

0014

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

FACULTAD DE INGENIERIA

EXAMEN FINAL DE ESPECIALIZACION

SINODALES:

PRESIDENTE :	ING. CARLOS URIEGAS TORRES
VOCAL :	ING. GABINO GRACIA CAMPILLO
SECRETARIO :	ING. JORGE LUIS HUIDOBRO LLABRES
SUPLENTE :	M.EN I. CARLOS SILVA ECHARTEA
SUPLENTE :	M.EN I. JAIME MARTINEZ MIER

TEMA PROPUESTO: " CONSTRUCCION DE TUNELES EN SUELOS
BLANDOS PARA LA CIUDAD DE MEXICO"

TEMA RECOMENDADO POR LOS SINODALES, QUE, PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALISTA EN CONSTRUCCION, DESARROLLA EL ALUMNO ALFREDO TREJOS DE LA PEÑA.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



DEPFI

T. UNAM
1981
TRE

ABO...
1981



UNIVERSIDAD NACIONAL
INGENIERIA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA

Forma para control de recibido de
los citatorios para los sinodales.

NOMBRE: ALFREDO TREJOS DE LA PEÑA

SECCION: CONSTRUCCION

JURADO

FIRMA FECHA

Presidente: ING. CARLOS URIEGAS TORRES

[Signature] 23 jul 81

Vocal: ING. GABINO GRACIA CAMPILLO

[Signature] 24 Julio 81

Secretario: ING. JORGE LUIS HUIDOBRO LLABRES

[Signature] 27 Jul/81

Suplente: M EN I. CARLOS SILVA ECHARTEA

[Signature] 23/11/81

Suplente: M EN I. JAIME MARTINEZ MIER

[Signature] 27/11/81

Examen final de especialización.

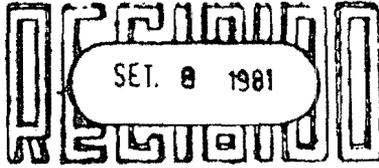
Dentro de los cinco días naturales posteriores a la fecha de recepción del citatorio, los tres sinodales propietarios se pondrán de acuerdo y entregarán por escrito al Coordinador de la Sección o en ausencia de éste al Secretario Académico un toma de examen final, indicando el plazo máximo que juzgue adecuado para el desarrollo del mismo, sin que dicho plazo exceda de 30 días naturales.

Examen de grado sin tesis.

Dentro de los cinco días naturales posteriores a la fecha de recepción del citatorio, cada sinodal propietario entregará al Coordinador de Sección, o en ausencia de éste al Secretario Académico, un tema por escrito, indicando el plazo máximo que juzgue adecuado para el desarrollo del mismo, sin que dicho plazo exceda de treinta días naturales.

Examen de grado con tesis.

Los miembros del jurado deberán participar en las reuniones a que cite el Coordinador de la Sección correspondiente, para planear y revisar el desarrollo de la tesis.



U. N. A. M.

México, D. F., 24 de julio de 1981.

M. EN I. ABRAHAM DIAZ RODRIGUEZ
SUB-JEFE DEL AREA DE INGENIERIA CIVIL
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA. U.N.A.M.
P r e s e n t e

De acuerdo a la comunicación del Dr. Pedro Martínez Pereda Jefe de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional Autónoma de México, para proponer tema para el Examen Final en Construcción del SR. ALFREDO TREJOS DE LA PEÑA, me permito poner a su atenta consideración el siguiente Tema:

CONSTRUCCION DE TUNELES EN SUELOS BLANDOS
PARA LA CIUDAD DE MEXICO

- Clasificación de Suelos.
- Construcción de Lumbreras en Suelos Blandos.
- Excavación con Escudo abierto, y aire comprimido.
- Excavación con Escudo de frente presurizado, y lodo Bentonítico.
- Otros Sistemas de Excavación.
- Costos Comparativos.
- Organización de la Obra.

Sin otro particular agradezco las atenciones que tenga a bien brindarle a la presente.

ATENTAMENTE

ING. GABINO GRACIA CAMPILLO.

Ing. Jorge Huidobro

GGC/egp

M. en I Jaime Martínez Mier

Ing. Alfredo Trejos T.

ING. CARLOS SILVA E.

CONSTRUCCION DE TUNELES EN SUELOS BLANDOS PARA
LA CIUDAD DE MEXICO .

INDICE

CAPITULO	PAG.
1.- CLASIFICACION DE LOS SUELOS	1
2.- CONSTRUCCION DE LUMBRERAS EN SUELOS BLANDOS	21
3.- EXCAVACION CON ESCUDO ABIERTO Y AIRE COMPRIMIDO	40
4.- EXCAVACION CON ESCUDO DE FRENTE PRESURIZADO Y LODO BENTONITICO	53
5.- OTROS SISTEMAS DE EXCAVACION	96
6.- COSTOS COMPARATIVOS ✓	132
7.- ORGANIZACION DE LA OBRA.	141

CAPITULO 1

1.- CLASIFICACION DE LOS SUELOS.

Un sistema de clasificación de los suelos es un ordenamiento de los diferentes suelos en grupos que tienen propiedades similares.

El propósito es dar facilidades para estimar -- las propiedades o aptitudes de un suelo por comparación con suelos de la misma clase cuyas propiedades se conocen, y para facilitar al Ingeniero un método preciso para la descripción del suelo. Sin embargo, son tantas las propiedades diferentes de los suelos que interesan a los Ingenieros y tantas las combinaciones de estas propiedades en cualquier depósito natural de suelo, que cualquier sistema de clasificación universal parece impracticable. En su lugar los grupos o -- clases se basan en aquellas propiedades que son más importantes de acuerdo con el carácter particular de la obra de Ingeniería para la cual se ha desarrollado la clasificación, por ejemplo:

El sistema de clasificación del Public Roads de los E. U. A., agrupa los suelos de acuerdo con su adaptabilidad para la construcción de caminos. Las mismas propiedades pueden ser de poca utilidad en la clasificación de suelos para presas de tierra.

...

El Ingeniero de Suelos debe de familiarizarse con los propósitos, y particularmente con las limitaciones, de los más importantes sistemas de clasificación y debe ser capaz de desarrollar nuevos sistemas que se ajusten a nuevos problemas, - menos que adaptar los sistemas antiguos a situaciones para - los cuales no son aplicables. Pero el Ingeniero no debe emplear su tiempo en esto, porque como ha dicho A. Casagrande: los que realmente comprenden los suelos pueden, y frecuentemente lo hacen, aplicar la mecánica del suelo sin una clasificación formalmente aceptada.

1.1.- Clasificación por textura.

Las clasificaciones por textura agrupan los suelos por el tamaño de los granos. La grava y los tamaños mayores se descartan y las partículas más finas de 2 mm. en diámetro se dividen en tres grupos; tamaño de arena, tamaño de limo y tamaño de arcilla. Siguiendo esta clasificación, los suelos se agrupan por los porcentajes que contienen de cada uno de estos tres tamaños

La clasificación por textura fue desarrollada por los Ingenieros Agrónomos quienes encontraron que el tamaño de los granos era una indicación de la laborabilidad de la tierra vegetal. Se han empleado muchos modelos de clasificación por textura en trabajos de ingeniería, pero han sido reemplazados por el sistema más completo de clasificación, - para obras de ingeniería, que se describe a continuación.

Este, es el sistema de clasificación del Departamento de Caminos Públicos, que es uno de los sistemas más antiguos de agrupar los suelos para fines de ingeniería, es el que se sigue en la clasificación del Departamento de Caminos Públicos. Desde su introducción en 1929, ha sufrido muchas revisiones y modificaciones y se usa ampliamente, para evaluar los suelos para la construcción de sus rasantes de carreteras y terraplenes. La modificación propuesta en 1945 se llama Revised Bureau Of Public Roads; Highway Research Board, ó sistema AASHO (American Association Of State Highway Officials) este sistema divide todos los suelos en tres categorías: Granular, con 35 por ciento o menos, en peso, pasando por el tamíz número 200 (más fino que 0.074 mm); Limo-Arcilla, con más de 35 por ciento pasando por el tamíz número 200 y suelos orgánicos. Las dos primeras categorías se subdividen después, de acuerdo su característica de graduación y plasticidad, como se indica en la tabla No. 1:1. Los símbolos desde A-1 hasta A-8 se aplican a las clases de suelos; Estos símbolos indican vagamente que con el aumento del número se disminuye la calidad del suelo para la construcción de carreteras. Algunas de las clases se subdividen para indicar diferencias en plasticidad; pero las subdivisiones no son parte esencial del sistema , la clasificación está suplementada por el índice de grupo, o IG.

$$IG. = 0.2 a' + 0.005 a c + 0.01 bd$$

donde:

- a) = Porcentaje que pasa el tamíz No. 200, mayor que 35 y sin exceder 75 expresado en un número entero (0 a 40)
- b) = Porcentaje que pasa el tamíz No. 200, mayor que 15 y sin exceder 55, expresado en un número entero (0 a 40)
- c) = La parte del límite líquido mayor de 40 y - sin exceder 60, expresado en un número entero (0 a 20)
- d) = La parte del índice de plasticidad mayor de 10 y sin exceder 30, expresado en un número (0 a 20)

Los valores de IG varían de 0 a 20; los números -- más bajos indican mejor calidad que los números más altos. -- El número se coloca entre paréntesis siguiendo a la clase de suelo así: A-2(0) o A-5(9).

Como se han usado los mismos símbolos básicos para todas las versiones del sistema de Caminos Públicos, el Ingeⁿiero debe señalar siempre cual está usando; sin embargo, la inclusión de los números I.G. indica que es la revisión de - 1945.

Sistema unificado de clasificación de suelos.-

El sistema unificado de clasificación de suelos, es una consecuencia del sistema de clasificación para aeropistas (AC) desarrollado por A. Casagrande como un método rápido para identificar y agrupar los suelos para construcciones militares. Los suelos se dividen primeramente en dos clases: -- de granos gruesos y de granos finos.

Los suelos de granos gruesos tienen más del 50 por ciento, en peso, de granos más gruesos que 0.074 mm. (tamíz No.200). Estos suelos se representan por el símbolo G,, si más de la mitad, en peso, de las partículas gruesas, son más gruesas que 4.76 mm (tamíz No.4), y por el símbolo (S) si más de la mitad son más finas. A la "G" o a la "S" le sigue una segunda letra que describe la graduación: "W"; buena graduación con poco o ningún fino; P, graduación pobre, uniforme o descontinua con poco o ningún fino; M, que contiene limo o limo y arena; G, que contiene arcilla o arena y arcilla.

Los suelos de grano fino (más de la mitad más finos que 0.074 mm) se dividen en tres grupos: C.- Arcillas, M.- Limos y Arcillas limosas y O.- Limos y Arcillas orgánicas. Estos símbolos están seguidos por una segunda letra que denota el límite líquido o la compresibilidad relativa: L.- Límite líquido menor que 50; H, límite líquido que excede de 50.

La gráfica de plasticidad de Casagrande (Fig.1.1) es la base para la división de los suelos de grano fino; es también una ayuda para comparar diferentes suelos. Por ejemplo: las arcillas que tienen un origen geológico similar estarán situadas, generalmente, en una banda estrecha paralela a la línea divisoria (corrientemente llamada línea A) entre los suelos C y M-0. Los diferentes símbolos, los suelos que ellos representan y el criterio seguido en la clasificación, se dan en la tabla 1:2. A los suelos que están en la línea límite, se les dá a veces, una clasificación dual como GUN - GC. Debe añadirse a los símbolos una descripción que de información sobre la forma de los granos, la composición, el color, la macro estructura y la resistencia o densidad del suelo en el terreno.

Sistemas de los Departamentos de Carreteras.

Los Departamentos de Carreteras de varios Estados de los Estados Unidos de América, han desarrollado sistemas de clasificación que se adaptan a los suelos que regularmente se encuentran en esos Estados. La mayoría de esos sistemas están basados en una correlación empírica entre el comportamiento del suelo en la construcción de carreteras y algunos ensayos simples del laboratorio, tales como los que emplean para determinar el tamaño de los granos, la plasticidad, la retracción, el endurecimiento y la densidad después de la compactación. Dentro del Estado para el cual se ha desarrollado esa clasificación, ésta puede ser una buena guía para la selección de los materiales para los trabajos de carreteras.

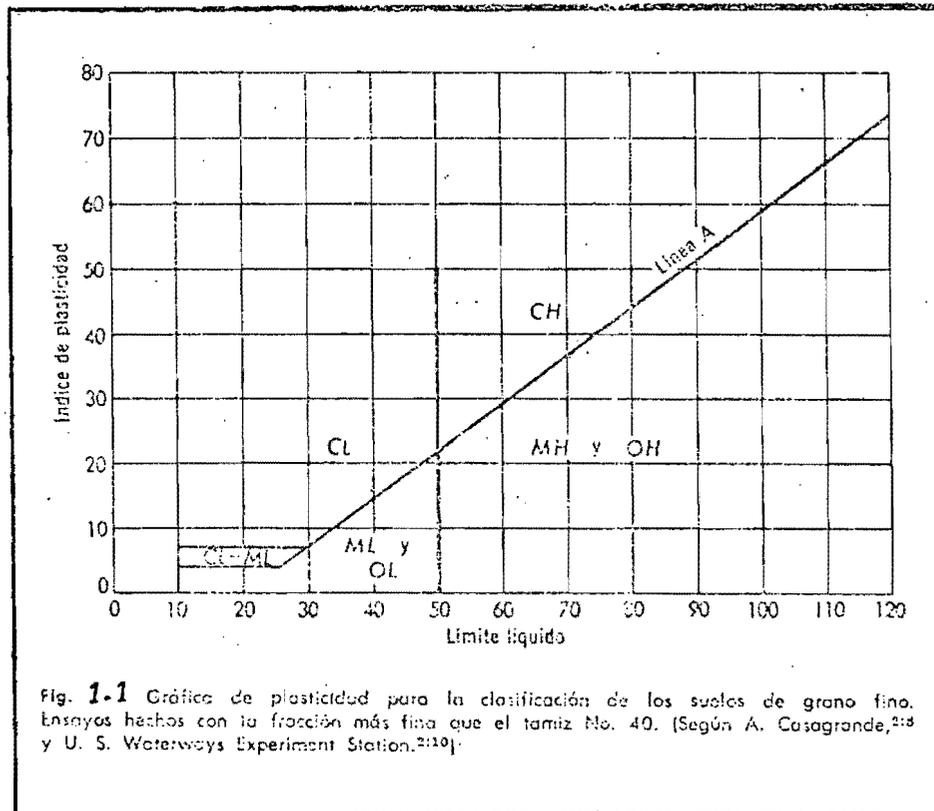


Fig. 1-1 Gráfica de plasticidad para la clasificación de los suelos de grano fino. Ensayos hechos con la fracción más fina que el tamiz No. 40. [Según A. Casagrande,^{2:8} y U. S. Waterways Experiment Station,^{2:10}].

Sistema de Aeronáutica Civil (C.A.A.).

El sistema C.A.A. clasifica los suelos de acuerdo a su adaptabilidad para sub-rasantes de aeropistas. Los suelos se dividen en los grupos E-1 a E-14 basándose en el tamaño de los granos y la plasticidad, en forma similar a la del sistema de Caminos Públicos. Se usan otros ensayos para ayudar en la clasificación, pero no son esenciales.

El sistema AC. original se distingue del unificado en la agrupación de los suelos de granos gruesos: la división entre grueso y fino es 0.1 mm; el símbolo M. está sustituido por "F" y todas las subdivisiones de los granos gruesos W, C, P, y F, tienen un significado ligeramente distinto. Sin embargo, para la mayoría de los usos prácticos, ambos sistemas son iguales.

Se ha comprobado que el sistema unificado es muy útil en la clasificación de suelos para muchos fines diferentes, tales como la construcción de carreteras y aeropistas, presas de tierra y terraplenes y hasta para cimentaciones

A menudo se suplementa con tablas que indican las propiedades típicas de cada grupo, como las características de drenaje; y como se ha dicho es una buena guía para proyectar y construir .

El sistema es simple; muchos suelos se pueden situar en el grupo visualmente y sólo se necesita, para una --

...

TABLA : CLASIFICACION REVISADA DEL DEPARTAMENTO DE CAMINOS PUBLICOS.
O CLASIFICACION AASHO.

