nivel normal del terreno o del agua.

21.- Túnel.- Una excavación debajo de la superficie del terreno cuyo eje mayor forma un ángulo no mayor de 20 grados con respecto al horizontal.

22.- Cámara de trabajo.- El espacio donde se trabaja en aire comprimido.

NORMAS [illegible]

AC. TRABAJOS EN AIRE COMPRIMIDO.

[illegible] Subterráneas:
(Sección II-1)

1.- Mampara en Túneles.- Cada cámara de trabajo estará separada una mampara, del aire normal o de otra cámara con presión de aire más bajo. Esta mampara será construída de materiales no-combustibles y tendrá la resistencia suficiente para aguantar con seguridad las presiones máximas y fuerzas a que pueda estar sometida.

2.- Salida de un túnel inundado.- Cada cámara de trabajo que esté propensa a una inundación rápida, estará provista de pasarelas, rampas, cortinas de seguridad y mamparas delanteras, con el fin de tener un refugio seguro y escape de una inundación, o de un túnel inundado, sin embargo, las cortinas de seguridad no serán necesarias en las cámaras de trabajo que tengan una altura libre menor de 3.66 m, y las pasarelas no serán necesarias en cámaras que tengan una altura libre de menos de 4.27 m.

Cortinas de seguridad:

a.- Cada cortina de seguridad será a prueba de aire o agua, así como construída de materiales no-combustibles, y tendrá la suficiente resistencia para aguantar las presiones máximas a que pueda estar sometida.

b.- Cada cortina de seguridad será instalada con su borde inferior horizontal y perpendicular al eje del túnel. Cada cortina deberá extenderse desde la corona hasta el eje del túnel, con la excepción de que en las cámaras de trabajo de más de 7.32 m. de altura libre, no se tendrán que extender las cortinas más de 3.66 m. abajo de la corona del túnel.

c.- No se permitirá el avance del frente de trabajo a más de 150 m. adelante de la cortina más cercana que esté instalada adecuadamente.

d.- Cortinas intermedias deberán ser instaladas en ciertos lugares para que el nivel del agua no pueda subir a más de 1 m. sobre el borde de cualquier cortina de seguridad intermedia y para que el agua no pueda subir arriba del umbral de la puerta de la esclusa de aire más alta.

4.- La esclusa de material estará a nivel.- Cuando se use línea férrea para el acarreo de materiales, la esclusa para materiales deberá estar construída en tal forma que los rieles de su interior estén a nivel, independientemente de la pendiente del túnel.

5.- Descarriladores automáticos.- Dispositivos automáticos de descarrilamiento de trenes se deberán instalar en los lugares siguientes:

a. En la parte alta de todas las pendientes de más de 2%.

b. A distancia no menor de 50 m., ni mayor de 60 m. pendiente

[illegible] todo cuidado [illegible] al lado de [illegible] una mampara, buscarla y ocluso de aire.

Se deberán mantener los descarriladores abiertos [illegible] posición de descarrilamiento a todo tiempo, a menos que estén continuamente sujetados con botón, palanca, dispositivo de tiempo, ojo electrónico u otro dispositivo en la posición cerrada, o de operación, cuando un tren pase por el descarrilador hacia abajo por la pendiente. El descarrilador regresará a la posición abierta tan pronto como pase el tren. El descarrilador deberá permitir el paso libre de los trenes pendiente arriba sin activarlos.

6.- Desviación de agua en trabajos subterráneos.- Cada túnel deberá estar provisto de un tubo de agua de 2 pulgadas de diámetro que se extienda hasta adentro de la cámara de trabajo a 20 m. del frente de trabajo. Se instalarán bocas de salida para mangueras con válvulas y conexión rápida a intervalos no mayores de 30 m. a todo el largo del túnel. Cada salida será identificada con anillos de color ámbar o con reflectores visibles desde cualquier dirección. La presión del agua deberá ser a todo [illegible] suficiente para operar los tipos de boquillas de incendio que se usen.

NORMAS COMPLEMENTARIAS

AC. TRABAJOS EN AIRE COMPRIMIDO.

Distribución de la fuerza eléctrica subterránea:
(Sección II-J)

1.- En general.

a. Solo a personal calificado será permitido instalar o manejar conductores eléctricos u otros aparatos eléctricos de cualquier clase, o entrar a una sala de máquinas eléctricas o estación eléctrica subterránea.

b. Los aparatos eléctricos deberán ser operados solamente por personal previamente entrenado por un instructor competente y autorizado por el Superintendente en aire comprimido.

c. Cada máquina eléctrica o aparato, activado a más de 150 voltios, será clara y visiblemente marcado con las palabras "PELIGRO ALTO VOLTAJE" en letras fluorescentes y propiamente iluminado cuando esté con corriente.

2.- Limitación de voltaje.- Los circuitos de fuerza primarios subterráneos no deberán de exceder los 5,000 voltios a tierra. Herramientas de mano y circuitos de control para aparatos eléctricos subterráneos no deberán de exceder los 150 voltios a tierra.

3.- Conductores.

a. Cada conductor que lleve más de 600 voltios, deberá ser blindado o de cable de tipo SH-D que sea recomendado por

[illegible] para trabajo a tomar [illegible]

vida.

b. Cada conductor que lleve 600 voltios o menos, a excepción de circuitos finales de iluminación, será de cobre [illegible] flexible para servicio pesado, propio para lugares húmedos y deberá estar provisto de conductor o conductores aislados independientes a tierra.

c. Todos los conductores de fuerza en lumbreras, deberán ser de alambres aislados impermeables o cables blindados contra impacto o abrasión. Los conductores deberán ser sujetados por aisladores o grapas de manera que el factor de seguridad de tensión sea no menor de cuatro. Todos los conductores deberán ser protegidos en canaletas o en otra forma contra daño a materiales.

d. Conductores aislados en conductos metálicos conectados a tierra serán aceptables en lugar de lo anterior.

Lugares de trole no permitido.- El uso de paladare de trole para [illegible] eléctrico no será permitido.

Transformadores eléctricos.- En trabajos subterráneos solo se usarán transformadores del tipo seco. Dispositivos de sobrecorriente e interruptores del tamaño y tipo apropiado serán instalados en los lados primarios y secundarios de cada transformador o grupo de transformadores.

Clavijas y enchufes.- Las clavijas y enchufes deberán ser [illegible]

ra trabajo rudo y provistos de una cadena de seguridad.

Interruptor o interruptores automáticos.- Los interruptores deberán ser operados exteriormente e instalados en caja impermeable metálica. Los interruptores manuales y automáticos estarán dispuestos para poder desconectar simultáneamente todos los conductores no conectados a tierra. Los interruptores de cuchilla serán instalados de manera que no se cierren por gravedad, o con dispositivo de seguro de manera que el interruptor se mantenga en posición abierta.

a. Cada circuito de alimentación de más de veinte y cuatro (24) kilovatios de capacidad que vaya hacia los trabajos subterráneos, dispondrá en la superficie de un interruptor automático de sobrecarga. En el caso de circuitos de corriente directa con retorno por tierra, se instalarán interruptores automáticos en el lado subterráneo del circuito, pero se podrá omitir en el lado de retorno.

b. Cada circuito alimentador de corriente alterna de más de 600 voltios hacia los trabajos subterráneos, será provisto en la superficie de un interruptor de aceite o interruptor de aire en cada fase y cada interruptor estará provisto con un desenganche automático de sobrecarga.

c. Cada circuito de ramal será provisto con un interruptor a no más de 1.50 m del punto de derivación del circuito principal.

[illegible] Los dispositivos de [illegible] no deberán sobrepasar la capacidad del circuito en más de 25%.

c. Todos los interruptores, disyuntores, reostatos, fusibles e instrumentos de maniobra usados en combinación con generadores, transformadores y motores subterráneos, estarán montados sobre bases standard de materiales no-combustibles y aislantes.

9.- Estaciones de carga de acumuladores.- Las estaciones de carga de acumuladores eléctricos se deberán conservar a todo tiempo bien ventiladas para evitar la acumulación de gas inflamable.

NORMAS COMPLEMENTARIAS

AC. TRABAJOS EN AIRE COMPRIMIDO.

Calidad del Aire:
(Sección II-R)

1.- Generalidades.- La corriente de aire en el túnel deberá ser regulada de modo que todas las partes estén bien ventiladas y no haya bolsas inertes de aire.

2.- Ventilación.- El túnel deberá ser abastecido con las cantidades de aire libre siguiente:

Por cada hombre en la cámara de trabajo: 47 litros por segundo. Por cada metro cuadrado de la sección transversal del túnel: 25 litros por segundo.

Debe usarse el valor obtenido, que resulte el más alto.

3.- Temperatura.- La temperatura del interior del túnel y de la esclusa para personal deberá ser mantenida como sigue:

Túnel .- Máxima 38°C.

Esclusa para personal - Máxima 38°C. - Mínima 22

4.- Escape de aire.- Deberá instalarse un tubo de escape de aire en la parte más alta de la mampara. Cuando haya aire contaminado deberá instalarse un tubo de escape independiente, que se origine a menos de 30 metros del frente, debiendo tener este tubo bocas y válvulas, tantas como se necesite, a lo largo del tubo de escape para quitar el aire contaminado de la cámara de trabajo. El tubo de escape deberá descargar en la su-

[illegible] y los gases que salgan estén alejados de las tomas de aire de los compresores.

[illegible] contaminantes del aire.- El flujo de aire al túnel deberá ser regulado de tal manera, que la concentración de contaminantes en el aire no pase los límites siguientes:

Contaminantes	Concentración máxima. (por volúmen)	
Oxido de carbono	0.005 %	50 ppm
Anhídrido carbónico	0.50 %	5,000 ppm
Anhídrido de nitrógeno	0.0005%	5 ppm
Metano	0.25 %	2,500 ppm
Hidrógeno sulfurado	0.002 %	20 ppm

[illegible] oxígeno.- No se permitirá que en el interior del túnel haya menos del 20% de oxígeno.

[illegible] pruebas.- Deberán hacerse pruebas cuantitativas para los contaminantes cuando menos cada cuatro horas, en los sitios donde se considera la posibilidad de sobrepasar la concentración especificada de estos contaminantes.

Los resultados de estas determinaciones deberán ser registrados y archivados en la oficina del Superintendente del aire comprimido.

[illegible] de gas explosivo.- Cuando se sospeche la presencia de gas explosivo, se deberán hacer pruebas con explosímetro [illegible] cada hora, por personal competente.

En caso de gas explosivo se deberá mejorar la ventilación y se

petir las pruebas por lapsos no mayores de 4 horas. Los trabajos en ese sitio deberán ser aprobados por el Jefe de Frente en Aire Comprimido.

9.- Paro de labores normales.- Cuando se encuentre 40% ó más de límite explosivo o la presencia de un gas venenoso o sofocante, o bien que las concentraciones de los contaminantes excedan los límites mencionados u otra condición peligrosa para la vida, deberán suspenderse las labores normales a menos que se tomen las precauciones necesarias para hacer el lugar seguro, bajo dirección competente.

10.- Equipo eléctrico.- Antes de instalar u operar equipo eléctrico en los lugares que contengan cualquier gas explosivo, la autoridad de la Compañía deberá ser informada de las condiciones actuales, estando la instalación y operación sujetas a órdenes específicas de la autoridad.

[illegible]

20. [illegible] EN [illegible] CONDUCTO.

[illegible] Subterráneas
(Sección II-S)

1.- En general.- Los circuitos eléctricos de iluminación subterráneos no deberán exceder los 300 voltios entre dos conductores, ó 150 voltios entre cualquier conductor y la tierra.

2.- Lámparas y Portalámparas.-

a. Las lámparas tendrán que ser colocadas de manera que no tengan contacto con algún material combustible y en un lugar que [illegible] suficiente aislador.

b. Los portalámparas deberán ser a prueba de incomperie.

c. Deberá instalarse un interruptor general de todo el sistema de alumbrado.

3.- Conductores para iluminación subterránea.- El alambre que se use en la iluminación subterránea deberá ser aislado por un termoplástico resistente al calor, a la humedad, retardante a la llama, y apropiado para usarse con 600 voltios o menos.

a. Los conductos eléctricos serán soportados por aisladores de madera o cerámica, por lo menos a una pulgada de la superficie, a menos que estén en tubos conduit.

b. Si es una conduit metálico, deberá ser conectado a tierra.

4.- Tomacorrientes y enchufes.- Las clavijas y enchufes tendrán que ser de construcción sólida para uso rudo y con conexión a tierra. Deberán ser de diferente construcción cuando se utilicen diferentes voltajes.

5.- Cordones.- Los cordones deberán ser de uso rudo, aptos para lugares húmedos, y con conductores aislados independientes a tierra. Los cordones se usarán en piezas contínuas, sin empalmes ni derivaciones, con la excepción de los empalmes moldeados o vulcanizados que sean satisfactoriamente hechos. Los cordones deberán estar conectados a dispositivos y accesorios de manera que un tirón ocasional, no sea transmitido a las uniones o tornillos terminales.

6.- Interruptor.- Los interruptores deberán ser operados exteriormente, instalados en cajas impermeables y dispuestos de modo que al desconectarlos corten el circuito en todos los conductores.

7.- Lámparas portátiles de mano.- Las lámparas portátiles de mano deberán ser del tipo moldeado, protegidas por una malla de alambre lo suficientemente grande para la lámpara y el portalámpara, y deberá disponer de una agarradera, a través de la cual pasa el cordón de la lámpara. El cordón de la lámpara será del tipo uso rudo propia para lugares húmedos.

8.- Iluminación de emergencia.- Cada cámara de trabajo que esté propensa a inundación rápida deberá tener un sistema de iluminación de emergencia, con fuente independiente de energía, alambrado y lámparas.

El sistema de iluminación de emergencia deberá proporcionar una iluminación a intervalos de 15 m.

El sistema de iluminación de emergencia deberá iluminar el largo total de cada cámara de trabajo, esclusa de aire, túnel y lumbrera.

La iluminación de emergencia deberá estar arreglada y mantenida de modo que ninguna cámara de trabajo, esclusa de aire, túnel o lumbrera permanezca obscura por más de 10 segundos en el caso de interrupción o falla del sistema de iluminación normal.

NORMAS COMPLEMENTARIAS

AC. TRABAJOS EN AIRE COMPRIMIDO.

Comunicaciones y señales standar.
(Sección II-T)

1.- Sistema telefónico para el túnel.- Se instalará un sistema de intercomunicación telefónica entre los lugares siguientes:

a. En el frente del túnel.

b. Ambos lados de cada mampara de aire comprimido.

c. Esclusa de personal.

d. Esclusa de rezaga.

e. Estación del encargado de esclusa.

f. Planta de compresoras.

g. Estación de control de aire para el túnel.

h. Oficina de Servicios Médicos.

i. Oficina del Superintendente.

Se podrá usar un teléfono para dos lugares cuando éstos se encuentren a distancia corta y de fácil acceso de uno al otro.

2.- Señales de emergencia.- El sistema de alumbrado estará dispuesto de manera que se puedan dar señales intermitentes en el circuito de iluminación general. En caso de fuego, inundación u otro peligro mayor, se darán nueve señales en el circuito alumbrado.

3.- Circuitos de señales y telefónicos.- Los conductores subterráneos para señales y teléfonos se instalarán por lo menos 30 m. alejados de cualquier conductor eléctrico.

[illegible]

[illegible] TRABAJOS EN AIRE COMPRIMIDO.

Procedimientos de Prevención de Incendios y Emergencia.
(Sección II-D).

1.- En general.- Cuando un objeto se quema en aire comprimido, la velocidad de la combustión se aumenta con la presión de [illegible]jo, se producen gases, el abasto de oxígeno se disminuye, y la visibilidad se reduce. Además, el fuego se extiende más rapidamente hacia arriba que horizontalmente.

2.- Medidas Preventivas:

3.- No fumar.- En aire comprimido ninguna persona podrá fumar ni llevar material encendido que produzca humo.

4.- Llama.- A excepción de lo dispuesto aquí, no se permitirá llama de ninguna clase en aire comprimido.

5.- Soldadura o cortar con acetileno.- Mientras estén soldando o cortando con acetileno en aire comprimido, un ayudante deberá estar presente con una manguera de agua contra incendio o un extinguidor de agua con expulsión de gas hasta que se haya terminado la operación de soldar o cortar, y el material soldado o cortado se haya enfriado. Se deberá hacer una inspección para asegurarse de que no haya posibilidad de fuego después que la soldadura o el corte será completo.

6.- [illegible].- No se llevará o usará acetileno en la [illegible] trabajo cuando la presión de trabajo exceda 1.03 kg/cm².

7.- Materiales combustibles.- La cantidad de materiales combustibles que se usen en el túnel se deberá reducir a la mínima posible. Las especificaciones deberán disponer el uso de materiales que tengan la mejor combinación de las características favorables siguientes:

a. Punto alto de ignición.

b. Velocidad baja de combustión.

c. Baja producción de humo y gases tóxicos.

8.- Fluídos para mecanismos hidráulicos.- Los fluídos para mecanismos hidráulicos compuestos de petróleo o aceite mineral que se escapen a una presión que exceda de los 17.58 kg/cm^2-m, generalmente forman un vapor el cual puede encenderse al contacto con llama, con superficie de temperatura más de 316 C°, o por la chispa de un equipo eléctrico. Se deberá considerar la presencia de estos fluídos hidráulicos en la cámara de trabajo en el programa de procedimientos de emergencia según Sección 17.

9.- Construcciones.-

a. Las construcciones sobre una lumbrera se harán solamente de materiales no-combustibles.

b. Solamente estructuras de materiales no-combustibles podrán ser erigidas a menos de 30 m. de una lumbrera, planta de compresoras, subestación, casa de malacate.

10.- Almacenaje y manejo de materiales inflamables.-

a. Los aceites y otros materiales inflamables peligrosos, a

[illegible] del petróleo en tanques de uso diario, serán almacenados por lo menos a 30 m. de distancia del brocal de la lumbrera, planta de compresoras, subestación o casa de maquinas. Si los aceites están almacenados en un edificio, no se deberá usar tal edificio para otro propósito.

Los tanques y cilindros de aceite que contengan líquidos inflamables serán situados de manera que los derrames no corran hacia el brocal de la lumbrera. Bajo ninguna circunstancia se deberá almacenar oxígeno o gas inflamable cerca de aceite.

b. Se prohibirán luces de llama abierta en todos los lugares donde se almacenen gasolina, aceite u otro material inflamable.

c. Los aceites lubricantes, grasas y compuestos para cable, se llevarán al trabajo subterráneo en recipientes cerrados con capacera que se pueda volver a cerrar y que no permita goteos o derrames del contenido. No se deberá llevar más de lo necesario para un día a la cámara de trabajo.

d. No se deberá llevar o usar petróleo o gasolina en la cámara de trabajo.

e. Los desechos de madera, materiales de envoltura, papel y basura, serán sacados a la superficie a la mayor brevedad posible y no se permitirá que se acumule en el lugar de los trabajos subterráneos.

11.- Mantas.- Cualquier manta u cobija que se lleve a la cámara de trabajo o a una esclusa, deberá ser de material no-combustible o tratado con algún material retardante de fuego, aceptado por las autoridades.

12.- Equipo de contra incendio.-

13.- Abastecimiento de agua en los trabajos subterráneos.- Se deberá disponer de un abastecimiento de agua según Sección II-I-6.

14.- Mangueras de incendio y boquillas en la cámara de trabajo.- Se dispondrá de una manguera para incendio con boquilla para cada boca de salida indicada en la Sección II-I-6. La manguera contra incendio tendrá un diámetro nominal no menor de una pulgada y media, y no será de menos de 30 m. de largo. Se mantendrán listas las mangueras de incendio para uso inmediato y estarán guardadas de modo que se puedan sacar fácilmente.

15.- Mangueras de incencio y boquillas en esclusas.- Cada esclusa estará provista de válvulas de incendio, mangueras de incendio y boquillas. Las mangueras de incendio en las esclusas tendrán un diámetro nominal de no menos de tres cuartos de pulgada y serán lo suficientemente largas para alcanzar todas las partes de la esclusa. Las boquillas serán del tipo pesado de rocío ajustable para rocío, chorro y cierre.

16.- Extinguidores de incendio.- Se instalarán extinguidores de incendio en los puntos siguientes en la cámara de trabajo:

Ambos lados de cada mampara de aire comprimido.

En el frente de trabajo.

En las locomotoras.

Extinguidores serán del tipo al agua con presión o de otro tipo propio para ser usado en aire comprimido. No se llevará o usará en la cámara de trabajo materiales extinguidores de incendio que produzcan vapores tóxicos o hacer manejables, p.e. tetracloruro de carbono o bromuro de metilo.

17.- Procedimientos de Emergencia.- Se entiende que un procedimiento está seguro bajo ciertas circunstancias, pero puede resultar no seguro en otras. Las consideraciones que siguen deberán ser vistas e interpretadas independientemente para cada caso y circunstancia.

a.- Plan de Emergencia.

a. Cuando la cámara de trabajo esté en una zona donde sea posible una inundación rapida o esté en presión alta, el Superintendente preparará un plan general para una emergencia.

b. Este plan delineará los deberes y responsabilidades de cada hombre clave, de manera que cada uno sabrá lo que tendrá que hacer en el caso de incendio, pérdida de presión u otra emergencia.

c. El plan será fijado visiblemente en un tablero en los vestidores y en la oficina del Superintendente.

d. Cada hombre clave deberá ser instruido en sus deberes para evitar órdenes contradictorias y confusión en caso de emergencia.

e. Todos los empleados serán informados del plan e instruidos

de lo que se espera de ellos en caso de incer , pérdida de presión u otra emergencia.

19.- Presión de trabajo.- En caso de incendio o fuga de aire, se deberá considerar la disminución de la presión de trabajo a un nivel práctico siempre que se tengan presentes las consecuencias posibles.

20.- Uso de las esclusas.-

a. En caso de incendio, se pondrá la esclusa a la presión de la cámara de trabajo, se abrirán la puerta interior para la entrada del personal y las válvulas de ventilación para la salida de aire, para conservar limpia la atmósfera de la esclusa.

b. En caso de un conato, se pondrá a la presión de la cámara de trabajo la esclusa más alta y la puerta interior se abrirá para la entrada del personal.

21.- Posición del personal en el túnel.- En caso de fuego se aconseja que todo el personal permanezca lo más abajo que las circunstancias lo permitan en el túnel.

[illegible]

[illegible]

[illegible] Médica del Personal.
([illegible])

1.- Asistencia Médica:

1.1 El Médico.- Además de los deberes y responsabilidades que se le delegan al médico en otras secciones de estas Normas de Seguridad con la ayuda de asistentes si es necesario, tendrá los deberes y responsabilidades siguientes.

a. Supervisará en el lugar del trabajo todo lo que concierne a la salud del personal, incluyendo tratamiento de enfermedades o lesiones en el lugar de trabajo y la preparación de informes propios de tratamiento.

b. El médico o su asociado tendrá que estar disponible inmediatamente en el caso de accidente o emergencia.

c. El médico supervisará en el lugar de trabajo a los:

Encargados de la esclusa para personal.

Auxiliares de médicos.

Personal de primeros auxilios.

d. El médico supervisará el uso de todo el equipo médico y de primeros auxilios.

e. El médico hará o supervisará los exámenes requeridos en [illegible] de Seguridad.

f. El médico supervisará la preparación y llenará los informes médicos según estas Normas de Seguridad.

g. El médico hará inspecciones periódicas en la obra con el fin de eliminar las condiciones que puedan constituir -- riesgos para la salud del personal.

h. El médico inspeccionará el registro de la esclusa y los informes de tratamiento por lo menos dos veces a la semana.

3.- El auxiliar de esclusa médica estará a cargo de la administración de primeros auxilios en compañía del médico en el local del Servicio Médico, ó en el lugar de trabajo si son llamados para ello. Cuando sea necesario tendrá que operar los controles de la esclusa médica bajo la supervisión y control del médico.

4.- Servicio Médico.- Se harán edificaciones adecuadas anexas a la esclusa médica formando un departamento o servicio, en el que se suministrarán los servicios requeridos a los trabajadores. Dichas instalaciones deberán contar con el personal médico; el instrumental médico quirúrgico y de diagnóstico necesario para procurar a los trabajadores con enfermedad por descompresión, los cuidados inmediatos equivalentes a los de una Sala de Cuidados Intensivos de un Hospital General.

Contendrá así mismo las áreas necesarias para la selección de trabajadores para laborar en aire comprimido; áreas para la custodia de datos clínicos y los necesarios para proporcionar cursos de orientación y primeros auxilios.

[illegible] de [illegible] a las inscripciones medicas. Disponer en cada [illegible] de ambulancia en los primeros 30 minutos para el traslado a un centro hospitalario.

6.- Botiquín subterráneo de primeros auxilios.- Se instalará un botiquín de primeros auxilios a cada lado de la mampara y a no menos de 90 m. del frente del túnel, dicho botiquín contendrá:

a. Medicación analgésica.

b. Sueros para administración intravenosa.

c. Equipo para reanimación respiratoria: laringoscopio, cánulas, etc.

d. Material de curaciones.

e. Oxígeno.

f. Cada estación de primeros auxilios subterránea tendrá que ser provista de una camilla tipo minero, una frazada de lana o un equivalente, una lonta impermeable para heridos, [illegible] o equivalente para asegurar el herimado a la camilla, y otros artículos y equipo de primeros auxilios que requiera.

g. Los artículos del botiquín de primeros auxilios se conservarán secos, limpios y en buenas condiciones de uso.

h. Cada estación de primeros auxilios será identificada con [illegible] cruz roja y las palabras "PRIMEROS AUXILIOS", ambas pintadas sobre un fondo que contraste.

i. Cada estación de primeros auxilios deberá ser inspeccionada diariamente para confirmar que la existencia de provisiones no esté abajo del nivel requerido.

7.- Necesidad de la esclusa médica.- Cuando se use presión mayor de 0.700 kg/cm^2-m, se instalará una esclusa médica con todos sus accesorios y conforme a estas normas de seguridad, situada en un lugar adecuado, próximo a la obra y anexo al Servicio Médico.

Habrá que tener la esclusa médica permanentemente en condiciones de trabajo y lista para el uso hasta por lo menos 8 horas después de que alguien haya salido de la cámara de trabajo.

8.- Construcción de la esclusa médica:

a. Cada esclusa médica tendrá un compartimiento interior y uno externo con las puertas dispuestas en tal forma que una persona pueda pasar de la presión atmosférica por el compartimiento externo al compartimiento interior, y volver a salir, sin que la presión cambie en el compartimiento interior. Deberá tener una esclusa de instrumentos por la cual puedan pasar objetos pequeños de la presión atmosférica a la cámara interior, o viceversa, sin cambiar la presión en la cámara interior.

b. La esclusa médica será diseñada para una presión interna no menor de 5.27 kg/cm^2-m en el compartimiento interior o en ambos.

[illegible] de material [illegible] y [illegible] de la esclusa médica, incluyendo empaque [illegible], lubricantes y sellos serán no-inflamables. El equipo de la misma, como colchones, frazadas y mantas serán fabricadas con materiales inertes no-inflamables.

d. La esclusa médica tendrá por lo menos 1.70 de altura libre al centro y espacio suficiente dentro del compartimiento interior para dos catres de 0.50 x 1.80 m. cada uno.

e. Las puertas de la esclusa tendrán 0.60 m. de ancho libre por 0.95 m. de alto libre. Las puertas estarán dispuestas tal que asienten y sellen por la presión del aire. Las puertas deberán ser instaladas en tal forma, que se puedan [illegible] a pesar de las variaciones en el espesor de la empaquetadura debido al tiempo o a la presión. No se requerirá ni se permitirá la instalación de cerraduras o dispositivos mecánicos para asentar las puertas de la esclusa.

f. Deberá haber ventanillas [illegible] en cada lado del compartimiento interior y del exterior. Cada ventanilla tendrá un diámetro visual efectivo de no menos de 15 m.

g. Dicho compartimiento de la esclusa deberá tener boquillas de recibido como [illegible], situadas de manera que el oxígeno [illegible] llegue a todos los lugares abajo del eje de la esclusa médica, [illegible] [illegible] del recibidor por [illegible] del aire comprimido.

h. Cada compartimiento de la esclusa médica tendrá que tener una válvula, manguera de incendio, y una boquilla con diámetro nominal no menor de 20 mm.

i. Cada compartimiento de la esclusa médica tendrá controles internos que controlen el suministro y escape del aire comprimido y el abasto de agua contra incendio. Cada control podrá ser manipulado desde afuera de la esclusa médica.

j. Cada compartimiento de la esclusa médica tendrá desague de piso operado desde afuera por una válvula. Esta válvula estará protegida con un resguardo o malla.

k. Cada compartimiento de la esclusa médica tendrá que ser iluminado con lámparas eléctricas. El suministro de energía eléctrica de la esclusa médica será de sistema subterráneo con todos los accesorios y conductos conectados a tierra con la esclusa. Todos los accesorios y equipo en la esclusa deberán ser aprobados para usarse en atmósferas inflamables. No se deberá instalar interruptores u otros controles de iluminación dentro de la esclusa.

l. Cada compartimiento de la esclusa médica tendrá tubería conectada a una fuente exterior de gas respirable con un mínimo de cuatro conexiones especiales, automáticas, de cierre doble.

m. Cada compartimiento interior de la esclusa médica tendrá tubería conectada a una fuente exterior de oxígeno y con un mínimo de dos conexiones especiales, iguales a las del subpárrafo anterior.

[illegible] con reguladores de [illegible] das. Las mangueras de abasto de aire dispondrán de aditamentos que corresponden a las conexiones especiales para gas respirable y para oxígeno, los cuales se desconectarán automáticamente cuando la tensión en las mangueras de abasto de aire exceda de las (20 libras) 9 kg. Las mangueras de abasto de aire serán suficientemente largas para permitir que pueda tenderse en el piso de la esclusa médica la persona que las use.

o. El piso de la esclusa médica será impermeable, a prueba de chispas y antideslizante.

[illegible] fuentes de aire libre de aceite, tanto al normal como de emergencia, capaces de subir la presión de aire del compartimento interior de [illegible] de la presión atmosférica a 5.27 kg/cm²-m en cinco minutos.

q. Cada compartimento de la esclusa médica tendrá un manómetro, un termómetro y un reloj, todos los cuales serán visibles desde interior del compartimento.

Los relojes y termómetros serán no-inflamables y no-vaporizantes bajo condiciones normales de operación de la esclusa médica.

[illegible] la esclusa médica [illegible] y fuera con planchas que no se quemen o promuevan gases a temperaturas de más

t. Cada compartimiento de la esclusa médica tendrá que tener medios adecuados de comunicación verbal entre los compartimientos y entre cada compartimiento y exterior de la esclusa médica.

u. Cada compartimiento de la esclusa médica tendrá que tener teléfonos, a prueba de explosión, conectados con el sistema telefónico público, directamente o por una central telefónica en servicio.

9.- Mantenimiento de la esclusa médica.-

a. La esclusa médica deberá ser conservada en condiciones sanitarias.

b. La esclusa médica se mantendrá, cuando esté en uso, a una temperatura no más de los 32.0 C°, ni menos de los 21.0 C°

c. La esclusa médica deberá ser iluminada y ventilada adecuadamente. La capacidad de ventilación no será menos de 9 lts/sec. de aire por ocupante.

10.- Examen médico.- A ninguna persona se le permitirá entrar en la cámara de trabajo al menos que haya sido examinada por el médico. El superintendente podrá hacer excepciones a esta disposición con visitantes casuales que tengan conocimientos previos y experiencia en el trabajo en aire comprimido.

El médico puede negar que trabajen en aire comprimido a:

Personas que no puedan igualar la presión en sus oídos.

Personas que sean adictas al uso excesivo de intoxicantes.

Personas adictas al uso de narcóticos.

Personas con una deformidad física perjudicial o anormalidad,

[illegible] de [illegible]

[illegible] con [illegible] un año.

Dotado con alguna enfermedad del organismo que se pueda agravar por exposición trabajando en aire comprimido o que pueda representar un peligro a la persona o a otros en el aire comprimido.

[illegible] Recomendaciones del médico.- Las recomendaciones del médico sobre el empleo o rechazo de las personas serán por escrito y firmadas por el médico. Una copia de la recomendación será presentada al superintendente y archivada en la oficina de éste.

[illegible] Validez del período de la recomendación del médico.- La recomendación del médico será válida por un período de 14 días contados desde la fecha del examen médico.

[illegible] Recomendación temporal.- Cuando un trabajo en aire comprimido sea urgente y mientras el médico oficial no haya sido nombrado o no esté disponible, los exámenes prescritos podrán ser hechos por cualquier médico licenciado, quien podrá dar recomendaciones temporales sobre las personas. El médico deberá hacer el examen regular en la fecha más próxima posible.

[illegible] Re-examinación periódica.- Una persona calificada por el médico como [illegible] para el trabajo en aire comprimido, [illegible] por el [illegible] dentro de un año de la fecha del examen anterior o antes, para determinar si continúa o no más [illegible] del trabajo. Se hará una nueva reco-

mendación por escrito como se señaló anteriormente.

15.- Re-examinación por ausencia del trabjo.- Toda persona que, trabaje en aire comprimido y haya estado ausente del trabajo por 10 días laborables consecutivos o más, será re-examinada por el médico para determinar si aún está físicamente calificada para reanudar el trabajo en aire comprimido. Se hará una nueva recomendación escrita como se ha citado.

16.- Reporte de enfermedad.- Todas las personas empleadas en trabajos en aire comprimido deberán ser instruídas por el médico para reconocer los síntomas de la enfermedad por descompresión y presentarse inmediatamente en el Servicio Médico para ser examinada y tratada, al notar cualquier síntoma de enfermedad por descompresión.