Grupo	Subgrupo	Porcentaje que pasa tamiz U.S. No.			Carácter de la fracción que pasa el tamíz # 40		Indice de gru No.	Descripción del suelo.	Calidad como -- subrasente
		10	40	200	Límite líquido	Indice de plasticidad			
A-1			50 máx	25 máx		6 máx.	0	Grava o arena de buena graduación puede incluir finos.	
	A-1-a	50 máx	50 máx	15 máx		6 máx.	0	Mayormente grava, pero puede incluir arena y finos	
	A-1-b		50 máx.	25 máx		6 máx.	0	Arena gravosa o arena graduada; puede incluir finos.	
A-2*				35 máx.			0 a 4	Arena y gravas con exceso de finos.	Excelent a buena
	A-2-4			35 máx.	40 máx	10 máx.	0	Arenas, gravas con finos de limo de baja plasticidad.	
	A-2-5			35 máx.	41 mín.	10 máx.	0	Arenas, gravas con finos de limo elásticos.	
	A-2-6			35 máx.	40 máx.	11 mín.	4 máx	Arenas, gravas con finos de arcilla.	
	A-2-7			35 máx.	41 mín	11 mín.	4 máx.	Arenas, gravas con finos de alta plasticidad.	
A-3			51 mín.	10 máx.		no plás.	0	Arenas finas	Regula a pobre.
A-4				36 mín.		10 máx.	8 máx.	Limos de baja compresibilidad.	
A-5				36 mín.	41 mín	10 máx.	12 máx.	Limos muy compresibles, limos micáceos	
A-6				36 mín	40 máx	11 mín	16 máx.	Arcilla de compresibilidad baja o media	
A-7				36 mín	41 mín	11 mín	20 máx.	Arcilla alta compresib.	
	A-7-5			36 mín	41 mín	11 mín	20 máx.	Arcill.lim.alta ""	
	A-7-6			36 mín	41 mín	11 mín	20 máx	Arc.alta comp.yalto campo volumen	
A-8								Turba, suelos muy orgánicos.	

exacta clasificación, hacer ensayos para determinar el tamaño de los grupos y la plasticidad. Sin embargo, debe tenerse en mente que ninguna clasificación sustituye a los ensayos que determinan las propiedades físicas de los suelos y al análisis ingenieril de los resultados.

IDENTIFICACION Y DESCRIPCION DE LOS SUELOS

Las diferentes tablas de clasificación de suelos, que son útiles para agrupar los suelos para un fin determinado, pueden ser útiles o engañosas para otras aplicaciones. En muchos campos, tal como el de la ingeniería de cimentaciones, hay que tener en cuenta tantas propiedades importantes, que cualquier tabla de clasificación de suelos resultaría muy burda. En su lugar, una descripción exacta de las propiedades significativas del suelo puede dar la información necesaria sin las restricciones de una clasificación determinada. Las propiedades de los suelos que se relacionan a continuación, son importantes en la mayoría de los problemas de suelos, y por lo tanto, forman la base de una completa descripción del suelo; también son un requisito suplementario de la Clasificación Unificada.

- 1.- Resistencia a esfuerzo cortante (suelos cohesivos).
- 2.- Compacidad (suelos no cohesivos).
- 3.- Compresibilidad.
- 4.- Permeabilidad.

- 5.- Color
- 6.- Composición (tamaño de los granos, forma, plasticidad, mineralogía).
- 7.- Estructura del suelo.

Para una descripción precisa, muchas de estas propiedades deben ser determinadas por ensayos de laboratorio. Sin embargo, un ingeniero de suelos experimentado, puede estimar la mayor parte de ellas observando y examinando cuidadosamente en el campo pequeñas muestras del suelo.

RESISTENCIA DEL SUELO.

La resistencia a esfuerzo cortante es una propiedad fundamental de los suelos cohesivos inalterados, cuyo conocimiento es necesario para resolver muchos problemas. Ordinariamente la resistencia se define en términos de la resistencia a compresión sin confinar, pero se puede estimar por la presión que se necesita para comprimir entre los dedos una muestra inalterada. Si el suelo es fárgil (que falla bruscamente con pequeña deformación), elástico (como la goma), friable (que se desmorona fácilmente) o susceptible (que pierde resistencia al reamasarse), estos términos deben incluirse en la descripción.

TABLE 112 CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS
(Tomada de U. S. Waterways Experiment Station y ASTM D 2487-66T)

División principal		Símbolo del grupo	Criterios para la clasificación de laboratorio		Descripción del suelo
			Más fino que el tamiz No. 200 %	Requisitos suplementarios	
Grano grueso (más del 50%, en peso, más grueso que el tamiz No. 200)	Suelo gravoso (más de la mitad de la fracción gruesa mayor que el tamiz No. 4)	GW	0-5*	D_{60}/D_{10} mayor que 4, $D_{30}^2/(D_{60} \times D_{10})$ entre 1 y 3 Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para GW IP menor que 4 o por debajo de la línea A IP mayor que 7 y arriba de la línea A	Gravas de buena graduación, gravas arenosas
		GP	0-5*		Gravas uniformes o con graduación discontinua, gravas arenosas
		GM	12 o más*		Gravas limosas, gravas limo-arenosas
		GC	12 o más*		Gravas arcillosas, gravas arcillo-arenosas
	Suelos arenosos (más de la mitad de la fracción gruesa más fina que el tamiz No. 4)	SW	0-5*	D_{60}/D_{10} mayor que 4, $D_{30}^2/(D_{60} \times D_{10})$ entre 1 y 3 Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para GW IP menor que 4 o por debajo de la línea A IP mayor que 7 y arriba de la línea A	Arenas de buena graduación, arenas gravosas
		SP	0-5*		Arenas uniformes o con graduación discontinua, arena gravosa
		SM	12 o más*		Arenas limosas, arenas limosas gravosas
		SC	12 o más*		Arenas arcillosas, arenas arcillosas gravosas
Grano fino (más del 50%, en peso, más fino que el tamiz No. 200)	Baja compresibilidad (I.L. menor que 50)	ML	Gráfico de plasticidad		Limos, arenas muy finas, arenas finas limosas o arcillosas, limos micáceos
		CL	Gráfico de plasticidad		Arcillas de baja plasticidad, arcillas arenosas o limosas
		OL	Gráfico de plasticidad, olor o color orgánicos		Limos orgánicos y arcillas de baja plasticidad
	Alta compresibilidad (I.L. mayor que 50)	MH	Gráfico de plasticidad		Limos micáceos, limos de diatomeas, cenizas volcánicas
		CH	Gráfico de plasticidad		Arcillas muy plásticas y arcillas arenosas
		OHI	Gráfico de plasticidad, olor o color orgánicos		Limos orgánicos y arcillas de alta plasticidad
Suelos con materia orgánica fibrosa		Pt	Materia orgánica fibrosa; se carboniza, quema o se pone incandescente		Turba, turbas arenosas y turbas arcillosas

* Para los suelos en los que pasa por el tamiz No. 200 del 5 al 12 por ciento, use un símbolo doble, como GW-GC.

TABLA: RESISTENCIA DEL SUELO.

Término Usado.	Resistencia a compresión sin confinar (según Terzaghi y Peck)	Ensayo de campo (según Cooling, Skempton y Glossop).
Muy blando	0-0.25 Kg/cm ²	Se escurre entre los dedos al cerrar la mano
Blando	0.25-0.50	Se amasa fácilmente con los dedos
Firme	0.50-1.00	Se amasa con fuerte presión de los dedos.
Resistente	1.00-1.50	Se deprime con fuerte presión de los dedos
Muy resistente	1.50-2.00	Se deprime ligeramente con la presión de los dedos.
Duro	2.00 o más	Se hiende ligeramente con la punta del lápiz.

COMPACIDAD.

La compacidad es tan importante para los suelos no-cohesivos, como lo es la resistencia para los cohesivos. Se puede hallar comparando la relación de vaíos real del suelo, con la variación de la relación de vacíos de ese suelo al pasar del estado suelto al compacto. Se puede estimar por la facilidad con que penetra en el suelo una barra de acero.

TABLA: COMPACIDAD DEL SUELO.

Término usado	Compacidad relativa.	ENSAYO DE CAMPO
Suelta	0-50 %	Una barra de acero de 12.5 mm. (1/2 plg.) de diámetro penetra fácilmente empujada con la mano.
Firme	50-70	Una barra de acero de 12.5 mm. (1/2 plg) de diámetro penetra fácilmente hincada con un martillo de 2.3 Kg. (5 lb.)
Compacta	70-90	Una barra de acero de 12.5 mm (1/2 plg) penetra 30 cm. (1 pie) hincada con un martillo de 2.3 Kg. (5 lb).
Muy compacta	90-100	Una barra de acero de 12.5 mm. (1/2 plg.) penetra sólo unos centímetros hincada con un martillo de 2.3 kg (5 lb.)

COMPRESIBILIDAD.

La compresibilidad se determina directamente por ensayos de laboratorio o se estima de acuerdo con el límite líquido y la relación de vacíos.

TABLA: COMPRESIBILIDAD.

Término Usado	Índice de compresión.	Límite líquido (apr.)
Ligera o baja compresibilidad	0-0.19	0.30
Moderada o intermedia	0.20-0.39	31.50
Alta compresibilidad	0.40 y mayor	51 y mayor

PERMEABILIDAD.-

La permeabilidad se determina por ensayos directos en el laboratorio y en el campo.

COLOR.-

Aunque el color no es una propiedad importante por sí misma, es una indicación de otras propiedades más importantes. Por ejemplo: matices amarillos y rojos indican que un suelo ha sufrido una severa meteorización, porque los colores están en los óxidos de hierro. Un color castaño verdoso oscuro es a menudo una indicación de materia orgánica. Si durante la excavación se encuentra un cambio de color, es con frecuencia una indicación de que se ha descubierto un estrato diferente de suelo con propiedades diferentes. El color es usualmente la propiedad del suelo que más fácilmente emplea el que no tiene experiencia en mecánica del suelo, para identificar los suelos; sin embargo, un método práctico para enseñarle a los trabajadores cómo distinguir ciertos suelos, es por el color. Los colores del suelo se describen visualmente con la ayuda de las cartas de colores de Munsel.

COMPOSICION

La composición incluye el tamaño de los granos, la graduación, la forma de los granos, la composición mineralógica (de los granos gruesos) y la plasticidad. Se consideran dos grupos de suelos: aquellos en que predominan los granos gruesos (mayores de 0.074 mm), y los otros, en que predominan los granos finos (menores de 0.074 mm), como en la Clasificación Unificada. Los suelos de granos gruesos se

describen basándose en primer lugar en el tamaño de los granos, los suelos de grano fino basándose en la plasticidad.- La cantidad de granos gruesos o finos que se requieren para considerar cuáles predominan en un suelo no es fija, porque depende de la estructura del suelo. Si las partículas gruesas pueden hacer contacto unas con otras, el suelo se comporta esencialmente como un material de grano grueso; si los granos no se tocan sino que están separados por granos finos, los granos finos predominan. La Clasificación Unificada define arbitrariamente como tamaño predominante el de los granos que excedan el 50 por ciento en peso. Sin embargo, si el suelo contiene minerales arcillosos, los finos pueden predominar -- aunque ellos sean considerablemente menos del 50 por ciento del peso del suelo. Por lo tanto, no se puede establecer un punto fijo como límite y el ingeniero debe ejercitar su juicio.

El tamaño de las partículas tal como lo define -- ASTM-ASCE, y su identificación visual se dan en la siguiente tabla:

TABLA: IDENTIFICACION POR EL TAMAÑO DE LOS GRANOS.

N O M B R E	LIMITES DE TAMAÑO	EJEMPLO VULGAR
Boleo	305 mm(12 plg.) o mayores	Mayor que una pelota de balón-cesto.
Canto rodado	76 mm(3 plg a 305 mm(12 plg.	Bronja.
Grava gruesa	19 mm (3/4 plg) a 76 mm(3 plg.	Limón o naranja.
Grava fina	4.76 mm(T.No.4) a 19 mm ----- (3/4 plg.)	Chícharo o uva.
Arena gruesa	2 mm(T.No.10) a 4.76 mm. (T.No.4.)	Sal mineral.
Arena mediana	0.42 mm (T.No.40) a 2 mm (T.No.10)	Azúcar o sal de mesa.
Arena fina	0.074 mm(T.No.200)a 0.42 mm. (T.No.40)	Azúcar en polvo
Finos	Menores que 0.074 mm(T.No.200)	

La graduación se estima siguiendo el mismo criterio de la Clasificación Unificada. Una curva de composición granulométrica suave y un coeficiente de uniformidad de más de 6 para las arenas o de 4 para las gravas denota un suelo de buena graduación. Una graduación irregular denota graduación discontinua. Un coeficiente de uniformidad menor que los arriba expresados indica un suelo uniforme. El término graduación pobre se aplica indistintamente, algunas veces, a los suelos uniformes o de graduación discontinua.

Los granos se identifican en cuanto a su forma desde angulosos hasta bien redondos. Se pueden identificar además las partículas alargadas o laminares.

La composición mineralógica de los granos se puede determinar frecuentemente por un examen microscópico. Los carbonatos se identifican con un ácido fuerte, que al tocar las partículas produce efervescencia.

Los finos se describen basándose en el gráfico de plasticidad de Casagrande. Los suelos que caen por arriba de la línea A son arcillas y los que caen por debajo de dicha línea, limos. A los suelos que caen cerca de la línea A se les dá una doble denominación: si el IP es menor que 10 por ciento y el suelo cae por arriba de la línea A, el suelo se describe como arcilla limosa; si es menor que 33 por ciento y está por debajo de la línea A, es un limo arcilloso. Sin embargo, el suelo cuyo límite líquido sea superior a 60 por ciento, no se describirá como arcilla limosa.

Los limos y arcillas se pueden identificar en el campo por el ensayo de sacudidas. Una pastilla de suelo húmedo -- (consistencia de masilla blanda) se sacude en la mano. Si con las sacudidas o palmadas la pastilla se vuelve blanda y lustrosa y después, al comprimirla entre los dedos se hace dura, opaca y se agrieta, se dice entonces que tiene reacción a las sacudidas o dilatancia. Una reacción rápida indica limo no plástico, una reacción lenta indica limo orgánico, limo ligeramente arcilloso o posiblemente limo no plástico con un límite líquido muy alto (por arriba de 100). Si no hay reacción indica arcilla o arcilla limosa (Para que el ensayo sea decisivo debe hacerse con diferentes humedades).

La tenacidad de los bastoncillos que se forman cuando se arrolla el suelo para determinar el límite plástico, también ayuda a identificar los finos. La imposibilidad de formar el bastoncillo, o que éste resulte muy débil e esponjoso, indica limo orgánico o limo inorgánico con un límite líquido alto, pero baja plasticidad (MH). Un bastoncillo rígido y tenaz indica arcilla de baja plasticidad (CH).

La plasticidad se determina por el índice de plasticidad o puede estimarse por la resistencia de una muestra seca da al aire. La muestra se prepara eliminando primero las partículas más gruesas que el tamiz No. 40.

...

TABLA: P L A S T I C I D A D .

TERMINO USADO	IP	RESISTENCIA EN ESTADO SECO.	ENSAYOS DE CAMPO.
No plástico	0-3	Muy baja	Cae en pedazos fácilmente.
Ligeramente plástico	4-15	Ligera	Se tritura fácilmente con los dedos.
Medianamente plástico	15-30	Mediana	Difícil de triturar.
Muy plástico	31 o mayor	Alta	Imposible de triturar con los dedos.

amasándola después para formar un cubo que tenga la consistencia de masilla dura; se añade agua si es necesario. El cubo se deja secar al aire o al sol y después se tritura entre los dedos.

Los suelos orgánicos se pueden identificar por el olor, que se puede intensificar calentándolos, y por el color que es generalmente negro, castaño, verde oscuro o negro azulado. Sin embargo, algunos suelos inorgánicos son negros debido al hierro, titanio y minerales ferromagnesianos. La materia orgánica también se puede identificar oxidando el suelo con agua

oxigenada y determinando la pérdida con respecto al peso seco, o por la pérdida de peso por ignición, siempre que el suelo no tenga carbonatos minerales ni agua adsorbida o de cristalización.

Los suelos que contienen materia orgánica fibrosa - se pueden identificar visualmente o por la pérdida de peso por ignición. Una pérdida de peso, de materia orgánica, del 80 por ciento o más, indica que el suelo es turba. Si la cantidad de materia orgánica fibrosa es menor, el --suelo se describe como arena turbosa o arcilla turbosa, se gún sea el caso.

Al hacer la descripción de un suelo en que predomina el grano grueso se empleará el término grava o arena según sea uno u otro el componente más abundante. Los componentes menos abundantes y los finos (ya sean limos o arcillas) se usan como modificativos, colocando el componente de menor importancia primero. Por ejemplo: un suelo que tiene - el 30 por ciento de finos(limo), el 45 por ciento de grava y el 25 por ciento de arena se describe como una grava arenosa y limosa (grava areno-limosa). El tamaño y forma del grano sigue al componente al cual se aplica. Un suelo en que predominan los granos finos puede considerarse como limo o arcilla, y los componentes de grano grueso deben usarse como modificadores, con el menos importante primero. Por ejemplo: un suelo con el 70% de finos (arcillo), el 20 por ciento de arena y el 10 por ciento de grava se describe como arcilla gravosa y arenosa,(arcilla gravo-arenosa).

Descripción de la estructura del suelo.- La estructura del suelo se debe determinar por una cuidadosa observación del mismo. Se pueden usar los términos descriptivos siguientes:

...

Homogénea.-,	(propiedades uniformes)
Estratificada.-	(capas alternadas de suelos diferentes)
Laminada.-	(repetición de capas alternadas de espesor menor que 3 mm.
En franjas.-	(capas alternadas en suelos - residuales)

Es importante indicar los defectos en la estructura del suelo. Se observan a menudo, los siguientes:

- Espejos de falla (antiguos planos de falla)
- Canales de raíces.
- Fisuras (grietas, de retracción, heladas)
- Meteorización (decoloramiento irregular).

Como elaborar una descripción del suelo.- El suelo debe describirse destacando, esencialmente en el mismo orden, las propiedades significativas que se indicaron previamente. La descripción debe abarcar todas las propiedades de significación. Podrían citarse como ejemplo las siguientes descripciones:

- 1.- Arcilla, de mediana plasticidad, gris azulada, moderadamente compresible, dura.
- 2.- Grava redondeada, areno-arcillosa, bien graduada, compacta.
- 3.- Arena fina, angulosa, uniforme, color castaño, firme
- 4.- Arcilla y limo ligeramente compresibles, negros, firmes; estructura laminada.

- 5.- Limo arenoso micáceo, color castaño, compresible, suelto; estructura en franjas.

TABLA: SIMBOLOS PARA LA DESCRIPCION ESCRITA DE SUELOS Y ROCAS.

CONSISTENCIA		C O L O R		TEXTURA DEL SUELO COMPOSICION	
Su	Suelta	Gri	Gris	Bo	Boleo
Sir	Firme	Cas	Castaño	Gra	Grava
Co.	Compacta	Can	Canela	Are	Arena
MCo	Muy compacta	Am	Amarillo	Li	Limo
MBld	Muy blanda	Ro	Rojo	Ar	Arcilla
Bld	Blanda	Ne	Negro	Or	Orgánica
Re	Resistente	Ve	Verde	Tur	Turba
Du	Dura	Blc	Blanco	Cal	Calcárea
		Na	Naranja	Con	Conchifera
				La	Laterítica
				Gr	Gruesa
				Fin	Fina
				An	Angulosa
				Red	Redonda

.....

R O C A S		D E T A L L E S .	
Ar	Arenisca	Esp	Espejo de falla
Pia	Pizarra arcillosa	Ve	Veta
Calz	Caliza	Le	Lente
Gn	Gneis	Po	Porosa
Esq.	Esquisto	NF	Nivel freático
Cu	Cuarcita	Me	Meteorizada
Gran	Granito	Ju	Juntas
Ba	Basalto	Des	Descompuestas
Pi	Pizarra	Ca	Cavidad
Di	Diorita	Ra	Raíces
To	Toba	Conc.	Concreciones
Cong	Conglomerado	No	Noxular
		Mo	Moteada
		Fr	Fracturada
		Li	Listada
		Fr	En franjas.

ABREVIATURAS PARA DESCRIPCION.-

Con mucha frecuencia, los ingenieros hacen descripciones inadecuadas por las limitaciones de tiempo o por falta de espacio suficiente en los planos a escala reducida. En tabla por separado se proporciona un sistema de abreviaturas de sentido evidente para todos los ingenieros familiarizados con la terminología de los suelos y rocas.

CAPITULO 2

2.- CONSTRUCCION DE LUMBRERAS EN SUELOS BLANDOS.

Estos accesos denominados lumbreras, sirven para - que a través de ellos se realicen todas las operaciones necesarias para la construcción del túnel: barrenación, poblado-tronada, ventilación, bombeo, rezaga, amacize, ademe, revestimiento, instalaciones eléctricas y de aire comprimido, traslado de equipo y acceso de personal.

Las lumbreras del interceptor Central y Oriente son circulares de 9 m y 6 m. de diámetro terminado, revestidas de concreto armado; la mayoría de ellas están construidas en arcillas propias del Valle de México y su profundidad varía hasta 60 m. en donde van apoyados los interceptores. Las lumbreras del Emisor Central son circulares de 6 m. de diámetro -- terminado, revestidas de concreto armado, sus profundidades -- varían entre 60 m. y 220 m.

El revestimiento de las lumbreras es de concreto -- armado con un espesor promedio de 0.60 m. con $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ a base de cemento tipo V, o sea cemento de alta resistencia -- a los sulfatos llamado " sulfacreto "

Estas lumbreras atraviesan diferentes tipos de materiales, pudiéndose nombrar entre otros: arcillas, tobas, -- andesitas, conglomerados, arenas lahares en toba, basalto, limolita, tezontle y marga.

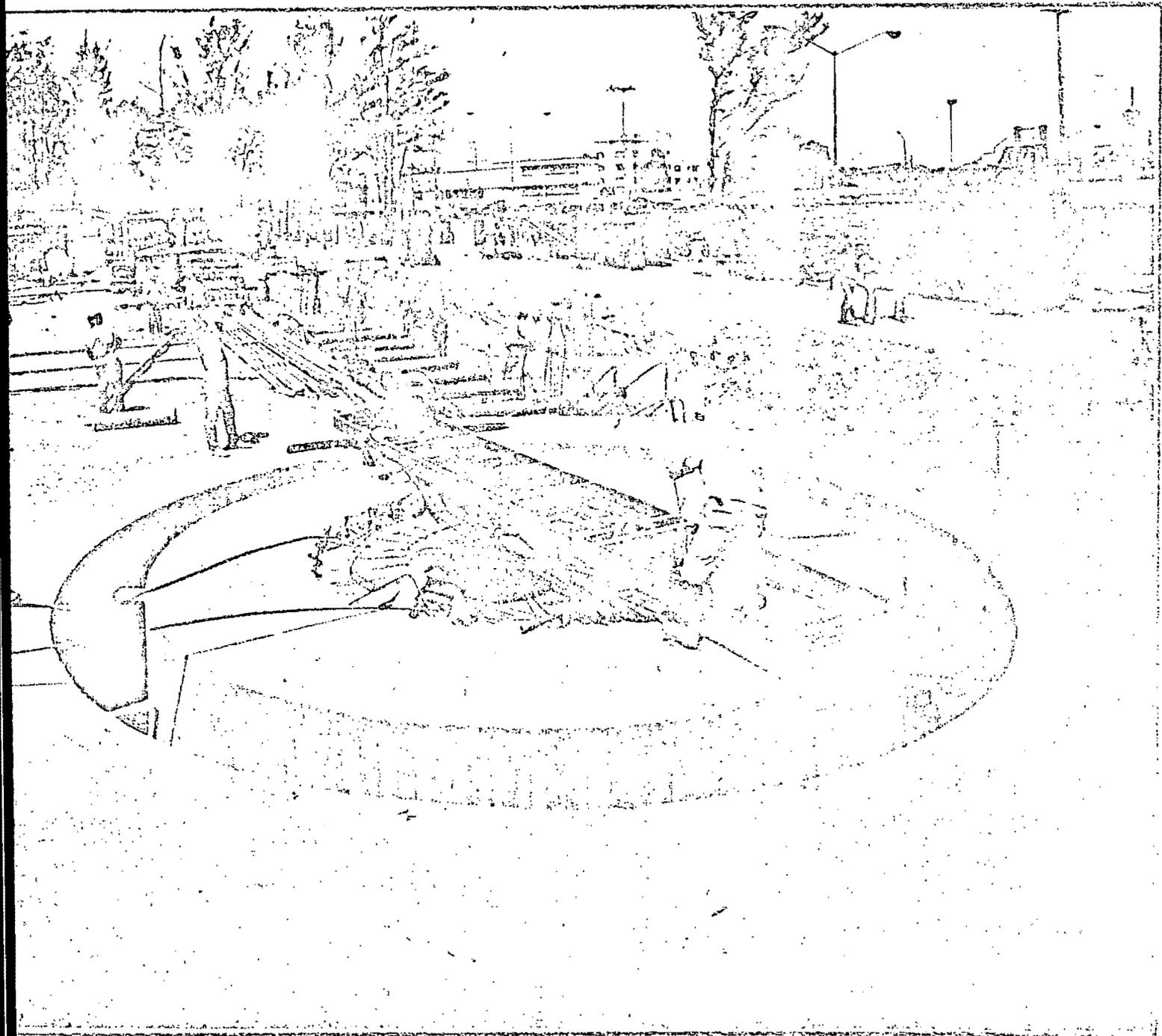
Es importante señalar que los suelos que se han encontrado a lo largo de la línea del Emisor Central, no presentan los problemas que tienen las arcillas propias del Valle de México, de aquí que los procedimientos de construcción que se han seguido en las lumbreras de los interceptores y del Emisor Central, sean diferentes.

En general, se puede decir que los procedimientos de construcción para el ataque de lumbreras, se diferencian según el tipo de terreno donde están construidas. Se podrían subdividir en dos grandes grupos, abarcando uno de ellos, las lumbreras construidas en arcillas y limos, es decir, a lo largo de la línea correspondiente a los interceptores Central y Oriente. El otro grupo lo formarían las lumbreras construidas en estratos más resistentes o roca, a lo largo de la línea del Emisor Central y algunas del Interceptor del Oriente.

El primer grupo se puede subdividir en seis diferentes técnicas que enseguida se mencionarán. Las lumbreras construidas a lo largo de la línea del Emisor Central hasta la lumbrera 13, se puede decir que atraviesan estratos de materiales de origen sedimentario tales como: tobas, aluvión, conglomerados, boleos, arenas limosas, etc. y que por lo mismo, el procedimiento de construcción es diferente.

EXCAVACION EN LIMOS Y ARCILLAS.-

Durante la ejecución de la obra se presentaron innumerables problemas de carácter técnico, pero el cuidado que de los procedimientos se tuvo, permitió llevar la construcción -



BROCAL DE LA LUMBRERA.

de lumbreras en arcilla a feliz término.

Esto a su vez ha servido de enorme experiencia en el conocimiento del comportamiento del subsuelo característico -- del Valle de México, además de todos los conocimientos adquiridos por las personas que hicieron posible su ejecución.

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 extraído 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 fig. 2:1 después con el No. V y así sucesivamente hasta -- terminar con la excavación y revestimiento de las paredes de la lumbrera.

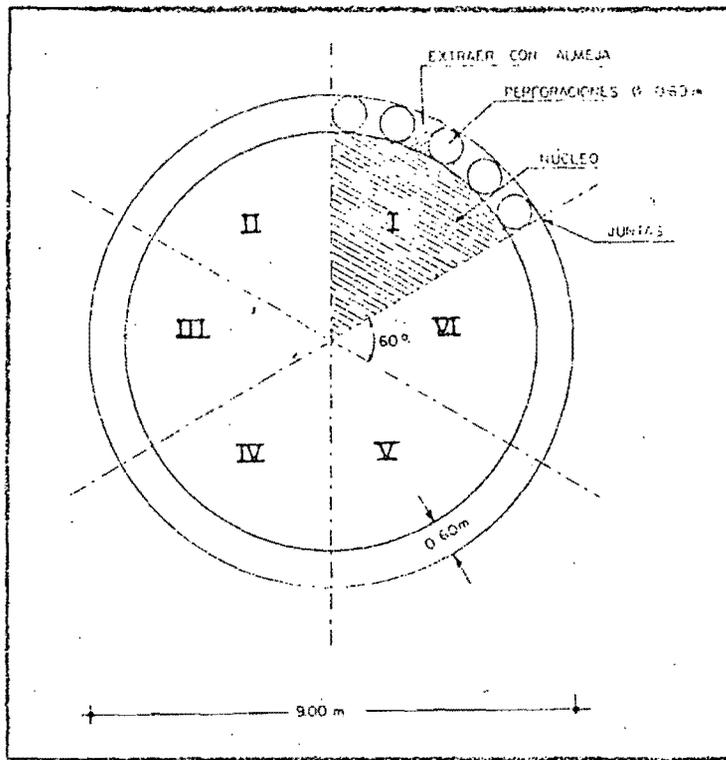


fig. 2.1

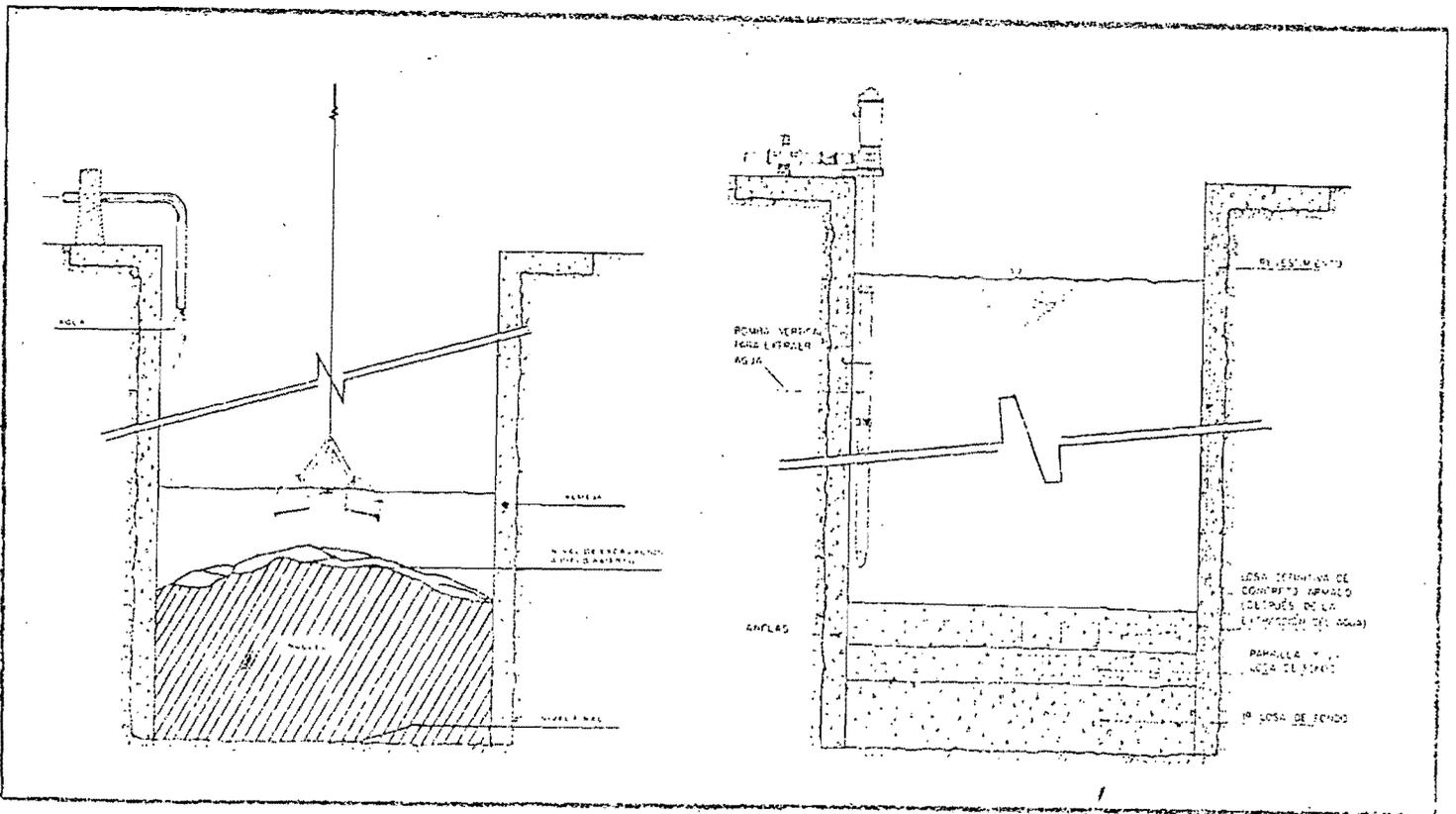


fig. 2.2

fig. 2.3

B.- Para proceder al colado de los sectores anulares, previamente excavados, se hacia 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 presentarán expansiones en el fondo, debido a la descarga del suelo . Cuando se llegaba a este nivel, se suspendían -- los trabajos y se reemplazaba el pesc 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 parri--lla 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. 2:3.)

TECNICA SOLETANCHE.

El procedimiento de construcción de lumbreras en arcillas con esta técnica, es muy similar a la anteriormente expuesta con dos variantes.

1.- La excavación del sector fue efectuada por un taladro barrenador guiado, colocado en la periferia de la lumbrera y montado sobre una vía; esta maquinaria extraía el material por medio de una broca rotatoria y de percusión.