Todas las personas empleadas en trabajos en aire comprimido deberán ser instruídas por el médico de presentarse en el Servicio Médico si sufren de resfriado, irritación de la garganta, dolor de oídos u otra dolencia que se pueda agravar o pueda causar daño a la persona al exponerse al aire comprimido.

Después de cada reporte al Servicio Médico, se hará una nueva recomendación.

17.- Tratamiento de la enfermedad por descompresión.- El tratamiento de la enfermedad por descompresión será administrado tan pronto como lo ordene el médico. La recompresión en la esclusa médica o en la cámara de trabajo será administrado solo bajo la dirección del médico. Gases respirables, como oxígeno y

[illegible] clínicas deben estar bajo la dirección del médico.

18.- Uso de la esclusa médica.- Ninguna persona podrá ser tratada en la esclusa médica si no es bajo la dirección del médico.

19.- Registros médicos.- El médico llevará un registro completo de todos los exámenes y re-exámenes hechos. Además, llevará un registro médico completo en la forma y modo que dicte la autoridad, de la incidencia de enfermedad por descompresión, y otras enfermedades o lesiones que puedan incapacitar a una persona para trabajar, y la pérdida de vida que pueda ocurrir durante la construcción del túnel o lumbreras en aire comprimido.

20.- Conservación de los expedientes clínicos.- El expediente clínico [illegible] del operadores administrado. El expediente clínico estará a disposición de los representantes autorizados de la Compañía [illegible], S.A. de C.V., para inspeccionarlos. Una hoja clínica de resumen de enfermedad y tratamiento será enviado junto con la persona enferma o herida (si ésta ya no requiere tratamiento en la esclusa médica) a un hospital u otro lugar.

21.- Conservación de los expedientes clínicos:

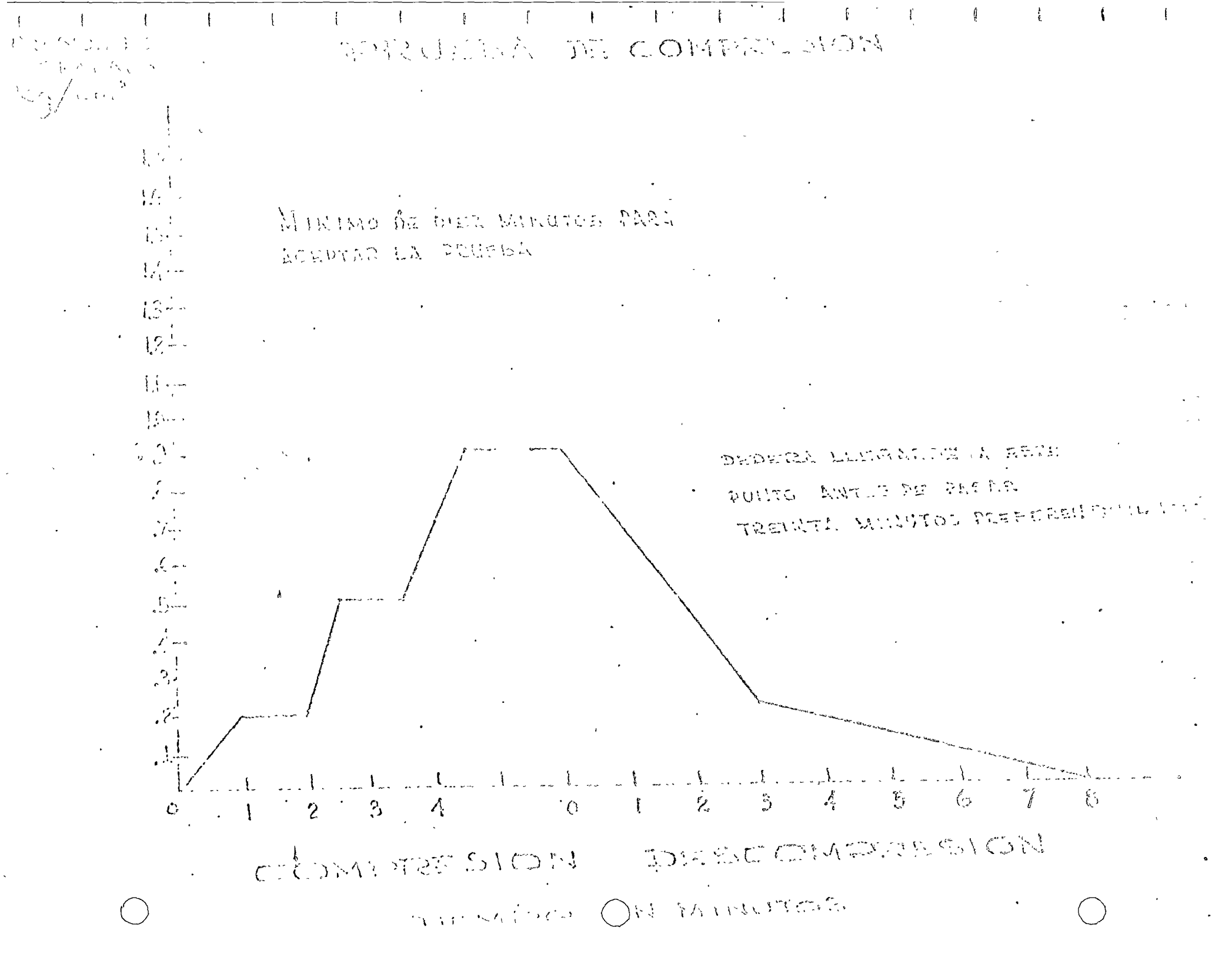
a. Todos los expedientes relativos a exámenes médicos, fechas de empleo y descompresiones será entregados y puestos al cuidado del propietario cuando no complete el trabajo. El propietario de [illegible] se [illegible] de archivar [illegible].

b. El propietario puede transferir voluntariamente esos registros a la autoridad, y deberá transferirlos dentro de los 10 años después de que el trabajo haya sido completado y en el curso del cual fueron hechos.

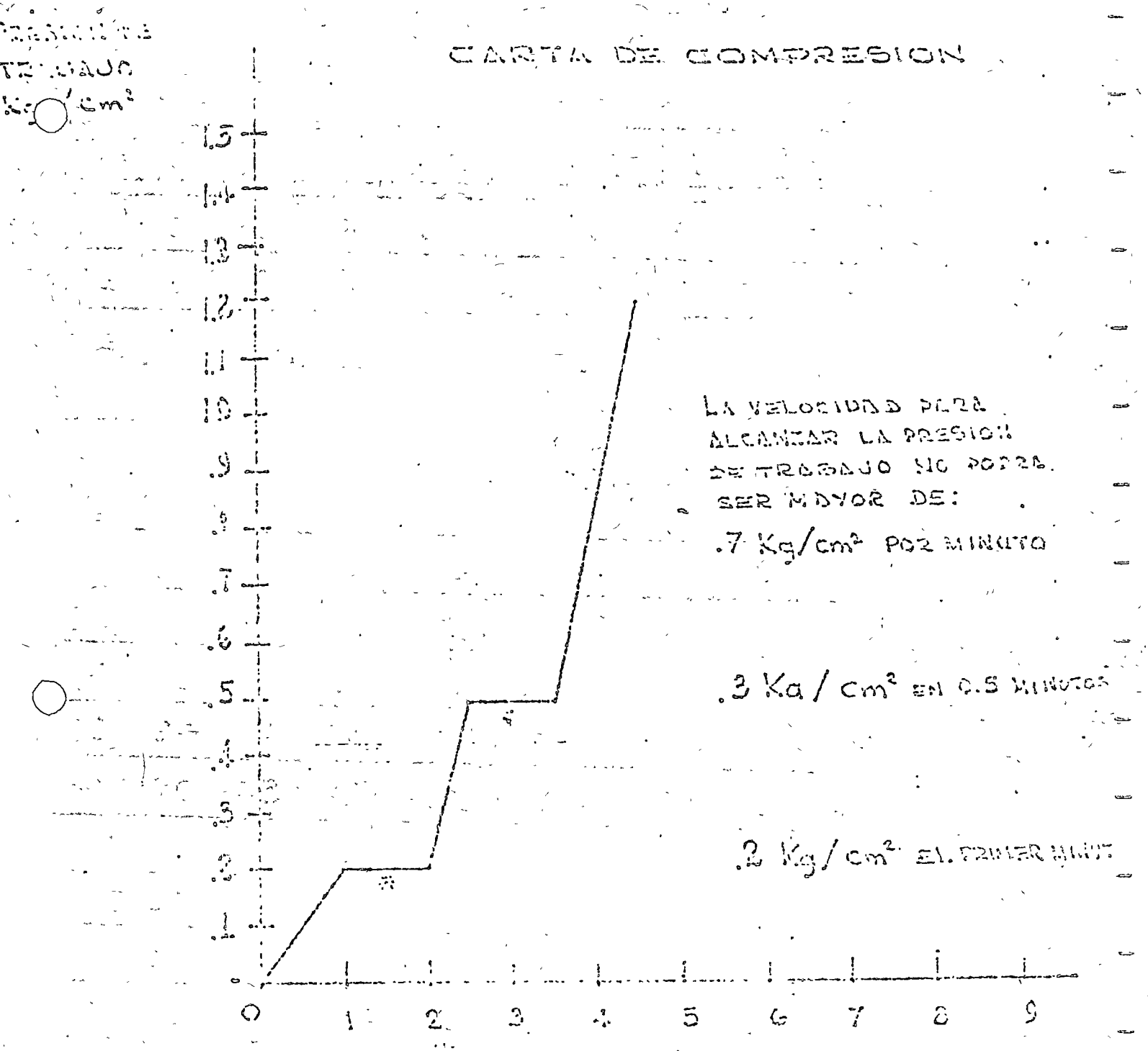
c. Si por alguna razón el propietario esté imposibilitado para la conservación y archivo de dichos registros, deberá transferirlos a la autoridad.

d. Todos los expedientes al cuidado del propietario estarán disponibles o serán transferidos a la autoridad si ésta así lo requiere.

e. Ninguna persona deberá maliciosamente alterar, mutilar, destruír o remover ninguno de esos expedientes.


PRUEBA DE COMPRESION
Kg/cm²
MINIMO DE DIEZ MINUTOS PARA ACEPTAR LA PRUEBA
DEBERA LLEGARSE A REPOSO PUNTO ANTES DE PASAR TREINTA MINUTOS PREFERENTEMENTE
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16
0 1 2 3 4 5 6 7 8
COMPRESION
DESCOMPRESION
TIEMPO EN MINUTOS

CARTA DE COMPRESION



* 1 MINUTO PARA VERIFICAR SI NO HAY ALGUNA PERSONA QUE TENGA MOLESTIAS O DOLOR

TUNEL, S.A. MEXICO, D.F.

TUNEL [illegible] MEXICO, D.F. 1983

[illegible] DE DESCARGA No. 1

[illegible]

PERIODO DE RETORNO (AÑOS)

[illegible]	½	1	1½	2	3	4	5	6	7	8	9
1.01	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
1.02	6	6	6	6	6	6	6	6	12	12	24
1.03	7	7	7	7	7	7	15	21	35	35	35
1.05	8	8	8	8	9	12	35	43	56	56	73
1.10	9	8	10	13	15	30	36	62	73	83	112
1.20	8	8	13	19	24	55	76	86	96	136	125
1.30	11	11	19	25	45	76	102	111	120	133	210
1.40	13	14	25	29	50	96	131	123	131	140	156
1.50	13	17	30	36	76	114	132	140	147	150	171
1.75	16	24	33	46	100	142	149	159	169	172	133
2.00	18	29	39	50	109	176	159	172	184	192	206
2.50	20	35	51	66	125	162	182	193	204	218	23
3.00	22	40	59	99	142	181	193	220	226	233	264
3.50	24	44	64	123	172	200	214	236	244	256	277
4.00	26	49	73	120	130	201	226	242	256	266	281
5.00	32	50	85	142	155	215	233	249	261	272	297
7.00	35	55	99	142	191	218	245	260	265	272	295
10.00	40	63	115	154	200	232	255	268	271	273	294
15.00	45	70	130	164	207	240	266	269	250	265	310
20.00	49	80	146	257	[illegible]	[illegible]	[illegible]	272	...	...	...
[illegible]	50	90	[illegible]	280	344	378	305	319	...	...	...

TABLAS DE DESCOMPRESIÓN No. 2

		DATOS DE DESCOMPRESIÓN					
PRESIÓN DE TRABAJO Kg/cm²	HORAS LABORADAS	ETAPAS	REDUCCIÓN DE PRESIÓN	TIEMPO DE ETAPAS (min)	ÍNDICE DE REDUCCIÓN DE PRESIÓN (mm/m)	TIEMPO TOTAL DE DESCOMPRESIÓN
0.4	1/2	1 2	.2 .0 .2 .0	2 4	0.4 2.0	6
	1	1 2	.2 .0 .2 .0	2 4	0.4 2.0	6
	1 1/2	1 2	.2 .0 .2 .0	2 4	0.4 2.0	6
	2	1 2	.2 .0 .2 .0	2 4	0.4 2.0	6
	3	1 2	.2 .0 .2 .0	2 4	0.4 2.0	6
	4	1 2	.2 .0 .2 .0	2 4	0.4 2.0	6
	5	1 2	.2 .0 .2 .0	2 4	0.4 2.0	6
	6	1 2	.2 .0 .2 .0	2 4	0.4 2.0	6
	7	1 2	.2 .0 .2 .0	2 10	0.4 5.0	12
	8	1 2	.2 .0 .2 .0	2 10	0.4 5.0	12
	más de 8	1 2	.2 .0 .2 .0	2 22	0.4 11.0	24

TUNNEL [illegible] S.A. MEXICO, D.F. 1973

TABLAS DE DESCOMPRESIÓN No. 2

DATOS DE DESCOMPRESIÓN

PRESIÓN DE TRABAJO Kg/cm²	HORAS MINUTOS	ETAPAS	ASCENSO DE PRESIÓN DE	A	TIEMPO DE ETAPAS (MIN)	INDICE DE ASCENSO DE PRESIÓN (MIN/Kg)	TIEMPO TOTAL DE DESCOMPRESIÓN
0.5	½	1	.5	.2	2	.5	6
		2	.2	0	4	2.0	
	1	1	.5	.2	2	.5	6
		2	.2	0	4	2.0	
	1½	1	.5	.2	2	.5	6
		2	.2	0	4	2.0	
	2	1	.5	.2	2	.5	6
		2	.2	0	4	2.0	
	3	1	.5	.2	2	.5	6
		2	.2	0	4	2.0	
	4	1	.5	.2	2	.5	6
		2	.2	0	4	2.0	
	5	1	.5	.2	2	.5	6
		2	.2	0	4	2.0	
	6	1	.5	.2	2	.5	6
		2	.2	0	4	2.0	
	7	1	.5	.2	2	.5	6
		2	.2	0	4	2.0	
	8	1	.5	.2	2	.5	6
		2	.2	0	4	2.0	
	MAS DE 8	1	.5	.2	2	.5	6
		2	.2	0	4	2.0	

TABLAS DE DESCOMPRESIÓN No. 2

		DATOS DE DESCOMPRESIÓN				
PRESIÓN DE TRABAJO Kg/cm²	HORAS HOMBRE	ETAPAS	REDUCCIÓN DE PRESIÓN DE A	TIEMPO DE ETAPAS (min)	TASA DE ASCENSO (min/½)	TIEMPO TOTAL DE DESCOMPRESIÓN
0.8	½	1	0.8 .2	3	0.5	7
		2	.2 0	4	2.0	
	1	1	0.8 .2	3	0.5	7
		2	.2 0	4	2.0	
	1½	1	0.8 .2	3	0.5	7
		2	.2 0	4	2.0	
	2	1	0.8 .2	3	0.5	7
		2	.2 0	4	2.0	
	3	1	0.8 .2	3	0.5	7
		2	.2 0	4	2.0	
	4	1	0.8 .2	3	0.5	7
		2	.2 0	4	2.0	
	5	1	0.8 .2	3	0.5	13
		2	.2 0	10	5.0	
	6	1	0.8 .2	3	0.5	21
		2	.2 0	18	9.0	
	7	1	0.8 .2	3	0.5	35
		2	.2 0	32	16.0	
	8	1	0.8 .2	3	0.5	35
		2	.2 0	32	16.0	
	MAS DE 8	1	0.8 .2	3	0.5	51
		2	.2 0	48	24.0	

[illegible]

[illegible] NO. [illegible]

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
		[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	STRAINS	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	1/2	1 2	0 .2 .2 0	3 3	0.4 2.5	8
	1	1 2	0 .2 .2 0	3 3	0.4 2.5	8
	1 1/2	1 2	0 .2 .2 0	3 3	0.4 2.5	8
	2	1 2	0 .2 .2 0	3 3	0.4 2.5	8
	3	1 2	0 .2 .2 0	3 3	0.4 3.0	9
	4	1 2	0 .2 .2 0	3 9	0.4 7.5	12
	5	1 2	0 .2 .2 0	3 30	0.4 15.0	33
	6	1 2	0 .2 .2 0	3 45	0.4 22.5	42
	7	1 2	0 .2 .2 0	3 55	0.4 26.5	56
	8	1 2	0 .2 .2 0	3 33	0.4 22.0	51
	8	1 2	0 .2 .2 0	3 23	0.4 35.0	35

[illegible] HEMING, [illegible] 1918

TABLAS DE DESCOMPRESIÓN No. 2

		DATOS DE DESCOMPRESIÓN					
PRESIÓN DE TRABAJO Kg/cm²	HORAS USADAS	ETAPAS	REDUCCIÓN DE PRESIÓN DE	A	TIEMPO DE ETAPAS (min)	INDICE DE REDUCCIÓN DE PRESIÓN (min/kg)	TIEMPO TOTAL DE DESCOMPRESIÓN
10	½	1	1	.2	3	0.4	6
		2	.2	0	5	2.5	
	1	1	1	.2	3	0.4	8
		2	.2	0	5	2.5	
	1½	1	1	.2	3	0.4	10
		2	.2	0	7	3.5	
	2	1	1	.2	3	0.4	12
		2	.2	0	9	4.5	
	3	1	1	.2	3	0.4	15
		2	.2	0	10	5.0	
	4	1	1	.2	3	0.4	20
		2	.2	0	25	12.5	
	5	1	1	.2	3	0.4	54
		2	.2	0	53	26.5	
	6	1	1	.2	3	0.4	68
		2	.2	0	65	32.5	
	7	1	1	.2	3	0.4	77
		2	.2	0	74	37.0	
	8	1	1	.2	3	0.4	88
		2	.2	0	85	42.5	
	más de 8	1	1	.2	3	0.4	112
		2	.2	0	109	54.5	

[illegible]

[illegible] NO. 2

[illegible]

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	1/2	1	[illegible]	3	0.4	8
		2	0	[illegible]	1.2	
	1	1	[illegible]	3	0.4	8
		2	0	[illegible]	1.2	
	1½	1	[illegible]	3	0.4	12
		2	0	9	3.0	
	2	1	[illegible]	3	0.4	16
		2	0	16	5.3	
	3	1	[illegible]	3	0.4	24
		2	0	[illegible]	7.9	
	4	1	[illegible]	3	0.4	33
		2	0	30	[illegible]	
	5	1	[illegible]	3	0.4	44
		2	0	43	21.3	
	6	1	[illegible]	3	0.4	86
		2	0	86	37.7	
	8	1	[illegible]	3	0.4	96
		2	0	98	51.6	
	10	1	[illegible]	3	0.4	116
		2	0	113	57.7	
	[illegible]	1	[illegible]	3	0.4	[illegible]
	13	2	0	123	49.7	

TABLAS DE DESCOMPRESIÓN No. 2

		DATOS DE DESCOMPRESIÓN				
PRESIÓN DE TRABAJO Kg/cm²	HORAS EXPOSICIÓN	ETAPAS	REDUCCIÓN DE PRESIÓN DE A	TIEMPO DE ETAPAS (min)	INDICE DE REDUCCIÓN DE PRESIÓN (min/Kg)	TIEMPO TOTAL DE DESCOMPRESIÓN
1.2	½	1 2 3	1.2 .4 .2 .2 .2 0	3 4 4	0.4 2.0 2.0	11
	1	1 2 3	1.2 .4 .2 .2 .2 0	3 4 4	0.4 2.0 2.0	11
	1½	1 2 3	1.2 .4 .2 .2 .2 0	3 4 12	0.4 2.0 6.0	19
	2	1 2 3	1.2 .4 .2 .2 .2 0	3 4 18	0.4 2.0 9.0	25
	3	1 2 3	1.2 .4 .2 .2 .2 0	3 4 36	0.4 2.0 18.0	45
	4	1 2 3	1.2 .4 .2 .4 .2 0	3 4 69	0.4 2.0 34.5	76
	5	1 2 3	1.2 .4 .2 .4 .2 0	3 4 95	0.4 2.0 47.5	102
	6	1 2 3	1.2 .4 .2 .4 .2 0	3 4 104	0.4 2.0 52.0	111
	7	1 2 3	1.2 .4 .2 .4 .2 0	3 4 115	0.4 2.0 56.5	120
	8	1 2 3	1.2 .4 .2 .4 .2 0	3 4 125	0.4 2.0 65.0	135
	MAS DE 8	1 2 3	1.2 .4 .2 .4 .2 0	3 4 135	0.4 2.0 66.5	140

PROBAS DE DESCOMPRESIÓN No. 52

DATOS DE DESCOMPRESIÓN

PRESIÓN DE CÁMARA (Pies)	HORAS. MINUTOS	TIEMPO	CAMBIO EN PRESIÓN PS	P	TIEMPO DE TRÁNSITO (min)	TASA DE REDUCCIÓN DE PRESIÓN (pies/min)	TIEMPO TOTAL DE DESCOMPRESIÓN
25	½	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	12
	1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	14
	1½	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	28
	2	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	29
	3	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	35
	4	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	56
	5	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	121
	6	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	128
	7	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	134
	8	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	140
	9	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	156

[illegible] MEXICO, D.F.

TABLAS DE DESCOMPRESIÓN No. 2

		DATOS DE DESCOMPRESIÓN				
PRESIÓN DE TRABAJO Kg/cm²	HORAS TRABAJO	ETAPAS	REDUCCIÓN DE PRESIÓN DE	A	TIEMPO DE ETAPAS (MIN)	INDICE DE REDUCCIÓN DE PRESIÓN (MIN/Kg/cm²)	TIEMPO TOTAL DE DESCOMPRESIÓN
1.4	½	3½	1.4 .5 .2	.5 .2 0	5 6 5	0.5 2.0 2.5	14
	1	2½	1.4 .5 .2	.5 .2 0	10 10 10	0.5 2.0 3.5	42
	1½	3½	1.4 .5 .2	.5 .2 0	5 6 21	0.5 2.0 10.5	30
	2	3½	1.4 .5 .2	.5 .2 0	5 6 27	0.5 2.0 13.5	36
	3	3½	1.4 .5 .2	.5 .2 0	5 6 37	0.5 2.0 33.5	76
	4	3½	1.4 .5 .2	.5 .2 0	5 6 102	0.5 2.0 51.0	111
	5	3½	1.4 .5 .2	.5 .2 0	5 6 121	0.5 2.0 60.5	132
	6	3½	1.4 .5 .2	.5 .2 0	5 6 134	0.5 2.0 67.0	145
	7	3½	1.4 .5 .2	.5 .2 0	5 6 135	0.5 3.0 67.5	147
	8	3½	1.4 .5 .2	.5 .2 0	5 6 138	0.5 3.0 69.	150
	Más de 8	3½	1.4 .5 .2	.5 .2 0	5 6 138	0.5 10.0 69.0	171

[illegible] TIEMPO DE [illegible]

TIEMPO DE ESTERILIZACIÓN No 2

DATOS DE DESCOMPRESIÓN

PRESIÓN DE TRABAJO (Kg/cm²)	HORAS UNIDAS	ETAPAS	CAMBIO DE PRESIÓN Δ P		TIEMPO DE ETAPAS (min)	PRODUCTO DE TIEMPO POR PRESIÓN (min Kg/cm²)	TIEMPO TOTAL DE DESCOMPRESIÓN
1.5	½	1	1.5	.75	5	0.4	16
			.75	.2	1	1.5	
			.2	0	4	2.0	
	1	2	1.5	.75	5	0.4	24
			.75	.2	5	1.6	
			.2	0	12	6.0	
	1½	2	1.5	.75	5	0.4	35
			.75	.2	9	1.6	
			.2	0	21	10.5	
	2	2	1.5	.75	5	0.4	45
			.75	.2	10	1.8	
			.2	0	32	16.0	
	3	2	1.5	.75	5	0.4	101
			.75	.2	12	2.2	
			.2	0	84	42.0	
	4	2	1.5	.75	5	0.4	132
			.75	.2	16	3.0	
			.2	0	113	56.5	
	5	2	1.5	.75	5	0.4	149
			.75	.2	20	3.6	
			.2	0	126	63.0	
	6	2	1.5	.75	5	0.4	159
			.75	.2	24	4.2	
			.2	0	130	65.0	
	7	2	1.5	.75	5	0.4	160
			.75	.2	22	3.9	
			.2	0	130	65.0	
	8	2	1.5	.75	5	0.4	162
			.75	.2	29	4.4	
			.2	0	130	65.0	
	9	2	1.5	.75	5	0.4	168
			.75	.2	35	5.0	
			.2	0	130	65.0	

TABLAS DE DESCOMPRESIÓN NO. 2

PRESIÓN DE TRABAJO (Kg/cm²)	HORAS TRABAJADAS	ETAPAS	DATOS DE DESCOMPRESIÓN: REDUCCIÓN DE PRESIÓN DE	A	TIEMPO DE ETAPAS (MIN)	TIEMPO DE REDUCCIÓN DE PRESIÓN (MIN/Kg/cm²)	TIEMPO TOTAL DE DESCOMPRESIÓN (MIN)
1.6	½	1.6	1.6 .85 .2	.85 .2 0	2 4	.4 1.2 3.0	18
	1	1.6	1.6 .85 .2	.85 .2 0	2 6	.4 1.5 8.0	29
	1½	1.6	1.6 .85 .2	.85 .2 0	2 20	.4 2.2 14.0	39
	2	1.6	1.6 .85 .2	.85 .2 0	2 4 7	.4 2.5 23.5	65
	3	1.6	1.6 .85 .2	.85 .2 0	2 8	.4 2.6 44.5	109
	4	1.6	1.6 .85 .2	.85 .2 0	3 10 14	.4 4.6 57.0	142
	5	1.6	1.6 .85 .2	.85 .2 0	3 6 10	.4 5.5 65.0	169
	6	1.6	1.6 .85 .2	.85 .2 0	3 8 10	.4 6.0 65.0	172
	7	1.6	1.6 .85 .2	.85 .2 0	3 8 10	.4 7.0 65.0	184
	8	1.6	1.6 .85 .2	.85 .2 0	3 8 10	.4 8.1 65.0	192
	más de 8	1.6	1.6 .85 .2	.85 .2 0	3 8 10	.4 11.5 65.0	208

TABLE [illegible] — [illegible] 2

DATA [illegible] DECOMPRESSION

PRESSION DE TRAVAIL (Kg/cm²)	HEURES MINUTES	ETAPES	PRESSION DE ETAPES (Kg/cm²)	TEMPS DE ETAPES (min)	VITESSE DE PRESSION DE ETAPES (Kg/cm²/min)	TEMPS TOTAL DE DECOMPRESSION
1.75	½	[illegible]	1.75 .85 .2	5 12 0	0.4 1.3 2.5	20
	1	[illegible]	1.75 .85 .2	5 12 21	0.4 1.8 10.5	36
	1½	[illegible]	1.75 .85 .2	5 12 23	0.4 2.5 13.0	44
	2	[illegible]	1.75 .85 .2	5 12 24	0.4 3.4 30.5	55
	3	[illegible]	1.75 .85 .2	5 13 29	0.4 4.3 46.5	126
	4	[illegible]	1.75 .85 .2	5 40 24	0.4 6.2 62.0	167
	5	[illegible]	1.75 .85 .2	5 48 30	0.4 7.5 65.0	182
	6	[illegible]	1.75 .85 .2	5 48 35	0.4 9.5 65.0	197
	7	[illegible]	1.75 .85 .2	5 48 50	0.4 11.4 65.0	207
	8	[illegible]	1.75 .85 .2	5 60 130	0.4 13.1 65.0	218
	[illegible] 20	[illegible]	1.75 .85 .2	5 93 130	0.4 13.1 65.0	23[illegible]

INTELSAT, [illegible] 1970

TABLAS DE DESCOMPRESIÓN No 2

		DATOS DE DESCOMPRESIÓN					
PRESIÓN DE TRABAJO Kgs/cm²	HORAS SUMERGIDO	ETAPAS	REDUCCIÓN DE PRESIÓN DE	A	TIEMPO DE ETAPAS (min)	INDICE DE REDUCCIÓN DE PRESIÓN (min/kg)	TIEMPO TOTAL DE DESCOMPRESIÓN (min)
3.5	½	1 2 3	1.3 .9 .2	.9 .2 0	3 14 5	.5 2.0 2.5	24
	1	1 2 3	1.3 .9 .2	.9 .2 0	3 14 23	.5 2.0 11.5	40
	1½	1 2 3	1.3 .9 .2	.9 .2 0	3 25 31	.5 3.6 15.5	59
	2	1 2 3	1.3 .9 .2	.9 .2 0	3 35 61	.5 5.0 30.5	99
	3	1 2 3	1.3 .9 .2	.9 .2 0	3 43 106	.5 6.1 53.0	152
	4	1 2 3	1.3 .9 .2	.9 .2 0	3 55 123	.5 7.9 61.5	181
	5	1 2 3	1.3 .9 .2	.9 .2 0	3 64 130	.5 7.3 65.0	197
	6	1 2 3	1.3 .9 .2	.9 .2 0	3 82 130	.5 12.4 65.0	220
	7	1 2 3	1.3 .9 .2	.9 .2 0	3 90 130	.5 13.3 65.0	226
	8	1 2 3	1.3 .9 .2	.9 .2 0	3 103 130	.5 14.3 65.0	236
	más de 8	1 2 3	1.3 .9 .2	.9 .2 0	3 121 130	.5 13.3 65.0	254

TRAINS DE DÉCOMPRESSION No. 12

DATA DE DECOMPRESSIÓN

Profundidad (pies)	Horas Descenso	Etapas	Reducción de presión DE	Reducción de presión A	Tiempo de estadía (min)	Cambio de descompresión de presión (min/lb)	Tiempo total de descompresión (min)
21	½	1	1.0 1.3 .2	1.0 .2 0	0	1.6 2.0 4.5	32
	1	2	2.0 1.3 .2	1.0 .2 0	0 0 0	1.6 2.0 15.0	50
	1½	2	2.0 1.3 .2	1.0 .2 0	0 0 0	1.6 9.5 22.5	83
	2	2	2.0 1.3 .2	1.0 .2 0	0 0 0	2.0 10.0 42.5	142
	3	2	2.0 1.3 .2	1.0 .2 0	0 0 0	5.0 15.0 51.0	185
	4	2	2.0 1.3 .2	1.0 .2 0	0 0 1	5.0 13.5 65.0	215
	5	2	2.0 1.3 .2	1.0 .2 0	0 0 13	5.5 27.0 65.0	235
	6	2	2.0 1.3 .2	1.0 .2 0	0 0 13	6.5 30.0 65.0	249
	7	2	2.0 1.3 .2	1.0 .2 0	0 0 13	7.5 30.0 65.0	261
	8	2	2.0 1.3 .2	1.0 .2 0	0 0 13	7.5 30.0 65.0	272
	Más de 8	2	2.0 1.3 .2	1.0 .2 0	0 0 13	11.5 30.0 65.0	293

TUNNEL, S.A. MEXICO, D.F. 1915

TABLAS DE DESCOMPRESIÓN No. 2

PRESIÓN DE TRABAJO kg/cm²	HORAS TRABAJADAS	DATOS DE DESCOMPRESIÓN				
		ETAPAS	REDUCCIÓN DE PRESIÓN DE	A	(Minutos) TIEMPO DE ETAPAS	(Min/kg) ÍNDICE DE REDUCCIÓN DE PRESIÓN	TIEMPO TOTAL DE DESCOMPRESIÓN
2.2	½	[illegible]	2.2 1.4 .5 .2	1.4 .5 .2 0	1 5 11	.4 1.8 2.0 5.5	36
	1	[illegible]	2.2 1.4 .5 .2	1.4 .5 .2 0	1 12 24	.4 1.9 4.0 12.0	55
	1½	[illegible]	2.2 1.4 .5 .2	1.4 .5 .2 0	1 60 60	.4 1.8 6.7 30.0	99
	2	[illegible]	2.2 1.4 .5 .2	1.4 .5 .2 0	1 60 93	.4 1.9 10.0 49.0	147
	3	[illegible]	2.2 1.4 .5 .2	1.4 .5 .2 0	1 120 120	.4 1.8 17.5 60.0	191
	4	[illegible]	2.2 1.4 .5 .2	1.4 .5 .2 0	1 63 130	.4 1.9 22.7 65.0	218
	5	[illegible]	2.2 1.4 .5 .2	1.4 .5 .2 0	1 100 130	.4 3.0 28.5 65.0	245
	6	[illegible]	2.2 1.4 .5 .2	1.4 .5 .2 0	1 100 130	.4 3.0 33.3 65.0	260
	7	[illegible]	2.2 1.4 .5 .2	1.4 .5 .2 0	1 100 130	.4 3.0 33.3 65.0	265
	8	[illegible]	2.2 1.4 .5 .2	1.4 .5 .2 0	1 100 130	.4 3.0 33.3 65.0	272
	Más de 8	[illegible]	2.2 1.4 .5 .2	1.4 .5 .2 0	1 100 130	.4 3.0 33.3 65.0	297

TABLAS DE DESCOMPRESIÓN

DATOS DE DESCOMPRESIÓN

PROFUNDIDAD DE BUCEO (metros)	HORAS DESCONDICIONADAS	ETAPAS	PRESIÓN DE ETAPA DE A	PRESIÓN DE ETAPA DE B	TIEMPO DE ETAPAS (min)	CAUDAL DE AIRE (litros/min)	TIEMPO TOTAL DE DESCOMPRESIÓN (min)
24	½	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	47
	1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	53
	1½	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	115
	2	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	154
	3	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	200
	4	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	232
	5	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	253
	6	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	268
	7	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	271
	8	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	273
	9	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

PLONCEY, S.A. · MEXICO, D.F. 19[illegible]

TABLAS DE DESCOMPRESIÓN No. 2.

		DATOS DE DESCOMPRESIÓN					
PRESIÓN DE TRABAJO Kg/cm²	HORAS LABORADAS	ETAPAS	PERIODO DE PRESIÓN DE	PERIODO DE PRESIÓN A	TIEMPO DE ETAPAS (MIN)	INDICE DE REDUCCIÓN DE PRESIÓN (MIN/Kg)	TIEMPO TOTAL DE DESCOMPRESIÓN
2.4	½	4 GRS	2.4 1.6 .7 .2	1.6 .7 .2 0	3 16 15 15	.4 1.8 2.0 2.5	44
	1	4 GRS	2.4 1.6 .7 .2	1.6 .7 .2 0	3 16 21 30	.4 1.8 4.2 15.0	70
	1½	4 GRS	2.4 1.6 .7 .2	1.6 .7 .2 0	3 16 26 85	.4 1.8 5.2 42.5	130
	2	4 GRS	2.4 1.6 .7 .2	1.6 .7 .2 0	3 16 40 105	.4 1.8 8.0 52.5	164
	3	4 GRS	2.4 1.6 .7 .2	1.6 .7 .2 0	3 16 58 130	.4 1.8 11.6 65.0	207
	4	4 GRS	2.4 1.6 .7 .2	1.6 .7 .2 0	3 16 91 130	.4 1.8 18.2 65.0	240
	5	4 GRS	2.4 1.6 .7 .2	1.6 .7 .2 0	3 16 113 130	.4 1.8 22.6 65.0	262
	6	4 GRS	2.4 1.6 .7 .2	1.6 .7 .2 0	3 16 120 130	.4 1.8 24.0 65.0	269
	7	4 GRS	2.4 1.6 .7 .2	1.6 .7 .2 0	3 16 131 130	.4 1.8 26.2 65.0	280
	8	4 GRS	2.4 1.6 .7 .2	1.6 .7 .2 0	3 16 156 130	.4 1.8 27.2 65.0	285
	más de 8	4 GRS	2.4 1.6 .7 .2	1.6 .7 .2 0	3 16 161 130	.4 1.8 32.2 65.0	310

TABLAS DE DESCARGA DE DESCARGA No. 2

DATOS DE DESCARGA

Presión de trabajo (kg/cm²)	Horas Interrupción	Etapas	Reducción de presión De	Reducción de presión A	Tiempo de etapas (min)	Índice de reducción de presión (kg/cm²/min)	Tiempo de descarga (min)
2.5	1/2	1	2.5	1.7	3	.4	48
		2	1.7	.9	16	2.0	
		3	.9	.2	10	1.4	
		4	.2	0	19	9.5	
	1	1	2.5	1.7	3	.4	80
		2	1.7	.9	16	2.0	
		3	.9	.2	30	4.3	
		4	.2	0	31	15.5	
	1 1/2	1	2.5	1.7	3	.4	146
		2	1.7	.9	16	2.0	
		3	.9	.2	47	6.7	
		4	.2	0	80	40.0	
	2	1	2.5	1.7	3	.4	183
		2	1.7	.9	16	2.0	
		3	.9	.2	54	2.7	
		4	.2	0	110	55.0	
	3	1	2.5	1.7	3	.4	224
		2	1.7	.9	16	2.0	
		3	.9	.2	25	12.1	
		4	.2	0	120	60.0	
	4	1	2.5	1.7	3	.4	256
		2	1.7	.9	16	2.0	
		3	.9	.2	104	13.3	
		4	.2	0	130	65.0	
	5	1	2.5	1.7	3	.4	280
		2	1.7	.9	16	2.0	
		3	.9	.2	151	13.7	
		4	.2	0	130	65.0	
	6	1	2.5	1.7	3	.4	292
		2	1.7	.9	16	2.0	
		3	.9	.2	154	5.1	
		4	.2	0	110	55.0	
	7	1	2.5	1.7	3	.4	305
		2	1.7	.9	16	2.0	
		3	.9	.2	170	22.3	
		4	.2	0	130	65.0	
	8	1	2.5	1.7	3	.4	339
		2	1.7	.9	16	2.2	
		3	.9	.2	170	24.3	
		4	.2	0	130	65.0	
	Pasa de 8	1	2.5	1.7	[illegible]	[illegible]	[illegible]
		2	1.7	.9	[illegible]	[illegible]	
		3	.9	.2	[illegible]	[illegible]	
		4	.2	0	[illegible]	[illegible]	

TUNEL, D.F. MEXICO, D.F. 1973

TABLAS DE DESCOMPRESIÓN No. 2

PRESIÓN DE TRABAJO Kg/cm²	HORAS TRABAJADAS	DATOS DE DESCOMPRESIÓN: ETAPAS	REDUCCIÓN DE PRESIÓN DE A	TIEMPO DE ETAPAS (MIN)	DURTE DE REDUCCIÓN DE PRESIÓN (min/kg/cm²)	TIEMPO TOTAL DE DESCOMPRESIÓN (min)
2.5	½	1 2 A	2.6 1.0 1.0 .2 .9 0 .2	1 2 23	1.4 1.8 1.9 1.5	55
	1	1 2 A	2.6 1.0 1.0 .2 .9 0 .2	1 5 23	1.4 5.4 16.0	89
	1½	1 2 A	2.6 1.0 1.0 .2 .9 0 .2	1 5 63	1.4 9.8 53.0	160
	2	1 2 A	2.6 1.0 1.0 .2 .9 0 .2	1 5 63	1.4 9.6 54.5	201
	3	1 2 A	2.6 1.0 1.0 .2 .9 0 .2	1 5 63	1.4 13.6 65.0	244
	4	1 2 A	2.6 1.0 1.0 .2 .9 0 .2	1 5 63	1.4 17.0 65.0	274
	5	1 2 A	2.6 1.0 1.0 .2 .9 0 .2	1 5 63	1.4 22.0 65.0	303
	6	1 2 A	2.6 1.0 1.0 .2 .9 0 .2	1 5 63	1.4 24.5 65.0	319
	7	1 2 A	2.6 1.0 1.0 .2 .9 0 .2	... ...		
	8	1 2 A	2.6 1.0 1.0 .2 .9 0 .2	... ...		
	MAS DE 8	1 2 A	2.6 1.0 1.0 .2 .9 0 .2	... ...		

TUNEL S.A. TABLA No. 3 MEXICO, D.

[illegible]	[illegible] LAS EXPOSICIONES [illegible]															
[illegible]	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
0.37	60	120	250	300												
0.65	35	70	110	130	225	350										
0.93	25	50	75	100	135	190	240	375								
1.00	20	35	55	75	100	125	160	195	245	315						
1.20	15	30	45	60	75	95	120	145	170	200	250	310				
1.50	5	15	25	40	50	60	80	100	120	140	160	190	220	270	310	
1.67	5	15	25	30	40	50	70	80	100	110	130	150	170	230	270	300
2.00	—	10	15	25	30	40	50	60	70	80	90	110	140	160	200	240
2.50	—	10	15	20	25	30	40	50	55	60	70	80	100	120	140	200
2.86	—	5	10	15	20	30	35	40	45	50	60	70	80	100	130	170
3.33	—	5	10	15	20	25	30	35	40	—	50	60	70	90	110	[illegible]
3.70	—	5	10	12	15	20	25	30	—	40	—	50	60	80	90	[illegible]
4.16	—	5	7	10	15	20	22	25	30	—	40	50	—	70	80	[illegible]
4.[illegible]	—	—	5	10	13	15	20	25	—	30	—	40	50	60	70	[illegible]

NOTA: El [illegible] corresponde con la precisión y [illegible] de trabajo

[illegible]L S.A. TABLA No. 4 MEXICO, D.F.

CICLO AL TERMINAR EL INTERVALO EN AIRE LIBRE

	Z	O	N	M	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A
Z	0:10 0:22	0:[illegible]	0:43	1:02	1:19	1:31	1:55	2:17	2:42	3:10	3:45	4:20	5:24	6:56	0:03	12:00
O		0:10 0:23	0:35	0:51	1:07	1:24	1:45	2:04	2:29	2:59	3:33	4:11	5:13	6:44	9:54	12:00
N			0:10 0:24	0:39	0:54	1:11	1:30	1:53	2:19	2:47	3:22	4:04	5:05	6:33	9:43	12:00
M				0:10 0:23	0:42	0:55	1:18	1:39	2:0[illegible]	2:3[illegible]	3:00	3:52	4:49	6:18	9:26	12:00
L					0:10 0:21	0:35	1:04	1:25	1:49	2:19	2:55	3:35	4:35	6:02	9:12	12:00
K						0:10 0:26	0:49	1:11	1:35	2:03	2:36	3:21	4:19	5:48	8:52	12:00
J							0:10 0:31	0:54	1:10	1:47	2:20	3:04	4:04	5:40	8:40	12:00
I								0:10 0:35	0:55	1:29	2:02	2:44	3:43	5:11	8:31	12:00
H									0:10 0:36	1:00	1:41	2:25	3:30	4:43	7:59	12:00
G										0:10 0:40	1:15	1:59	2:50	4:23	7:35	12:00
F											0:10 0:44	1:35	2:28	3:51	7:05	12:00
E												0:10 0:54	1:57	3:24	6:32	12:00
D													0:10 1:09	2:36	5:48	12:00
C														0:10 1:35	2:49	12:00
B															0:10 2:10	12:00
A																0:10 12:00

CICLO AL CONSULTAR EL INTERVALO EN AIRE LIBRE DE LA TABLA No. 3

NOTA: El renglón que se inicia con la letra en la línea oblicua se obtiene al llegar a las horas y minutos que la persona estuvo en aire libre. La columna señala el nuevo grupo producido por el intervalo en aire libre.

NEL S.A. TABLA Nº [illegible] MEXICO D.F.

GRUPO	PRESIÓN DE LA EXPOSICION REPETIDA							
	1.2	1.5	1.9	2.2	2.5	2.8	3.2	3.4
A	7	6	5	4	4	3	3	[illegible]
B	17	13	11	9	8	7	7	6
C	25	21	17	15	13	11	10	10
D	37	29	24	20	18	16	14	10
E	49	38	30	26	23	20	18	16
F	61	47	36	31	28	24	22	20
G	73	56	44	37	32	29	26	24
H	87	66	52	43	38	33	30	27
I	101	76	61	50	43	38	34	31
J	116	87	70	57	48	43	38	34
K	138	99	79	64	54	47	43	38
L	161	111	88	72	61	53	48	42
M	187	124	97	80	68	58	52	47
N	213	142	107	87	73	64	57	[illegible]
O	241	160	117	95	80	70	62	55
Z	257	169	122	100	84	73	64	57

NOTA:-Las letras señalan los grupos de crédito que deben hacerse coincidir con la columna de presión de trabajo que marcará el número de minutos que deberán agregarse al tiempo de exposición nuevo para calcular el tiempo de presompresión.

[illegible] personal y sus obligaciones; precauciones de seguridad

La cuadrilla de lanzado.

Debido a que la calidad del concreto lanzado depende [illegible] de los operadores, es necesario que éstos se su[illegible] aprendizaje y reciban instrucciones precisas para operar las máquinas. El sobrestante de una cuadrilla debe tener experiencia de cuando menos dos años como lanzador, y su lanzador deberá haber trabajado como [illegible] cuando menos por espacio de seis meses, con experiencia en trabajos de naturaleza semejante al trabajo que vaya a desarrollar.

La experiencia del lanzador deberá demostrarse pro[illegible] recubriendo tableros de prueba como [illegible] de prueba antes de darle el visto bueno para hacerse cargo de algún trabajo (Estos aspectos son [illegible] más ampliamente en el Capítulo 7)

La cuadrilla consiste en:

1 lanzador
1 operador del chiflón (aprendiz de lanzador)
1 operador del lanzador
1 operador de mezcladora
1 sobrestante

y varios peones que ayuden al movimiento de la manguera, colocar andamios, mezclado, etc.

FUNCIONES

Lanzador.

1. Asegurarse que la boquilla esté en perfectas condiciones de funcionamiento, el forro fijo y sin desgaste, que los chorros de agua estén libres y no tengan obstrucciones, que las mangueras no tengan incrustaciones y estén [illegible] correctamente y que sus conexiones estén [illegible] en forma adecuada.
2. Asegurarse que la superficie que va a recibir el concreto lanzado está limpia, libre de polvo, lechada, grasa, etc., (con excepción de las cimbras que se hayan recubierto [illegible] moldes)
3. Asegurarse que se recibe el chorro de mezcla en un flujo [illegible] a la presión correcta y uniforme requerida.
4. [illegible] el control del agua para asegurar una compactación adecuada del concreto lanzado, bajo porcentaje de rebote y ausencia de revenimiento
5. Dirigir y mantener la boquilla en tal forma que el concreto lanzado se proyecte lo más directamente que sea posible sobre las superficies, según lo permitan las condiciones; esto asegurará una compactación adecuada y [illegible] porcentaje de rebote
6. [illegible] el chorro del concreto lanzado hacia las esquinas [illegible] sensible, para tener la seguridad de [illegible] los rincones con concreto sano y que [illegible] esté embebido en él sin formación de [illegible] arena
7. [illegible] al operador de la lanzadora de acuerdo con sus necesidades y detener el trabajo cuando se presente [illegible] en el abastecimiento
8. [illegible] bolsa de arena que se forme y cualquier [illegible] tenga comentarios de concreto o depósitos [illegible]
9. [illegible] concreto con el espesor, alineamiento y su[illegible] requeridos.

Operador del "Chiflón"

1. Ayudar al lanzador con el tubo de "Chi[illegible] aproximadamente 1.2 m. de longitud y cuando [illegible] de 20 mm de diámetro, equipado con una válvula [illegible] eliminar por medio de soplado los rebotes de la superficie del trabajo, que están atrás del refuerzo y en los rincones
2. Ayudar al lanzador en cualquier otra forma, por ejemplo, en el caso de que deban cambiarse las mangueras de lugar, eliminar las bolsas de arena, aplanar la superficie del concreto lanzado, eliminar el material del rebote, cuidar de que no se presenten problemas tales como fugas, bloqueos, movimiento de las reglas maestras, etc., y actuar como mensajero y emisor de señales

Operador de Lanzadora

1. Asegurarse que la lanzadora está en excelentes condiciones de trabajo
2. Regular el suministro de la mezcla de la lanzadora de acuerdo con las necesidades del boquillero en cuanto a presión y volumen
3. Asegurarse que el suministro de la mezcla no tenga pulsaciones o que en alguna forma deje de ser regular
4. Asegurarse, revisando cuidadosamente todas las conexiones, que no se pierde aire en las mangueras o en la lanzadora
5. Dirigir al operador de la mezcladora de acuerdo con sus necesidades y rechazar cualquier material que se haya dejado por más de dos horas sin utilizar (una hora si la arena estaba húmeda) o cualquier otra mezcla que considere no satisfactoria
6. Soplar todas las mangueras de material y detenerse el trabajo y vaciar el lanzador si la interrupción dura más de una hora

Operador de la mezcladora

1. Asegurarse que la mezcladora esté limpia y en condición mecánica de primer orden, esta debería limpiarse diariamente.
2. Mezclar el cemento y la arena en las proporciones previamente calculadas
3. Mezclar por lo menos durante un minuto ya sea que se use una mezcladora de tambor o de olla
4. Rechazar cualquier cemento insano, que esté mal graduado, de mala calidad o arena con un contenido de humedad mayor del 10 por ciento
5. Por medio de un cribado cuidadoso tener la seguridad de que no existen agregados grandes, pedazos de costras de cemento, escamas de cemento o cualquier otro material que pudiera bloquear la manguera si se deja entrar a la lanzadora ya sea de la revolvedora o de los montones de material mezclado
6. Asegurarse que el cemento esté almacenado cerca y a la mano de la máquina sobre una tarima que tenga cuando menos 150 mm arriba del nivel del piso y bajo techo
7. Asegurarse que la arena se almacene bajo techo y bajo lonas, de tal manera que pueda arenarse libremente

sobrestante.

El sobrestante tiene la responsabilidad de la terminación satisfactoria del trabajo y actuar como coordinador y director.

Organización del trabajo.

Para la obtención de una buena organización en el concreto lanzado, se requiere una organización correcta del trabajo, siendo esto responsabilidad del sobrestante, quien debe programar el trabajo de acuerdo con las necesidades y esperarse que todo el equipo trabaje sin dificultades, tomando las precauciones necesarias y previendo las eventualidades.

Es un caso frecuente que, debido al ruido del compresor, al retumbar de la boquilla, o simplemente a la distancia, es imposible comunicarse por medio de la voz; por lo que se hace necesario comunicarse mediante señales. En la figura 43 se muestra un sistema de señales manuales éstas son señales del lanzador, el operador de lanzadora solamente necesita hacer señales al lanzador para prevenirlo

necesidad de beber

'Conecte el agua' o "Aumente la presión del agua"

Pegar hacia arriba

"Estoy listo' o "Ya se arregló la obstrucción" o "La presión del agua esta bien" o "La alimentación es correcta"

[illegible] la circular del [illegible]

'Conecte el motor" o "Aumente la velocidad del motor" (movimiento rapido) o 'Disminuya la velocidad del motor" (movimiento lento)

[illegible]

"Pare'

[illegible]

'Existe una obstrucción"

[illegible]

"Eleve la presión

[illegible]

"[illegible]

cuando va a proporcionar [illegible] nerse la lanzadora por cierto tiempo.

Cuando la cuadrilla de lanzamiento no p[illegible] dor, deberá usarse un aparato de radio bidirec[illegible] bidos o un individuo de señales, en cuyo caso [illegible] darse una clave normalmente dos silbatazos [illegible] can "*BIEN*" y un silbatazo largo significa [illegible] vez se usan otras señales, un lanzador [illegible] puede darse cuenta de muchas cosas por el comportamiento o el "sonido" de la lanzadora.

El único modelo confiable de un radio bidirec[illegible] uno que consiste en una unidad ligera para [illegible] la cabeza (frecuentemente interconstruida en un [illegible] accionada por batería recargable y con micrófono [illegible] fonos a prueba de polvo. Para ciertos trabajos [illegible] son esenciales los audífonos.

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD.

Equipo protector.

El lanzador necesita protegerse de los rebotes y de las nubes de polvo de cemento. Las piezas individuales de rebote pueden pegar al boquillero a velocidades [illegible] km/h o más, por lo que es muy importante que el lanzador use anteojos de seguridad para proteger sus ojos.

El tipo de anteojos más popular son los de plástico que se amarran alrededor, desechables, debido a que se recubren eventualmente con concreto lanzado o con nubes de cemento y es antieconómico limpiarlos. [illegible] conveniente considerar que se usarán cuando menos [illegible] par de anteojos al día, por lanzador. Los anteojos de vidrio tienen una mayor duración si se limpian con frecuencia pero proporcionan una visión borrosa debido a que se opacan por medio de las partículas que se adhieren. Los anteojos de vidrio no son recomendables a menos que se compruebe que sus cristales son antiestrellamiento y que no se empañan en el interior.

En ambientes interiores y cerrados se requiere ventilación para la salud y comodidad del lanzador. Ocasionalmente es suficiente un pañuelo húmedo sobre la nariz y boca, pero tan pronto el polvo se convierte en un problema, deberán suministrarse respiradores. Los protectores de respiración contra atomizadores de pintura (por ejemplo el Duralair) son adecuados, pero es necesario cambiar frecuentemente los filtros. Una solución mejor que se emplea con ventajas en cualquier trabajo desarrollado en un ambiente cerrado (túneles, chimeneas, hornos) es llevar una línea ligera de aire a través de un equipo especial de cabeza (Figura 44a).

Se recomiendan guantes impermeables de ajuste flojo y también un casco protector bien ajustado, tanto para proteger la cabeza como para evitar que el cemento [illegible] cabello. El mejor uniforme es un traje de calidad [illegible] ajuste firmemente al cuello y con pantalones de ajuste flojo que caigan sobre las botas de hule (figura 44b).

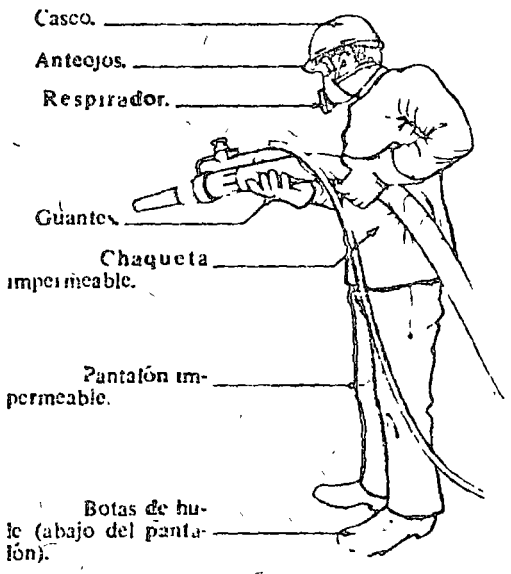
Solamente el lanzador y el operador del [illegible] tan equipo protector. Pero vale la pena recordar que los granos de arena y las partículas que se encuentran en cualquier corriente de aire son tan dañinas como cuando salen de la boquilla, por lo tanto, se recomienda que también el operador de lanzadora use un par de anteojos.

En todos los andamios de más de 5 m de [illegible] en todos los andamios volantes, el lanzador deberá [illegible] arnés de seguridad.

Viento

Es imposible producir un buen [illegible] lugares expuestos al viento o a corrientes [illegible] existe alguna posibilidad de que [illegible] aunque sean moderados deberán [illegible] para proteger la boquilla, el [illegible] y la [illegible] para impedir que el [illegible] sean sacados por el aire fuerte del [illegible]

(a) Casco de ventilación forzada.



5 (b) Un lanzador con ropa y equipos adecuados.

FIGURA 44: Vestimenta protectora.

a veces puede ser suficiente un cono de metal ligero colocado sobre la punta de la boquilla en su extremo.

Los vientos y las corrientes también originan fisuras por contracción debido al rápido enfriamiento del concreto fresco lanzado, a este respecto, los vientos son tan perjudiciales como los rayos solares directos.

Lluvia.

El concreto fresco lanzado en lugares expuestos debe protegerse contra la lluvia. Como el concreto lanzado tiene una relación agua/cemento baja, es muy absorbente del agua cuando está fresco; por ello, cuando se precipite una fuerte lluvia sobre el concreto fresco lanzado, puede ocasionar deslizamientos o escurrimientos o, cuando menos, reducirá su esfuerzo final.

Frecuentemente es necesario colocar pantallas y una protección eficiente para eliminar el viento y la lluvia en lugares expuestos.

Polvo.

Puede crearse una gran cantidad de polvo con el proceso del concreto lanzado, por esta razón, no deberá dejarse descubierta ninguna maquinaria delicada en las cercanías, o bien deberá sacarse fuera del área de trabajo cualquier maquinaria que se localice cercana a la obra. Deben tomarse precauciones para eliminar el polvo y los pedazos volatiles de rebote.

No deberá usarse el concreto lanzado sin la debida protección en lugares que tengan tránsito intenso.

0.0°

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

CONSTRUCCION DE TUNELES

COSTOS DE CONSTRUCCION DE TUNELES Y CONTROL

ING. JORGE A. CABELLO

AGOSTO DE 1977

COSTOS DE CONSTRUCCION

DE

TUNELES

D

COSTOS DE CONSTRUCCION DE TUNELES

I INTRODUCCION

La estimación del costo para la construcción de un túnel, se inicia con las excavaciones basándose en las partidas fundamentales que son :

Barrenación, Voladura (en el caso que exista), Ventilación, Rezaga e Instalaciones.

Estos conceptos regirán las órdenes de avance, buscando siempre una sincronización de las técnicas empleadas, con la aplicación de las reglas necesarias.

En algunas ocasiones de acuerdo al proyecto es necesario un recubrimiento de concreto ya sea por inestabilidad del terreno, para mayor durabilidad de la obra o bien por miras contínuas de diseño. Ligada está la posible operación de ademe, ya sean de metal , de madera o bien de concreto lanzado.

En el costo de anclaje intervienen condiciones muy particulares y que están básicamente en función de la geología y condiciones del sitio de la obra.

Se han mencionado algunos aspectos técnicos que pudieran alterar de una manera sensible el costo de construcción del túnel, no olvidando también que factores económicos como comparación de costos totales de diferentes obras, evaluaciones geométricas de estas últimas, etc., podrían dar una idea del punto de equilibrio que deba guardar la relación monto-conceptos, de la obra por ejecutarse.

COSTOS DE EXCAVACION

Cuando se va a efectuar la excavación en roca fija del túnel, deben tomarse en cuenta lo siguiente :

Extracción del Material (ya sea por el método tradicional o bien por el sistema de máquina integral), Mano de Obra de voladura y adicional, Retiro del material, las instalaciones de auxilio como sigue : Conducciones de agua y aire, Ventilación, Iluminación aunada a la energía eléctrica y Bombeo.

A continuación se presentan algunos ejemplos del Cálculo del Costo de excavación en roca fija para túneles y lumbreras.

Los ejemplos están calculados en base al método tradicional de excavación. Se presentan en primera instancia los Cálculos teóricos de consumos y rendimientos para que posteriormente se calcule su costo siguiendo una secuela normal.

EJEMPLO NO. 1

Tunel de sección circular:

Longitud	2,000 mts
Diámetro	16 mts
Area de la sección a línea A	201 m2
Area de la sección a línea B	221 m2

METODO DE ATAQUE:

1º.- Sección superior: con peso 1 mt., abajo del diámetro corrido; con cuña en "V".

Area = 116 m2

2º.- Sección inferior: Banqueo con barrenación vertical.

I.- SECCION SUPERIOR:

I-1.- Avance:

$$Av = \frac{-26}{S\,0.1103} + 21.85 \quad (1) \quad \text{en donde: } S = 116\ m2$$

$$Av = \frac{-26}{(116)\,0.1103} + 21.85 = 6.50\ m$$

Esta longitud máxima la reduciremos por problemas prácticos de la cuña y del volúmen de rezagado fijandola en función de la longitud del acero de 14' = 4.27 m.

Por lo que el avance práctico será tomando en cuenta la proyección según el eje que da la cuña en "V".

$$4.27\ m \times \text{sen } 56.7° = 3.56\ m = 3.50\ m$$

1-2.- Carga específica:

$$q = \frac{14}{S} + 0.8 \quad (1)$$

$$q = \frac{14}{119} + 0.8 = 0.92\ kg/m3$$

1-3.- Explosivos:

Cantidad total de explosivos por pega:

$$0.92\ kg/m3 \times 116\ m2 \times 3.50\ m = 373.50\ kg/pega$$

1-4.- Barrenación:

Número de barrenos:

Considerando que cargamos el 30% (2) de la longitud del barreno:

$$4.27 \times 0.3 = 1.28 = 1.25\ m$$

cápacidad del barreno de Ø = 1 7/8" = 4.76 cm.

$$\frac{\pi\ (4.76\ cm2) \times 100\ cm}{4} = 1.779\ cm3/m$$

usando gelatina extra de 40% cuyu densidad es 1.57 gr/cm2.

$$1.25\ m \times 1,779\ cm3/m \times 1.57\ gr/cm2 = 3,491\ gr =$$

$$= 3.491\ kg/barr. = 3.50\ kg/barreno$$

Como los barrenos del perímetros deben ir a cada 0.60 mts (1), y cargados con 0.24 kg/m (de la gráfica No. 2) e irán cargados el 90% de su longitud, ya - que el 10% restante va retacado.

$$\frac{\pi D}{2} = \frac{\pi \times 16\ m}{2} = 25.10$$

$$\frac{25.10}{0.60\ m} + 1 = 50$$

La carga por barreno perimetral es:

3.50 m x 0.90 x 0.24 kg/m = 0.756 kg/barreno.

El total de la carga del perímetro:

50 barrenos x 0.756 kg/barreno = 37.80 kg.

por lo que:

total de explosivos por pega	373.50 kg
menos carga del perímetro	37.80 kg
s u m a	335.70 kg

$$\frac{335.70\ kg}{3.50\ kg/barr} = 96 \text{ barrenos centrales}$$

Total de barrenos:

50 + 96 = 146 barrenos

I-5.- Distribución de los barrenos:

a) Area de influencia:

$$a = \frac{\text{carga específica} \times \text{avance}}{\text{carga por barreno}} \quad (2)$$

$$a = \frac{0.92\ kg/m3 \times 3.50\ m/barr.}{3.5\ kg/barr.} = 0.92\ m2$$

a = 0.92 m2

b) Separación:

$$S = \sqrt{a} \quad (2)$$

$$S = \sqrt{0.92\ m2} = 0.96\ m$$

$$S = 1.00\ m$$

c) Bordo:

$$B = \frac{\text{separación entre barrenos perimetrales}}{0.8} \quad (3)$$

$$B = \frac{0.60}{0.80} = 0.75\ m$$

$$B = 0.75\ m$$

I-6.- Cuña:

La cuña es en " V ", y se localizará en tres líneas horizontales: 3a, 4a y 5a, de los 96 barrenos centrales tomaremos el 38% para diseño de la cuña y el 62% para barrenos de descargues (2).

Cuña	96 barr. x 0.38 = 36 barrenos
Descargues	96 barr. x 0.62 = 60 barrenos

Longitud de las líneas:

3 líneas x 9 metros = 27 metros

Separación:

$$\frac{27\ \text{metros}}{36\ \text{barr.}} = 0.75\ \text{mts.}$$

I-7.- Plantilla de barrenación:

Ver figura anexa

I-8.- Equipo para barrenación en la sección superior:

3.50 m/barreno x 146 barrenos/pega = 511 m/pega

avance de una perforadora (práctico) = 0.30 m/min.

0.30 m/min. x 60 min./hr = 18 m/hr.

18 m/hr x 8hr/turno = 144 m/turno-perf.

de donde:

$$\frac{511 \text{ m (barrenación)}}{144 \text{ m/turno-perf.}} = 3.54 = 4 \text{ perforadoras}$$

por lo tanto, se requieren 4 perforadoras-turno, lo que nos lleva a 2 jumbos de 4 perforadoras con un tiempo de barrenación de :

18 m/hr x 2 jumbos x 4 perf./jumbo = 144 m/hr

$$\frac{511 \text{ m/perf.}}{144 \text{ m/hr}} = 3.54 \text{ hrs. de barrenación/pega}$$

$$\frac{511 \text{ m}}{116 \text{ m2} \times 3.50 \text{ m}} = 1.26 \text{ m/m3}$$

I-9.- Carga de la rezaga y acarreo:

Volúmen de la rezaga por pega:

116 m2 x 3.50 m x 1.10 (sobreexcavación) x 1.51 (ab) = 673 m3-S

a) Equipo:

Utilizando un cargador 988 "caterpillar".

Rendimiento:

4.6 m3 x 80 ciclos/hr x 0.67 (efic) = 247 m3/hr

$$\frac{247 \text{ m3/hr}}{10 \text{ m3/camión}} = 25 \text{ camiones/hr}$$

Acarreo promedio de los camiones = 3 km.

Tiempo de carga	$\frac{10\ m3}{160\ m3/hr}$	0.06 hr
Tiempo	$\frac{3\ km}{30\ km/hr}$	0.10 hr
Tiempo regreso	$\frac{3\ km}{35\ km/hr}$	0.08 hr
Maniobras		0.02
	s u m a	0.26 hr/ciclo camión

25 camiones x 026 hr = 6.50 = 7 camiones

por lo tanto se necesitan 7 camiones de 10 m3.

b) Tiempo de rezaga:

$$\frac{673\ m3 - S}{247\ m3 - S/hr} = 2.72\ hrs.$$

II.- SECCION INFERIOR:

II-1.-Plantilla de barrenación (3):

Diámetro del barreno d = 2" = 5.08 cm

Altura promedio de barrenación k = 5.40 mts.

a) Separación frontal máxima:

V. Máx. = 45 d = 45 x 0.0508 = 2.28 = 2.30 m

b) Sobrebarrenación:

U = 0.3 V. Máx. = 0.3 x 2.30 = 0.69 = 0.70 mts.

c) Barrenación:

$$H \geq K + U + 0.05\,(K + U) = 5.40 + 0.70 + 0.05\,(5.40 + 0.70) = 6.41$$

$$H = 6.40 \text{ mts.}$$

d) Separación frontal práctica:

$$V_1 = V.\ Máx. - F$$

$$F = 0.05 + 0.03\,H = 0.05 + 0.03 \times 6.40 = 0.24$$

$$V_1 = 2.30 - 0.24 = 2.06$$

$$V_1 = 2.00 \text{ mts.}$$

e) Espaciamiento práctico:

$$E_1 = 1.25\ V_1 = 1.25 \times 2.00 = 2.50$$

$$E_1 = 2.50 \text{ mts.}$$

f) Carga concentrada en el fondo:

$$Qbk = \frac{d2}{1{,}000} = \frac{(50.8)2}{1{,}000} = 2.58 \text{ kg/m}$$

g) Altura de la carga del fondo:

$$hb = 1.3\ V.\ Máx. = 1.3 \times 2.30 = 2.99$$

$$hb = 2.99 \text{ mts.}$$

h) Carga de fondo:

$$Qb = hb \times Qbk = 2.99 \times 2.58 = 7.71$$

$$Qb = 7.71 \text{ kg.}$$

i) Concentración de la carga de la columna:

$Qpk = 0.5 \quad Qbk = 0.5 \times 2.58 = 1.29$

$Qpk = 1.29$ kg.

j) Carga del carril:

$hp = H - (hb + ho) = 6.40 - (2.99 + 2) = 1.41$

$Qp = hp \quad Qpk = 1.41 \times 2.58 = 3.64$

$Qp = 3.64$ kg.

k) Carga total:

$Qt = Qb + Qp = 7.71 + 3.64 = 11.35$

$Qt = 11.35$ kg.

l) Plantilla de barrenación:

II-2.-EXPLOSIVOS:

Número de barrenos por pega: 20 barrenos.