Una vez comenzada la excavación del material, se inyectaba bentonita por el exterior, y la broca, a la vez que licuaba 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 contaba con un movimiento horizontal, y por lo mismo cavaba todo el sector anular (figs: 2:4 y 2:5)

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 hacia 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-

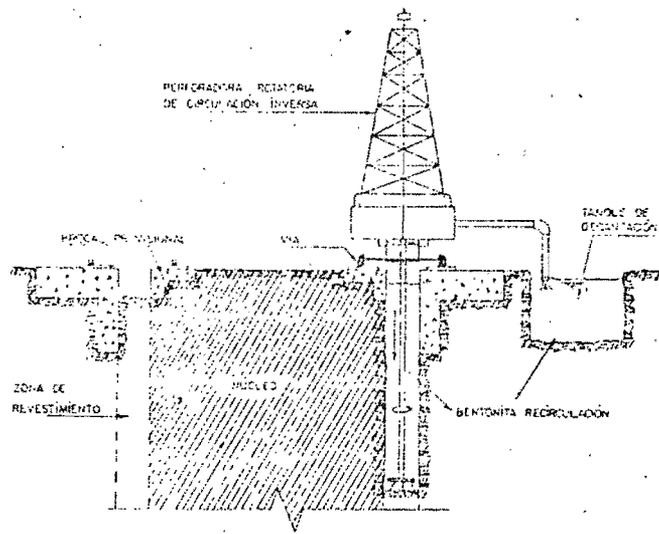


fig. 2.4

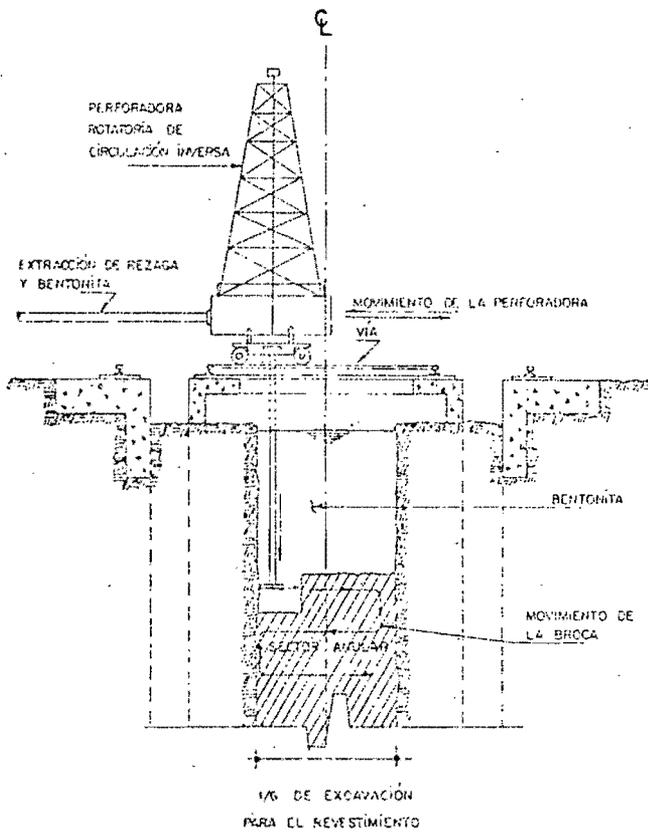


fig. 2.5

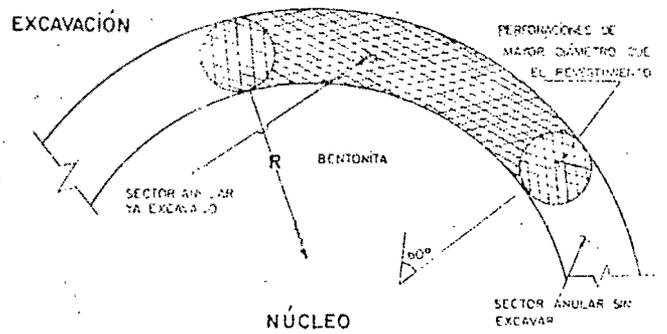


fig. 2.6

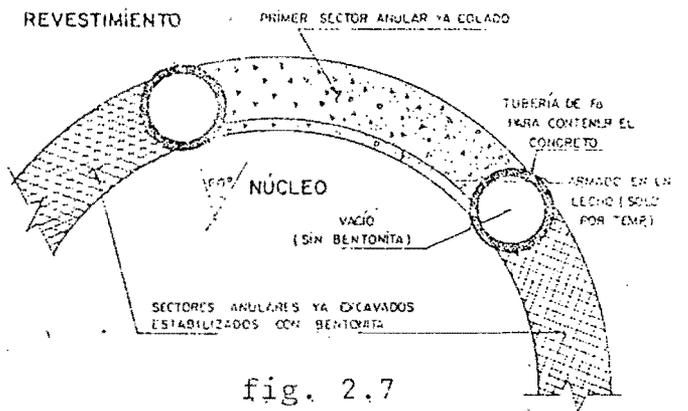


fig. 2.7

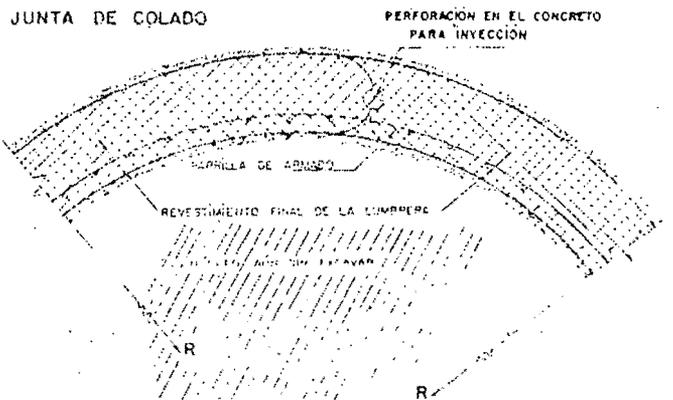


fig. 2.8

extremos para posteriormente, colar con el procedimiento anteriormente expuesto. *fig. 2:6* 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. 2:7.

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 barrenado para inyección de lechada, tal como lo muestra la fig. No. 2:8, taponando perfectamente bien cualquier fuga y llenando los huecos -- que pudieran existir dentro del revestimiento.

TECNICA ESTRELLA.

Esta técnica consistía en lo siguiente:

Una vez localizado el centro de la lumbrera se procedía a colar 2 brocales, uno exterior y el otro interior, de menores dimensiones, formando un polígono de 16 lados, - tal como muestra la fig. No. 2:9.

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 extraído 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. 2:10.

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. 2:11)

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, unas preparaciones en donde se habían colocado válvulas para permitir la salida del aire. Lo anterior se

explica gráficamente en la figura No. 2:12.

La primera parte del revestimiento era sostenida por la estructura de acero y nivelada por medio de 4 plumas colocadas en el brocal de la lumbrera, en el sentido de los ejes cardinales. Para ésto, 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 -- de 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 -- encontraba dentro de la misma y permitir que subiera para poder retirar las anclas 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.

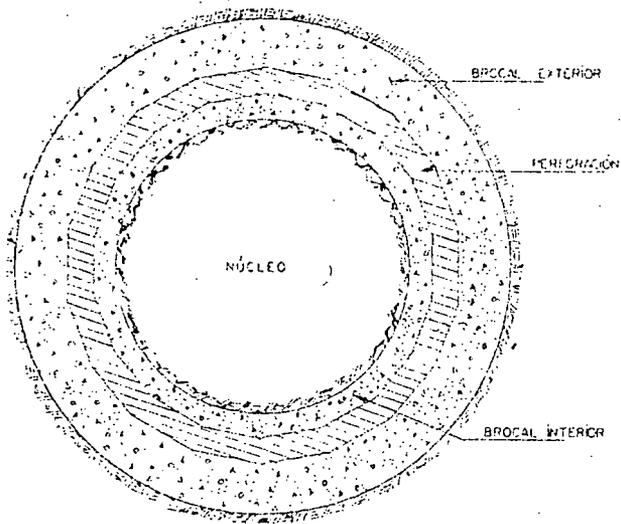


fig. 2.9

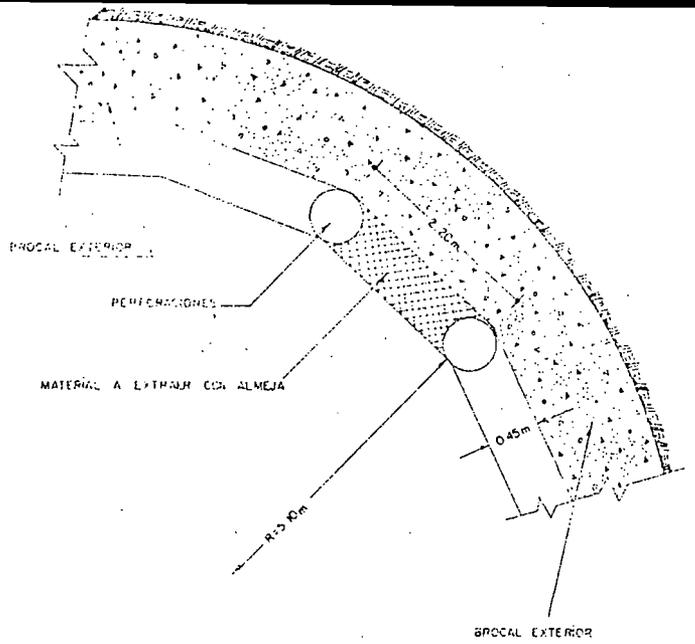


fig. 2.10

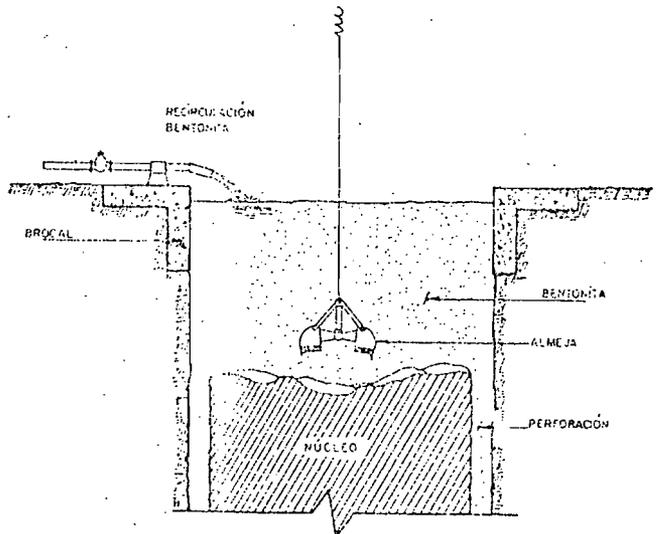
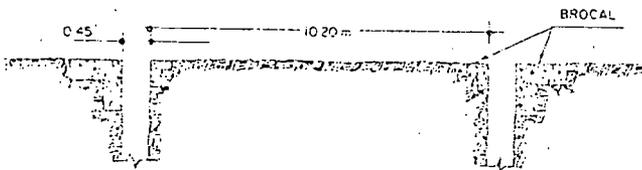


fig. 2.11

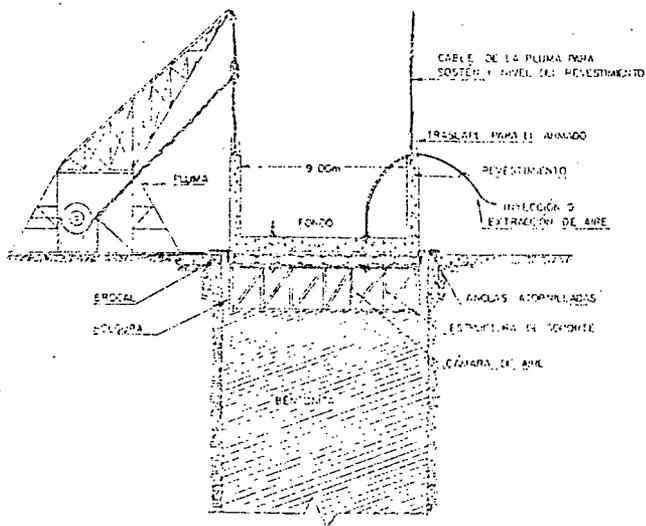


fig. 2.12

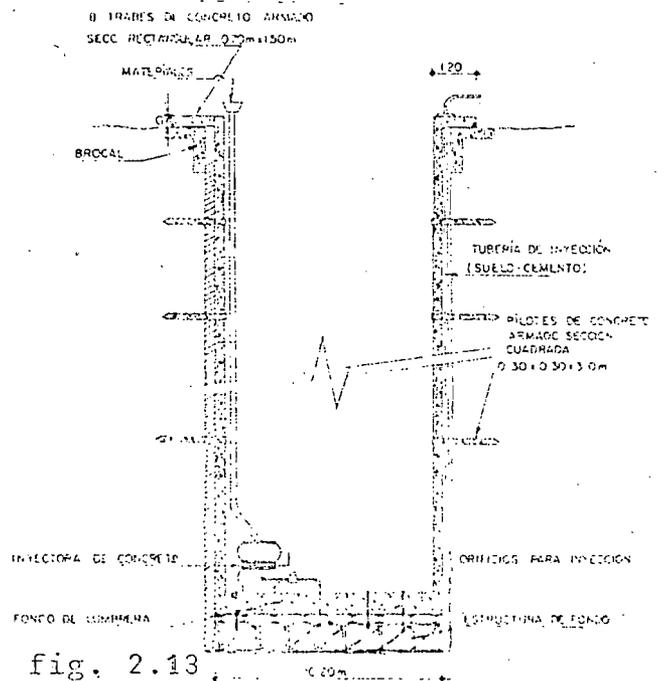


fig. 2.13

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 ésto un mejor asentamiento del dondo de la lumbrera. -- También el revestimiento se ligaba al terreno por medio de pilotes horizontales de concreto armado (fig. No. 2:13;) terminados en punta de sección cuadrada en unas preparaciones previamente hechas en el revestimiento, además estaba unido al brocal por medio de 8 trabes de concreto armado, de 0.70 m. x 150 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.

TECNICA DE 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 hexágono circunscribiendo a un círculo cuyo diámetro era de 9 m., 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.

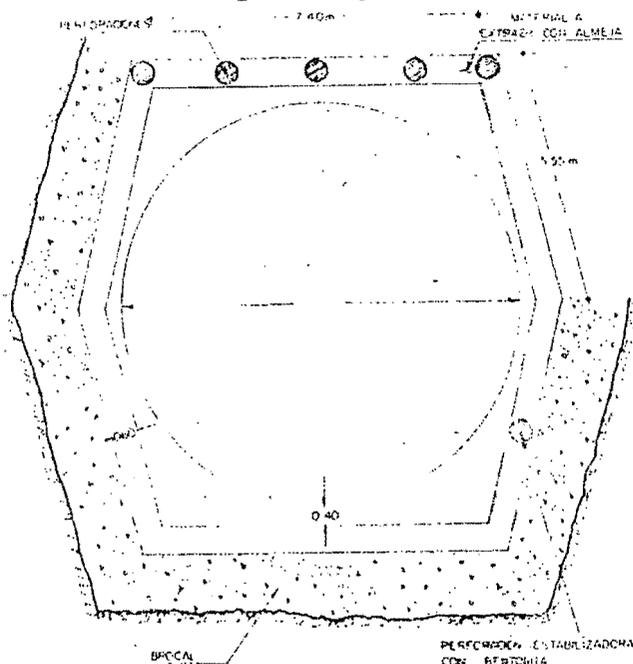
Posteriormente se hicieron perforaciones de 0.60 m. de diámetro a toda la profundidad, estabilizando las paredes con bentonita. Las perforaciones tenían entre sí una distancia de aproximadamente 2 m. y siempre se hacían coincidir con las esquinas de los lados del hexágono. El material dejado -



Ademe a base de dovelas de Concreto

ante las perforaciones era extraído por medio de una almeja, estabilizando las paredes con bentonita.

Lo anterior se explica gráficamente en la figura --
No. 2:14.



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. 2:15). El concreto iba desplazando a la bentonita por diferencia de densidades hasta finalizar con el colado de una de las paredes del re-vestimiento primario, para continuar con la siguiente, y así sucesivamente hasta completar con el hexágono. Para las jun- tas de colado se dejaba una tubería que impedía que el con- creto se saliera de su lugar, y era extraída una vez que el concreto tenía su fraguado inicial.- Fig. No. 2:16.

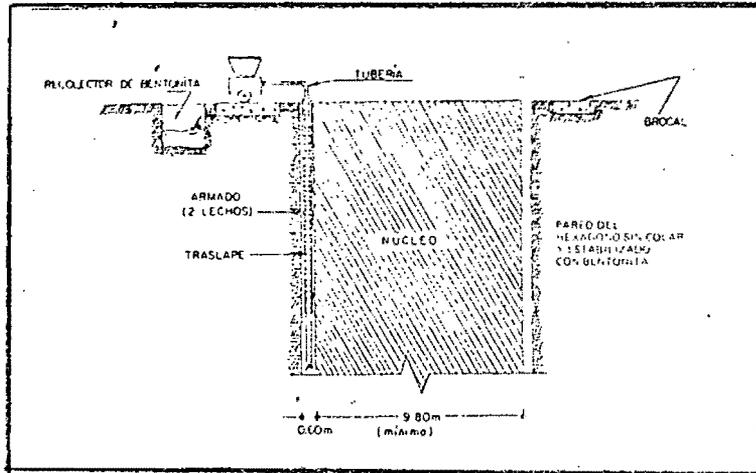


fig. 2.15

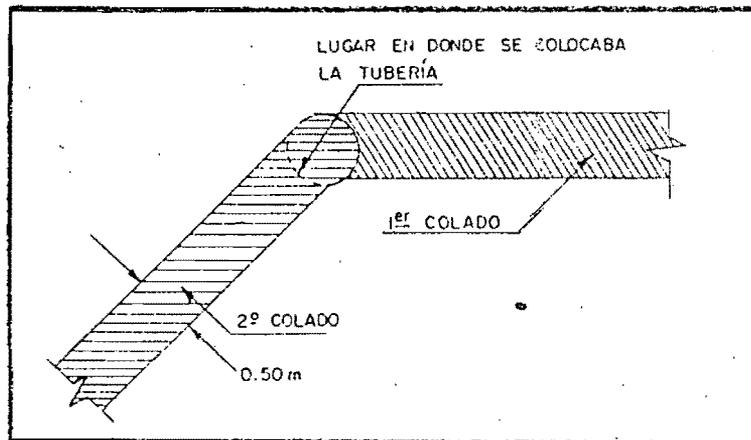


fig. 2.16

DETALLE DE LA JUNTA DE COLADO.

Una vez coladas las paredes del hexágono, 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 hexágono. (Fig. 2"17

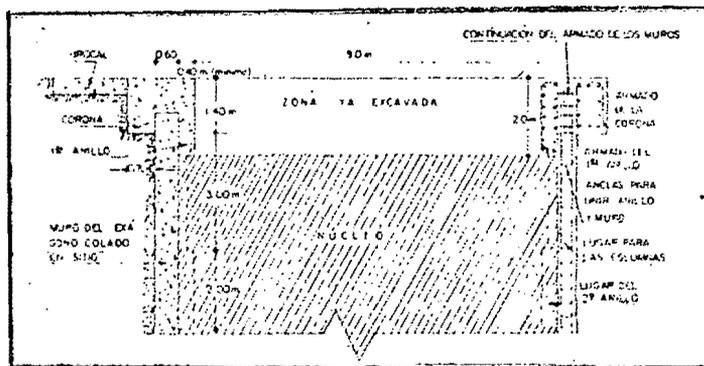


fig. 2.17

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 hexágono, unas pequeñas columnas cuyo armado era anclado al de las paredes del revestimiento y servían para disminuir las filtraciones, separar los anillos y dar mayor rigidez a la estructura. Las columnas tenían una altura de 3 m. (fig. 2:18.)

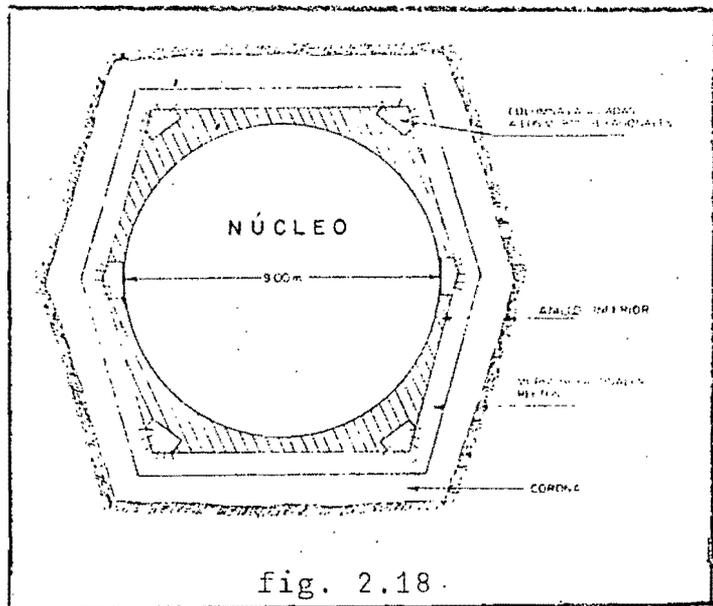


fig. 2.18.

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 concavo 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. 2:19.

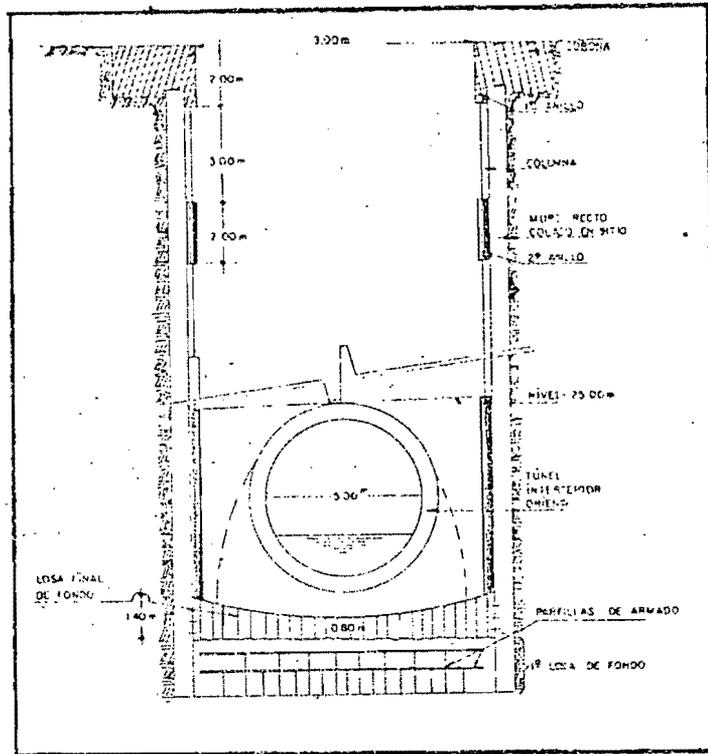


fig. 2.19

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.

Localizado el eje de la lumbrera se procedió a marcar en el campo un polígono de 16 lados iguales (fig. 2:20)

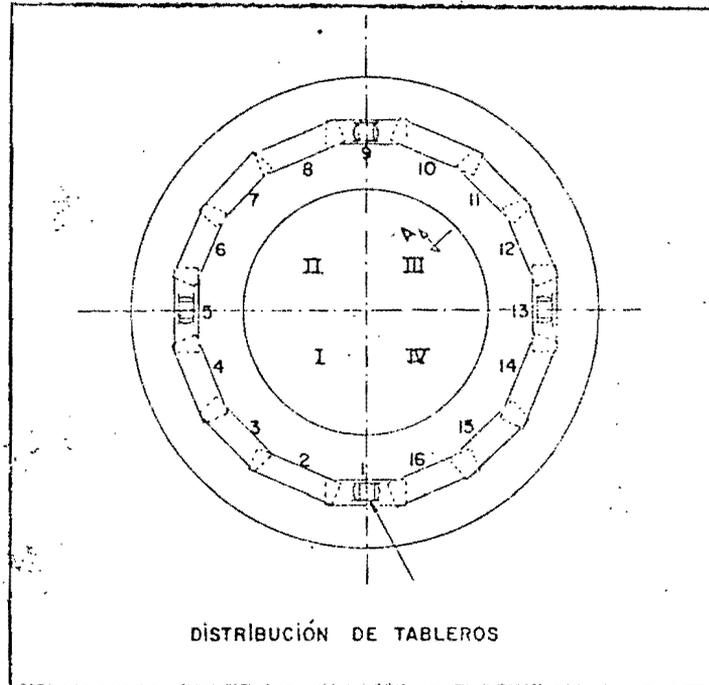


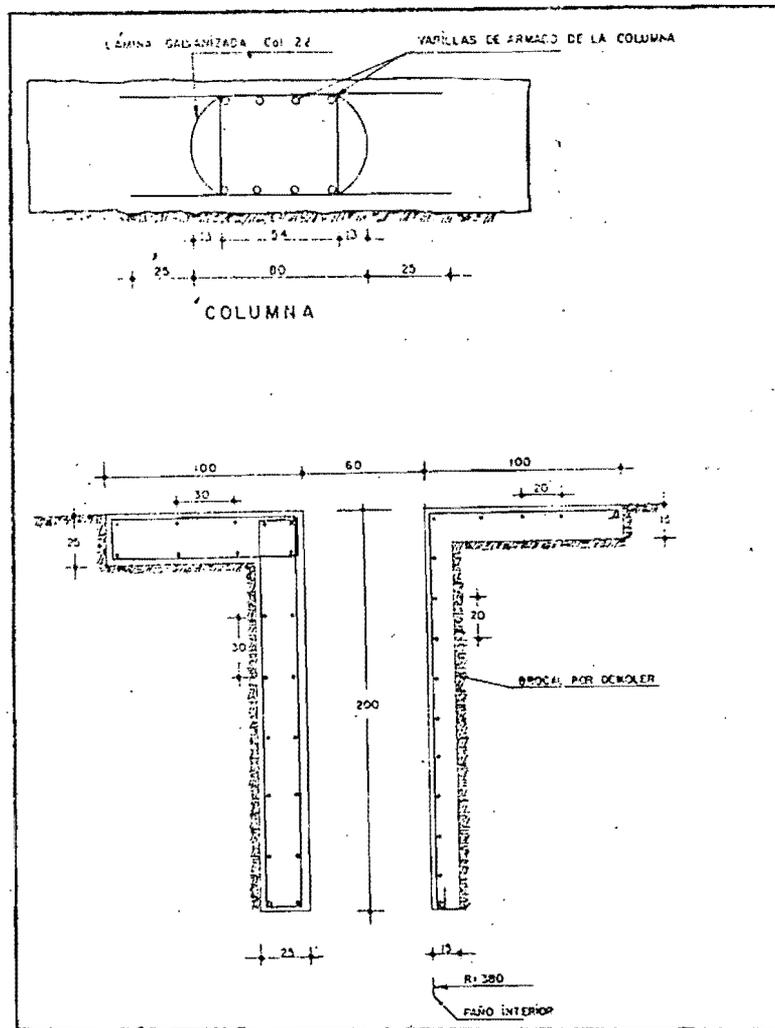
fig. 2.20

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. 2:20 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. 2"21).
- 3.- Colado bajo lodo bentonítico, un tubo tremie de la columna A.
- 4.- Excavación del tablero No. 5.
- 5.- Colocación del armado de acero de refuerzo de la columna B.
- 6.- Excavación del tablero No. 2.
- 7.- Excavación del tablero 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 siguió 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. 2:22)

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 pulse-tas anchas del tipo pala. Con esta herramienta se abría -- el espacio (fig. 2:23) necesario para que entrara una do-vela y así sucesivamente hasta completar el anillo que for-ma el ademe de la lumbrera. Al mismo tiempo que se coloca-ban los anillos, éstos se iban anclando al terreno, y cada - 3 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 priximidad del brocal, la cual con un bote de aproximadamente 0.8 m³ sa- caba el material producto de la excavación.

Previamente al inicio de la excavación de la lumbrera se perforaron exteriormente a ésta, pozos para el abatimien- to del nivel freático y control de filtraciones, logrando -- con ello una excavación en seco. Estos pozos se dejaron fun- cionando durante toda la etapa de excavación de la lumbrera

CAPITULO 3.-

EXCAVACION CON ESCUDO ABIERTO Y AIRE COMPRIMIDO.

La construcción de túneles en suelos blandos como los de la Ciudad de México, plantea entre otros, el problema de la estabilidad del frente de ataque, cuya solución requiere de técnicas especiales. El aire comprimido es una solución que se ha empleado con éxito en otros países. Sin embargo, su adaptación a las condiciones de altitud del Valle de México exige una revisión cuidadosa del comportamiento físico del elemento humano.

Por aire comprimido a baja presión, se entiende aire comprimido a una presión algo mayor que la atmosférica -- introducido al túnel y confinado ahí dentro durante la construcción, para contrarrestar la tendencia del agua y del terreno a fluir dentro de la excavación.

El procedimiento de excavación de túneles mediante el uso combinado de escudo de frente abierto -aire comprimido- abatimiento del nivel freático, es una de las más valiosas experiencias adquiridas en los trabajos que aún en la actualidad se realizan para dotar a la Ciudad de México de un sistema de drenaje profundo.

Este sistema combinado asegura realizar una excavación en seco, ya que el abatimiento a base de pozos profundos disminuye considerablemente la aportación de agua hacia el túnel. El aire comprimido controla las presiones persistentes en los mantos arenosos y en el caso de arcillas extruibles las estabiliza o por lo menos, aumenta su factor de seguridad en la estabilidad del frente; también contrarresta el flujo de agua hacia la excavación. Por su parte el escudo -- sirve para resistir las presiones del terreno y facilita el montaje del ademe, a la vez que ofrece protección a los trabajadores que laboran en su interior.

Antes de dar inicio a los trabajos de excavación, se hace necesario realizar pruebas de bombeo, de laboratorio y médicas.

a).- Las pruebas de bombeo ayudarán a determinar la profundidad de perforación de los pozos, su diámetro, diámetro del ademe, la clase del filtro y el tipo y capacidad de las bombas.

b).- Las pruebas de laboratorio tienen como objeto analizar las propiedades mecánicas del medio donde será excavado el túnel y, en función de ellas, verificar el procedimiento constructivo más adecuado. Las recomendaciones dadas por la mecánica de suelos para las pruebas correspondientes se hacen presentes en este tipo de estudios.

c).- El fin de las pruebas médicas es el de investigar el comportamiento físico de los trabajadores bajo condi-

Ciones semejantes a las que tendrán durante las labores. Dichas pruebas consisten en calcular los tiempos de descompresión para distintas presiones de trabajo y diferentes períodos de labor. Afortunadamente la Ciudad de México, cuenta ya con tablas de descompresión, que pueden ser aplicadas en excavaciones futuras cuando se tengan condiciones semejantes. Las tablas mencionadas se obtuvieron a partir de las Tablas de Washington, D . C. de 1971. Estas hubo la necesidad de modificarlas ya que sólo sirven para trabajos al nivel del mar y la Ciudad de México se encuentra a 2,246 m. s.n.m. La modificación se llevó a cabo con la siguiente fórmula.

$$P_c = \frac{P.n.m.}{P_B} P_t$$

donde:

P_B = Presión brométrica del lugar de trabajo.

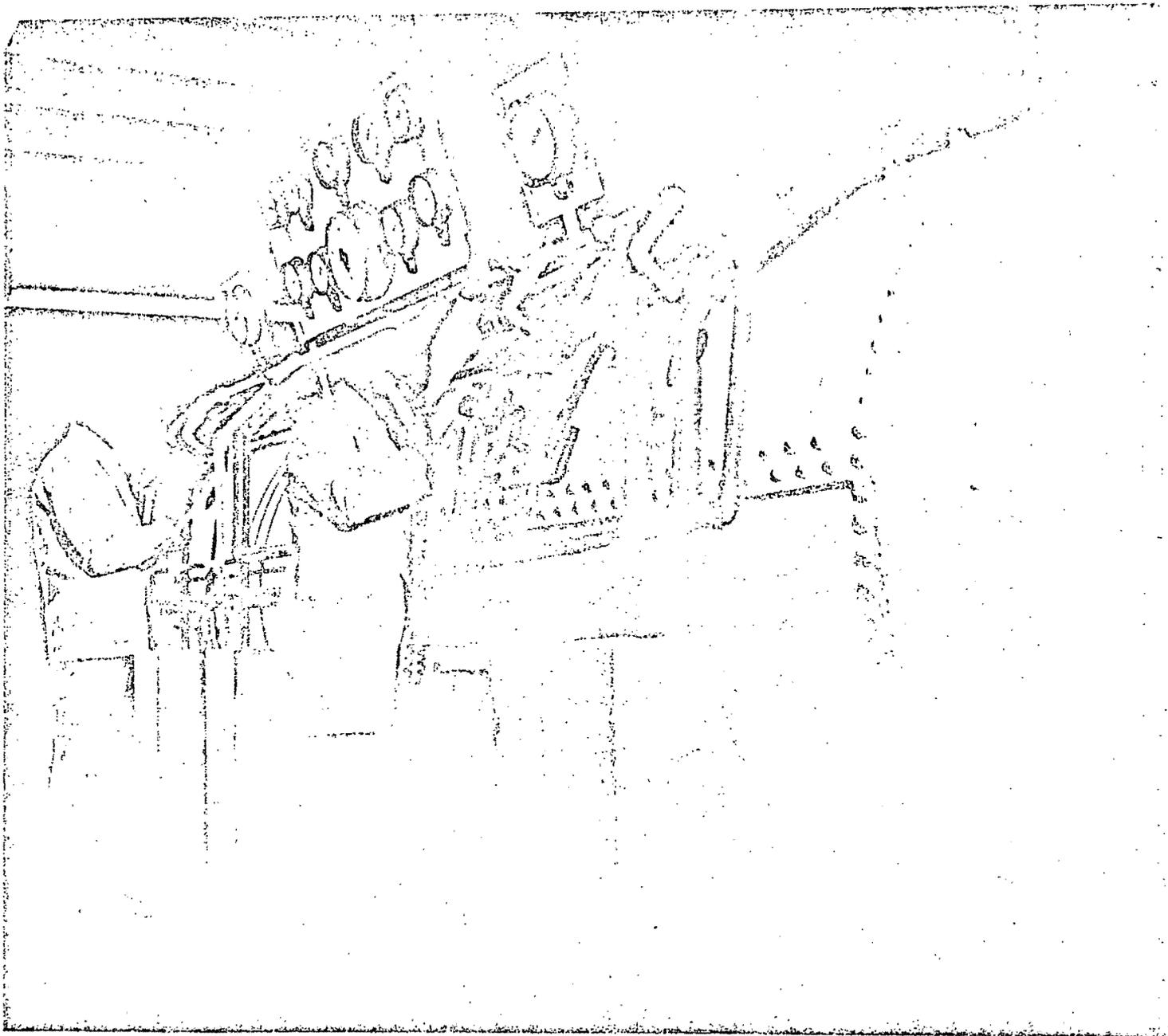
P.n.m. = Presión barométrica al nivel del mar.