11.5 kg/barreno x 20 barrenos/pega = 230 kg/pega

230 kg/pega x 334 pegas = 76,820 kg.

Total de explosivos: 76,820 kg.

$$\frac{76{,}820 \text{ kg}}{105 \text{ m2} \times 2{,}000 \text{ m}} = 0.37 \text{ kg/m3}$$

II-3.-BARRENACION:

20 barrenos x 6.40 m/barreno = 128 m

128 m x 334 = 42,752 m de barrenación

Empleando un track-drill "atlas-copco", modelo ROF-601, con rendimiento de 10 m/hr:

$$\frac{42,752 \text{ mts.}}{10 \text{ mts./hr}} = 4,275.20 \text{ hr}$$

$$\frac{42,752 \text{ mts.}}{210,000 \text{ m3}} = 0.20 \text{ m/m3}$$

II-4.-CARGA DE LA REZAGA Y ACARREO:

Volúmen de la rezaga por pega:

221 m2 - 116 m2 = 105 m2

105 m2 x 6 m x 1.10 (sobrebarrenación) x 1.51 (ab) 1,046.43 m3-S

V = 1,046.43 m3-S

a) Utilizando un cargador 988 "carterpillar":

Rendimiento:

4.6 m3 x 80 ciclos/hr x 0.67 (efic) = 247 m3-S/hr.

$$\frac{247 \text{ m3/hr}}{10 \text{ m3/camión}} = 25 \text{ camiones/hr}$$

Considerando un acarreo promedio de 3 km:

Tiempo carga	$\frac{10 \text{ m3}}{247 \text{ m3/hr}}$	0.04
Tiempo ida	$\frac{3 \text{ km}}{30 \text{ km/hr}}$	0.10
Tiempo regreso	$\frac{3 \text{ km}}{40 \text{ km/hr}}$	0.07
Maniobras		0.02
	s u m a	0.23 hr/ciclo camión

25 camiones x 0.23 hr = 5.75 = 6 camiones

por lo tanto se necesitan 6 camiones de 10 m3

b) Tiempo de rezaga:

$$\frac{1,046.43 \text{ m3-S}}{247 \text{ m3-S}} = 4.24 \text{ hrs.}$$

III.- MANO DE OBRA:

a) Personal requerido en barrenación:

1 sobrestante
1 cabo
8 perforadores
4 ayudantes de perf.
1 chofer
1 ayudante
1 tubero
1 ayudante
1 bombero
1 mecanico
1 electricista
1 ayudante

s u m a 22 personas

b) Personal requerido en carga:

1 cabo
2 pobladores
2 cargadores
4 peones

1 bombero

1 electricista

1 ayudante

s u m a 12 personas

c) Rezaga:

1 cabo

1 operador traxcavo

8 operadores camión

1 bombero

1 electricista

1 mecanico

1 tubero

3 ayudantes

s u m a 17 personas

IV.- VENTILACION:

a) Requerimiento de aire (4):

para remover los gases producto de la voladura: $Q = \frac{36 \times S}{t}$

en donde:

S = cantidad de explosivos

t = tiempo de ventilación

Por personal: 1.5 m3/hr por persona

para remover gases de diesel 2.5 m3/hr por HP

Número de personas: 17 (en rezaga)

hr:

1 traxcavo x 325 HP = 325

3 camiones x 210 HP = 630

suma 955 HP

Q_1 = 17 personas x 1.5 m3/hr = 25.50

$$Q_2 = \frac{36 \times 373.5 \text{ kg}}{30 \text{ min.}} = 448.20$$

Q_3 = 955 HP x 2.5 m3/hr-HP = 2,387.50

suma 2,861.20 m3/min.

$$\frac{2{,}861.20 \text{ m3/min.}}{60 \text{ seg/min.}} = 47.68 \text{ m3/seg.}$$

47.68 m3/seg. x 3,600 seg/hr = 171,648 m3/hr

2,861.20 m3/min. x 35.31 PCM/m3/min. = 101,029 PCM

Por lo tanto, se necesitan dos ventiladores tipo PHMD-140-4 de 45 HP (4)

además se necesitan:

2,000 mts de tubo de Ø = 0.75 mts.
2 codos de 90° de Ø = 0.75 mts.
4 codos de 45° de Ø = 0.75 mts.

V.- ILUMINACION:

Longitud del tunel 2,000 mts.

Se requieren focos de 100 W a cada 2 metros en ambos lados:

$$\frac{2{,}000 \text{ m}}{2 \text{ m/foco}} \times 2 = 2{,}000$$

Refacción = 1,000

suma 3,000 focos de 100 W

Se necesitan 2,000 sockets y 5,200 metros de cable de # 12, además para una planta de luz de 200 KW.

VI.- REQUERIMIENTO DE AIRE:

Como utilizamos 8 perforadoras.

Considerando el factor de diversidad = 0.8

4 perforadoras x 425 PCM/perf. = 1,700

1,700 PCM x 0.8 = 1,360 PCM

pérdidas en conducción 10% = 136 PCM

consumo real 1,496 PCM

por lo tanto necesitamos:

2 compresores 600

1 compresor 330

de donde se obtiene 1,530 PCM

a) Cálculo de la tubería:

Demanda	1,530 PCM
Presión requeridas	90 psi
de la tabla # 3 Ø	4"

por lo tanto necesitamos, de la tabla No. 1:

2,025 mts. de tubo de Ø = 4"

y un tanque regulador para 1,500 PCM

VII.- REQUERIMIENTO DE AGUA:

a) Tanque:

0.058 m3/min. x 60 min/hr x 8 pistolas x 5.58 hr = 155.34 m3

Se necesita un tanque de 155 m3, con 2,025 mts de tubería de Ø = 4"

b) Manguera:

15 mts. x 8 pistolas = 120 mts. de manguera Ø = 2"

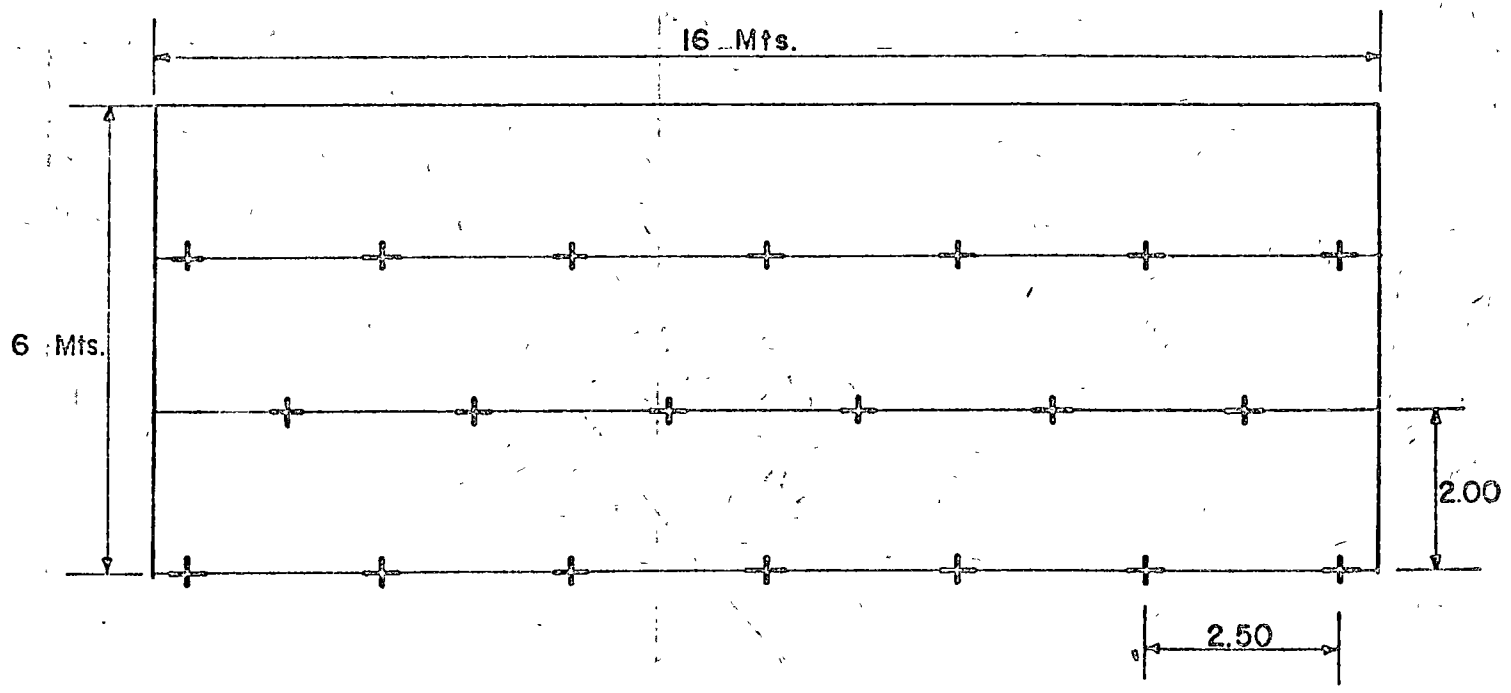
además el 10% por codos, niples, etc.

VIII.-BOMBEO:

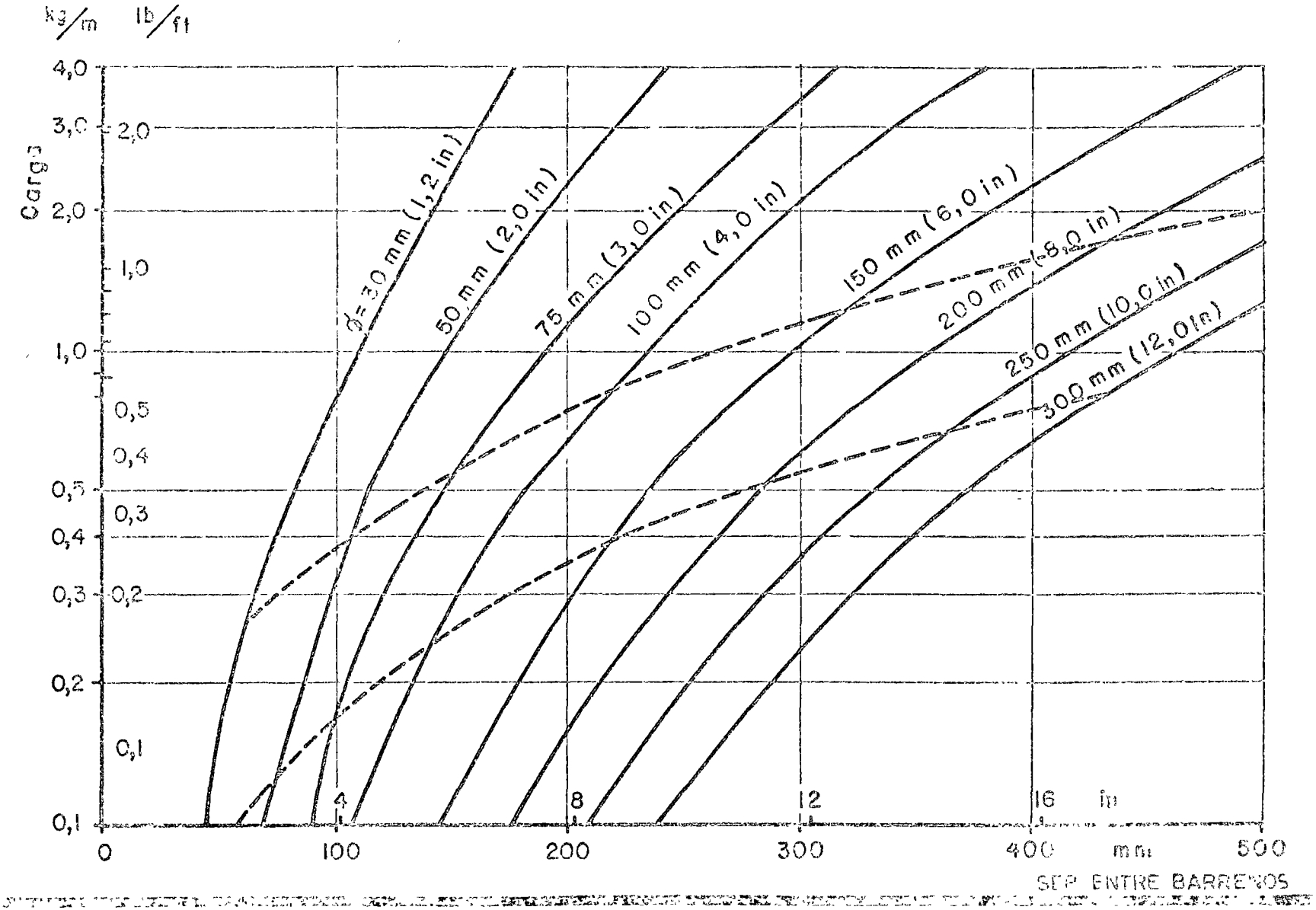
de la barrenación	28 m3/hr
de la infiltración	10 m3/hr
suma	38 m3/hr

Se requiere una bomba de Ø = 3" y 2,025 mts de manguera de Ø = 3"

PLANTILLA DE BARRENACION PARA EL BANQUEO DE LA SECCION INFERIOR

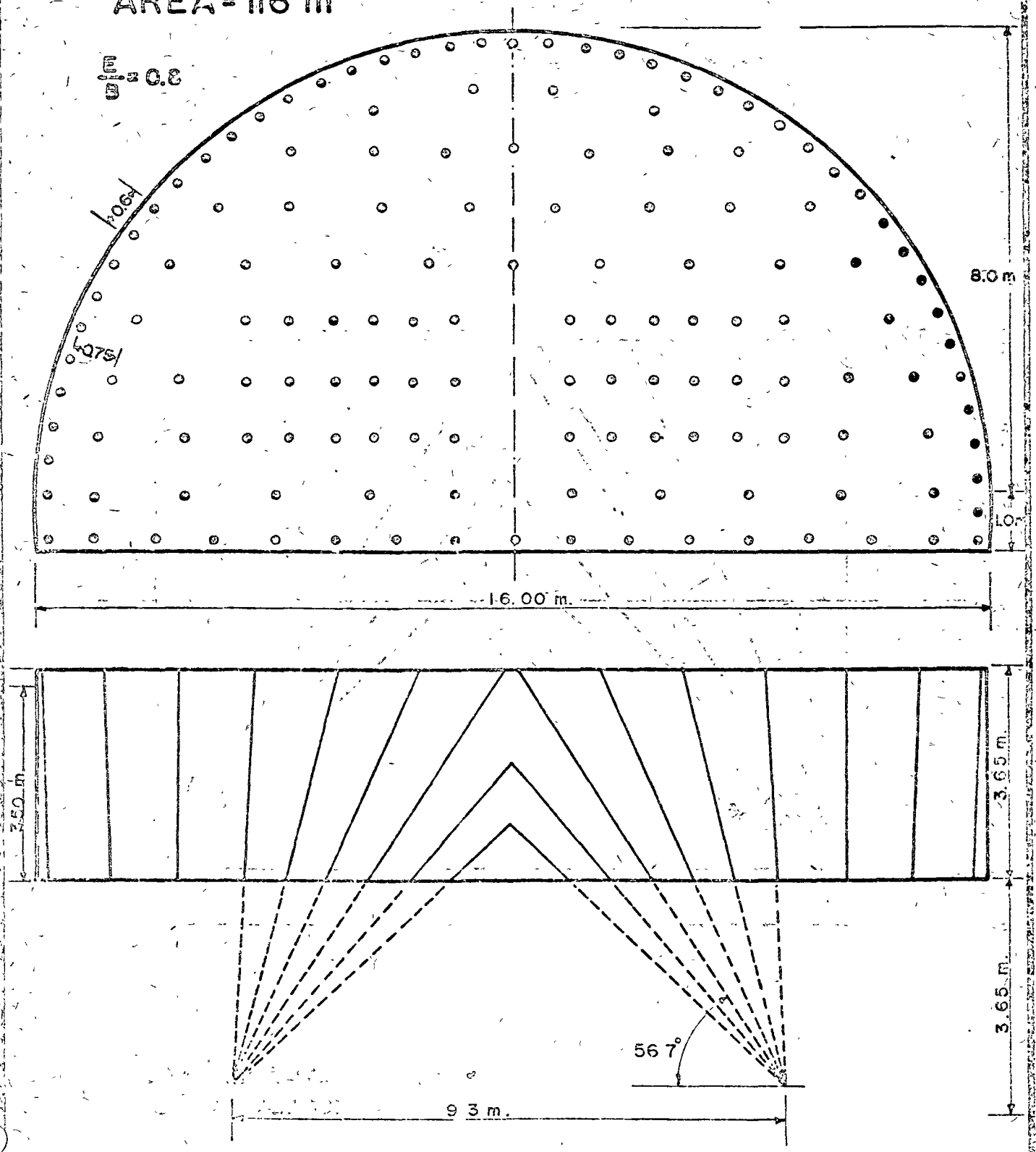


GRAFICA No. I

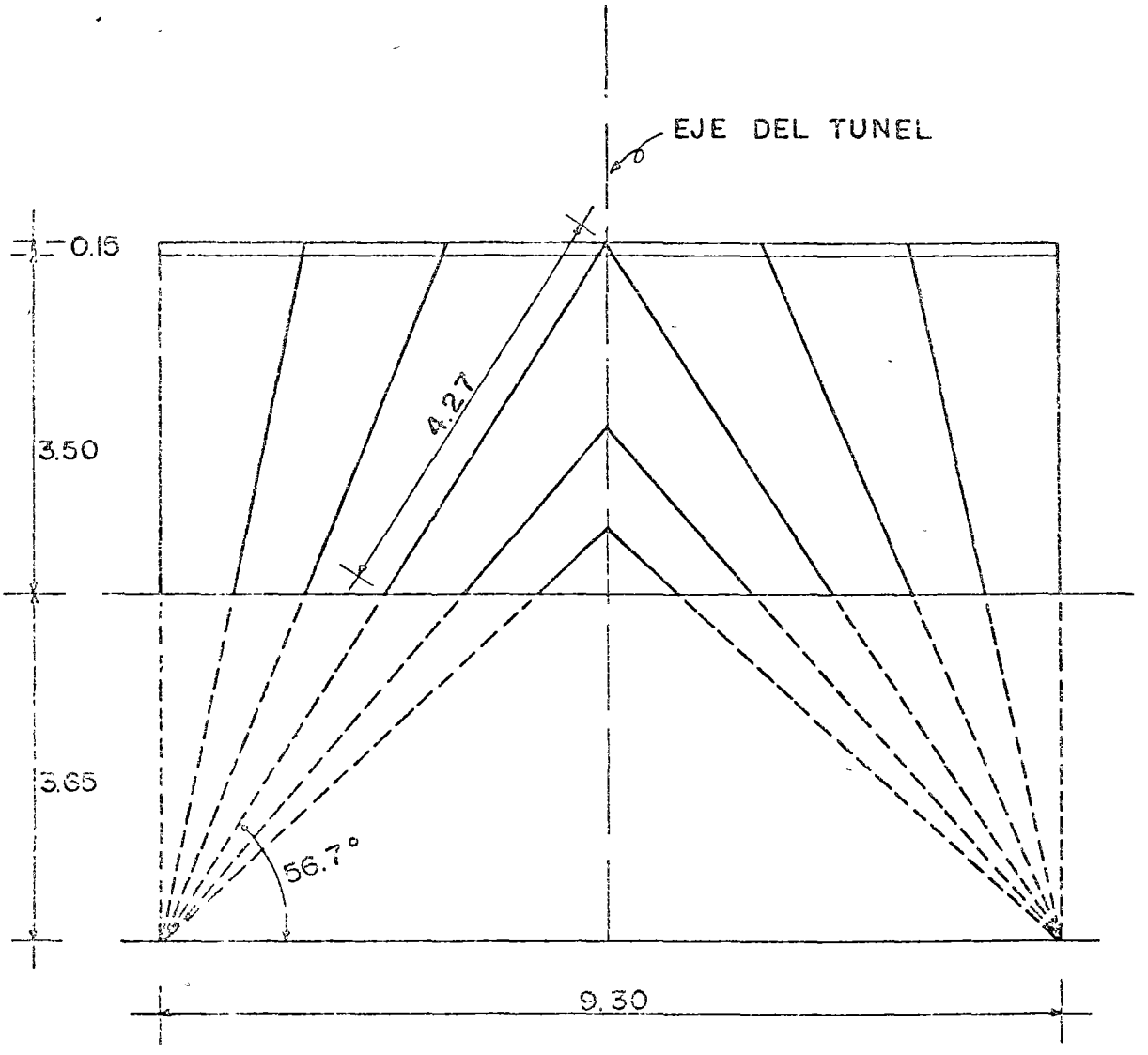

kg/m
lb/ft
Carga
4,0
3,0
2,0
1,0
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
2,0
1,0
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
d=30 mm (1,2 in)
50 mm (2,0 in)
75 mm (3,0 in)
100 mm (4,0 in)
150 mm (6,0 in)
200 mm (8,0 in)
250 mm (10,0 in)
300 mm (12,0 in)
4
8
12
16 in
0
100
200
300
400 mm
500
SEP. ENTRE BARRENOS

PLANTILLA DE BARRENACION DE LA MEDIA SECCION SUPERIOR CON CUÑA EN "V"

AREA = 116 m²



CUÑA EN V



COTAS EN MTS.
ESCALA 1:75

4.27 X Sen. 56.7° = 3.56 = 3.50

EJEMPLO NO. 1

COSTO POR M3 DE EXCAVACION EN TUNEL

1).- BARRENACION:

A).- EQUIPO:

a).- Sección Superior (52% del volúmen total):

2 Jumbos x $1,182.40	$ 2,364.80
2 Compresores 600 x $309.90	$ 619.80
1 Compresor 330	$ 264.45
1 Bomba Ø 3"	$ 59.66
suma	$ 3,308.71/hr

$$\frac{\$\ 3{,}308.71/\text{hr} \times 10\ \text{hrs/turno}}{447\ \text{m3/turno} \times 2\ \text{frentes}} \times 0.52\ \text{m3/m3} \qquad \$\ 19.25/\text{m3}$$

b).- Banqueo (42% del volúmen total):

1 Track Drill	$ 498.61
1 Compresor 600	$ 309.50
1 Bomba Ø 3"	$ 59.66
suma	$ 868.17/hr

$$\frac{\$\ 868.17/\text{hr}}{50\ \text{m3/hr}} \times 0.48\ \text{m3/m3} = \$\ 8.33/\text{m3}$$

$$\$\ 27.58/\text{m3}$$

B).- MATERIALES:

a).- Tuberia para conducción de: Agua, Ø 4"

2,100 x 1.2 desp.

$$\frac{2{,}025\ \text{m} \times \$\ 153.75/\text{m}}{442{,}000\ \text{m3}} \qquad \$\ 0.70/\text{m3}$$

b).- Tubería para conducción de: Aire, Ø 4"

$$\frac{2{,}025\text{m} \times \$\ 153.75/\text{m}}{442{,}000\ \text{m3}} \qquad \$\ 0.70/\text{m3}$$

c).- Mangueras Ø 2"

$$\frac{2{,}025\text{m} \times \$\ 531.50/\text{m}}{442{,}000\ \text{m3}} \qquad \$\ 2.44/\text{m3}$$

d).- Mangueras Ø 2"

$$\frac{120\ \text{m} \times \$\ 680.00/\text{m}}{442{,}000\ \text{m3}} \qquad \$\ 0.18/\text{m3}$$

e).- Tanque de almacenamiento de: Agua de 155 m3

$$\frac{\$\ 250{,}000.00}{442{,}000\ \text{m3}} \qquad \$\ 0.57/\text{m3}$$

f).- Codos, niples, etc.:

Un cargo del 20% x $ 3.84 $ 0.77/m3

g).- Acero de barrenación:

---- Sección Superior:

Broca Ø = 2"

Vida útil = 125 m

125 m + 2 afiladas (125) = 375 m

$$\frac{\$\ 2{,}340.00}{375\ \text{m}} \times 1.30\ (\text{afiladas}) = \$\ 8.11/\text{m}$$

Cople	$ 670.80
Barro de 14'	$4,125.60
s u m a	$4,796.40

Considerando un rendimiento de 600 m

$$\frac{\$\ 4{,}796.40}{600\ m} = \$\ 7.99/m$$

Zanco:

Se considera el 50% de la vida útil del acero = 300 m

$\frac{\$\ 1{,}510.00}{300\ m}$		$\$\ 5.03/m$
	suma	$21.13/m

$ 21.13/m x 1.26 m/m3 x 0.52 m3/m3 $ 13.84/m3

---- Sección Inferior (banqueo):

Broca:

Se considera un cargo $ 8.11/m

Cople	$ 670.00
Barra 18'	$ 4,228.00
suma	$ 4,898.00

Considerando un rendimiento de 600 m

$$\frac{\$\ 4{,}898.00}{600\ m} \quad \$\ 8.16/m$$

Zanco:

Se considera el 50% de la vida útil del acero = 300 m

$\frac{\$\ 1{,}510.00}{300\ m}$		$\$\ 5.03/m$
	suma	$21.30/m

$ 21.30/m x 0.20 m/m3 x 0.42 m3/m3 $ 1.79/m3

suma $ 15.63/m3

C).- MANO DE OBRA (TURNO 10 HRS):

a).- Sección Superior:

1 Bombero	$ 192.77
1 Sobrestante	$ 613.05
1 Cabo	$ 434.51
8 Perforadores x $ 192.77	$ 1,542.16
1 Tubero	$ 334.97
10 Ayudantes x $ 162.79	$ 1,627.90
1 Mecanico	$ 535.64
suma	$ 5,281.00/turno

$$\frac{\$\ 5,281.00/\text{turno}}{447\ m3/\text{turno}} \times 1.05\ (\text{herr}) \qquad \$\ 12.41/m3$$

b).- Sección Inferior (banqueo):

1 Sobrestante	$ 613.05
1 Tubero	$ 534.97
1 Mecánico	$ 535.64
1 Bombero	$ 192.77
1 Cabo	$ 434.51
4 ayudantes x $ 162.79	$ 651.16
suma	$ 2,762.10/turno

$$\frac{\$\ 2,762.10/\text{turno}}{693\ m3/\text{turno}} \times 1.05\ (\text{herr}) \qquad \$\ 4.19/m3$$

suma	$ 16.60/m3
TOTAL	$ 65.17/m3

2).- CARGA, POBLADO Y TRONADO:

A).- MATERIALES:

---- Sección Superior:

a).- Explosivos:

Gelatina al 40%

0.92 kg/m3 x $ 22.31 kg = $ 20.53/m3

b).- Artificios; Estopines, 1 estopin/barreno:

$$\frac{1 \text{ explosor} \times \$\ 15{,}708.00}{447 \text{ m3}} \qquad \$\ 35.14/\text{m3}$$

$$\frac{146 \text{ estopines} \times \$\ 13.10/\text{estopin}}{447 \text{ m3}} \qquad \$\ 4.28/\text{m3}$$

c).- Alambre de conducción:

$$\frac{511 \text{ m/pega} \times 1.1 \text{ (conexión)} \times 2.08/\text{m}}{447 \text{ m3/pega}} \qquad \$\ 2.62/\text{m3}$$

s u m a $ 62.57/m3

$ 62.57 m3 x 0.52 m3/m3 $ 32.54/m3

Sección Inferior (banqueo)

a).- Explosivos:

0.37 kg/m3 x $ 22.31 kg $ 8.25/m3

b).- Artificios; Estopines, 1 estopín/barreno

$$\frac{20 \text{ estopines} \times \$\ 13.10/\text{estopín}}{693 \text{ m3}} \qquad \$\ 0.38/\text{m3}$$

$$\frac{1 \text{ explosor} \times \$\ 15{,}708.00/\text{explosor}}{693 \text{ m3}} \qquad \$\ 22.67/\text{m3}$$

c).- Alambre de conducción:

$$\frac{128 \text{ m/pega} \times 1.10 \text{ (conexión)} \times \$\ 2.08/\text{m}}{693 \text{ m3}} \qquad \$\ 0.42/\text{m3}$$

s u m a $ 31.72/m3

$ 31.72/m3 x 0.48 m3/m3 $ 15.23/m3

B).- MANO DE OBRA:

1 Cabo	$ 434.51
2 Pobladores x $ 401.34	$ 802.68
4 Cargadores x $ 270.18	$ 1,080.72
1 Electricista	$ 401.34
8 Ayudantes x $ 162.79	$ 1,302.32
suma	$ 4,021.57/turno

$$\frac{\$\ 4{,}021.57/\text{turno}}{565\ m3/\text{turno}} \times 1.05\ (\text{herr})$$ $ 7.47/m3

C).- EQUIPO:

Se utiliza un camión de redilas de 7 ton.

$$\frac{\$\ 231.50/\text{hr} \times 10\ \text{hrs.}}{565\ m3/\text{turno}}$$ $ 4.10/m3

TOTAL $ 59.34/m3

3).- VENTILACION:

A).- EQUIPO:

Se emplean dos ventiladores, tipo PHMD-140-4 de 45 HP.

$$\frac{2 \times \$\ 146{,}335.40}{442{,}000\ m3} \times 2\ \text{frentes}$$ $ 1.32/m3

B).- MATERIALES:

Tubo Ø 0.75 m, cal. 14

2,000 x $ 579.00/m = $ 1'038,000.00

2 codos 90° x $ 560.52 $ 1,121.04

2 codos 45° x $ 550.14 = $ 1,100.28

suma $ 1'040,221.32

$$\frac{\$\ 1'040,221.32}{442,000\ m3} \qquad \$\ 2.35/m3$$

C).- MANO DE OBRA:

Se considera 30% x $ 3.67 $ 1.10/m3

D).- ENERGIA:

2 plantas 150 KW

$$\frac{2 \times \$\ 236.09/hr \times 10\ hrs/turno}{565\ m3/turno} \qquad \$\ 8.36/m3$$

TOTAL $ 13.13/m3

4).- REZAGA:

Sección Superior:

A).- CARGA:

a).- Equipo:

Se emplea un traxcavo 988 "caterpillar".

$$\frac{\$\ 1,355.66/hr \times 10\ hrs/turno}{447\ m3/turno \times 2\ frentes} \qquad \$\ 15.11/m3$$

B).- ACARREO:

Se consideran 7 camiones de 10 m3

$$\frac{\$\ 271.93/hr \times 10\ hrs/turno \times 7\ camiones \times 1.5\ (ab)}{447\ m3/turno \times 2\ frentes} \qquad \$\ 31.83/m3$$

suma $ 46.94/m3

$ 46.94/m3 x 0.52 m3/m3 $ 24.41/m3

---- Sección Inferior (banqueo)

A).- CARGA:

a).- Equipo:

Se emplea un traxcavo 988 "caterpillar"

$$\frac{\$\ 1{,}355.66/\text{hr} \times 10\ \text{hrs/turno}}{693\ \text{m3/turno} \times 2\ \text{frentes}} \qquad \$\ 9.78/\text{m3}$$

B).- ACARREO:

Se consideran 6 camiones de 10 m3

$$\frac{\$\ 271.93/\text{hr} \times 10\ \text{hrs/turno} \times 6\ \text{camiones} \times 1.5\ (\text{ab})}{693\ \text{m3/turno} \times 2\ \text{frentes}} \qquad \$\ 12.95/\text{m3}$$

suma $\$\ 22.73/\text{m3}$

$\$\ 22.73/\text{m3} \times 0.48\ \text{m3/m3}$ $\$\ 10.91/\text{m3}$

TOTAL $\$\ 35.32/\text{m3}$

5).- AFINES:

Se considera un 10% x $ 159.83/m3 $ 15.98/m3

6).- ILUMINACION:

A).- EQUIPO:

Se emplea una plata de luz de 200 KW

$$\frac{\$\ 314.60/\text{hr} \times 10\ \text{hrs}}{555\ \text{m3/turno}} \qquad \$\ 5.57/\text{m3}$$

B).- MATERIALES:

Cable No. 12

5,200 m x $ 5.80/m = $ 30,160.00

Focos 100 W

3,000 F x $ 7.80/F = $ 23,400.00

Socket

2,000/S x $ 5.20/S = $ 10,400.00

suma $ 63,960.00

$$\frac{\$\ 63,960.00}{442,000\ m3}$$ $ 0.14/m3

Accesorios 20% x $ 5.71/m3 $ 1.14/m3

C).- MANO DE OBRA:

2 Electricistas x $279.72	=	$ 559.44
2 Ayudantes x $162.79	=	$ 325.58
3 Peones x $113.54	=	$ 340.62
	suma	$ 1,225.64/turno

$$\frac{\$\ 1,225.64/\text{turno}}{565\ m3/\text{turno}} \times 1.05\ (\text{herr})$$ $ 2.28/m3

suma $ 9.13/m3

COSTO DIRECTO $198.07/m3

EJEMPLO NO. 2

Longitud del tunel	1,000 mts.
Ancho de plantilla	4.30 mts.
Altura desde plantilla a clave	4.50 mts.