P_t = Presión de trabajo.

P_c = Presión corregida por altitud.

Además:

P_t = H - 4C



*Pruebas al personal en la cámara hiperbárica
con la vigilancia del médico*

Siendo:

- H = Presión total a la profundidad media del túnel.
C = Cohesión de la arcilla en prueba no drenada.

Al final de este capítulo se anexan tablas de descompresión para las Ciudades de Washington y México, así como resultados obtenidos en nuestra Ciudad de pruebas de compresión en cámara médica realizadas con el fin de investigar el comportamiento físico de los trabajadores bajo condiciones semejantes a las que se podrán tener en casos futuros.

Sistema de aire comprimido.

El sistema de aire comprimido a baja presión debe ser diseñado con base a las condiciones de estabilidad del frente, el equipo con que se cuenta y las dimensiones del túnel.

El sistema está integrado por los siguientes elementos:

- 1.- Planta de compresores.
- 2.- Sistema de enfriamiento.
- 3.- Separador de aire-aceite.
- 4.- Tuberías para la conducción del aire comprimido.
- 5.- Válvula reguladora.
- 6.- Mampara.
- 7.- Esclusa de personal
- 8.- Esclusa de rezaga

- 9.- Panel de instrumentos
- 10.- Instalaciones para pruebas médicas.
- 11.- Planta de emergencia.

La planta de compresoras suministra aire comprimido al túnel. El volumen de aire requerido se calcula en términos de fórmulas empíricas que relacionan las características del suelo con el diámetro del túnel, y en base a esta relación, se determina el número y capacidad de los compresores.

De estudios efectuados en otros países, se ha determinado que la capacidad de una instalación para trabajos de túneles bajo aire comprimido, puede expresarse con la siguiente relación.

$$C = 12 D^2$$

Para terrenos arcillosos.

En terrenos formados por arenas, gravas y similares, la capacidad requerida se obtiene de la fórmula:

$$C = 24 D^2$$

donde:

C = Capacidad en pies cúbicos de aire libre por minuto.

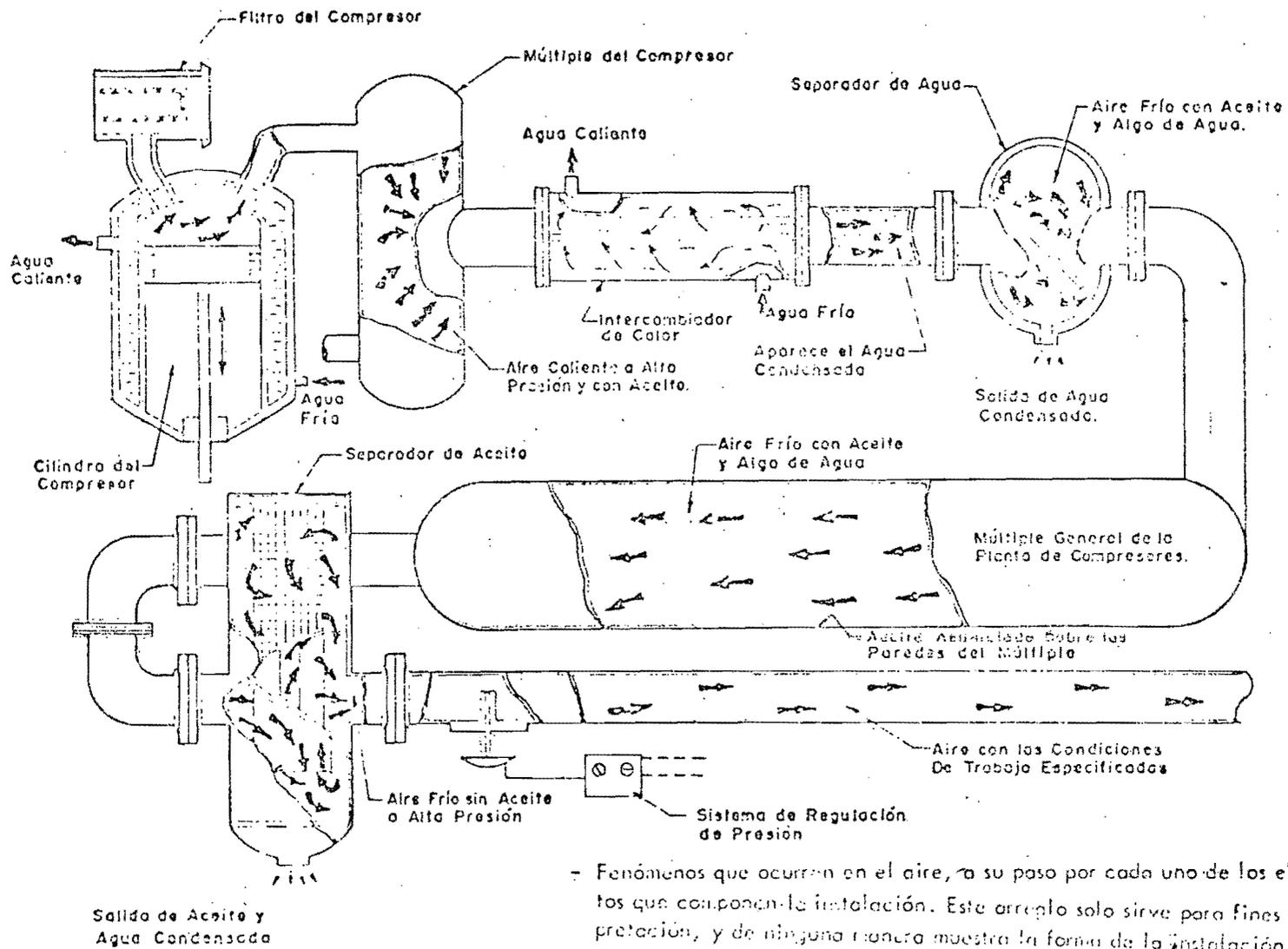
D = Diámetro exterior del túnel en pies.

El aire al ser comprimido se calienta a elevadas temperaturas por lo que es necesario conducirlo a un intercambiador de calor y posteriormente, a la salida de la instalación, a un separador de aceite, dejando así al aire en condiciones óptimas de salubridad. La fig. 3.1 presenta el arreglo de este equipo.

La válvula reguladora tiene como objeto, mantener -- constante la presión en el túnel, de tal manera que si hay -- pérdidas a través del terreno u otras, el mecanismo de dicha válvula sube la presión automáticamente al límite que se haya establecido.

La mampara es una placa de acero que se instala dentro del túnel y se sella perfectamente a él para mantenerla hermética . Dicha mampara sirve como tapón y delimita la zona presurizada de la zona de aire libre.

Empotradas a la mampara, se tienen dos cámaras cilíndricas de dimensiones desiguales. La menor de ellas se coloca en la parte superior de la mampara y recibe el nombre de " Esclusa de Personal". La segunda se denomina " Esclusa -- de Rezaga" y se sitúa abajo de la primera. Por medio de las esclusas es posible mantener el tráfico de personal y materiales sin necesidad de variar la presión en el túnel. Ambas cámaras cuentan con líneas de alimentación de aire, escape de aire, iluminación, agua, contra incendio e intercomunicación. Cada esclusa tiene dos accesos que abren hacia el lado del aire comprimido con el objeto que la presión mayor les haga cerrar. La fig. 3.2.- nos muestra una vista -- de la mampara y la colocación de las esclusas.



- 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.

fig. 3.1

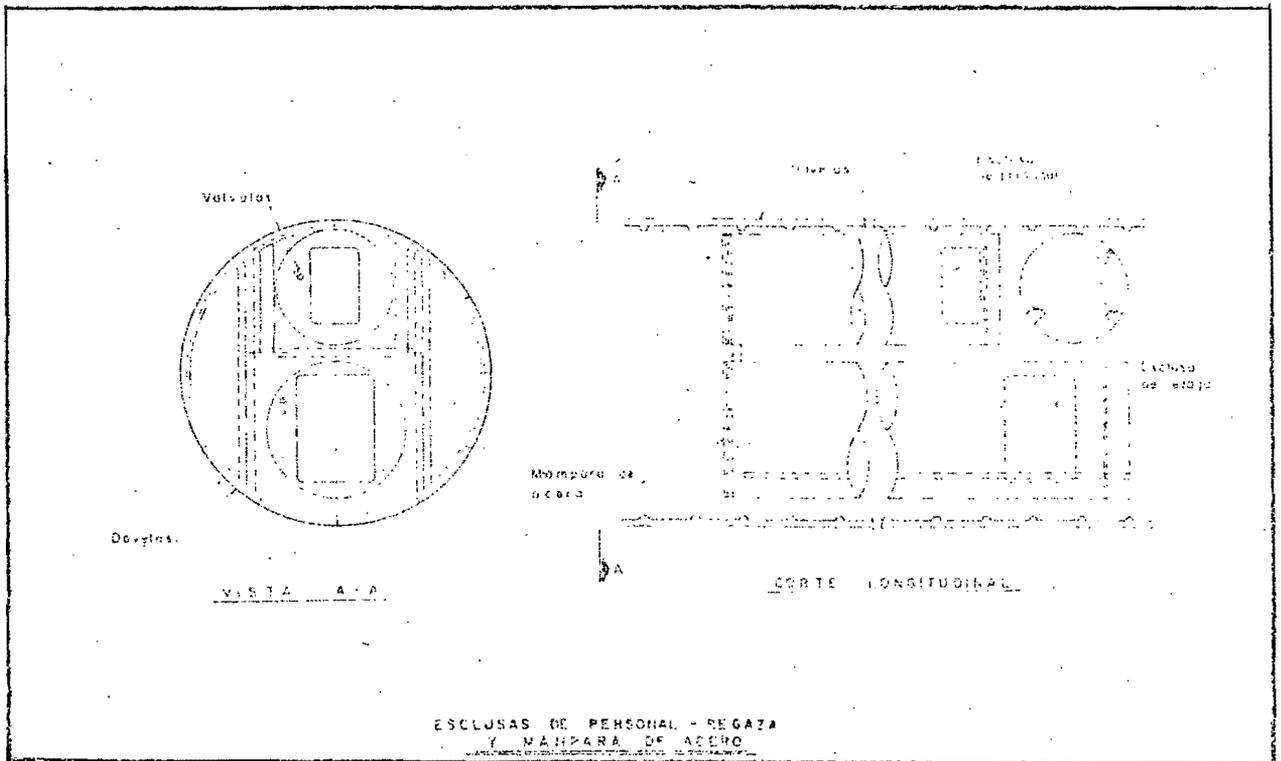


fig. 3.2

Las esclusas pueden ser operadas desde el exterior -- o interior ya que cuentan con tableros de control en ambos la dos, los cuales están equipados con manómetros, reloj, grafica dor de presión, termómetro y teléfono con comunicación a los - puntos claves del sistema. A un lado del tablero se encuen-- tran las válvulas de alimentación y escape de las esclusas y- la válvula de ventilación de la cámara de trabajo.

El control médico del personal es el aspecto más impor-- tante en este tipo de obras, ya que el trabajar en ambiente hi perbarico expone al cuerpo a enfermedades por descompresión. - Por tal motivo, es indispensable contar con un servicio médico especializado cuyas funciones principales sean:

- a).- Selección de trabajadores
- b).- Vigilancia médica.
- c).- Tratamiento de enfermedades.
- d).- Elaborar las normas de seguridad.

En términos generales la selección del personal debe- cumplir con los siguientes requisitos:

- a).- Integridad física.
- b).- Capacidad para desarrollar ejercicio físico.
- c).- No rebasar el 20% de sobrepeso.
- d).- Edad inferior a los 35 años.
- e).- Aptitud para igualar presiones en los senos -- paranasales y oídos.
- f).- No padecer enfermedades de pulmón, oídos o ar- ticulaciones.

Para prever una falla de energía eléctrica se debe instalar, en el sistema de aire comprimido, una planta de emergencia, tal que permita restablecer la energía en pocos minutos para poner en funcionamiento los compresores, la iluminación del túnel, el malacate de personal, y todo aquél equipo que requiera de energía eléctrica para funcionar.

Dentro del túnel se instala un sistema de luces de emergencia, el cual consta de una serie de lámparas alimentadas por acumuladores, que entren en funcionamiento al cortarse la energía eléctrica proveniente de la subestación.

Procedimiento de construcción.-

El procedimiento de construcción cuando se emplea aire comprimido en la excavación de túneles, prácticamente es el mismo que se sigue cuando se utiliza únicamente escudo de frente abierto que, como se recordará, tiene como actividades críticas en su ciclo de operaciones a la rezaga, el empuje del escudo y la colocación de un anillo formado por dovelas, y como actividades secundarias tiene la excavación, ademe del frente, ajuste de tornillos de los segmentos, manto, bajada de materiales e inyección de gravilla y lechada.

El empleo del aire comprimido requiere, además de las actividades anteriores, de tiempos de compresión para poder entrar a la cámara de trabajo, y tiempos de descompresión al salir de la misma. Estos tiempos son de gran im-

portancia, sobre todo, cuando la compresión o descompresión se realiza con personal, por tal motivo, se requieren estudios exhaustivos para determinarlos, pues tiempos inadecuados originarían desde simples dolores de cabeza, hasta graves enfermedades que pondrían en peligro la vida de la persona. Cuando se trata con la rezaga u otros materiales, los tiempos referidos deben ser los más cortos posible para acelerar el ciclo de excavación.

La compresión o descompresión tanto de personal como de materiales se lleva a cabo en las esclusas correspondientes, las cuales funcionan de la misma manera y conforme a -- los siguientes pasos:

Si se desea llegar a la cámara de trabajo:

- a).- Se entra a la esclusa y se cierra la compuerta A.
- b).- Se comienza a presurizar la esclusa hasta que se nivela a la presión del frente de ataque.
- c).- Igualadas las presiones se puede abrir la compuerta B. que permite el acceso a la zona de excavación. La compuerta A queda en este momento prácticamente imposibilitada para abrirse, ya que la presión aplicada a la esclusa no lo permite.

La figura 3.3.- nos muestra la forma como se logra entrar o salir de la zona de aire comprimido.

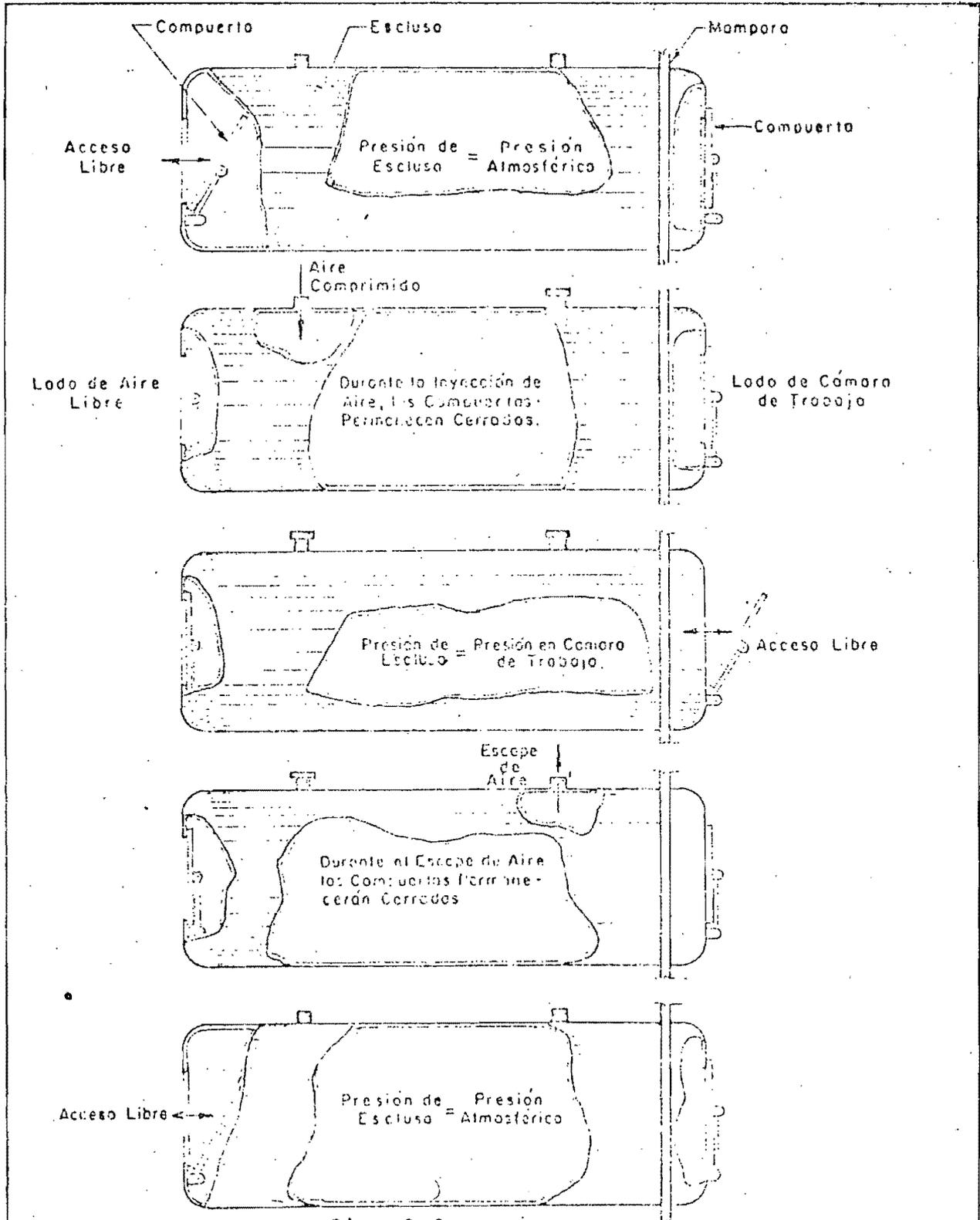


fig. 3:3

- 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 rezago.