Area a línea B:

$$(2.35 \times 4.30) + 1/2\ \pi\ (2.15)^2 = 17.366\ m2$$

Area a línea A

$$(2.25 \times 4.10) + 1/2\ \pi\ (2.05)^2 = 15.826\ m2$$

METODO DE ATAQUE:

Excavación a sección completa:

1.- BARRENACION:

1-1.- Avance por ciclo:

$$Av = \frac{-26}{S^{0.1103}} + 21.85 \quad (1) \qquad \text{en donde: } S = 15.826\ m2$$

$$Av = \frac{-26}{(15.826)^{0.1103}} + 21.85 = 2.67\ m$$

por lo tanto la barrenación sería de 3.00 m, para obtener un avance de 2.70 m.

1-2.- Explosivos: a) Carga Específica :

$$a = \frac{14}{S} + 0.8 \quad (1)$$

$$q = \frac{14}{15.826} + 0.8 = 1.68 \text{ kg/m3}$$

b) Explosivos por pega:

1.68 kg/m3 x 15.826 m2 x 3.00 = 79.78 kg/pega

I-3.- Número de barrenos:

a) Como los barrenos del perímetro de la clave deben estar espaciados a cada - 0.60 m (1).

$$\frac{\pi D}{2} = \frac{\pi \times 4.30}{2} = 6.75 \text{ m}$$

$$\frac{6.75 \text{ m}}{0.60 \text{ m}} + 1 = 12 \text{ barrenos de } \emptyset = 2''$$

y los barrenos restantes del perímetro van espaciados a cada 0.80 m (1).

10 barrenos de $\emptyset$ = 2"

Total de barrenos perimetrales = 22 barrenos.

Considerando que cargamos 0.30 kg/m (2)

3.00 m x 0.3 = 0.90 m

para $\emptyset$ = 2" = 5.08 cm

$$\frac{\pi (5.08)^2 \times 100}{4} = 2{,}026.83 \text{ cm3/m}$$

usando gelatina extra de 40% que tiene una densidad de 1.57 gr/cm3

la capacidad por barreno es:

0.90 m x 2,026.83 cm3/m x 1.57 gr/cm3 2,863.91 gr = 2.86 kg/- barreno.

y los barrenos perimetrales deben llevar 0.24 kg/m (1) e irán cargados el 90%

de su longitud ya que el 10% restante va retacado:

$$3.00\ m \times 0.90 \times 0.24\ kg/m = 0.648\ kg/barreno.$$

como tenemos 22 barrenos:

$$22\ barrenos \times 0.648\ kg/barreno = 14.256\ kg.$$

quedando entonces:

carga total de explosivos	79.780
menos carga del perímetro	14.256
	65.524 kg.

$$\frac{65.524\ kg.}{2.86\ kg/barr} = 23\ barrenos\ centrales$$

Total de barrenos:

barrenos perimetrales	22
barrenos centrales	23
s u m a	45 barrenos

b) Area de influencia de los barrenos:

$$a = \frac{carga\ específica \times avance}{carga\ por\ barreno} \quad (2)$$

$$a = \frac{1.68\ kg/m3 \times 2.70\ m/barr}{2.86\ kg/barreno} = 1.58\ m2/barr.$$

c) Separación de barrenos:

$$S = \sqrt{a} = 1.25\ m \quad (2)$$

$$S = \sqrt{1.58\ m2} = 1.25\ m$$

d) Bordo:

$$B = \frac{\text{separación entre barrenos perimetrales}}{0.8} \quad (3)$$

$$B = \frac{0.60}{0.80} = 0.75$$

$$B = 0.75 \text{ m}$$

e) Plantilla de barrenación:

Ver figura anexa

f) Equipo para barrenar:

45 barr. x 3 m/barr = 135 m por pega

avance de la perforadora (práctico) = 0.30 m/min.

0.3 m/min x 60 min/hr = 18 m/hr

18 m/hr x 8 hr/turno = 38.40 m/turno-perf.

Número de perforadoras:

$$\frac{135 \text{ m}}{144 \text{ m/turno-perf}} = 0.937 = 1 \text{ perforadora-turno}$$

se necesita una perforadora por turno o bien un jumbo con una perforadora en el caso de tener un turno completo de barrenación.

En este caso utilizaremos un jumbo sobre vías con dos perforadoras.

II.- CARGA DE LA REZAGA Y ACARREO:

a) Volúmen de rezaga:

17.36 m2 x 2.70 m x 1.10 (sobreexcavación) x 1.546 (ab) = 79.71m3S

volúmen = 80 m3-S

b) Utilizando una rezagadora LM-250 "atlas-copco", y vagonetas LM-250 "atlas-copco", con una capacidad de 5m3:

Capacidad	0.6 m3
Presión de aire	6 kg/cm3
Tracción	25 HP
Cuchara	25 HP

Tiempo del ciclo:

Tiempo de carga	0.12
Tiempo de maniobras	0.60
Tiempo de viaje	0.18
Tiempo de descarga	0.12
s u m a	1.02 min.

Carga por hora:

$$\frac{60 \text{ min./hr}}{1.02 \text{ min.}} = 59 \text{ ciclos por hora}$$

Carga por ciclo:

0.60 m3 x 0.95 (factor acarreo) = 0.57 m3-S

Producción teórica:

59 c/hr x 0.57 m3-S = 33.63 m3-S/hr

Eficiencia:

E = 0.46

Producción considerando eficiencia:

33.63 m3-S x 0.46 = 15.46 m3-S/hr

Rendimiento de la rezagadora = 15 m3-S/hr

$$\frac{15 \text{ m3/hr}}{5 \text{ m3 vagoneta}} = 3 \text{ vagonetas/hr}$$

y se requiere una locomotora.

El tiempo del ciclo de tren con una locomotora diesel, marca "ageve", tipo - DHL-30, modelo M8.

Con las siguientes características:

Peso	8 ton. métricas
Velocidad máxima	17 km/hr
Capacidad de arrastre	106 ton.
Radio de curvatura (mínimo)	9 mts.
Aceleración	0.16 a 0.32 km/hr

Velocidad de crucero del tren: 15 km/hr = 4.17 m/seg.

c) Tiempo del ciclo:

Aceleración = 0.16 km/hr-seg. = 0.0444 m/seg.2

Tiempo de aceleración:

$$\frac{4.17 \text{ m/seg}}{0.0444 \text{ m/seg.2}} = 94 \text{ seg.} = 1.6 \text{ min.}$$

Recorrido acelerando:

$$\frac{94 \text{ seg.} \times 4.17 \text{ m/seg.}}{2} = 196 \text{ m.}$$

Desaceleración: 0.1 m/seg. 2

Tiempo de frenado:

$$\frac{4.17 \text{ m/seg.}}{0.10 \text{ m/seg.}2} = 41.7 \text{ segs.} = 0.7 \text{ min.}$$

Recorrido frenando:

$$\frac{41.7 \text{ seg.} \times 4.17 \text{ m/seg.}}{2} = 87 \text{ m}$$

Recorridos:

Acelerando y frenando	196 m + 87 m	= 283 m
a velocidad de crucero	1,150 m - 283	= 867 m

Tiempos:

867 × 60/15,000	=	3.47 min.
1.6 + 0.7 min.	=	2.30 min.
suma		5.77 min.

El tiempo del recorrido es	5.77 min.
más tiempo de maniobras	5.00 min.
más tiempo de descarga	7.00 min.
más tiempo de viaje de regreso	5.77 min.
suma	23.54 min.

Tiempo del ciclo: 24 minutos

Número de ciclos por hora:

$$\frac{60 \text{ min./hr}}{24 \text{ min./hr}} = 2.5 \text{ ciclos/hr.}$$

d) Tiempo de rezaga:

15 m3-S x 2.5 ciclos/hr x 0.67 efic. = 25 m3-S/hr.

Volúmen de rezaga: 80 m3-S

de donde:

$$\frac{80 \text{ m3-S}}{25 \text{ m3-S/hr.}} = 3.2 \text{ hrs.}$$

III.- MANO DE OBRA:

a) Personal requerido en barrenación:

1 sobrestante
1 cabo
2 perforadores
1 ayudante de perf.
1 tubero
1 ayudante
1 bombero
1 mecanico
1 electricista
1 ayudante

suma 11 personas

b) Personal requerido en carga:

1 cabo
2 pobladores
2 cargadores.
2 peones
1 bombero

1 electricista

1 ayudante

s u m a 10 personas

c) Personal requerido en rezaga:

1 cabo

1 operador de tren

1 operador de rezagadora

1 electricista

1 mecanico

1 tubero

3 ayudantes

s u m a 9 personas

IV.- VENTILACION:

a) Requerimiento de aire (4):

para remover los gases producto de la voladura: $Q = \frac{36 \times S}{t}$

en donde:

S = cantidad de explosivos

t = tiempo de ventilación

por personal:	1.5 m3/hr por persona
para remover gases producto del diesel :	2.5 m3/hr por HP

Número de personas = 9 (en rezaga)

H P:

1 rezagadora	50 HP

1 locomotora 70 HP

suma- 120 HP

Q_1 = 9 personas x 1.5 m3/hr = 13.50

$$Q_2 = \frac{36 \times 79.78 \text{ kg}}{20 \text{ min.}} = 143.60$$

Q_3 = 120 HP x 2.5 m3/hr = 300.00

suma 457.10 m3/min

$$\frac{457.10 \text{ m3/min.}}{60 \text{ seg/min.}} = 7.62 \text{ m3/seg.}$$

7.62 m3/seg. x 3,600 seg/hr = 27,426 m3/hr

457.10 m3/min. x 35.31 PCM/m3/min. = 16,140 PCM

por lo tanto, se necesita un ventilador tipo PHMD-100-8 (4)

además se necesitan:

1,000 mts. de tubo de Ø = 0.50 mts.
2 codos de 90° de Ø = 0.50 mts.
4 codos de 45° de Ø = 0.50 mts.

V.- ILUMINACION:

Longitud del tunel 1,000 mts.

Se requieren focos de 100 W a cada 2 metros:

$$\frac{1,000 \text{ m}}{2 \text{ m/foco}} = 500$$

Refacciones = 500

suma 1,000 focos de 100 W

Además de 500 sockets

y 2,300 metros de cable del # 12

y una planta de luz de 150 KW.

VI.- REQUERIMIENTO DE AIRE:

a) Como utilizamos 2 perforadoras y el factor de diversidad E = 0.8

2 perforadoras x 425 PCM/perf.	=	8.50
850 PCM x 0.8	=	680 PCM
Rezagadora	=	600 PCM
pérdidas en conducción 10%	=	128 PCM
s u m a		1,408 PCM

por lo que necesitamos:

2 compresores 600

1 compresor 330

de donde se optienen: 1,530 PCM

b) Cáculo de la tubería:

Demanda 1,530 PCM

Presión requerida 90 psi

de la tabla No. 1 Ø = 4"

por lo tanto necesitamos:

1,025 mts de tubo de Ø = 4"

y un tanque regulador para 1,500 PCM

VII.- REQUERIMIENTO DE AGUA:

a) Tanque:

0.058 m3/min. x 60 min./hr x 2 x 3.2 hrs = 22.27 m3

se necesita un tanque de 22 m3

con 1,025 metros de tubería de Ø = 3"

y 30 metros de tuberia de Ø = 2"

además 10% por codos, niples, etc.

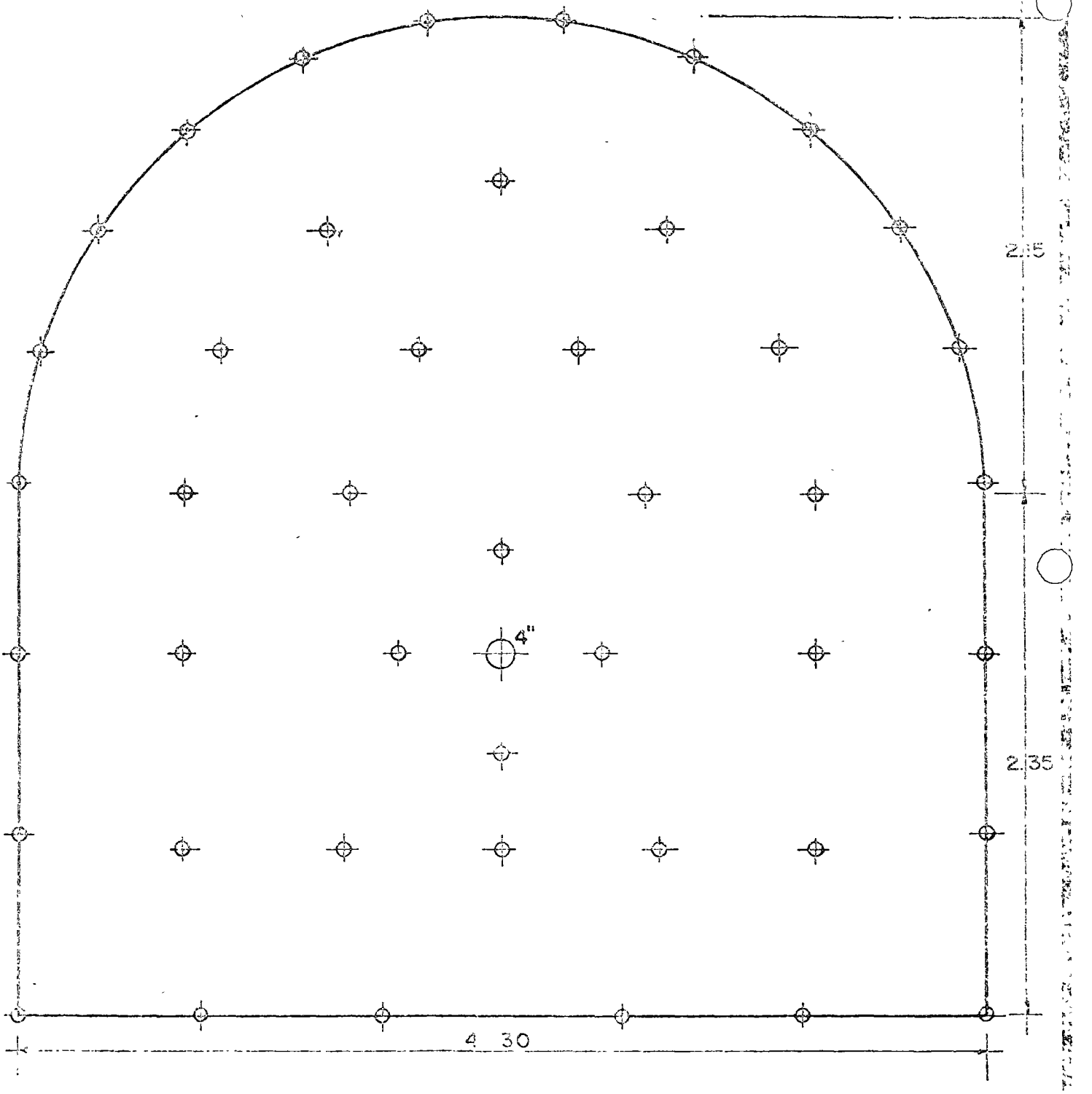
VIII.- BOMBEO:

de la barrenación	7 m3/hr
de la infiltración	10 m3/hr
s u m a	17 m3/hr

se requiere una bomba de Ø = 2"

y 1,025 metros de manguera de Ø = 2"

SECCION A EXCAVAR 17 366 m3
Nº DE BARRENOS 45



PLANTILLA DE BARRENACION

EJEMPLO NO. 2

COSTO POR M3 DE EXCAVACION DE TUNEL

1).- EXTRACCION:

A).- BARRENACION:

a).- Equipo:

Se considera un Jumbo con dos brazos con rendimiento de 36 m3/hr

1 Jumbo con dos perforadoras	$	857.07
2 Compresores 600 x $ 309.90	$	619.80
1 Compresor 330	$	264.45
1 Bomba Ø = 2"	$	52.72
suma	$	1,794.04/hr

$$\frac{\$\ 1{,}794.04}{36\ m3/hr} \qquad \$\ 49.83/m3$$

b).- Materiales:

Tubería Ø = 3"

1,025 m x $105.75/m $ 108,393.75

Tubería Ø = 4"

1,025 m x $153.75/m $ 157,593.75

Mangueras Ø = 2"

1,055 m x $531.50/m $ 580,732.50

suma $ 909,393.00

El volúmen total de excavación es:

17.366 m2 x 1,000 m = 17,360 m3

$$\frac{\$\ 826{,}720.00}{17{,}366\ m3} \qquad \$\ 52.36/m3$$

Broca Ø = 2" vida útil 125 m

125 m + 2 afiladas (125 m) = 375 m

$\frac{\$\ 2,340.00}{375\ m}$ x 1.30 (afiladas) $ 8.11/m

Copie	$ 670.80
Barra de 10'	$ 3,430.56
suma	$ 4,109.36

Considerando un rendimiento de 600 m

$\frac{\$\ 4,109.36}{600\ m}$ $ 6.85/m

Zanco

Se considera el 50% de la vida útil de acero = 300 m

$\frac{\$\ 1,510.00}{300\ m}$ = $ 5.03/m

suma $ 19.99/m

$\frac{\$\ 19.99/m}{0.35\ m3/m}$ $ 57.12/m3

suma $ 159.31/m3

B).- CARGA, POBLADO Y TRONADO:

A).- MATERIALES:

a).- Explosivos:

Gelatina 40%

1.68 kg/m3 x 22.31/kg = $ 37.48/m3

b).- Artificios:

Estopines

45 barr/pega x 370 pega x 1 estopín/barr = 16,650

$\frac{16,650 \text{ estopines}}{17,366 \text{ m3}}$ x $13.10/estop. $ 12.58/m3

Alambre de conducción

20 m/pega x 370 pega = 7,400 m

$\frac{7,400 \text{ m}}{17,366 \text{ m3}}$ x 2.08/m = $ 0.89/m3

Explosor $\frac{\$15,708.00}{17,366 \text{ m3}}$ = $ 0.90/m3

B).- MANO DE OBRA:

2 Pobladores x $401.34	$ 802.68
2 Cargadores x $270.18	$ 540.36
6 Ayudantes x $192.73	$ 1,156.38
suma	$ 2,499.42/turno

$\frac{\$ 2,499.42/\text{turno}}{47 \text{ m3/turno}}$ x $ 53.18/m3

$ 105.03/m3

2).- VENTILACION:

a).- Equipo:

Se emplea un ventilador tipo PHMD-100-8

$\frac{\$ 146,335.40}{17,366 \text{ m3}}$ $ 8.43/m3

b).- Materiales:

tubo Ø = 50 cms de lámina # 22

1,000 m x $1,550.00/m	$ 1'550,000.00
2 codos 90° x $1,700.00/codo	$ 3,400.00
2 codos 45° x $1,700.00/codo	$ 3,400.00
suma	$ 1'556,800.00

$\frac{\$\ 1'556,800.00}{17,366\ m3}$ $\$\ 89.65/m3$

c).- Mano de Obra:

Se considera 20% de $ 28.93/m3 = $ 17.93/m3

suma $ 116.01/m3

3).- REZAGA:

A).- CARGA:

a).- Equipo:

Se emplea una rezagadora LM-250 con un rendimiento de 15 m3-s/hr.

1 Rezagadora $ 452.73/hr

$\frac{\$\ 452.73/hr}{15\ m3\text{-}S/hr}$ x 1.30 (ab) $ 39.24/m3

B).- ACARREO:

a).- Equipo:

Se emplea una locomotora DHL-30 y 3 vagonetas LM-250

1 Locomotora	$ 1'090,517.00
3 Vagonetas x 85,000.00	$ 255,000.00
1 Volteador de vagonetas	$ 250,000.00
suma	$ 1'595,517.00

$\frac{\$\ 1'595,517.00}{17,366\ m3}$ x 0.75 (amortización) $ 68.91/m3

b).- Materiales:

1 Cambio california	$ 720,000.00
Riel	$ 876,580.00
Planchuelas	$ 327,550.00

Tornillos	$ 147,633.00
Clavos	$ 40,943.00
Durmientes	$ 821,000.00
suma	$ 2'933,706.00

$\frac{\$\ 2'933,706.00}{17,366\ m3}$ x 0.75 (amortización) $126.70

c).- Mano de Obra:

Se considera 20% de $ 126.70/m3 $ 25.34/m3

suma $ 260.19/m3

4).- ILUMINACION:

a).- Equipo:

Se emplea una planta de luz de 150 KW

$\frac{\$\ 735,000.00}{17,366\ m3}$ = $ 42.32/m3

b).- Materiales:

Cable No. 12

2,300 m x $ 5.80/m $ 13,340.00/m3

Focos 100 W

1,000 F x $ 7.80/F = $ 7,800.00

Socket

500 S x $ 5.20/S = $ 2,600.00

$ 23,740.00

$\frac{\$\ 23,740.00}{17,366\ m3}$ $ 1.37/m3

c).- Mano de Obra:

2 Electricistas x $279.72	=	$ 559.44
2 Ayudantes x $134.35	=	$ 268.70
2 Peones x $113.54	=	$ 227.08
	suma	$ 1,055.22/turno

$$\frac{\$\ 1{,}055.22/\text{turno}}{200\ m3/\text{turno}} \qquad \$\ 5.28/m3$$

$ 48.97/m3

COSTO DIRECTO $ 689.51/m3

REFERENCIAS

(1).- TECNICA MODERNA DE VOLADURA DE ROCAS
U. Langefors y B. Kinlstrom, Reimpresión 1971

(2).- CURSO DE VOLADURA DE ROCAS
"Centro de Educación Continua"
Julio de 1976.

(3).- SWEDISH BLASTING TECHNIQUE
Rune Gustafsson, Edición 1973

(4).- VENTILATION
Tunnels and Rock Chambers during construction
A B Svenska Flaktfabriken.

COSTO DE EXCAVACION EN LUMBRERERAS POR EL METODO TRADICIONAL

La lumbrera que analizaremos tendrá una sección rectangular de 6.70 m. por 5.90 m. y una longitud de 60 m. La profundidad de barrenación por tronada será de 2.50 m. se atacará por un tunel de sección portal con una altura de 5 m. y una longitud de 1,500 m. el volúmen a excavar es de 2,400 m3.

BARRENACION :

a) Materiales

1.- Tubería para conducción de agua, se emplea tubería de Ø 3"

$$\frac{200 \text{ m} \times \$\ 106.00 / \text{m}}{2{,}400 \text{ m3}} = \$\ 8.83/\text{m3}$$

2.- Tubería para conducción de aire de Ø 3"

$$\frac{200 \text{ m} \times \$\ 106.00 / \text{m}}{2{,}400 \text{ m3}} = \$\ 8.83/\text{m3}$$

3.- Mangueras para perforadoras

$$\frac{30 \text{ m} \times 3 \text{ perf.} \times \$\ 817.00/\text{m}}{2{,}400} \quad \$\ 10.21/\text{m3}$$

4.- Tanque de almacenamiento de agua con capacidad de 8000 lts.

$$\frac{\$\ 15{,}000.00}{2{,}400 \text{ m3}} = \$\ 6.25/\text{m3}$$

5.- Acero de barrenación

Se usará acero integral/hexagonal de 10 pies de largo con un costo de $2,092.00/pza. con una vida de 300 m de perforación

$$\frac{\$\ 2{,}092.00/\text{pza.}}{300\ \text{m.}} \times 3\ \text{m/m3} = \$\ 20.92/\text{m3}$$

b) Mano de Obra

0.5 cabo tunel	$ 151.42
1 tubero	$ 233.47
1 ayudante	$ 134.35
	$ 519.24

$$\frac{\$\ 519.24/\text{turno}}{90\ \text{m3/turno}} = \$\ 5.77/\text{m3}$$

c) E q u i p o

1 compresor 600 P.C.M.

3 perforadoras puma con pierna con un rendimiento de 26 m3/turno

camión plataforma =	$ 306.30/hr.
Perforadora $ 90.17/hr. x 3 =	$ 270.51/hr.
1 compresor 600 =	$ 309.90/hr.
	$ 580.41/hr.

$\frac{\$\ 886.71/hr.}{90\ m3/turno} \times 8\ hrs. =$ $\$\ 78.80/m3$

6.- CARGADO , POBLADO Y TRONADO

a) Materiales

Gelatina 60% 2.05 kg/m3 x $ 22.40 = $45.92/m3

Artificios $\frac{49\ estopines \times \$16.09/pza.}{90\ m3/tronada}$ $ 8.76/m3

Explosor $\frac{\$15,000}{2,400}$ $ 6.25/m3

cable $\frac{200\ m \times \$\ 2.04/m}{2,400}$ $ 0.17/m3

$ 61.10/m3

b) mano de Obra

0.5 cabo	$ 151.42
1 cargador	$ 188.31
1 poblador	$ 279.72
1 ayudante	$ 134.35
	$ 753.80/m3

$\frac{\$\ 753.80/turno}{90\ m3/turno} \times 1.05$ (herr) $ 8.80/m3

c) E q u i p o

Se considera un 5% de $ 72.72/m3 = $ 3.64/m3

d) Afines 10% de $ 213.15 $ 21.31/m3

7.- VENTILACION

a) Materiales

Se considera espiroducto de lámina calibre 22 de 90 cm de Ø

$\frac{200 \times \$500.00/m}{2,400\ m3} =$ $ 20.83/m3

Abrazaderas, taquetes 10% de $ 20.83/m3 $ 2.08/m3

b) Mano de obra

Se considera un 35% del costo de la tubería
$ 20.83 x 0.35 $ 7.29/m3

c) Equipo

Se considera un ventilador de 30 H.P. con

un costo horario de $115.35/hr. y un rendimiento

de 90 m3/turno

$\frac{\$115.35/hr.}{90\ m3/turno} \times 8\ hrs.$ $ 10.24/m3

8.- REZAGA Y CARGA A CAMION

a) Carga

Se emplea un traxcavo LF-4 con rendimiento de 26 m3/turno

$\frac{\$1490.13/hr.}{90\ m3/turno} \times 8\ hrs/turno$ $ 43.60/m3

b) tiempo de los vehículos en carga y descarga

$$\frac{0.25 \text{ hrs.} \times \$\ 134.21}{5 \text{ m3}} = \qquad \$\ 6.71/\text{m3}$$

9.- ILUMINACION

a) Materiales

Cable No. 12

2 000 m x $ 5.80/m = 11,600.00

Focos 100 W.

500 F x $ 7.80/F = 3,900.00

Sockets

500 s x $5.20/s = 2,600.00

$18,100.00

$$\frac{\$\ 18,100.00}{2,400 \text{ m3}} \qquad \$\ 7.54/\text{m3}$$

b) Mano de Obra

1 electricista $ 279.72

2 ayudantes x $134.35 = $ 268.70

$ 548.42/turno

$$\frac{\$\ 548.42/\text{turno}}{90 \text{ m3/turno}} = \qquad \$\ 6.09/\text{m3}$$

c) Equipo

1 Planta de luz de 50 kw.

$$\frac{\$\ 112.83 \times 8\ hr.}{90\ m3} \qquad \$\ 10.03$$

COSTO DIRECTO $ 348.87/m3

II.1.B MAQUINA INTEGRAL

La máquina integral o topo, basicamente consiste en un cuerpo metálico que se fija mediante gatos hidráulicos a las paredes de la excavación, cuenta además con una cabeza giratoria de número variable de cortadores troncoconicos que pueden tener hasta siete pistas cortantes, que también giran sobre su propio eje, en la parte superior se encuentra una banda para transportar el material, producto del corte hasta la zona de carga. El desplazamiento de la cabeza se logra por medio de gatos hidráulicos, obteniendose un avance en cada empuje de 55 a 60 cms.

EXTRACCION:

En la extracción de roca de dureza media con buena capacidad para autosoportarse, es posible utilizar el topo, sin embargo, el costo de excavación está en función del área de la sección, el precio de adquisición y el rendimiento de la máquina, este a su vez depende de la dureza, el esfuerzo de ruptura y del grado de fracturamiento de la roca.

REZAGA:

La rezaga que esta constituida en general por lajas y un gran porcentaje de finos, es recogida por los cangilones con que cuenta la cabeza del topo y depositada en la banda trasportadora para ser conducida a vagonetas o camiones que transportan el material fuera del túnel.

La presentación, el acabado y la seguridad que da la perforación con topo son ex-

cepcionales, sin embargo el costo y el pequeño rendimiento lo hace aún incosteable, salvo casos en que la perforación no pueda hacerse por el método convencional.

II. 2 MATERIALES BLANDOS

EXTRACCION:

El costo en la excavación de túneles en material blando es muy variable y depende principalmente de la dimensión de la sección transversal y de la longitud del túnel, debido al equipo que tendrá que emplearse, ya que este equipo se diseña para las condiciones particulares de la obra.

El riesgo en la extracción de material blando es muy alto debido a la inestabilidad del terreno, por lo que el equipo de extracción se diseña en forma tal que efectúa las operaciones de extracción, rezagado y revestimiento.

Este equipo consiste de un escudo que penetra en el material blando a presión a la vez que realiza la rezaga con vagonetas sobre rieles, inyecta aire a presión para evitar derrumbes y coloca dovelas por medio de un brazo que gira 360°.

El costo del equipo debido a las operaciones que realiza resulta bastante alto.

REZAGA:

El sistema que se utiliza para rezagar el material blando no utiliza cargadores y camiones, ya que por lo general la excavación en material blando se realiza para túneles de secciones no muy grandes. Esto nos llevaría a pensar que el costo por concepto de rezaga se abatiría, sin embargo como se aclaró anteriormente, el equipo de extracción que efectúa también la operación de rezaga es muy caro, elevando así el costo por rezaga.

III COSTOS DE REVESTIMIENTO

III.1 METODO CONVENCIONAL :

Este método consiste en la colocación de concreto en formas bién sea metálicas o de madera, mediante bombeo del concreto.

El método mayormente empleado consiste en colocar los moldes de una longitud tal que podamos llenarla con el equipo de fabricación en un turno de 8 a 10 horas. Una variante de este sistema consiste en la utilización de un sistema de cimbra deslizante en el cual generalmente se emplean moldes metálicos equipados con un mecanismo que ayude a su desplazamiento a lo largo del tunel.

Los métodos anteriormente descritos se refieren al procedimiento de revestimiento de la boveda y las paredes del tunel. Para el colocado de las plantillas en el caso de tuneles de sección circular o sección herradura también es factible la utilización de sistemas de cimbras deslizantes, en el caso de tuneles de sección portal el colado de la plantilla no presenta mayores dificultades.

III.1A FABRICACION DEL CONCRETO :

En el procedimiento de fabricación del concreto normalmente se utilizaran plantas de concreto para obtener un concreto de calidad uniforme y con características de Revenimiento adecuado para su posterior bombeo. Sobre este punto es importante hacer notar la importancia de la correcta selección de los tamaños de los agregados que deberan estar acordes al equipo de bombeo que se pretenda utilizar.

En el proceso de fabricación deberá tenerse especial cuidado en la dosificación de aditivos para lograr que el concreto llegue al tunel con las características previamente especificadas, en cuanto a temperatura, revenimiento, etc.

Para lograr lo anterior será conveniente instalar un laboratorio y establecer un procedimiento adecuado de muestreo.

III.1B ACARREO DEL CONCRETO :

En esta parte de sisiema es conveniente programar la utilización de vehículos de transporte que permitan que el concreto llegue al sitio con la misma calidad que se obtuvo en la planta de concreto, esto lo podrémos lograr mediante la utilización de camiones revolvedora (olla).

En algunas ocaciones el área libre dentro del tunel no permitirá el tránsito de este tipo de unidades dentro del mismo, por lo cual, el concreto deberá ser cambiado a otras unidades de transporte (vagonetas) las cuales normalmente no cuentan con sistemas para el mezclado del concreto, en el caso de que el concreto permanezca en estas unidades durante un periódo largo de tiempo será necesario antes de su colocación volver a mezclar el concreto - para lograr nuevamente la uniformidad del mismo.

III.1C COLOCACION:

Para la colocación del concreto como se menciona anteriormente se utilizan bombas de concreto las cuales deberan ser de la capacidad y potencia necesaria para colocar el concreto adecuadamente dentro de las formas. Se deberá contar además con el equipo necesario que permita vibrar el concreto adecuadamente para mantener la uniformidad y calidad del mismo, este aspecto deberá preverse en el diseño de la cimbra.

III.1D CIMBRA :

a) Cimbra Telescopiable

Es un sistema mediante el cual se tienen moldes seccionados de tal manera que puedan plegarse y pasar a traves de otro tramo de cimbra que se encuentre colocado y aun en proceso de colado.

b) Cimbra Deslizante

Es un sistema mediante el cual la maniobra de cimbrado se realiza unicamente en el inicio del proceso y posteriormente el molde se deslizará a lo largo del tunel.

Es conveniente para la utilización de estos sistemas contratar los servicios de alguna de las compañías que cuenten con la tecnología y experiencia en este tipo de trabajos.

III.1E EJEMPLO DE CALCULO DEL COSTO DE REVESTIMIENTO DE UN TUNEL DE SECCION CIRCULAR DE 8 METROS DE DIAMETRO

a) Materiales

1) Cemento

Costo de adquisición $ 600.00

Flete a la Obra

750 km x $0.60/ton. km. $ 450.00/ton.

maniobras carga y descarga

0.1 cabo $ 30.00

1 peón $150.00

$180.00/turno

$\frac{\$180.00/\text{turno}}{4\ \text{ton/turno}}$ x 2 maniobras $ 90.00/ton.

Bodegas y/o Silos

$\frac{\$\ 120,000.00}{5000\ \text{ton.}}$ $ 24.00/ton.

$1,164.00/ton

$1,164.00/ton. x 0.32 ton/m3 x 1.03 (desp) = $ 383.65/m3

2) Agregados

Se considera que se trata de grava, arena de río con un porcentaje de tamaños mayores de 3/4" del 25%, y con un contenido de 70% de grava y un 30% de arena.