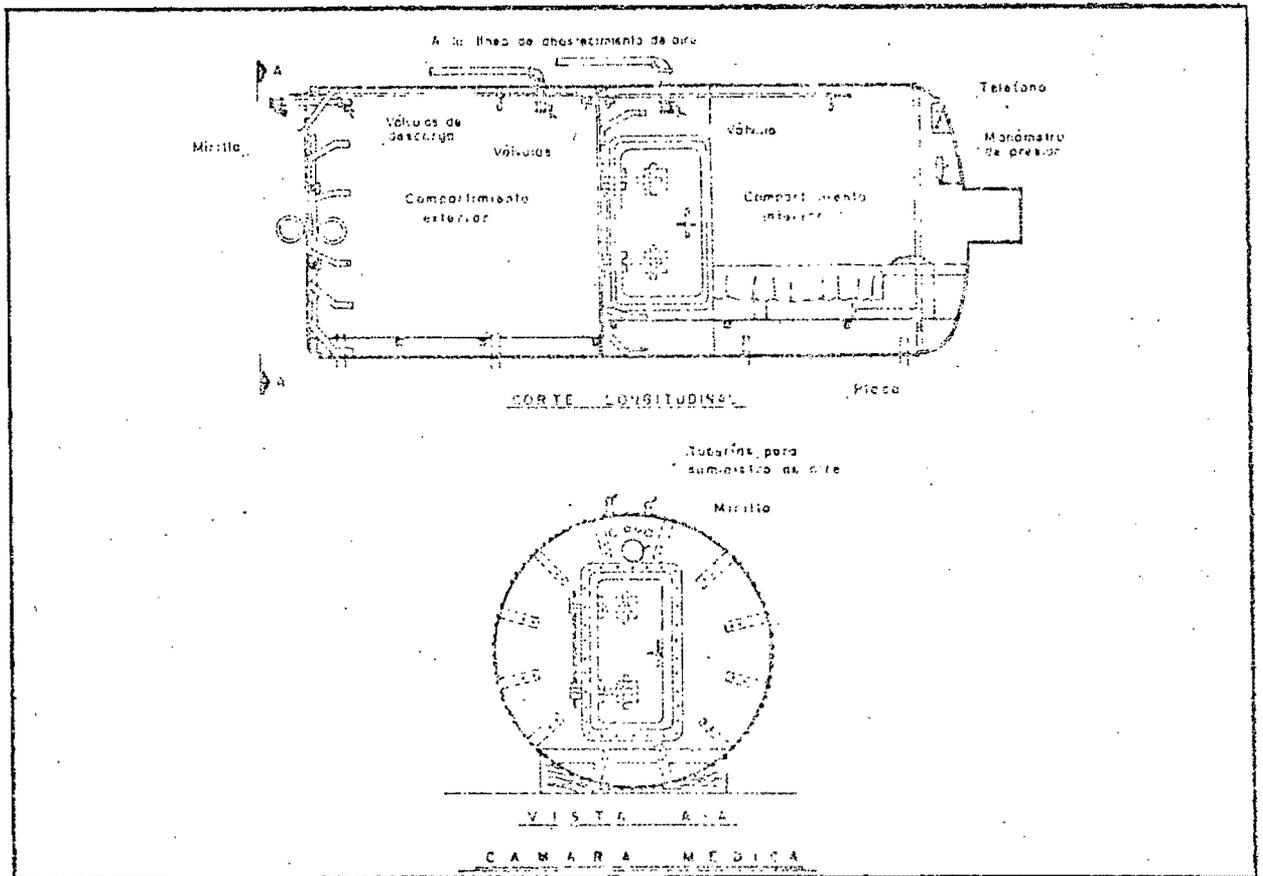
Si se desea salir de la cámara de trabajo:

- a).- Se entra a la esclusa por la compuerta B. y se cierra ésta.
- b).- Se descomprime la esclusa conforme a los intervalos de tiempo, calculados previamente.- La descompresión se logra abriendo la válvula de escape.
- c).- Lograda la descompresión total, se puede --- abrir la compuerta A para pasar a la zona de aire libre.

Fuera del túnel se cuenta con una cámara médica, recipiente cilíndrico que funciona igual que la esclusa de -- personal.

Se utiliza para someter a tratamiento a aquéllos -- trabajadores que después de ser descomprimidos presentan alguna molestia producto de su permanencia dentro del túnel.- Las instalaciones de la cámara médica se muestran en la --- Fig. No. 3.4.-

Las instalaciones en general se muestran en la Fig. 3.5.-



flg. 3.4

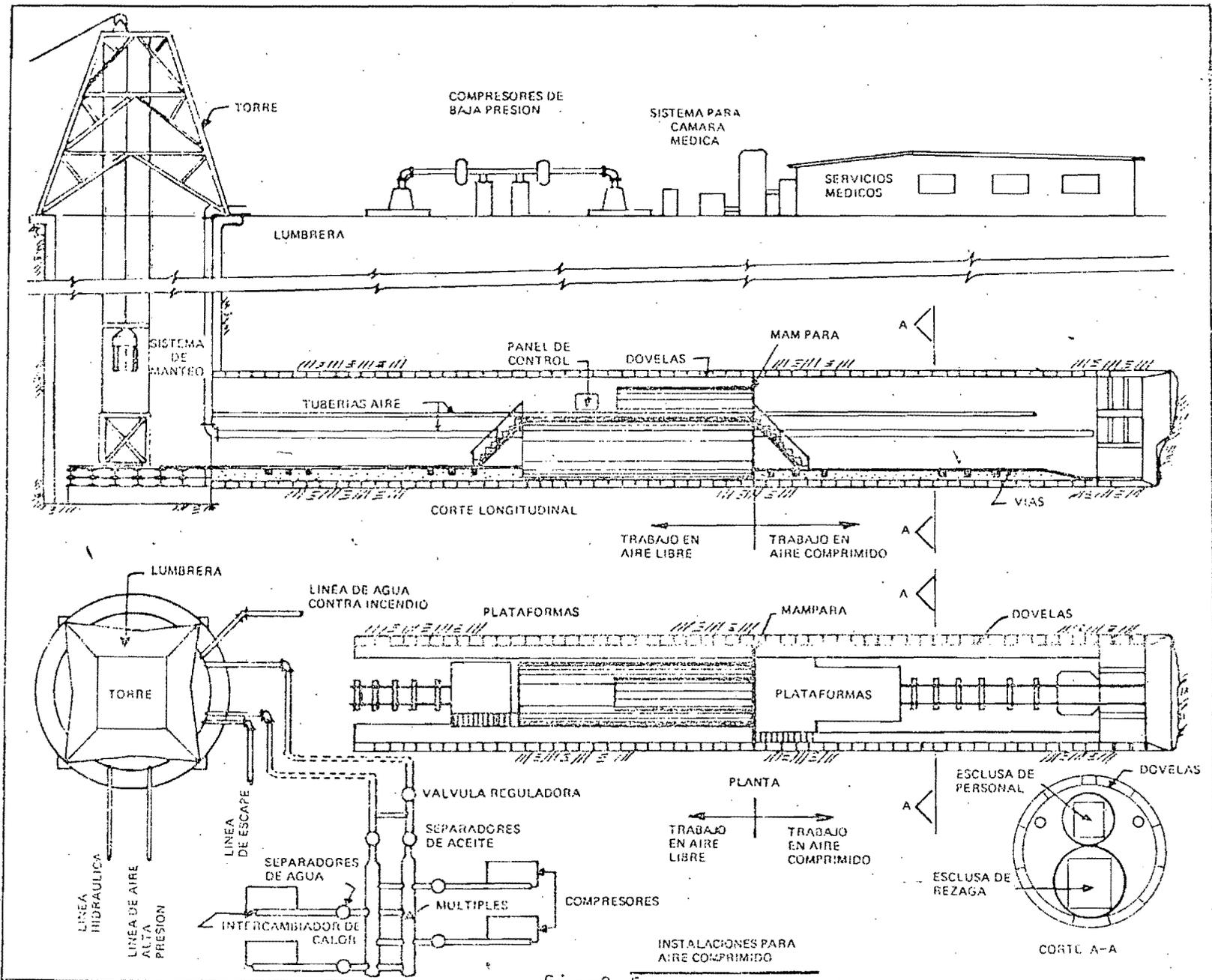


Fig. 3.5

PRUEBAS DE COMPRESION EN CAMARA MEDICA.

P	Pe	T	N	E	I
1	0.8	8	22	0	0
2	0.9	8	20	0	0
3	1.0	4	11	0	0
4	1.0	8	20	0	0 *
5	1.0	8	21	0	0
6	1.1	3	12	0	0
7	1.1	8	20	0	0
8	1.2	4	10	0	0
9	1.2	6	29	0	0
10	1.3	4	10	0	0
11	1.3	6	32	0	0
12	1.4	4	11	0	0
13	1.4	6	22	0	0
14	1.5	4	11	0	0
15	1.5	5	46	0	0
16	1.5	6	30	1	1
17	1.6	4	9	0	0
18	1.6	6	22	0	0
19	1.7	4	5	0	0
20	1.7	6	32	1	3
21	1.8	4	10	0	0
22	1.8	5	21	1	1
23	1.8	6	35	3	3
24	1.9	3	5	0	0
25	1.9	6	22	0	1
26	2.0	3	5	0	3
27	2.0	4	39	1	2
28	2.0	5	20	4	2
29	2.0	6	26	1	3 *

donde:

- P : Prueba.
 Pe : Presión en Kg/cm².
 T : Exposición en Horas
 N : Número de Personas
 E : Número de casos de enfermedades por descompresión
 I : Número de casos de intolerancia al aire comprimido.
 * : Se usó máscara de oxígeno.

TABLA DE TIEMPOS DE DESCOMPRESION.

Washington, D. C. 1971

Presión de Trabajo Pisg	PERIODO DE LABOR (HORAS)										
	1/2.	1	1 1/2	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	6	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	137	151
26	13	14	29	34	69	104	125	141	142	142	163
28	15	23	31	41	98	127	143	153	153	165	183
30	17	28	38	82	105	143	165	168	178	188	204
32	19	35	43	85	126	163	178	193	203	213	226
34	21	39	58	98	151	178	295	218	223	233	248
36	24	44	63	113	170	198	223	233	243	253	273
38	28	49	73	128	178	203	223	238	253	263	278
40	31	49	84	143	183	213	233	248	258	278	288
42	37	56	102	144	189	215	215	260	263	268	293
44	43	64	118	154	199	234	254	264	269	269	293
46	44	74	139	171	214	244	269	274	289	299	318
48	51	89	144	189	229	249	299	309	310	319	---
50	58	94	164	209	249	279	309	329	---	---	---

(Tiempo de descompresión en minutos)

TABLA DE TIEMPOS DE DESCOMPRESION.

México, D. F. 1978

Presión de Trabajo Kg/cm.2	P E R I O D O D E L A B O R (H O R A S)										
	1/2.	1	1 1/2	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	123	167	182	197	207	218	231
1.8	22	40	59	99	152	181	197	220	226	236	254
1.9	24	44	64	113	172	200	224	236	244	256	277
2.0	28	49	73	128	180	207	227	241	256	266	281
2.1	32	50	83	142	185	215	235	249	261	272	293
2.2	36	55	99	147	191	218	245	260	265	272	297
2.3	43	63	115	154	200	232	255	268	271	273	297
2.4	44	70	130	164	207	240	262	269	280	285	310
2.5	48	80	146	183	224	256	280	292	---	---	---
2.6	55	89	160	201	244	274	303	319	---	---	---

(Tiempo de descompresión en minutos)

CAPITULO 4

EXCAVACION CON ESCUDO DE FRENTE
PRESURIZADO Y LODO BENTONITICO

En el subsuelo del Valle de México, se han construido o están en proceso de construcción varios túneles que se desarrollan tanto en la formación arcillosa blanda típica de la zona, como en formaciones periféricas de tipo arenoso o de abanico aluvial.

Cuando los túneles se construyen en campo abierto, las pérdidas del material en el interior de la galería, así como los asentamientos en la superficie del suelo causados por la excavación, tienen poca importancia; salvo que afecten la estabilidad de los ademes. Pero cuando estos túneles son construidos en áreas urbanas muy pobladas, los movimientos superficiales afectan construcciones vecinas.

La excavación de un túnel produce en el suelo, movimientos horizontales y verticales a su alrededor, ocasionando con ésto un asentamiento en la superficie del terreno.

Actualmente podemos suponer que el volumen del asentamiento en la superficie del terreno, es igual al volumen de material que se retira en exceso, del volumen de excavación de la propia galería.

El tamaño de los asentamientos estará ligado a la naturaleza del suelo y podrá reducirse con un buen trabajo de ademado.

Las pérdidas de suelo dependen también del método constructivo, de la influencia del suelo y de las condiciones del agua subterránea.

En los suelos granulares sin cohesión, es normal -- que exista flujo de arena al interior del túnel, sobre todo en suelos sueltos que pueden provocar asentamientos importantes, éstos pueden controlarse dándoles cohesión por inyectado o bien ademando por completo en el techo, las paredes y el frente de excavación. En túneles bajo el N.A.F., lo más conveniente es abatir éste y drenar los suelos hasta crearles la cohesión aparente.

En los suelos con cohesión y fricción, podemos incluir varios tipos de suelos como son: arenas arcillosas, arcillas arenosas, limos plásticos, algunos de los suelos residuales, los loes y muchas arcillas calcáreas. Las pérdidas de suelo y los asentamientos de estos materiales suelen

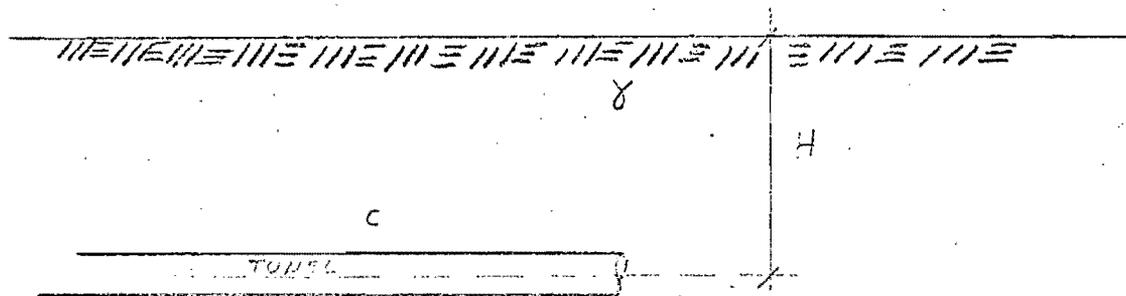
ser pequeños y se pueden reducir acuñando el ademe contra el suelo.

Para las arcillas firmes no expansivas, se pueden tener comportamientos muy favorables, en cuanto a pérdida de suelo, pero pueden presentar fisuración muy desarrollada y como no son muy sensibles al flujo de agua, las pérdidas de suelo que tienen lugar se producen por medio de flujo plástico hacia el interior del túnel, a través del ademe provisional que es a base de marcos separados y retaque de madera.

En las arcillas blandas saturadas, al excavar un túnel se produce una alteración estructural en el suelo que lo rodea que puede extenderse varios diámetros, esta alteración hace que las pérdidas de suelo tiendan a ser de gran magnitud a causa de un flujo plástico poco perceptible pero continuo hacia el centro de la galería, lo que ocasiona una depresión en la superficie del terreno.