Extracción y carga

Se emplea una draga de 1 1/2 yd3 con rendimiento de 80 m3/hr.

$\frac{\$\ 805.13/hr.}{80\ m3/hr.}$ = $ 10.06/m3

Acarreo local a la clasificadora $ 3.00/m3

Clasificación

Se emplea una criba de 5' x 12' de 3 pisos con rendimiento de 80 m3/hr.

$\frac{\$\ 351.25/hr.}{80\ m3/hr.}$ = $ 4.39/m3

$ 17.45/m3

$\frac{\$\ 17.45/m3}{0.75(util)}$ = $ 23.27/m3

Costo de grava = $\frac{\$23.27}{0.7}$ = $ 33.24/m3

Costo de arena en criba = $\frac{\$23.27}{0.3}$ $ 77.57/m3

Carga a camión

Se emplea un traxcavo 955 con rendimiento de 80 m3/hr.

$\frac{\$\ 510.45/hr.}{80\ m3/hr.}$ = $ 6.38/m3

Acarreo a la planta de concreto $ 3.00/m3

Costo de grava en Planta de concreto $33.24+$6.38+$3.00=$42.62/m3

Cargo por grava $42.62/m3x0.8 m3/m3 $ 34.10/m3

Costo de arena en
planta de concreto $77.57+$6.38+$3.00 =$86.95/m3

Cargo por arena $86.95/m3x0.6m3/m3 $ 52.17/m3

3) Agua

Extracción

Se emplea una pipa de 8000 lts. equipada con una

bomba de 3" de Ø

$$\frac{\$120.00 \text{ (inactivo)} \times 0.15 \text{ hrs.}}{8 \text{ m3}} = \$ \quad 2.25/\text{m3}$$

Acarreo

$$\text{Ciclo} = \frac{2 \times 3 \text{ km}}{25 \text{ km/hr.}} = 0.24/\text{hr.}$$

Tiempo de descargas y esperas $\frac{0.10/\text{hr}}{0.34 \text{ hr.}}$

$$\frac{\$ \ 210.00/\text{hr (activa)} \times 0.34/\text{hr.}}{8 \text{ m3}} \$ \quad 8.93/\text{m3}$$

Tanques de almacenamiento en

la planta

$$\frac{\$ \ 25{,}000.00}{16 \ 600 \text{ m3}} \qquad \$ \quad 1.51/\text{m3}$$

$ 12.69/m3 x 0.28 m3/m3 $ 3.55/m3

4) Aditivos

$ 30.00/kg. x 0.35 kg/m3 $ 10.50/m3

SUMA DE MATERIALES $ 483.97/m3

b) Fabricación

Se emplea una planta de concreto con rendimiento de 20 m3/hr., auxiliada por un cargador frontal para los movimientos de materiales petreos y requiere además de una planta de luz de 100 kw.

Planta de concreto $ 551.25/hr

Cargador 951 $ 450.32/hr.

Pta.de luz 100 kw. $ 135.20/hr.

$1,436.77/hr.

$$\frac{\$\ 1,136.77/hr.}{20\ m3/hr.}$$ $ 56.84/m3

c) Acarreo

Se emplea un camión revolvedor con capacidad de 5 m3.

a) Tiempo inactivo

Tiempo de carga $\frac{5\ m3}{20\ m3/hr.}$ =$0.25/hr.

Tiempo de descarga 0.25/hr

Esperas 0.10/hr.

SUMA 0.60/hr.

$\frac{\$\ 250.00/hr. \times 0.6\ hr.}{5\ m3} =$ $ 30.00/m3

b) Tiempo activo

Ciclo $= \frac{2 \times 3\ km}{25\ k\ /hr.} = 0.24/hr.$

$\frac{\$\ 341.39/hr. \times 0.24/hr.}{5\ m3}$ $ 16.39/m3

$ 46.39/m3

d) Colocación

1) Equipo

1 bomba de concreto	$ 230.10/hr
5 vibradores $45.20/hr.	$ 226.00/hr.
	$ 456.00/hr.

$\frac{\$\ 456.00/hr.}{20\ m3/hr.} =$ $ 22.80/m3

Tubería de colado $ 5.00/m3

$ 27.80/m3

2) Mano de Obra

1 cabo de tunel	$ 400.00
2 albañiles $250.00	$ 500.00
2 carpinteros $275.00	$ 550.00

2 Tuberos $220.00	$ 440.00
4 ayudantes $180.00	$ 720.00
10 peones $150.00	$1,500.00
	$4,110.00/turno

$$\frac{\$4,110.00/\text{turno} \times 1.05\ (\text{herr.})}{20\ m3/hr. \times 8\ \text{horas}} = \$\ 26.97/m3$$

$ 54.77/m3

e) Cimbra

1) Materiales

Se considera un sistema de cimbra telescopica con un costo total de $ 745,000.00

$$\frac{\$\ 745.000.00}{16\ 600\ m3} = \$\ 44.88/m3$$

2) Mano de Obra

1 cabo tunel	$400.00
2 carpinteros $275.00	$550.00
2 mecanicos $300.00	$600.00
4 ayudantes $180.00	$720.00
10 peones $150.00	1,500.00
	$ 3,770.00

$$\frac{\$3,770.00/\text{turno} \times 1.05(\text{herr})}{160\ m3/\text{turno}} = \$\ 24.74/m3$$

3) Equipo

a) Activo

1 traxcavo 966	$570.25/hr.
1 camión 3 ton.	$180.36/hr.
	$750.61 /hr.

$$\frac{\$\ 750.61/hr.\ \times\ 4/hr.}{160\ m3} = \$\ 18.77/m3$$

b) Inactivo

1 traxcavo 966	$ 500.00/hr
1 camión 3 ton.	$ 100.00/hr.
	$ 600.00/hr.

$$\frac{\$\ 600.00/hr.\ \times\ 4\ hrs.}{160\ m3} = \$\ 15.00/m3$$

$ 103,39/m3

RESUMEN

a) Materiales	$483.97/m3
b) Fabricación	$ 56.84/m3
c) Acarreo	$ 46.39/m3
d) Colocación	$ 54.77/m3
e) Cimbra	$103.39/m3

f) Sobre colocación

10%($483.97+$56.84+$46.39+ $54.77) = $ 64.20/m3

COSTO DIRECTO : $809.56/m3

III. 2 CONCRETO LANZADO :

El concreto lanzado ha resultado un procedimiento muy efectivo y económico, al ser utilizado como revestimiento provisional en tuneles en los cuales la roca excavada se intemperiza rápidamente.

Este procedimiento consiste en lanzar concreto a una gran presión y a muy corta distancia de la roca; a este concreto se le agregan aditivos para acelerar el fraguado inicial y lograr que en poco tiempo forme un arco autosoportante y con capacidad de carga logrando con esto la eliminación de gran cantidad de marcos de ademe y madera de retaque.

El equipo de colocación es relativamente sencillo ya que consiste en un tanque en el cual se depositan agregados, petreos, cemento y aditivos, los cuales son mezclados en seco mediante una serie de aspas con las que cuenta el tanque, una vez efectuada esta operación se inyecta al tanque aire a presión el cual expulsa la mezcla a traves de una manguera de presión en el extremo de la cual al mismo tiempo se inyecta agua a presión.

En la determinación de los costos de este tipo de revestimiento es

recomendable prestar mucha atención a la estimación de los desperdicios de materiales ya que aproximadamente se tienen un revote del orden de 40 a 50% de concreto. Otro punto importante a considerar es la granulometría de los agregados ya que un agregado grueso de tamaños fuera de los especificados por el fabricante producirá taponamiento en algun lugar de la línea.

III.3 DOVELAS

En tuneles en los cuales se logra excavar la sección dentro de una tolerancia menor a la permitida entre línea a 6 b, o bien en tuneles excavados por medio de topos o escudos en los cuales la sección es una circunferencia practicamente perfecta, resulta conveniente y ventajoso la utilización de este sistema de revestimiento.

El procedimiento consiste en la colocación de elementos prefabricados (dovelas), las cuales son colocadas en el perímetro de la sección con la ayuda de gatos hidráulicos, posteriormente a esto y utilizando perforaciones previamente hechas en las dovelas, se inyecta mortero a baja presión para rellenar el espacio entre el elemento precolado y la roca.

La fabricación de las dovelas se realiza en una planta utilizando técnicas de elaboración de concreto, colado, curado y vibrado similares a las utilizadas en la fabricación de otros elemen-

to precolados.

Para la determinación de los costos es importante analizar cuidadosamente cada una de las operaciones anteriormente mencionadas y considerar que debido a los manejos de las piezas se tendrán roturas, así mismo es conveniente considerar que será necesario fabricar un número adicional de dovelas las cuales serán utilizadas en las pruebas de laboratorio que permitan determinar la calidad de estos elementos.

III.4 COMPARATIVAS DE COSTOS CON LOS DIFERENTES METODOS

El tratar de comparar costos directos de los procedimientos anteriormente expuestos podría llevarlos a errores de concépto muy serios.

1. El concreto lanzado como se señaló, es un revestimiento provisional cuya función primordial es evitar la intemperización de la sección excavada. Por otra parte el acabado que se obtiene es rugoso y el espesor no siempre es uniforme, los cual en el caso de que se pretenda utilizar el tunel para conducción de agua provocaría grandes pérdidas por fricción, reduciendo así la efectividad del tunel.

2. El comparar los costos de revestimiento por el método convencional contra el costo por el método de dovelas, supone que la sección excavada es practicamente perfecta para poder utilizar este metodo. Por otra parte un análisis de costos unitarios probablemente dará resultados a favor de la utilización del revestimiento con dovelas,

sin embargo debido a la practicamente nula experiencia en México en la utilización de este sistema los costos finales que se obtengan serán superiores a los analizados.

III.5 LUMBRERAS

Para el colado del revestimiento final de lumbreras de construcción, ventilación, pozos de osilación, resulta practico y económico la utilización del procedimiento de cimbras deslizante de movimiento continuo.

Existen varios sistemas patentados por Compañías especializados en este tipo de trabajos.

Para la determinación de los costos de revestimiento se sigue una secuela de cálculo semejante a la presentada en el ejemplo de revestimiento de tuneles por el método convencional, agregando unicamente los cargos por menejos de concreto para bajarlo al sitio donde sera vaciado y otro cargo por el equipo necesario para subir y bajar al personal de colado y supervisión.

IV COSTO DE ADEMADO

IV. 1 ADEME METALICO

El ademe metálico es un sistema de soporte artificial que en ocasiones es necesario utilizar para sustituir el sosten natural que presentaba el material.

Es importante considerar que el ademe metálico definitivamente no está diseñado para soportar la totalidad de carga que pudiera necesitarse, sino que su función es estabilizar y cargar zonas superficiales y de pequeña importancia.

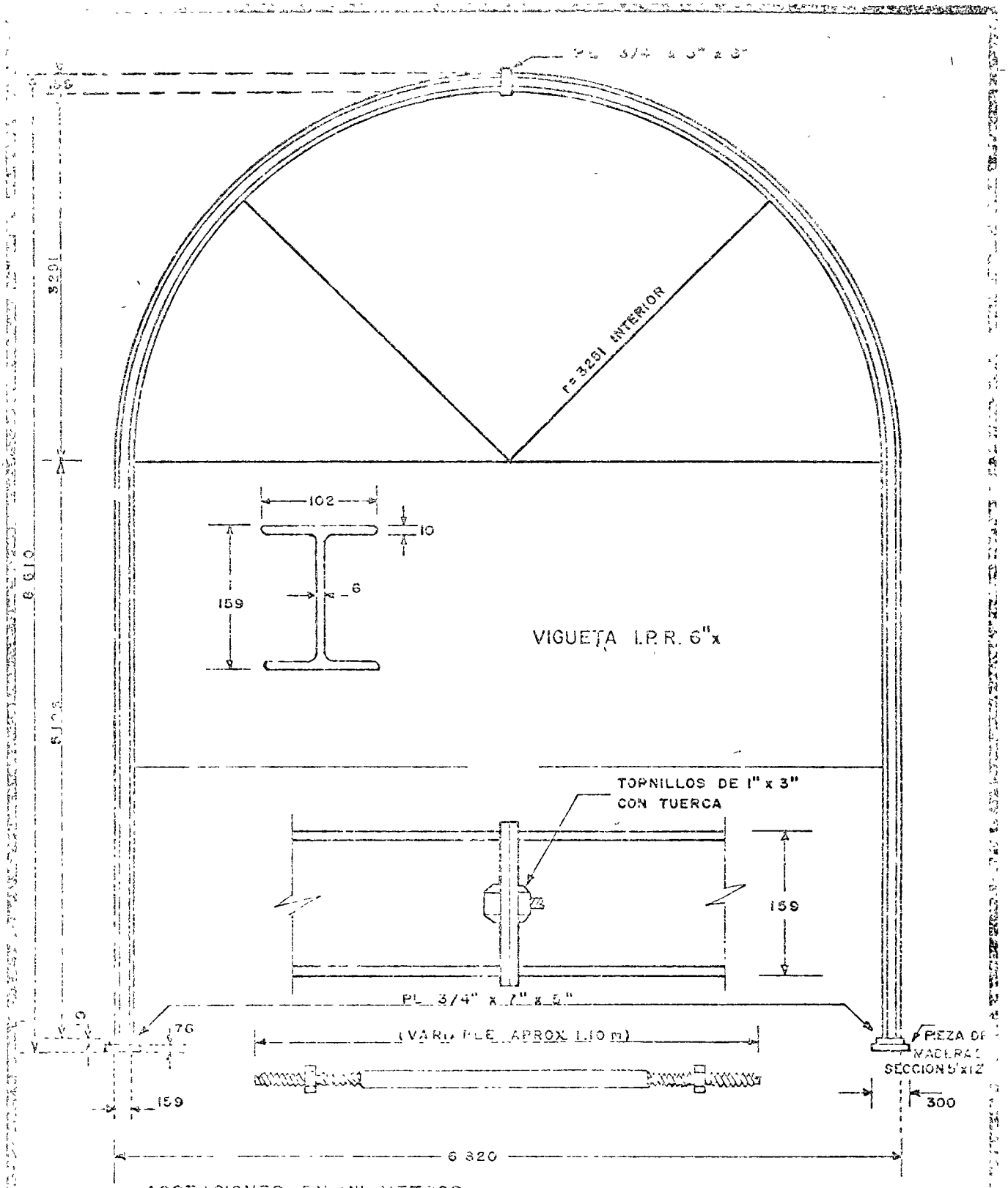
Cuando la construcción de un tunel se hace en roca sana y resistente el empleo de marcos de ademe se reducirá al mínimo, no así cuando se trata de rocas alteradas, en que se hace indispensable su utilización.

En muchas ocasiones es conveniente inmediatamente después de la tronada lanzar una capa de concreto, colocar marcos de ademe y posteriormente lanzar una segunda capa de concreto para garantizar la estabilidad de la boveda del túnel.

En cuanto al diseño del marco normalmente es la parte contratante quien proporcionará este y deberá procurarse una estructuración tal que permita que el marco sea colocado rapidamente y que no interfiera con las siguientes operaciones de construcción.

Ejemplo del cálculo del costo

Supongamos un túnel de sección portal de 6.1 de ancho con una altura en la clave de 8.6 mts. y que el proyecto señala la utilización de vigueta I.P.R. 6"x 4" como se señala en la figura adjunta.



ACOTACIONES EN MILIMETROS

PESOS.

VIGUETA	401.00 Kg
PLACAS	10.02 Kg
TIRANTES	31.73 Kg
TORNILLOS	1.00 Kg
PESO CALCULADO CON	443.27 Kg

1) MATERIALES

Vigueta

Costo de adquisición	$ 8,000.00/ton.
Flete a la obra	
$ 0.50 ton/kg x 250 kg.	$ 125.00/ton.
Maniobras	$ 60.00/ton.
	$ 8,185.00/ton.

$ 8,185.00/ton x 0.491 ton/marco = $ 4,018.84/marco

Placas de 3/4

Costo de adquisición	$ 7,800.00/ton.
Flete a la obra	$ 125.00/ton.
Maniobras	$ 60.00/ton.
	$ 7,985.00/ton.

$ 7,985.00/ton x 0.016 ton/marco = $ 127,76/marco

Tensores

Costo de adquisición incluyendo roscado	$ 10.50/kg.
Flete a la obra	$ 0.13/kg.
Maniobras	$ 0.06/kg.
	$ 10.69/kg.

$ 10.69/kg. x 31.78 kg/marco = $ 339.73/marco

Tornillos y Tuercas

Costo de adquisición	$ 20.00/kg.	
Flete a la obra	$ 0.15/kg.	
Manejos	$ 0.20/kg.	
	$ 20.35/kg.	
$ 20.35/kg. x 1.40 kg/marco		$ 28.49/marco

Desperdicios

5% de ($4,018.84+$127.76+339.73+$28.49) = $ 225.74/marco

Oxigeno y Acetileno para Corte

Oxigeno $26.30/m3x1.4 m3/m	=$ 36.82	
Acetileno$65.00/kg.x0.35kg/m	$ 22.75	
	$ 59.57/m	
$ 59.57/m x 3m/marco		$ 178.71/marco
SUMA MATERIALES		$4,919.27/marco

2) MANO DE OBRA

En corte y Rolado

1 rolador	$ 250.00
1 cortador	$ 250.00
2 ayudantes $ 180.00	$ 360.00
	$ 860.00/turno

$\frac{\$\ 860.00/\text{turno}}{0.6\ \text{marcos/turno}}$ x 1.05 (herr) $ 1,128.75/marco

En Soldadora de Placas

1 soldador	$ 300.00
1 ayudante	$ 180.00
	$ 480.00/turno

$\frac{\$\ 480.00/\text{turno}}{3\ \text{marcos/turno}}$ x 1.05 (herr) $ 168.00/marco

En Manejos de Marcos entre el Taller y el Tunel

1 cabo	$ 300.00
10 peones $ 150.00	$1,500.00
	$1,800.00 / turno

$\frac{\$\ 1,800.00/\text{turno}}{30\ \text{ton/turno}}$ x 1.05 (herr) = $63.00/ton.

$ 63.00 /ton x 0.540 ton/marco $ 34.02/marco

En Colocación

1 cabo	$ 300.00
1 soldador	$ 300.00
2 ayudantes $ 180.00	$ 360.00
10 peones $ 150.00	$1,500.00
	$2,460.00/turno

$\frac{\$2,460.00/\text{turno}}{3\ \text{marcos/turno}}$ x 1.05 (herr) $ 861.00/marco

Suma de mano de obra $ 2,191.77/marco

3) EQUIPO

Equipo de corte	$ 30.00/hr.
Roladora	$ 25.00/hr.
Camión 8 ton c/cuinche	$ 250.00/hr.
	$ 305.00/hr.

$$\frac{\$\ 305.00/\text{hr} \times 8\ \text{hrs.}}{3\ \text{marcos}} \qquad \$\ 813.33/\text{marco}$$

RESUMEN

Materiales	$ 4,919.27/marco
Mano de obra	$ 2,191.77/marco
Equipo	$ 813.33/marco
COSTO DIRECTO	$ 7,924.37/marco

IV. 2 MADERA PARA ENHUACALADOS

Una vez que han sido colocados los marcos metálicos se procede a rellenar las hoquedades con madera para que a travez de esto sea trasmitida cierta cantidad de carga al marco.

Dependiendo del tipo de material que se este excavando y de las condiciones del mismo en muchas ocasiones es necesario forrar completamente la bovéda del tunel con madera para evitar que los desprendimientos de pequeñas partícu

las de roca puedan provocar algún accidente durante los trabajos de excavación en túneles en los cuales existen grandes filtraciones de agua y por consiguiente el ambiente es humedo no es recomendable la utilización de madera para el relleno de los caidos ya que en este tipo de ambiente la madera sufre deformaciones importantes las cuales podrían provocar movimientos y aun caidos de zonas de roca poco estable, en estos casos se recomienda rellenar las hoquedades con rezaga fina y posteriormente inyectar mortero de cemento arena.

Ejemplo de cálculo del costo de enhuacalados

1) MATERIALES

Madera

Costo de adquisición	$ 5.50/p.t.
$5.50/p.t.x423.p.t./m3 = flete a la obra	$2,326.50/m3
$250 km x$0.60/ton.k x0.65 ton /m3 =maniobras de carga y descarga.	$ 97.50/m3
$70.00/ton x 0.65 ton/m3	$ 45.50/m3
	$2,469.50/m3

Clavo

0.007 kg./p.t. x 423 p.t./m3 = 2.96 kg/m3	
2.96 kg/m3 x $ 12.00/kg.	$ 35.52/m3

Desperdicios y recortes

5% de ($2,469.50 + $ 35.52)	$ 125.25/m3

suma de Materiales $2,630.27/m3

2) MANO DE OBRA

En habilitación

0.2 cabo	$ 60.00
1 carpintero	$250.00
1 ayudante	$180.00
	$490.00/turno

$$\frac{\$490.00/\text{turno} \times 423 \text{ p.t./m3}}{300 \text{ p.t./turno}} \times 1.05 \text{ (herr)} = \$\ 725.45/\text{m3}$$

En colocación

1 cabo	$ 300.00
2 carpinteros $250.00	$ 500.00
2 ayudantes $180.00	$ 360.00
6 peones $ 150.00	$ 900.00
	$2,060.00/turno

$$\frac{\$2,060.00/\text{turno} \times 423 \text{ p.t.}}{1,200 \text{ p.t. /turno}} \times 1.05 \text{ (herr)} \quad \$\ 762.46/\text{m3}$$

Suma de Mano de obra $1,487.91/m3

3) EQUIPO

Cierra $ 30.00/hr.

Camion 8 ton.	$ 250.00/hr.
Andamios	$ 10.00/hr.
	$ 290.00/hr.

$$\frac{\$290.00/\text{hr.} \times 8 \text{ hr.} \times 423 \text{ p.t./m3}}{1\ 200 \text{ p.t./utmo}} \qquad \$\ 817.80/\text{m3}$$

R E S U M E N

1) Materiales	$2,630.27/m3
2) Mano de Obra	$1,487.91/m3
3) Equipo	$ 817.80/m3
Costo Directo	$4,935.98/m3

V COSTO DE ANCLAJE DEL TUNEL

V. 1 PERFORACION

La perforación que es posterior a la excavación y en otros casos también del revestimiento del tunel se hace en general con máquinas rotarias a profundidades desde cero hasta 60 m. Los objetivos fundamentales de la perforación se reducen a dos conceptos solamente:

1. Anclaje
2. Inyección

La parte fundamental del costo de perforación está integrado por el equipo de perforación y los materiales utilizables en la misma, como son acero de barrenación y brocas principalmente.

No debe menospreciarse claro está los equipos y mano de obra auxiliares. Es de vital importancia y debe hacerse con sumo cuidado la elección de la máquina perforadora para poder dar el acabado especificado, repercutiendo ésto en los rendimientos que se obtendrán a mayores profundidades.

V. 2 ANCLAJE

Como es ya sabido el objeto fundamental de las anclas es el asegurar la estabilidad de la roca principalmente en la bóveda o clave del tunel.

Existen diferentes tipo de anclas, las cuales van de acuerdo al uso del ancla; la más común es la de tensión aunque existen también las de fricción, las pretensadas, las de varilla especial, etc.

El costo de anclaje va en función de la utilización del ancla, así como de la capacidad, longitud y diámetro de la misma, siendo sus principales factores de consistencia :

Costo en Obra del ancla

Costo en obra de aditamentos (expansores)

Equipo y mano de obra de colocación

Equipo y mano de obra de tratamiento

Equipo , mano de obra y materiales de inyección

Costo de Instalaciones.

2.- Inyección

Los trabajos de inyección en un tunel se pueden definir en 2 ramas basicas : Inyección para anclas las cuales se acostumbra considerarla en la propia ancla y las inyecciones en si que tienen por objeto las pantallas y el hacer el contacto del concreto del revestimiento con la roca.

Los factores que intervienen en el costo de la inyección son fundamentalmente :

Materiales (cemento, aditivos, arena, agua, etc.)

Equipo (equipo de inyección)

Ejemplo de: COSTO DIRECTO PARA ANCLAJE DE TUNEL CON LONGITUD DE 5 METROS Y 3" DE Ø

a) PERFORACION

1.- Se utilizarán 2 máquinas rotarias Stenvik modelo (BBAS) y un compresor de 600 p.c.m. que abastece a las 2 máquinas con un rendimiento en este tipo de trabajo de 8 m/hr.

2 perforadoras Stenvick	=	$360.00/hr.
1 compresor 600 p.c.m.	=	$170.00/hr.
		$530.00/hr.

$$\frac{\$\ 530.00/hr.}{8\ m3/hr.} \times 5\ m./pza. \qquad \$\ 331.25$$

2.- Martillo de 80 mm.

Precio de adquisición	$47,500.00
Vida util	4000 m.

$$\text{Cargo/pza.} = \frac{\$\ 47,500.00/pza.}{4\ 000\ m.} \times 5\ m/pza. \qquad \$\ 59.31/pza.$$

3.- Broca de 80 mm.

Adquisición	$7,000.00
Vida util	300 m.

$$\text{Cargo} : \frac{\$7,000/pza.}{300\ m/pza.} \times 5\ m/pza. \qquad \$\ 23.33/pza.$$

4.- Anclas de tensión

Varilla de 1" por 5 m.	$ 175.00	
Expansor para varilla de 1"	$ 100.00	
		$ 275.00/pza.

5.- Tensado

0.1 cabo de tunel	$ 70.00	
1 ayudante	$ 250.00	
1 colocador	$ 400.00	
	$ 720.00/turno	
$ 720.00/turno / 20 pza/turno		$ 36.00/pza.

6.- Inyectado mortero de concreto

Maquina.		
Agitador de 1.5 m3	$ 23.50/hr.	
Bomba 3L-10	$ 43.00/hr.	
Bomba long year	$ 100.60/hr.	
Planta de luz 100 kw.	$ 75.80/hr.	
	$ 242.90/hr.	
$ 242.90/hr. x 0.25 hr./pza.		$ 60.72/pza.

7.- Mano de Obra

1 operador	$ 470.00/turno
1 ayudante	$ 250.00/turno
2 peones	$ 200.00/turno
	$ 920.00/turno

$$\frac{\$920.00/\text{turno}}{8\ \text{hrs./turno}} \times 0.25\ \text{hr/pza.} \times 1.05\ (\text{herr}) \qquad \$\ 30.18/\text{pza.}$$

COSTO DIRECTO $815.79/pza.

VI INFLUENCIA DE LA SECCION Y LA LONGITUD DEL TUNEL EN EL COSTO

Se tratarán de ver dos conceptos, que podrán regir las variaciones de costos en túneles, dependiendo de su sección y longitud, siendo estos : Procedimiento Constructivo y tiempo de ejecución en el avance de la obra.

Estas actividades referidas a la comparación estadística, darán como resultado, la idealización de un tunel desde el punto de vista programa de trabajo-Costo.

VI. 1 GENERALIDADES

Cuando se tiene pensado, la construcción de un túnel, es común imaginarse que de mayor magnitud en dimensiones, su índice de costo por metro lineal podría incrementarse, ver tabla ( ), pero en realidad el costo de la obra está sujeto a otras condiciones ya mencionadas, que son la que darán la pauta para su elaboración.

Los recursos con que cuenta la ingeniería para este tipo de trabajo, son de una gran variedad, teniendo en ocasiones mecanismos hechizos que permitiran mayor prontitud en el trabajo.

Analizando túneles de sección pequeña (menores de 5 m) y grandes (mayores de 8 m) teniendo un longitud variable, se podrá entender la interrelación que guardan estos elementos con su monto de obra.

a) Túneles de sección pequeña

La característica principal de estos, es la incomodidad que se tiene en los procedimientos de construcción, debido a esto, se tiene que pensar en ocasiones

el utilizar medios sofisticados o incrementar los costos de alguna partida, pudiendo ser esta la de barrenación, dando como consecuencia un aumento en los explosivos. Por otra parte, la rezaga que se tenga que hacer del túnel, se podría considerar de forma primitiva, desde forma manual (galerías de inspección) o por medio de traxcavos PLF-4 (enanos), dando por consiguiente rendimientos bajos. La longitud es un elemento que se debe de tomar en consideración, ya que en ocasiones la rezaga pudiera tener problemas, teniendo como ejemplo un túnel de 3 km. utilizando camiones de 4 m3, estos tendrían una gran dificultad en recorrer este kilometraje en reversa. La capacidad de estos irá de acuerdo a su tamaño, al incrementársela se aumentará gradualmente su volumen, dando con esto incompatibilidad en su manejo.
Los tiempo de ejecución, se verían afectados por las anteriores razones y muchas más, dando como resultado una dispersidad en sus costos. La tipificación que se ha hecho es de manera ilustrativa, no indicando que tales acciones se realizan en una forma periódica y sistemática.

a) Túneles de sección grande

Estos tienen la gran ventaja, de la eficiencia de sus máquinas, ya que en los procedimientos de construcción tienen un fácil manejo y un gran rendimiento. Estos procesos ofrecen en ocasiones combinaciones tales como el de excavar con explosivos la boveda del tunel e ir banqueando el restante material con Track-drills, situación por demás ventajosa en cuanto a avance y costo de obra. Las demás partes de este proceso pudiera ofrecer una serie de ventajas, como : disminución de explosivos, rezaga accesible, etc.

Hay que tener especial cuidado en secciones muy grandes, ya que los -

equipos que pudieran emplearse, tendrían que ser especiales, dando como resultado un incremento en el costo.

La longitud de los mismos, deberá ser vigilada en cuanto avance de obra, ya que de esta dependeran otros factores como: ademe, ventilación, anclajes, etc.

Los tiempos de ejecución, normalmente dan magnificos resultados en base a los criterios propuestos.

VI. 2 COMPARACIONES ESTADISTICAS

La función principal de estas es el de dar el índice de costo, sea por metro lineal ó cubico, de acuerdo al que mas convenga. Estos índices son parámetros que regiran el costo total de la obra de acuerdo a su sección y longitud.

En la tabla ( ), se ven algunos túneles de secciones variables, de diferentes medidas, bajo el punto de vista comparativo.

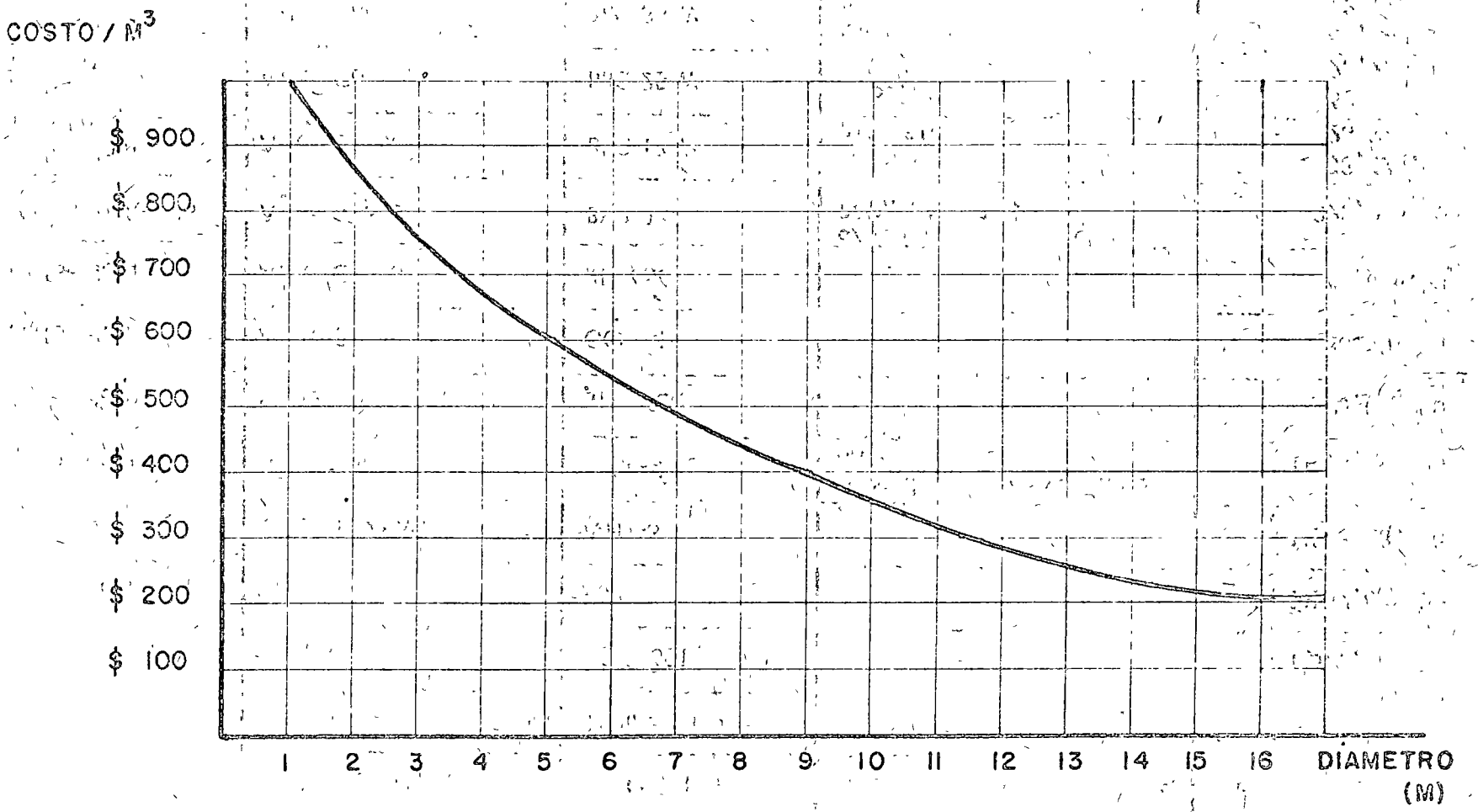
VI. 3 COMENTARIOS

No todos los túneles presentan las mismas características, de diseño, geológicas, de funcionamiento, etc., motivando con esto estudios muy particulares de cada uno de ellos, generando diferentes criterios técnicos y financieros, dando como resultado costos específicos en cada uno de conceptos expresados, es decir, para cada sección de túnel con su longitud adecuada, le corresponde un costo propio.

INDICE DE COSTO PARA TUNELES

NOMBRE :	COSTO DE OBRA $	DIAMETRO M	LONGITUD KM.	INDICE DE COSTO $/M
1.- Tunel Camino Chicoasen	31'935,121.28	15.00	1	31,935.12
2.- Tunel de desvio Bacurato	20'665,224.85	8.00	1.0	20,665.22
3.- Acueducto, Río Colorado, Tijuana	41'386,625.88	3.50	3.5	11,824.75
4.- Mariano Matamoros Tamps.	79'052,871.00	5	4.20	18,822.11
5.- Gallinero, Hgo.	38'764,733.00	5	1.86	20,785.38
6.- Tlacotlodilco, Hgo.	28,509,081.00	2.5	6.30	4,525.25
7.- Zacoaloya, Hgo.	4'458,631.00	3.1	0.37	12,050.35
8.- San Cristobal de Las Casas, Chis.	39'779,563.00	3.6	4.55	8,742.76

GRAFICA COSTO DE LA EXCAVACION EN TUNEL POR M^3 CONTRA DIAMETRO DE LA SECCION DEL TUNEL



PRECIO DE ADQUISICION DE EQUIPO DE CONSTRUCCION UTILIZABLE EN TUNELES

Agosto/77

EQUIPO	MARCA	MODELO	CARACTERISTICA	PRECIO
		PERFORACION		
Track-Drill	Atlas-Copco	ROC-601	c/perforadora BBE-57	1'578,000.00
Track-Drill	Chicago-Neumatic	G903		1'152,875.00
Track-Drill	Garden-Denver	ATD-3100		1'503,234.00
Perforadora	Atlas-Copco	COP-4	montada sobre un vagón de orugas ROC-600	1'698,780.00
Perforadora	Stenvick	Stenvick		525,000.00
Perforadora	Atlas-Copco	COP-4		36,501.00
Perforadora	Atlas-Copco	RH-656		44,045.00
Vagon Perforador	Atlas-Copco	BVB-14	c/perforadora BBC 100 A/F BMM 13-K-154	398,015.00
Perforadora Tipo Puma	Atlas-Copco	BBC 17 W	Empujador BMT-51	53,475.00 23,276.00
Perforadora Tipo Lion	Atlas-Copco	BBC 25 W	Empujador BMT-51	60,375.00 23,276.00
Perforadora Tipo Leopard	Atlas-Copco	BBC 35 W	Empujador BMT-51	43,700.00 23,276.00
Perforadora Buffalo	Atlas-Copco	BBC 120 F		196,190.00
Empujador	Atlas-Copco	BMK-55. S		16,790.00
Empujador	Atlas-Copco	BMT-51		23,276.00

PRECIO DE ADQUISICION DE EQUIPO DE CONSTRUCCION UTILIZABLE EN TUNELES

Agosto/71

EQUIPO	MARCA	MODELO	CARACTERISTICA	PRECIO
Brazo Hidráulico	Atlas-Copco	TUNMECR 250		$ 654.810.00
Jumbo 3 brazos Bomer s/II	Atlas-Copco	3 R	brazo hidráulico tipo tunmec R-250 c/perforad. BBC 90 ó BBC 100/120	$3'730.950.00
Jumbo 2 brazos	Alimak	BBU-141-DS		$2'990.000.00
Jumbo 2 brazos Bomer s/II	Atlas-Copco	2 R	Brazo hidráulico tipo tunmec-R-250 c/perforad. tipo BBC 100/120	$3'101.000.00
Jumbo 3 brazos	Ingersoll-Rand	96 RM s/II		$2'220.926.00
		REZAGA		
Rezagadora	Atlas-Copco	LM-250	sobre vía	$1'810.021.00
Rezagadora	Atlas-Copco	CAVO 320	sobre llantas	$1'184.500.00
Rezagadora	Atlas-Copco	CAVO 520	sobre llantas	$2'197,860.00
Cargador	Sterkrade GHH	LF-4	capacidad 1.73 m3 sobre llantas	$4'222.800.00
Locomotora	Ageve	DHL-30-MB Standard/De Uts.	F-4-L-912-D	$1'090.517.00
Traxcavo	Caterpillar	051	Cucharón U.G. s/ripper	$1'292.000.00
Traxcavo	Caterpillar	955L	Cucharón D.L. s/riper	$1'798.00.00
Traxcavo	Caterpillar	977	cucharón DL sin ripper	$2'682.000.00
Traxcavo	Caterpillar	983	cucharón para roca s/ripper	$4'000.000.00

PRECIO DE ADQUISICION DE EQUIPO DE CONSTRUCCION UTILIZABLE EN TUNELES

Agosto/77

EQUIPO	MARCA	MODELO	CARACTERISTICA	PRECIO
Cargador	Sterkrade G4H	LF-7	Capacidad 3.8 m3 sobre llantas	$6'762.000.00
Traxcavo	Caterpillar	988 B	Cabina cerrada	$4'974.289.00
Traxcavo	caterpillar	992B	cucharón para roca	$8'000.000.00
Traxcavo	Michigan	75111A		$2'148.647.00
Traxcavo	michigan	35		$2'838.818.00
Traxcavo	Michigan	175-B		$3'675.572.00
Traxcavo	Michigan	275-B		$4'370.000.00
Traxcavo	Michigan	475-B		$6'928.594.00
		ENERGIA		
Planta de Luz	Maiesa	50 Kw.		$ 206,766.00
Planta de Luz	Maiesa	100 Kw.		$ 521,148.00
Planta de Luz	Maiesa	150 Kw.		$ 735,000.00
Planta de Luz	Maiesa	200 Kw.		$ 811,000.00
Planta de Luz	Maiesa	250 Kw.		$ 979,487.00
Planta de Luz	Maiesa	300 Kw.		$1'150.000.00

PRECIO DE ADQUISICION DE EQUIPO DE CONSTRUCCION UTILIZABLE EN TUNELES

Agosto/77

EQUIPO	MARCA	MODELO	CARACTERISTICA	PRECIO
Planta de luz	Maiesa	350 kw		1'200,000.00
Planta de luz	Selmec	SOM-1500-2PR	1.5 kw Gasolina	17,710.00
Planta de luz	Selmec	SWZK-18-1R	2.5 kw Gasolina	33,270.00
Planta de luz	Selmec	SWDJ-18-3-1R	3.0 kw Diesel	80,800.00
Planta de luz	Selmec	SWCCK-18-4-1R	4 kw Gasolina	47,910.00
Planta de luz	Selmec	SWCCK-18-5-1R	5 kw Gasolina	57,040.00
Planta de luz	Selmec	SWDJB-18-6-1R	6.0 kw Diesel	119,770.00
		VENTILACION		
Ventilador Axial	SF	PHMD-140-4	c/2 rodetes de aluminio cada uno c/motor Siemens 40 HP	146,335.40
Ventilador Axial	SF	PHMD-1-090-4D	c/2 rodetes de aluminio cada uno c/motor Siemens 15 HP	118,000.00
		BOMBEO		
Bomba de agua	Barnes	5M	4 HP 1 1/2"	7,478.00
Bomba de agua	Barnes	8M	4 HP 2"	7,686.00
Bomba de agua	Barnes	12M	8 HP 2"	13,655.00
Bomba de agua	Barnes	18M	8 HP 3"	14,009.00

PRECIO DE ADQUISICION DE EQUIPO DE CONSTRUCCION UTILIZABLE EN TUNELES

Agosto/77

EQUIPO	MARCA	MODELO	CARACTERISTICA	PRECIO
Bomba de agua	Barnes	22M	12 HP 3"	17,846.00
Bomba de agua	Barnes	30M	12 HP 4"	21,278.00
Bomba de agua	Barnes	70M	36 HP 6"	72,587.00
Mangueras para Bombas de Agua	W/SL Succión		2" x 20' de longitud	2,160.00
Mangueras para Bombas de Agua	WSL Succión		3" x 20' de longitud	2,790.00
Mangueras para Bombas de agua	W/SL Succión		4" x 20' de longitud	4,030.00
Mangueras para Bombas de agua	W Succión		6" x 20' de Longitud	10,065.00
Mangueras para Bombas de agua	W Descarga		2" x 50' de longitud	3,240.00
Mangueras para Bombas de agua	W Descarga		3" x 50' de longitud	5,730.00
Mangueras para Bombas de agua	W Descarga		4" x 50' de longitud	7,355.00
Mangueras para Bombas de agua	W Descarga		6"x 50' de longitud	12,730.00
	AIRE COMPRIMIDO			
Compresor	Atlas-Copco	VT-6	CAP-330 PCM Potencia 110 HP - Cap. Efec. 315 PCM	692,852.00
Compresor	Atlas-Copco	VT-5	Cap. -250 PCM Potencia 86 HP - Cap. Efec. 225 PCM	567,364.00
Compresor	Atlas-Copco	PRH-700	Cap. - 700 PCM Potencia 210 HP	1'332,620.00

PRECIO DE ADQUISICION DE EQUIPO DE CONSTRUCCION UTILIZABLE EN TUNELES

Agosto/77

EQUIPO	MARCA	MODELO	CARACTERISTICA	PRECIO
Compresor	Chicago-Neumatic	600		912,813.00
		CONCRETO		
Planta de Concreto	Elba	EMM-15		1'380,500.00
Planta de Concreto	Elba	EMM-30		1'780,000.00
Planta de Concreto	Elba	EMM-50		4'005,000.00
Revolvedora	Mipsa	65	1 Saco	36,000.00
Revolvedora	Mipsa	115	2 sacos	113,880.00
Revolvedora	Mipsa	3 1/2 S	1/2 saco	22,776.00
Revolvedora	Elba	RBT-320	1 saco	35,000.00
Revolvedora	Elba	RBT-160	1/2 saco	21,950.00
Revolvedora	Elba	RGA-320	1/2 saco	45,900.00
Revolvedora	Mipsa	16 S	3 sacos	155,480.00
Vibrador sobre carretilla	Mecsa	MV-W 1		20,546.00
Vibrador eléctrico	Mecsa	MB-200		13,728.00
Vibrador eléctrico	Mecsa	MB-150		13,312.00

PRECIO DE ADQUISICION DE EQUIPO DE CONSTRUCCION UTILIZABLE EN TUNELES

EQUIPO	MARCA	MODELO	CARACTERISTICA	PRECIO
Vibrador sobre carretilla	MECSA	M6-K8		$ 21,000.00
Bomba de concreto 40 yd3	Whiteman	P-40 H		811,37[illegible].00
Bomba de concreto 60 yd3	Whiteman	P-60		1'308,802.00
Bomba de concreto 80 yd3	Whiteman	P-80D		1'460,000.00
Bomba de concreto s/chasis	Whiteman	P-8 PC		1'447,728.00
Bomba de concreto [illegible] yd3	Whiteman	P-120 PC		1'866,180.00
Criba 3 pisos	Telesmith	4' x 12'		344,000.00
Criba 3 pisos	Telesmith	5' x 12'		870,000.00
Criba 3 pisos	Telesmith	5' x 16'		891,000.00
Planta de trituración	Telesmith	25' x 40'		6'333,351.00
Quebradora de quijadas	Telesmith	12' x 30'		1'181,648.00
Trituradora de cono	Telesmith	24-S		717,000.00

EXPLOSIVOS:	Unidad:	Precio Agosto 77
Dinamita godyne 75%	caja	$ 514.45
Dinamita extra 40%	caja	$ 514.45
Dinamita extra 60%	caja	$ 532.80
Dinamita gelatina 40%	caja	$ 557.65
Dinamita gelatina 60%	caja	$ 578.60
Dinamita gelatina 75%	caja	$ 591.70
Dinamita granulada	caja	$ 518.40
Dinamita gelodyn # 1 y # 3	caja	$ 532.80
Dinamita apcodyn # 17 y # 18	caja	$ 523.60
Anfomex "X" y "XX" en sacos de 25 kgs.	saco	$ 167.60
Mecha clover en rollos de 50 mts.	rollo	$ 103.00
Mecha clover en carretes de 1,000 mts.	carre	$2,058.70
Fulminantes No. 6	millar	$1,368.50
Fulminantes No. 8	millar	$1,344.70
Primacord reforzado en carretes de 500 mts.	carre	$2,499.00
Primacord en carretes de 500 mts.	carre	$1,785.00
Ignitecord tipo "A" ó "B" en carretes de 30.48 mts.	carre	$ 125.00
Guarrycord en carretes de 152.40 mts.	carre	$ 380.80
Conectores para ignitacord y Guarrycord	ciento	$ 160.65
Conectores ms 9 y ms 17 para primacord	ciento	$ 416.50
Galvanometros 2-B	pza.	$2,725.10
Explosores # 3	pza.	$8,746.50
Explosores VM s 450	pza.	15,708.00
Pinzas # 2	pza.	$ 321.30

ESTOPINES ELECTRICOS INSTANTANEOS:

No. 6 de cobre		
De 3 mts de largo	pza.	$ 10.30
De 5 mts de largo	pza.	$ 13.10

ESTOPINES ELECTRICOS DE TIEMPO:

Alambre de cobre		
De 3.00 mts de 25 a 100milisegundos.	pza.	$ 14.65

CONCEPTO:	UNIDAD	PRECIO AGOSTO/77
De 5.00 mts. de 25 a 1000 milisegundos.	pza.	$ 17.50
De 3.00 mts de 0 a 90 tiempo	pza.	$ 15.50
De 5.00 mts. de 0 a 90 tiempo	pza.	$ 13.05
ACERO:		
Alambrón de 3/8	kg	$ 7.45
Vigueta 6" x 3.33"	kg	$ 8.05
Canal 8" x 2.62"	kg	$ 7.25
Varilla 3/4"	kg	$ 5.55
Varilla 1"	Kg	$ 5.50
Varilla 1/2"	kg	$ 5.65
Varilla 3/8"	kg	$ 5.15
Varilla 1 1/4"	kg	$ 5.50
Clavo 2 1/2"	kg	$ 12.00
Placa 1/4" x 8"	kg	$ 7.80
CEMENTO:		
Cemento normal tipo I	ton.	$ 692.50
Cemento tipo III	ton.	$ 752.20
Cemento mortero	ton.	$ 538.80
Cemento blanco	ton.	$ 996.50
ADITIVOS:		
Para Mortero:		
Sika 1	lt	$ 16.85
Sika 2	lt	$ 39.60
Sika Latex 50	lt	$ 32.95
Para Concreto:		
Plasticement CIK	lt	$ 15.40
Sika crete	lt	$ 16.80
Sika aire	lt	$ 11.10
Curadores y retardantes superficiales:		
Antisol 13	lt	$ 7.25
Antisol R	lt	$ 6.70
Adhesivos y morteros epoxicos:		
Colma Fix M	kg	$ 177.50
Selladores y Banda para Juntas:		
Igas negro	lt	$ 32.55
Igas pressure grade	kg	$ 26.35
Bandas PVC-0-15/3a	m	$ 75.75
Band PVC-0-22/3a	m	$ 112.55

CONCEPTO:	UNIDAD	PRECIO AGOSTO/77
Otros:		
Adiflex B	lt	$ 19.55
Adiflex RC-35	lt	$ 37.25
Curacreto blanco	lt	$ 4.85
Curacreto rojo	lt	$ 3.60
MADERA:		
Madera larga de pino para construcción:		
De 3a. 12' a 20'	pie-tablón	$ 5.80
De 2a. 12' a 20'	pie-tablón	$ 6.50
Triplay de pino impermeable de 16mm	hoja	$ 360.00
Celotex de 12mm x 1.22 x 2.49m	hoja	$ 99.00
Polines de 4" x 4" x 8' de 3a.	pza.	$ 44.80
Tarimas reforzadas de 10x 0.50 x 1.00	pza.	$ 36.00
Chaflanes de 3/4" y 1"	pza.	$ 3.00
Zoclo de 1/2" x 0.60 x 8.1/4"	pza.	$ 10.00
Duela machimbrada de pino entera de 1a.	m2	$ 100.00
Duela machimbrada de pino entera de 2a.	m2	$ 95.00
Media caña de 1"	pza.	$ 8.00
TUBERIA DE ACERO:		
Galvanizada C-40 (con rosca)		
1/2"	m	$ 13.10
3/4"	m	$ 17.00
1"	m	$ 23.95
1 1/4"	m	$ 31.65
1 1/2"	m	$ 38.00
2"	m	$ 50.95
2 1/2"	m	$ 80.70
3"	m	$ 105.75
4"	m	$ 153.75
RIELES, DURMIENTES Y ACCESORIOS:		
Rieles	kilo	$ 9.35
Planchuelas	pza.	$ 83.20
Tornillo de vía	pza.	$ 18.75
Clavos de vía	pza.	$ 5.20

PRECIOS DE ADQUISICION DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION DE TUNELES

ACERO DE BARRENACION

BARRENAS TIPO CINCEL, PUNTA CARBOTUNGSTENO
Héxagono: 7/8"(22.2mm)-Zanco: 4-1/4" (108 mm)

Serie	Long.sin zanco mm	Long.sin zanco pulg.	Ancho de Corte mm	Ancho de Corte pulg.	Peso kg.	Unidad	Precios Agosto 77
11	800S	2'7"	34	1-11/32	2.9	Pza.	$ 1,354.00
	1600S	5'3"	33	1-5/16	5'3	pza.	$ 1,492.00
	2400S	7'10"	32	1-1/4	7.7	pza.	$ 1,781.00
	3200S	10'1"	31	1-7/32	10.1	pza.	$ 2,088.00
	4000S	13'1"	30	1-3/16	12.5	pza.	$ 2,677.00
	4800S	15'9"	29	1-5/32	14.9	pza.	$ 2,951.00
12	800S	2'7"	40	1-9/16	2.9	pza.	$ 1,450.00
	1600S	5'3"	39	1-17/32	5.3	pza.	$ 1,586.00
	2400S	7'10"	38	1-1/2	7.7	pza.	$ 1,842.00
	3200S	10'6"	37	1-15/32	10.1	pza.	$ 2,110.00
	4000S	13'1"	36	1-13/32	12.5	pza.	$ 2,715.00
	4800S	15'9"	35	1-3/8	14.9	pza.	$ 3,010.00
	5600S	18'4"	34	1-11/32	17.3	pza.	$ 3,357.00
	6400S	21'	33	1-5/16	19.7	pza.	$ 3,891.00
13	400	1'4"	34	1-11/32	1.7	pza.	$ 1,407.00
	800	2'7"	33	1-5/16	2.9	pza.	$ 1,464.00
	1200	3'11"	32	1-1/4	4.1	pza.	$ 1,529.00
	1600	5'3"	31	1-7/32	5.3	pza.	$ 1,722.00
	2000	6'7"	30	1-3/16	6.5	pza.	$ 1,873.00
16	600S	2'	35	1-3/8	2.3	pza.	$ 1,334.00
	1200S	3'11"	34	1-11/32	4.1	pza.	$ 1,507.00
	1800S	5'11"	33	1-3/8	5.9	pza.	$ 1,527.00
	2400S	7'10"	32	1-1/4	7.7	pza.	$ 1,781.00
17	600	2'	41	1-5/8	2.3	pza.	$ 1,430.00
	1200S	3'11"	40	1-9/16	4.1	pza.	$ 1,529.00
	1800S	5'11"	39	1-17/32	5.9	pza.	$ 1,621.00
	2400S	7'10"	38	1-1/2	7.7	pza.	$ 1,842.00

HEXAGONAL ROSCADO

BARRENAS CON ROSCA TIPO "H" - "TIMKEN"-"116"
Hexágono: 7/8" (22.2mm) - Zanco 1/4" (108 mm)

Largo e mm	zanco pies	Peso kg.	Unidad	Precios Agosto 77
610	2	2.4	pza.	$ 418.00
915	3	3.3	pza.	$ 481.00
1220	4	4.3	pza.	$ 540.00
1524	5	5.2	pza.	$ 599.00
1830	6	6.1	pza.	$ 654.00
2105	7	7.0	pza.	$ 735.00
2440	8	8.0	pza.	$ 794.00
3050	10	9.8	pza.	$ 920.00
3655	12	11.6	pza.	$1,038.00
4265	14	13.5	pza.	$1,168.00
4875	16	15.3	pza.	$1,296.00
5485	18	17.2	pza.	$1,422.00
6095	20	19.0	pza.	$1,556.00

HEXAGONAL CON CONO DE 12°

BARRENAS CON CONO DE 12°
Hexágono:7/8"(22.2mm)- zanco: 4-1/4" (108 mm)

610	2	2.4	pza.	$ 418.00
915	3	3.3	pza.	$ 481.00
1220	4	4.3	pza.	$ 540.00
1524	5	5.2	pza.	$ 599.00
1830	6	6.1	pza.	$ 654.00
2105	7	7.0	pza.	$ 735.00
2440	8	8.0	pza.	$ 794.00
3050	10	9.8	pza.	$ 920.00
3655	12	11.6	pza.	$1,038.00
4265	14	13.5	pza.	$1,168.00
4875	16	15.3	pza.	$1,296.00
5485	18	17.2	pza.	$1,422.00
6095	20	19.0	pza.	$1,556.00

EQUIPO DE EXTENSION DE 1 1/4" CON ROSCA TIPO "ROPE" (SOCA)

BARRAS REDONDAS DE 1-1/4" DIAM-REACONDICIONABLES

Largo pies	Largo mm	Unidad	Peso kg.	Precios Agosto 77
4'	1220	pza.	6.7	$1,631.00
6'	1830	pza.	10.1	$2,088.00
8'	2435	pza.	13.5	$2,537.00
10'	3050	pza.	16.9	$2,987.00
12'	3660	pza.	20.3	$3,422.00

BARRAS LIGERAS HEXAGONALES DE 1" CARBURIZADAS

4'	1220	pza.	5.2	$1,877.00
6'	1830	pza.	7.3	$2,396.00
8'	2435	pza.	9.9	$2,916.00
10'	3050	pza.	12.4	$3,438.00
12'	3660	pza.	15.0	$3,583.00

EQUIPO DE EXTENSION DE 1 - 1/2" CON ROSCA TIPO "ROPE" (SOGA)

BARRAS REDONDAS DE 1-1/2" DIA. - REACONDICIONABLES

Largo pies	Largo mm	Unidad	Peso aprox. kg.	Precios Agosto-77
8	2435	pza.	19.5	$ 4,131.00
10	3050	pza.	24.4	$ 4,750.00
12	3660	pza.	29.3	$ 5,473.00
14	4265	pza.	34.2	$ 6,192.00

BARRAS LIGERAS HEXAGONALES DE 1 - 1/4" - CARBURIZADAS

8	2435	pza.	15.5	$ 4,750.00
10	3050	pza.	19.3	$ 5,510.00
12	3660	pza.	23.2	$ 4,320.00
14	4265	pza.	27.0	$ 5,148.00

B R O C A S 7 / 8 "

BROCAS TIPO "CRUZ" CON ROSCA "ROPE"(SOGA)PARA EQUIPO DE EXTENSION DE 7/8"

Diámetro Pulg.	mm.	Unidad	Precios Agosto 77
1-1/2	38	pza.	$ 1,751.00
1-5/8	41	pza.	$ 1,872.00
1-3/4	45	pza.	$ 2,244.00
1-7/8	48	pza.	$ 2,388.00
2	51	pza.	$ 2,539.00

B R O C A S 1"

BROCAS TIPO "CRUZ" CON ROSCA "ROPE" (SOGA)PARA EQUIPO DE EXTENSION DE 1"

1-1/2	38	pza.	$ 1,751.00
1-5/8	41	pza.	$ 1,872.00
1-3/4	45	pza.	$ 2,244.00
1-7/8	48	pza.	$ 2,388.00
2	51	pza.	$ 2,539.00

B R O C A S 1"

BROCAS TIPO "CRUZ" CON ROSCA "HI-LEED"(HL-1200)PARA EQUIPO DE EXTENSION DE 1"

1-1/2	38	pza.	$ 1,751.00
1-5/8	41	pza.	$ 1,872.00
1-3/4	45	pza.	$ 2,244.00
1-7/8	48	pza.	$ 2,388.00
2	51	pza.	$ 2,539.00

B R O C A S 1-1/4"

BROCAS TIPO "CRUZ" CON ROSCA "ROPE"(SOGA)PARA EQUIPO DE EXTENSION DE 1-1/4"

Diámetro Pulg.	mm.	Unidad	Precios Agosto/77
1-3/4	45	pza.	$ 2,244.00
1-7/8	48	pza.	$ 2,388.00
2	51	pza.	$ 2,537.00
2-1/4	57	pza.	$ 2,837.00
2-1/2	64	pza.	$ 3,185.00
2-3/4	70	pza.	$ 4,033.00
3	76	pza.	$ 4,379.00

BROCAS TIPO "X" CON ROSCA "ROPE"(SOGA)PARA EQUIPO DE EXTENSION DE 1-1/4

2-1/4	57	pza.	$ 2,890.00
2-1/2	64	pza.	$ 3,235.00
2-3/4	70	pza.	$ 4,084.00
3	76	pza.	$ 4,432.00

BROCAS TIPO "RETRAC" CON ROSCA "ROPE"(SOGA)PARA EQUIPO DE EXTENSION DE 1-1/4

2-1/4	57	pza.	$ 2,890.00
2-1/2	64	pza.	$ 3,235.00
2-3/4	70	pza.	$ 4,084.00
3	76	pza.	$ 4,432.00

BROCAS 1-1/2"

BROCAS TIPO "CRUZ" CON ROSCA "ROPE"(SOGA)PARA EQUIPO DE EXTENSION DE 1 1/2"

Pulg.	mm.	Unidad	Precios Agosto 77
2-1/2	64	pza.	$ 3,686.00
2-3/4	70	pza.	$ 4,084.00
3	76	pza.	$ 4,379.00

BROCAS TIPO "X" CON ROSCA "ROPE"(SOGA)PARA EQUIPO DE EXTENSION DE 1-1/2"

2-1/2	64	pza.	$ 3,739.00
2-3/4	70	pza.	$ 4,084.00
3	76	pza.	$ 4,432.00
3-1/2	89	pza.	$ 5,591.00
4	102	pza.	$ 6,406.00

BROCAS TIPO "RETRAC" CON ROSCA "ROPE' (SOGA)PARA EQUIPO DE EXTENSION DE 1-1/2"

2-1/2	64	pza.	$ 3,739.00
2-3/4	70	pza.	$ 4,084.00
3	76	pza.	$ 4,432.00
3-1/2	89	pza.	$ 5,591.00

COPLES :

Tipo	Rosca	Unidad	Precios Agosto 77
Rope	7/8"	pza.	$ 555.00
Rope	1"	pza.	$ 662.00
HL-1200	1"	pza.	$ 662.00
Rope	1-1/4"	pza.	$ 780.00
HL-1400	1-1/4"	pza.	$ 780.00
Rope	1-1/2"	pza.	$1,904.00
HL-1600	1-1/2"	pza.	$ 904.00
RETRAC	1-1/2"	pza.	$1,647.00
FI-38	1-1/2"	pza.	$1,040.00
HL-1700	1-3/4"	pza.	$1,206.00

ZANCOS

PERFORADORA:	Diámetro Rosca	Tipo Rosca	Unidad	Precios Agosto 77
BBC-100 GD-93 IR-350 Tamp.$ 125/L400/L500	1-1/4"	Rope	pza.	$ 1,803.00
IRD-40/D-475 CP450/400DR	1-1/4"	Rope	pza.	$ 2,403.00
IR-URD-475 GD-PR-123	1-1/2"	Rope	pza.	$ 3,572.00
IRD-475 GD-DH-123	1-1/2"	Rope	pza.	$ 2,529.00
IR-URD-475 GD-PR-123	1-1/2"	HL-1600	pza.	$ 3,572.00
BBE-56/BBE-57	1-1/2"	Rope	pza.	$ 3,700.00
IR-D475/URD 475 GD-PR-123	1-1/2"	FI-38	pza.	$ 3,572.00
BBE-56/BBE-57	1-1/2"	FI-38	pza.	$ 3,700.00
GD-PR-123	1-3/4"	HL-1700	pza.	$ 2,788.00
IR-URD-475	1-3/4"	HL-1700	pza.	$ 2,788.00

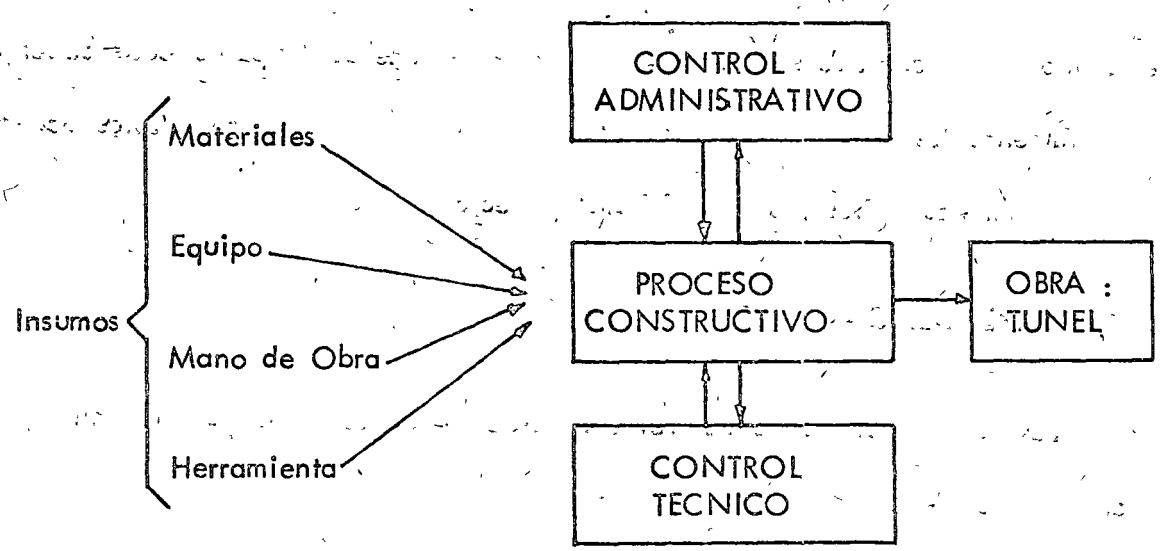
" CONTROL "

CONTROL

I INTRODUCCION

Para el desarrollo de la construcción de un túnel, en cualquier material y bajo cualquier condición mecánica o humana es indispensable el conocimiento y dominio de lo que se entiende por control, esto es, la acción de verificar la planeación, diseño, programación y evaluación contra lo ejecutado en los avances reales de la Obra referida.

En la gráfica (1), se muestra una posible alternativa del mecanismo a seguir dentro de la actividad de control.



Gráfica No. 1

Las principales funciones de los controles técnicos y administrativo, son los siguientes :

A) CONTROL TECNICO

En esta parte se tratarán de corregir o en su caso de auxiliar todos los ele-

mentos que de este requieran, como es el caso de : Maquinaria, Proceso Constructivo, etc.

B) CONTROL ADMINISTRATIVO

La principal característica de este evento es el de llevar en forma equitativa y económica los presupuestos con los avances respectivos de obra.

II CONTROL

Al haber definido control, como el mecanismo de ajuste o de comparación de lo teórico y real que se presenta en una obra, nos da la pauta para poder definir claramente los campos de acción donde interviene este evento. Estos podemos agruparlos en dos partes : Sector Oficial y Sector Empresarial.

II. 1 DEPENDENCIA

Las características de control con respecto a este punto, se pueden fijar señalamientos a seguir :

a) Calidad

Esta cualidad para el medio gubernamental es de vital importancia, ya que de ella depende el buen funcionamiento de vida útil de la obra.

Un control que es muy solicitado es el de muestreo, ya que nos indicará tanto física como estadísticamente, las partes en las cuales se piensa que pudiera haber un margen de error, razón en la cual el contratista es supervisado en sus tra

bajos, de acuerdo a las especificaciones, notas aclaratorias, etc., que fije la dependencia.

b) Tiempos de Ejecución

Para este punto, el sector oficial controlará las órdenes de ejecución de obra, por medio de controles gráficos previamente establecidos y que tienen la finalidad de llevar a cierto lapso, la conclusión de la misma. En otras palabras, si el constructor no ha tenido la precaución de tener en buen estado su maquinaria, sus avances de excavación se verán ciertamente afectados, dando como resultado un retraso en el programa de obra. Esta acción obligará que en menor tiempo se tenga que cumplir con las excavaciones, ademes, revestimientos, etc., Para poder llegar a la fecha de entrega, incrementandose como es natural los costos del constructor.

II. 2 EMPRESA

El control que debe ejercer las constructoras en el tema referido, no solo está en los conceptos de calidad y tiempos de ejecución sino en cada una de las partes integrantes del Proceso Constructivo.

Resumiendo, el ejecutante debe de guardar un absoluto respeto a los procesos de control, tanto técnicos como administrativos de su empresa, no importando los problemas que pudieran presentarse.

III CONTROL DE AVANCE

Este control incluye todo lo referente al avance propio de la obra, ya que su correcta ejecución evitará problemas constructivos, como se hizo notar en puntos anteriores.

1.- CONTROL DEL TRAZO DE EXCAVACION

Se debe supervisar el trazo de la plantilla del frente, sobre todo el de la cuña, para evitar desviaciones en el eje de tunel y posibles sobre-excavaciones del mismo.

2.- CONTROL DE BARRENACION

Supervisar que las perforadoras estén trabajando en las condiciones establecidas, con el objeto de no propiciar grandes desviaciones en los barrenos que se estén perforando. Debe tenerse especial cuidado con las perforadoras manuales de pierna neumática.

Se cuentan con controles diarios, ver gráfica (2), en los que se indican turnos, herramientas, volúmenes, tiempos, etc.,que darán el control adecuado para esta función.

3.- CONTROL DE CARGADO Y CEBADO DE BERRENOS.

En este punto se debe acentuar que los barrenos deben llevar la carga y detonante proyectados, gráfica (3), ya que se pueden presentar fenómenos de bloqueo (cuña) o de sobre excavación (perimetrales).

4.- CONTROL DE LA CONEXION DEL CIRCUITO Y TRONADO

Las conexiones de los barrenos se deben probar para que los amarres del circuito esten correctos, por medio de un galvanómetro que servirá para encontrar posibles fallas y verificar si el circuito está cerrado. Posteriormente se deberá revisar la eficiencia de la máquina explosora, por medio de un reóstato para asegurar que todos los estopines les llegue la electricidad que requieran y tengan un adecuado encendido.

5.- CONTROL DE VENTILACION

Se debe verificar que los ventiladores sean de la potencia requerida para extraer los gases y ventilar el túnel satisfactoriamente.

6.- CONTROL DE REZAGA

Viendo la gráfica (4), se observará las partes integrantes de este control, indicando el equipo adecuado para cargar la rezaga y llevarla al sitio que señale el residente de la obra.

7.- CONTROL DE AMACICE DEL AREA EXCAVADA

Supervisar la colocación de las estructuras de ademe (acero y madera), anclaje y concreto lanzado en el caso de llevar un tipo de amacice.

GRAFICO N.

CONTROL DE BARRENACION

FECHA	TURNO	NUM. DE BARRENOS	BARRENACION EFECTIVA	TIPO DE CUÑA	NUM. DE BARRENOS	m.l. DE BARRENACION	AREA DE TUNEL	VOLUMEN POR TRONAR	BARRENACION ESPECIFICA	TOPOGRAFIA DEL FRENTE			EQUIPO DE PERFORACION	CONTROL DE BARRENACION
										NIV.	ALIN	TRAZO		

GRA[illegible]N

CONTROL DE CARGA POBLADO Y TRONADO

FECHA	TURNO	NUM. DE BARRENOS	Kg TOTALES DE EXPLOSIVO	CLASE DE EXPLOSIVO	CLASE DE INICIADOR	AREA DEL TUNEL	VOLUMEN POR TRONAR	CARGA ESPECIFICA	CLASE DE EXPLOSOR	REVISION DE CIRCUITO	TIEMPO DE CARGADO Y TRONADO

GRAFICO N.

CONTROL DE REZAGA

ECHA	TURNO	VOLUMEN POR REZAGAR	CLASE DE REZAGA	CLASE DE ROCA	EQUIPO DE REZAGA	TIEMPO DE R... A.

IV CONTROL DE COSTOS

El control de costos de una compañía constructora o dependencia, puede ser tan profundo como las situaciones en la obra lo requieran, teniendo siempre en cuenta que el factor económico es un aspecto sumamente importante en el desarrollo de cualquier ejecución. Es importante corregir los defectos encontrados, debiendose agilizar la información del programa de obra, así como los datos reales.

Los conceptos que se deben controlar son los siguientes :

A) AVANCES

B) EROGACIONES (DIRECTO E INDIRECTO)

C) REMESAS

D) INGRESOS (ANTICIPOS, FINANCIAMIENTOS, FONDO DE GARANTIA, ETC.)

E) FORMULACION DE ESTIMACIONES

F) PENDIENTE DE ESTIMAR

G) ASIGNACIONES

H) INFORMACION ACERCA DE LA MAQUINARIA

I. INFORMACION REAL

I.1 COSTOS (CAMPO)

I.2 AVANCES

I.3 REMESAS

De estos conceptos, los que tienen mayor validez para nuestro tema, son

tos de costo e ingresos. Para el primero, dentro de los trabajos de construcción intervienen de una manera clásica : Mano de Obra, Materiales y Equipo.

Para el segundo, nos dará como resultado de su control la necesidad de financiamientos si es que faltan, o de inversión si hay excedentes.

Debe mencionarse también la mecánica de los costos, de acuerdo a su contabilidad, siendo ésta en cuatro etapas:

1. COSTO PRELIMINAR
2. COSTOS DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS
3. COSTOS DE OPERACION DE RECURSOS MECANICOS
4. COSTOS DETALLADOS POR ACTIVIDADES

El costo preliminar es el costo global de la obra que se va incrementando con costos efectuados en los centros de apoyo.

A partir del costo preliminar se obtienen los costos que correspondan a todos y cada uno de los procesos constructivos desglozando según el catálogo de costos previamente establecido.

Los costos de operación de los recursos mecánicos, se determinan aprovechando la codificación de documentos fuente, para todos aquellos elementos de los costos que tienen que ver con maquinaria, ya sea por concepto de rentas, operación o reparación.

Existen una diversidad de maneras para llevar la comparación del programa de obra, con la obra ejecutada, dando como modelo el que se da a continuación :

En primer lugar, se hará una forma fig. (5), donde se llevará a cabo en control númerico en unidades monetarias de los conceptos que nos interesa controlar.

A continuación se graficarán los conceptos más importantes de la información de la figura anterior fig. (6).

Con las primeras formas tenemos la comparación en unidades monetarias, en forma numérica y en forma gráfica, pero hace falta el control de las cantidades de obra, para la cual nos basaremos en un Diagrama de barras. La forma de llevar este control queda a criterio de la persona responsable.

Una vez reunida y sistematizada la información, se analiza para detectar errores, para esto nos apoyamos de los índices y de las gráficas, observandoles con criterio ingenieril.

Cuando los índices (control) nos indican una falla, se debe seguir un camino lógico para un análisis formal; para lo cual se harán unos diagramas fig. (7,8 y 9), en los que se verá el camino lógico del análisis para Programas y Presupuesto.

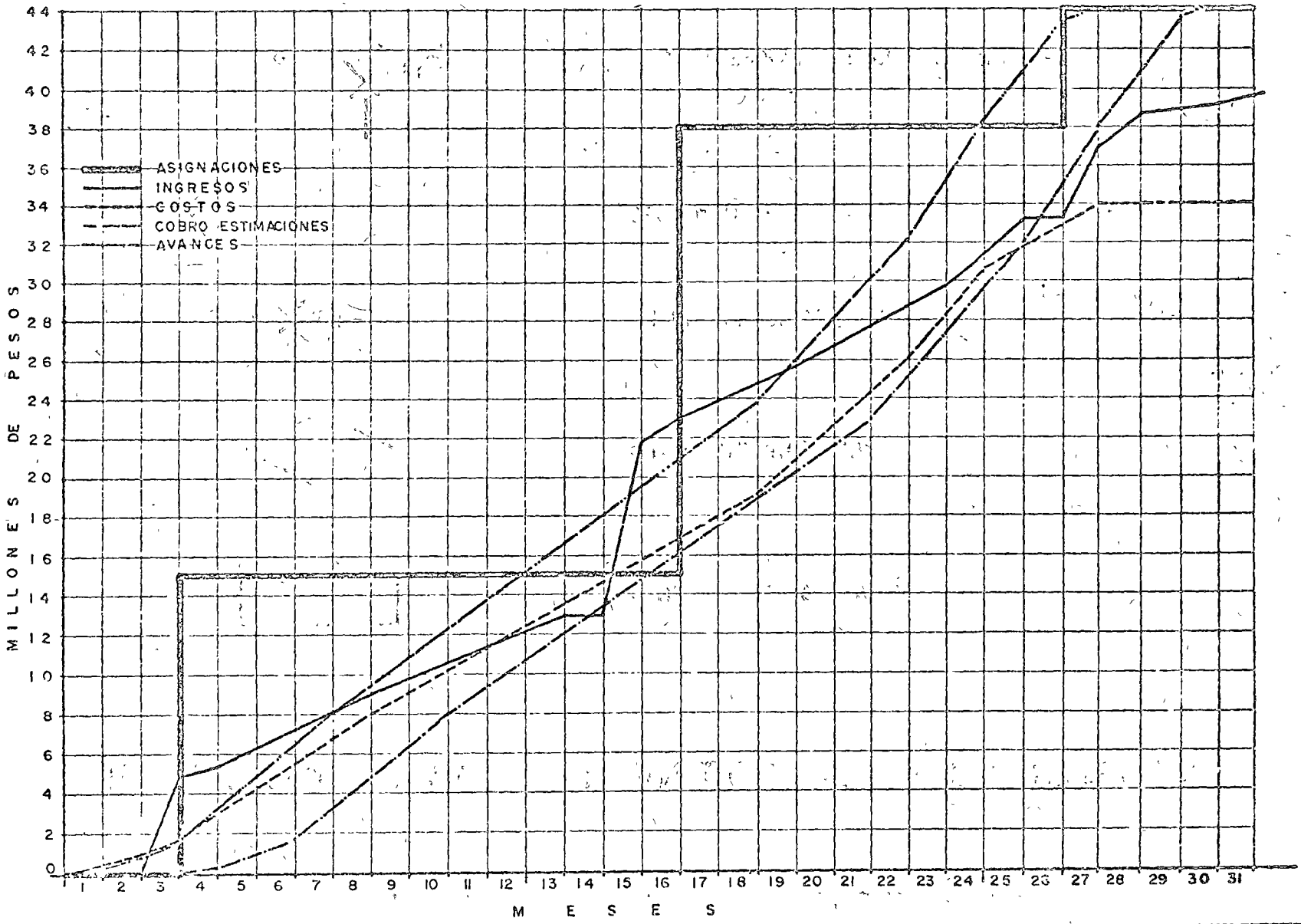
GRAFICA No. 5

CONTROL MENSUAL

CONCEPTO	MESES 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
EROGACIONES																								
SALARIOS DE CAMPO																								
SALARIOS DE OPERACION DE EQUIPO																								
MATERIALES DE OPERACION DE EQUIPO																								
MATERIALES DE OBRA																								
DESTAJOS																								
ACARREOS																								
VARIOS																								
ALQUILER EQUIPO																								
SUMA PARCIAL																								
RENTA DE EQUIPO																								
SUMA EROGACION (DIR)																								
COSTO TOTAL																								
AVANCE																								
% DE OPERACION (DIR)																								
% DE OPERACION (DIR + IND)																								
REMESAS																								
% REMESAS / AVANCE																								
% REMESAS / COSTO																								
INDIRECTOS OBRA																								
% INDIRECTO / AVANCE																								
% INDIRECTO / COSTO																								
INGRESOS																								
ANTICIPOS																								
PRESTAMOS FINANCIERAS																								
PRE ESTIMACIONES																								
REMANENTE ESTIMACIONES																								
DEVOL FONDO GARANTIA																								
SUMA DE INGRESOS																								
FLUJO DE FONDOS																								
ESTIMACIONES FORMULADAS																								
COBROS DE ESTIMACIONES																								
ASIGNACION																								

GRAFICA No. 6

GRAFICA PARA CONTROL



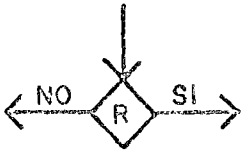
EN LOS DIAGRAMAS SE USAN LOS SIGUIENTES SIMBOLOS

= UN HECHO O UNA ACCION.

= UNA ALTERNATIVA.

= PASA AL PUNTO X.

= EL PUNTO X.



= ¿SE RESOLVIO EL PROBLEMA?

FLUJO DEL ANALISIS EN LA PROGRAMACION

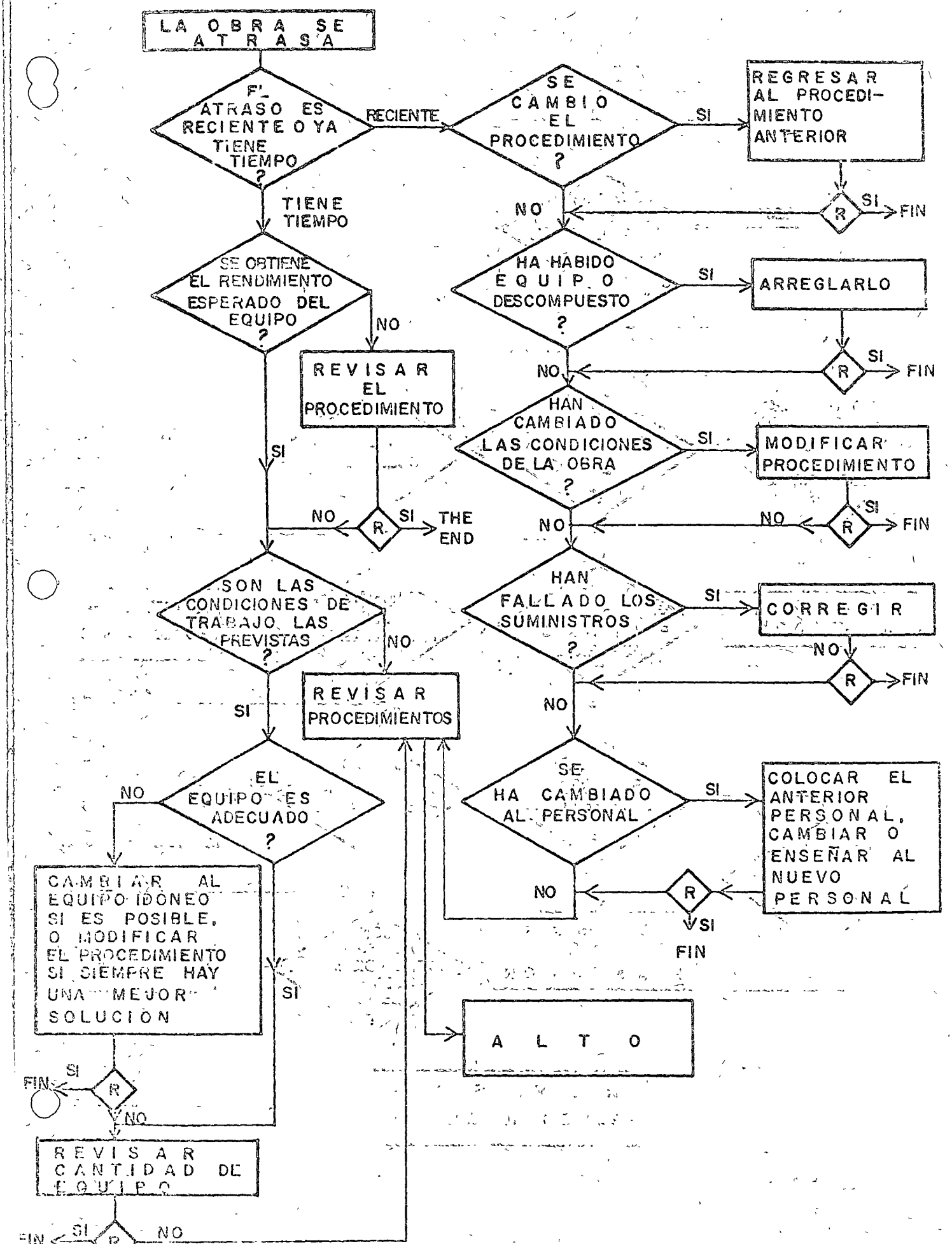
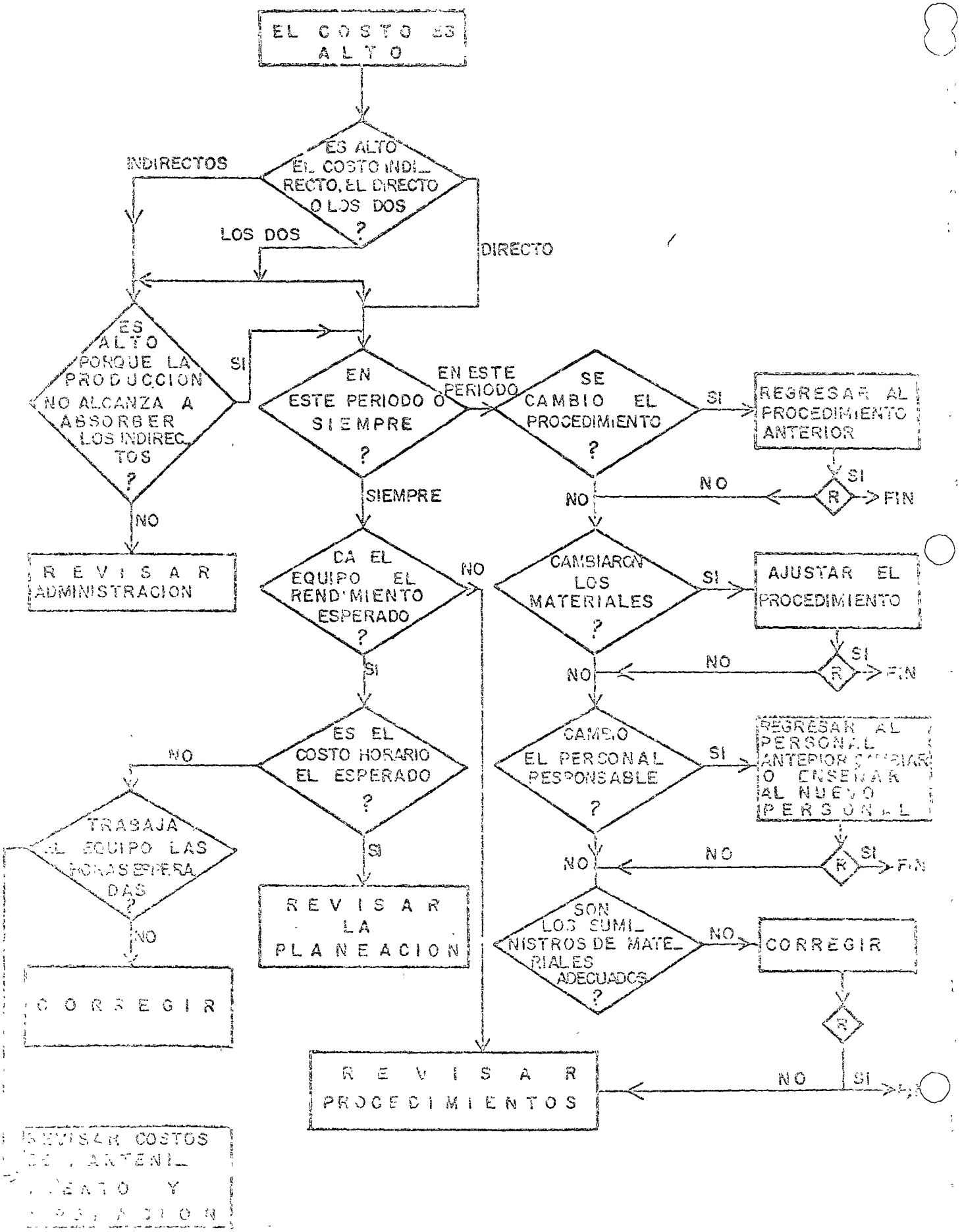


DIAGRAMA No. 9

FLUJO DEL ANALISIS EN LOS COSTOS



V CONTROL DE CALIDAD

La dependencia contratante por medio de su departamento de Proyectos, debe de establecer con toda claridad el nivel de calidad deseado por medio de sus especificaciones, ya que el constructor de la obra debe de asegurar los requerimientos pedidos.

Se puede definir como nivel de calidad, al conjunto de características cualitativas y cuantitativas que deben satisfacer los materiales, las instalaciones y componentes de la obra en los aspectos de resistencia a las cargas por soportar, asentamientos, geometría, apariencia, durabilidad, capacidad de carga, etc.

El control de calidad incluye todas las operaciones inherentes al muestreo, ensaye, inspección y selección de materiales, previos a la ejecución del proyecto, para asegurar que el procedimiento constructivo satisfaga las exigencias del mismo.

Se harán ensayes en el túnel, con avances cortos, teniendo cargas adecuadas; poniendo especial atención en el acabado que llevará el perímetro de la excavación; viendo si lleva precorte o postcorte y en base a esto llegar al avance óptimo, en el número mínimo de tronadas.

Todo lo anterior está relacionado con el factor eficiencia-economía, que es un índice del control de calidad, ya que se obtiene máximos rendimientos con el menor número de materiales.

VI CONTROL ADMINISTRATIVO

Para tratar de hacer un control administrativo de una Empresa o Dependencia es indispensable el conocimiento de los costos directos e indirectos que se generan

en la obra.

VI CONTROL ADMINISTRATIVO

Para el control administrativo óptimo, se deberá tomar toda clase de datos relacionados con los costos del mismo, tanto en la Oficina de contabilidad (evaluadora), como en almacenes, talleres, oficinas centrales, etc., teniendo la consigna de hacer las aclaraciones pertinentes a los datos que se presenten dudosos. A continuación se proporcionarán algunas fuentes de información para poder llevar en verdad un control efectivo de este tipo.

1. ALMACEN

a) Recibir los materiales, combustibles y refacciones en forma minuciosa en cuanto a la especie.

b) Clasificar debidamente todo lo recibido.

c) Valor de adquisición, de acuerdo con las facturas o notas de remisión correspondientes.

d) Obtener el valor de transporte y maniobras que los almacenes hayan tenido para su llegada a obra.

e) Valorizar correctamente las distintas unidades de material

f) Contabilidad de materiales, sujeta a las normas establecidas.

g) Entrega de materiales, combustibles, refacciones, etc., mediante los vales que se tienen ordenados, especificando unidad, número de unidades con su respectivo valor, además el nombre del concepto de obra en donde serán empleados.

h) Verificar peso de carga de los materiales, en los vehículos de transporte.

i) Informe diario del movimiento de materiales, etc., comprendiendo entregas o devoluciones que hubiese, especificando cantidades de materiales, refacciones, etc., cargados a los distintos conceptos de obra consignando el valor de los mismos; asímismo debe llevarse una relación periódica con saldos de existencias.

2. TOMADURIA DE TIEMPO

a) Nóminas de empleados de planta, listas de raya, recibos, etc., indicando categoría, salario, número de días trabajados y total devengado.

b) Controlar la asistencia mediante las tarjetas de tiempo.

c) Distribución de tiempo de los trabajadores en los distintos conceptos de obra, señalando la clase de trabajo ejecutado.

d) Distribución de tiempo en la operación de máquinas, servicios de transporte, etc.

e) Porporcionar informe diario a la Oficina de costos de la distribución de tiempo.

3. SOBRESTANTES Y CABOS

a) Distribución de labores a sus peones, fijando las tareas que les corresponde, en el caso que estén implantadas.

b) Vigilar sistemáticamente los trabajos para que las labores sean desempeñadas con eficiencia.

c) Rendir un informe diario de los materiales empleados en la construcción, con la distribución del tiempo trabajado por los peones en las distintas labores que se les hayan encomendado. Proporcionar los datos de estimación de los volúmenes de obra ejecutada. Número de horas trabajadas por cada uno de los equipos de construcción, consignando también las horas ociosas y las causas que las motivaron.

4. OPERADORES DE EQUIPO

a) Rendir informe diario de los consumos de combustibles, lubricantes, refacciones, etc. Dar los volúmenes de obra ejecutados (estimativamente), las horas de tiempo perdido y sus causas. Los informes deberan entregarse a la Oficina de costos, etc.

5. CONTADOR DE COSTOS

Elaborará diáriamente con los informes de materiales y mano de obra, los costos y proporcionará el informe de avance de la obra en unidades. Mensualmente hará un análisis de costos, haciendo la distribución de los indirectos parciales, ya que los costos directos los ha elaborado y obtenido diáriamente.

6. SUPERINTENDENTE DE LA OBRA

Proporcionará los datos necesarios para la elaboración de los costos y precisamente a la iniciación de cualquier fase de la construcción, rendirá un informe previo con todos los detalles que permitan saber con que elementos se va ejecutar

la obra, incluyendo características y clase de máquina, número y categoría del personal y además cantidad y clase de materiales que se emplean.

7. OFICINA CENTRAL DE COSTOS

Esta hará una recopilación y formulará los análisis de los datos enviados por los distintos encargados de las obras, determinando y corrigiendo los errores que estos registren. De aquí pasará a la oficina de control donde de alguna manera se sistematizarán, se compararán con el programa y se analizarán por último.

Para controlar los costos es de suma importancia sujetarlos a un sistema de clasificación que deberá regir invariablemente para toda la documentación que signifique erogación. De esta manera se evitan probables filtraciones y se logra a la vez, una organización administrativa y eficiente.

El presupuesto de la obra es la clave o el punto de partida para el control de las erogaciones. Por medio del mismo presupuesto y el catálogo respectivo se establecerán las clasificaciones que les correspondan a cada una de las cuentas que serán afectadas por las erogaciones.

Las anteriores fuentes, reunidas bajo un punto de vista financiero nos deben ser congruentes con el importe global presupuestado, de lo contrario, se deberán hacer los ajustes necesarios.

VIII CONTROL DE RECURSOS

Como se mencionó en el control administrativo, los costos directos e indirec

tos de una obra, se harán por separado, tocando ahora el desglose de los indirectos, ya que estos regirán básicamente el monto total de la obra, por consiguiente cualquier falla puede ocasionar serios problemas.

Los siguientes conceptos se basarán primordialmente en el programa de trabajos e importes fig. (10) y se harán sus controles sobre programas establecidos previamente.

VII. 1 MAQUINARIA

En esta parte, se ocuparán los programas de renta de equipo y de materiales o consumos de equipo.

a) Renta de equipo fig. (11)

En este programa se enlistarán los campos de trabajo en la primera columna. En la segunda estará registrado el equipo por usarse en cada proceso. En la tercera columna aparecerá el costo mensual de cada máquina. Posteriormente estarán las columnas de los meses y en cada mes se anotará la cantidad de máquinas necesarias para cumplir con la cantidad de obra por ejecutarse en el mes y multiplicando el número de máquinas por su costo-máquina-mes, nos dará el costo de dicho equipo en el mes.

b) Materiales en consumo del equipo fig. (12)

c) Personal en operación de equipo fig. (13)

Se procede de igual manera que el anterior, variando solo la columna que contiene el dato del costo mensual del consumo y en su caso de personal en operación del equipo en lugar de la renta mensual.

El costo medio por mes de cada máquina, es el que se registre para programa.

VII. 2 MATERIALES

Materiales de campo fig. (14)

Registra los materiales que se van a utilizar en la obra directamente, tales como, cemento, piedra, explosivos, acero, etc.

Se enlistan los campos en que intervienen materiales, se señalan la cantidad de materiales y su costo unitario. Asímismo de acuerdo al programa de trabajos, se asignan las cantidades necesarias de materiales por mes y su costo respectivo.

El costo de los materiales incluye su precio de adquisición, flete al tramo y maniobras. Por separado se debe tener en cuenta su almacenamiento, sus desperdicios para evitar faltantes y tratamientos especiales en materiales que lo requieran, como los explosivos.

VII. 3 MANO DE OBRA

Personal de campo fig. (15)

Se enlistarán los campos que necesiten de personal (peones, ayudantes, albañiles, tuberos, fierreros, pobladores, carpinteros, etc.)

Se registrarán los trabajadores para cada proceso y el monto mensual que representen para la compañía contratista.

La erogación mensual por personal de campo que se registra en la tercera columna, está formada por el salario base del trabajador más un incremento por las prestaciones que otorga la Ley.

GRAFICA No 10

PROGRAMA DE TRABAJOS Y AVANCES

NO	C O N C E P T O	CANT	UNIDAD	P U	IMPORTE	MESES 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
I	E X C A V A C I O N																												
IA	B A R R E N A C I O N																												
IB	C A R G A Y P O B L A D O																												
IC	V E N T I L A C I O N																												
ID	R E Z A G A																												
IE4	V A R I O S																												
II	R E V E S T I M I E N T O																												
IIA	F A B R I C A																												
	A C A R R E O																												
	C O L O C A C I O N																												
	C I M B R A																												
	V A R I O S																												
III	A D E M E																												
	A C E R O																												
	M A D E R A																												
IV	A N C L A J E E I N Y E C C I O N																												
	P E R F O R A C I O N																												
	A N C L A J E																												
	I N Y E C C I O N																												
V	B O M B E O																												

DIAGRAMA No II

PROGRAMA DE RENTA DE EQUIPO

CONCEPTO	EQUIPO	RENTA / MES	MESES 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
BARRENACION	JUMBO 141 B																									
	COMPRESOR C600																									
VENTILACION	VENTILADOR																									
REZAGA	REZAGADORA																									
	VAGONETA																									
	LOCOMOTORA																									
	TRAXCAVO PT-45																									
VARIOS	PLANTA DE LUZ 75 KW																									
FABRICACION	PLANTA DE CONCRETO EM-15																									
	TRAXCAVO 45B (175)																									
ACARREO	CAMION REVOLVEDOR																									
COLOCACION	BOMBA DE CONCRETO P-40 H																									
PERFORACION	PERFORADORA																									
	COMPRESOR C-300																									
INYECCION	EQUIPO DE INYECCION																									
SUMA TOTAL																										

DIAGRAMA No. [illegible]

PROGRAMA DE MATERIALES EN OPERACION DE EQUIPO

CONCEPTO	EQUIPO	$ CONSUMO MES	MESES 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
BARRENACION	JUMBO 141 B																									
	COMPRESOR C-600																									
VENTILACION	VENTILADOR																									
REZAGA	REZAGADORA																									
	VAGONETA																									
	LOCOMOTORA																									
	TRAXCAVO PT - 45																									
VARIOS	PLANTA DE LUZ 75 KW																									
FABRICACION	PLANTA DE CONCRETO EMIS																									
	TRAXCAVO 45 B (175)																									
ACARREOS	CAMION REVOLVEDOR																									
COLOCACION	BOMBA DE CONCRETO P-40 H																									
PERFORACION	PERFORADORA																									
	COMPRESOR C-300																									
INYECCION	EQUIPO DE INYECCION																									
	TOTAL																									

FIGURA No. 13

PROGRAMA DE PERSONAL EN OPERACION DE EQUIPO

CONCEPTO	EQUIPO	$/MES	MESES																							
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
BARRENACION	JUMBO 141 B																									
	COMPRESOR C 600																									
VENTILACION	VENTILADOR																									
REZAGA	REZAGADORA																									
	VAGONETA																									
	LOCOMOTORA																									
	TRAXCAVO PT- 45																									
VARIOS	PLANTA DE LUZ PT 75 KW																									
FABRICACION	PLANTA DE CONCRETO EM-15																									
	TRAXCAVO 45B (175)																									
ACARREO	CAMON REVOLVEDOR																									
COLOCACION	BOMBA DE CONCRETO P-40 H																									
PERFORACION	PERFORADORA																									
	COMPRESOR C-300																									
INYECCION	EQUIPO DE INYECCION																									
SUMA TOTAL																										

FIGURA No 4

PROGRAMA DE MATERIALES DE CAMPO

CONCEPTO	DATOS	P.U.	MESES																							
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
EXCAVACION	GELATINA 40 %																									
	ARTIFICIOS																									
	ESTOPINES																									
	ALAMBRE																									
	TUBERIA 4"																									
	ESPIRODUCTO 90																									
	INSTALACION ELECTRICA																									
FABRICACION																										
	CEMENTO																									
	ACERO DE REFUERZO																									
	MADERA																									
	ADITIVOS																									
ADEME																										
	ACERO																									
	MADERA																									
ANCLAJE																										
	CEMENTO																									
	ADITIVO																									
	ANCLAS																									
	ACCESORIOS																									
SUMA TOTAL																										

FIGURA No. 15

PROGRAMA DE PERSONAL DE CAMPO

CONCEPTO	PERSONAL	$/MES	MESES																							
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
EXCAVACION	CABO DE TUNEL																									
	CARGADOR																									
	POBLADOR																									
	—																									
	—																									
	PEONES																									
REVESTIMIENTO	CABO DE TUNEL																									
	FIERREROS																									
	AYUDANTES																									
	—																									
	—																									
	PEONES																									
ANCLAJE	CABO DE TUNEL																									
	COLOCADORES																									
	AYUDANTES																									
	—																									
	PEONES																									
ADEME	CABO DE TUNEL																									
	CARPINTEROS																									
	FIERREROS																									
	—																									
	PEONES																									

VII CONTROLES GRAFICOS

Se ha mencionado en los capítulos anteriores, la conveniencia de establecer programas de trabajo, los cuales de una manera gráfica representan las condiciones reales de la obra. Estos elementos se pueden idealizar de diferentes maneras, de acuerdo a los factores que se vayan presentando, tales como :

Monto-obra, monto-tiempo, obra-tiempo, recursos-obra, etc. De todas las posibles combinaciones que pueden generarse, las que mayor peso tienen son : Programa de Trabajos e Importes, Montos-Tiempo, Diagramas de Barras y Ruta Crítica (Ver figuras.)

Los controles gráficos son de gran utilidad, sea en el campo o en gabinete, ya que muestran los procesos o atrasos de los avances de obra con respecto al importe asignado a cada uno de los procesos constructivos.

De esta manera, el control que se tenga de la obra, estará completo, ya que se ejerce pleno conocimiento de los problemas de la misma, y a la vez, permite la aprobación y rectificación de las actividades que intervienen en la obra.

II X COMENTARIOS

Para este capítulo se ha tratado de establecer diferentes criterios y condiciones que pudieran intervenir en el control tanto técnico como administrativo de un túnel, es bien sabido, que la toma de decisión para este punto es un poco difícil, ya que está sujeta a dos condiciones : Conocimiento del Tema y Experiencia previa en la construcción de este tipo de obra. No obstante se cuenta con una variedad de herramientas que el profesional de ingeniería, puede aplicar en un determinado-

momento para la pronta solución de un problema específico, si lo hubiese, o el de dar los ajustes necesarios para poder alcanzar el producto óptimo, o sea, calidad y economía en la construcción del túnel.