Un efecto importante en estos túneles es que los asentamientos usuales debidos a pérdidas de suelo, pueden ir seguidos por otros causados por la consolidación de la zona de remoldeo en torno a la galería, bajo el peso del suelo.

El concepto de carga sobre el techo, está basado - en que una cierta altura de material debe ser soportada por el ademe, que puede valuarse como la presión al eje del túnel.



- γ = Peso volumétrico del material
- H = Profundidad al eje del túnel
- C = Cohesión del suelo en prueba no drenada.

La presión vertical total a la profundidad media - del túnel es $= \gamma^H$

En las arcillas, las condiciones de estabilidad - del frente de ataque dependen de la resistencia no drenada de las mismas; la resistencia a largo plazo, en términos - de esfuerzo efectivo, solamente tendrá importancia si el - frente se deja expuesto y sin soporte durante mucho tiempo.

Es posible analizar las condiciones de estabilidad a corto plazo del frente de excavación de un túnel en arcilla, en la práctica pueden influir muchos factores que la teoría no toma en cuenta.

Broms y Bennermark analizaron el equilibrio de una masa de arcilla en torno a una ranura estrecha y horizontal practicada en una pared que la sostenga. Basaron sus estudios en una superficie cilíndrica de falla como la que se muestra en la figura (4.1), la falla de la arcilla ocurre cuando la presión vertical total correspondiente al centro de la ranura horizontal (que representa el frente de excavación de un túnel), llega a exceder 6.28 veces el valor de la cohesión C (resistencia en prueba no drenada de las arcillas).

$$PH = \gamma H > 6.28C.$$

Si la ranura se transformara en un orificio circular, la relación anterior se elevaría a 7.5. Si el ancho de la ranura fuera grande en comparación a la profundidad a la que está situada, la estabilidad puede ser analizada conforme a la figura (4.2), en este caso el valor crítico de la relación $\frac{\gamma H}{C}$, se determina con la siguiente ecuación:

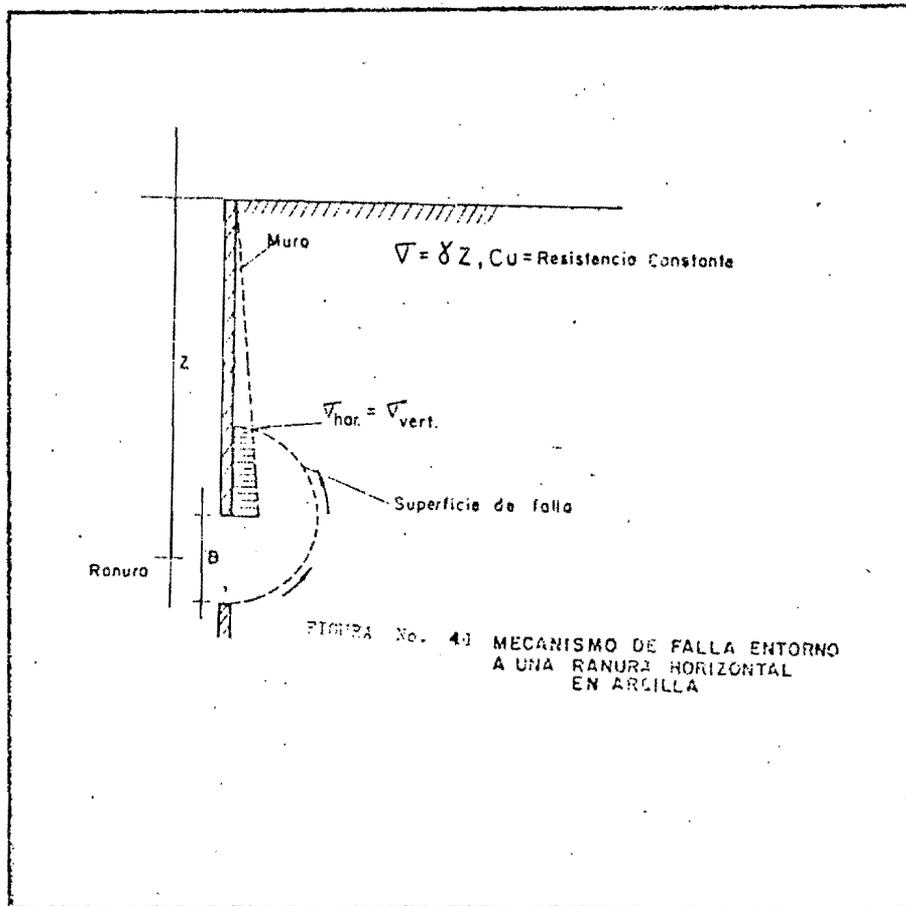
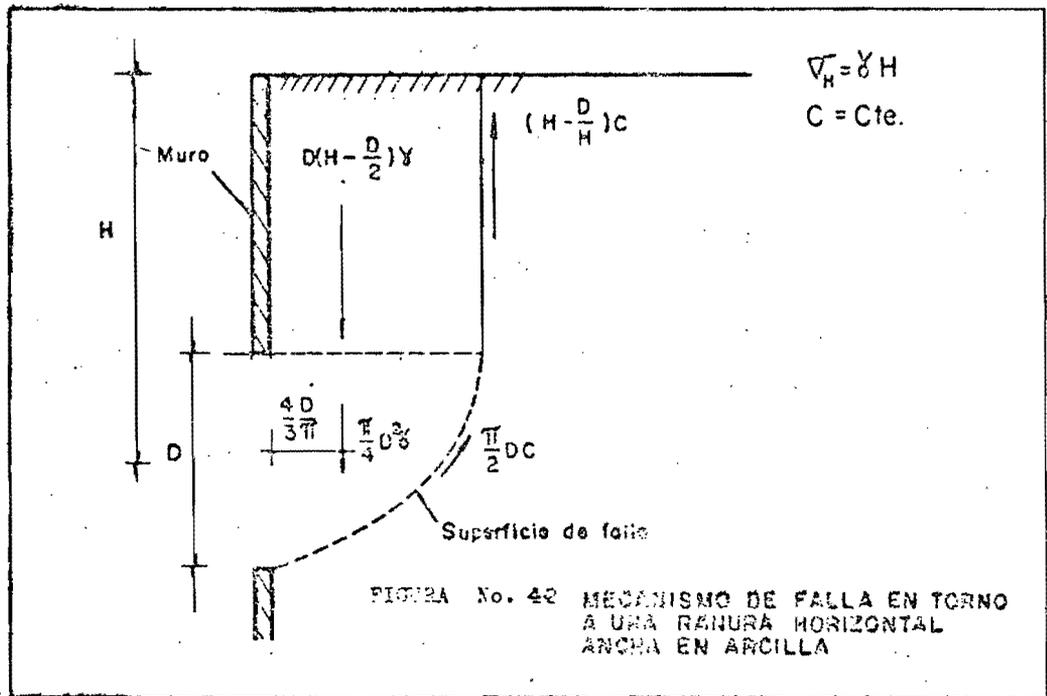


FIGURA No. 4.3 MECANISMO DE FALLA ENTORNO
 A UNA RANURA HORIZONTAL
 EN ARCILLA

$$\left(\frac{\sigma_H}{c}\right)_{crit.} = \frac{2 \frac{H}{D} + \pi - 1}{1 + \frac{1}{6} \frac{D}{H}}$$



$$\left(\frac{\gamma H}{C} \right)_{\text{crit}} = \frac{2 \frac{H}{D} + \pi - 1}{1 + \frac{D}{6H}}$$

A la relación de $\frac{\gamma H}{C}$ se le conoce como factor o relación de sobrecarga.

Con los experimentos realizados, Broms y Bennermark, demostraron que el valor crítico de $\frac{\gamma H}{C}$ es sin duda, del orden de 6.

Si la resistencia de la arcilla aumenta con la profundidad, la falla en el túnel ocurre cuando $\gamma H > 6C$ para H/D 4 a 5 y las deformaciones suelen ser de naturaleza plástica.

Las arcillas duras y fisuradas pueden resultar muy-sensibles a los procesos de deformación que acompañan a la redistribución de esfuerzos, por lo que pueden presentar signos de inestabilidad en el frente para valores de $\frac{\gamma H}{C} > 6$

Cuando $\frac{\gamma H}{C}$ 2 a 3 los movimientos suelen ser pequeños y de naturaleza más bien elástica.

Para valores más allá de ese límite comienzan las grandes deformaciones plásticas.

Ahora bien, si las arcillas fluyen hacia el excavación en el frente de ataque de un túnel; cuanto lo hagan, dependerá del procedimiento de construcción, de la velocidad de avance, de la rigidez de las arcillas y de la relación $\frac{\gamma H}{C}$.

El escudo es el método normal de excavación de túneles en arcillas blandas y se han desarrollado sistemas -- que tienden a producir la mínima alteración del material en torno a la galería.

Cuando se excava con escudo, se transmiten al terreno esfuerzos cortantes muy grandes que modifican los estados de esfuerzo y la resistencia, por lo que, la extensión de la zona plástica que se forma alrededor del túnel, si es grande los desplazamientos también lo serán, en tanto que si es pequeño, tenderán a ser despreciables.

Podemos considerar que el factor de sobrecarga crítico para el frente de ataque, puede ser válido para las paredes de los túneles en arcilla, porque los desplazamientos en las paredes se ven muy influenciados por la estabilidad del frente, la experiencia indica que esta influencia del frente se deja sentir a una distancia de él, del orden de uno a dos diámetros del túnel.

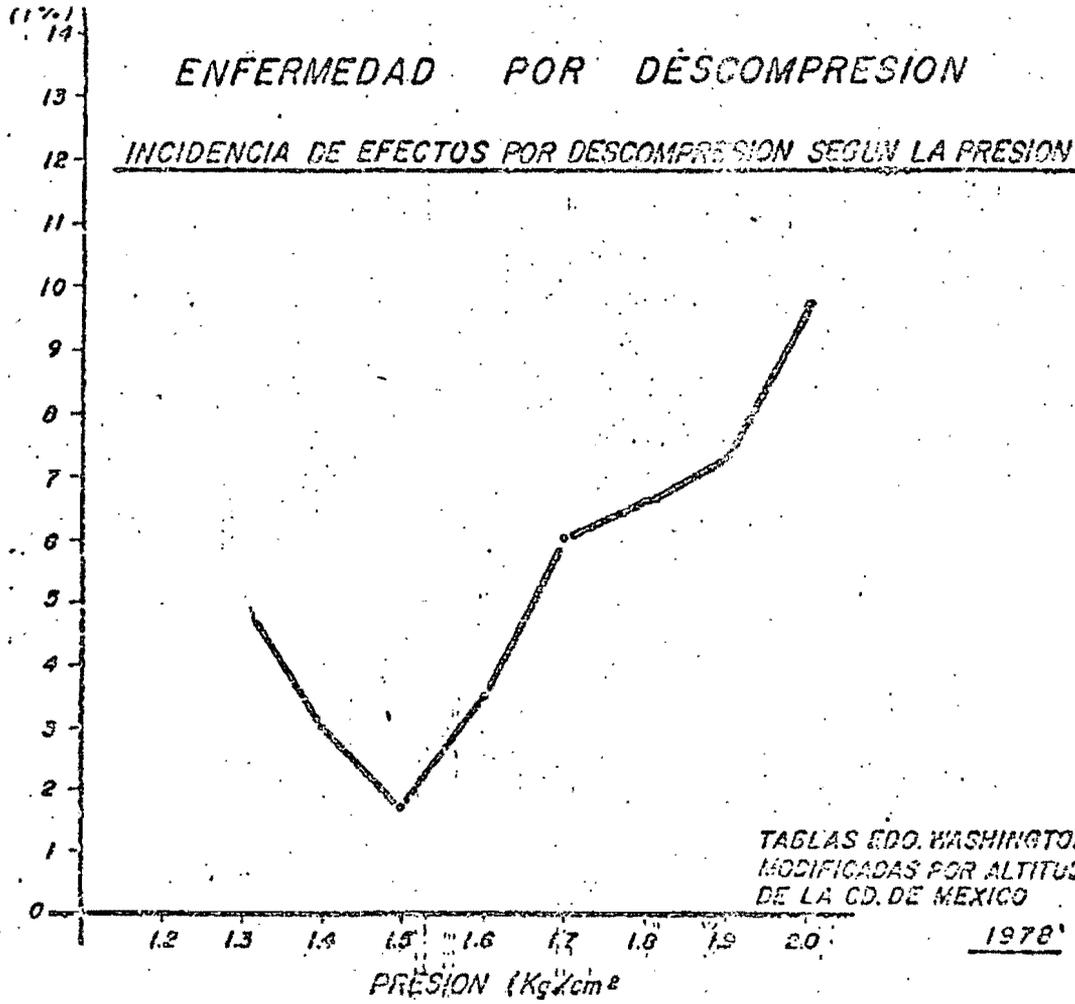
Broms y Bennermark recomiendan para excavaciones de túneles en suelos blandos, usar la relación $\frac{\gamma H}{C} \leq 4 \text{ ó } 5$, para trabajar en el rango elástico.

ESCUDO CORTADOR ESTABILIZADO CON FLUIDOS A PRESION.

El empleo del escudo cortador estabilizado con fluidos a presión, es una tecnología relativamente nueva, comparada con el método de escudo convencional o con aditamento de aire comprimido, fue estudiado y desarrollado en varios Países que encontraron problemas graves al excavar túneles en suelos blandos con grandes contenidos de agua.

ENFERMEDAD POR DESCOMPRESION

INCIDENCIA DE EFECTOS POR DESCOMPRESION SEGUN LA PRESION



TABLAS EDO. WASHINGTON.
MODIFICADAS POR ALTITUD
DE LA CD. DE MEXICO

1978

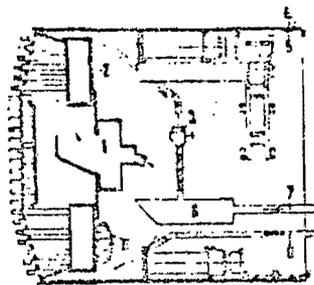
En Inglaterra, Bortlett en colaboración con el London Transportee, Edmund Nuttall L.T.D., contratistas especializados y Robert L. Priestley, L.T. D. idearon la técnica que fue desarrollada y patentada en el año de 1964. Se basa primordialmente en el uso de bentonita como fluido a presión.

La bentonita es materia arcillosa que al mezclarse con agua se convierte en una gelatina tixotrópica, capaz de fluir fácilmente al agitarse y de volver a adquirir una consistencia firme al dejarse en reposo.

Bentonite Shield Machine es el procedimiento manufacturado en el año de 1971 y se usó en Londres para construir un túnel de 4.1 m. de diámetro y 140 m. de longitud.

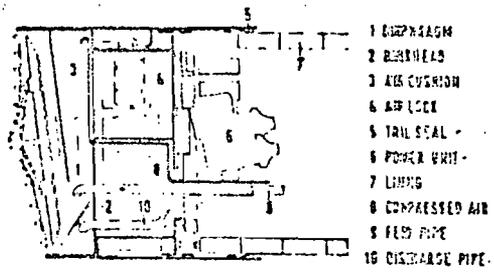
Posteriormente se construyó otro túnel con el mismo procedimiento con 2.44 m. de diámetro y 1 Km. de longitud.

Se presenta en una figura, un corte esquemático de la máquina, con las mejoras adecuadas al sistema, en la actualidad se esperan resultados muy satisfactorios en su aplicación.



- 1 EXTRACTION DEVICE
- 2 BULKHEAD
- 3 PRESSURE CONTROL VALVE
- 4 TAIL SEAL
- 5 LINING
- 6 SUMP
- 7 DISCHARGE PIPE
- 8 FEED PIPE

Dentonite shield machine
by Edmund Nuttall Ltd, England



Slurry Face Hydroshield by Vaysa & Freytag,
 Frankfurt am Main, West Germany

El método Alemán Slurry Face Hydroshield, fue desarrollado en el año de 1973. Un sistema basado en el efecto de almohadilla de aire, para mantener una presión constante en un fluido usado como soporte del frente de ataque del escudo.

La cámara de trabajo desde la mampara hasta el frente de ataque, se encuentra dividida en dos compartimientos por medio de un diafragma, el compartimiento que da al frente se encuentra completamente lleno con un fluido que sirve de soporte, arriba del eje del escudo el segundo compartimiento se encuentra libre el fluido, pero mantiene la presión a base de aire comprimido. En una figura se muestra la máquina usada en Hamburgo en el año de 1974 por Wayss y Freytang.

Los mayores logros en cuanto al método de escudo cortador estabilizado con fluidos a presión, fue alcanzado en Japón, debido a que algunas Compañías constructoras como: La Tekken, Okumura, Gumi, Hishimatsu, desde el año de 1963 se empeñaron en investigar y desarrollar sus propios sofisticados sistemas de tuneleo usando fluidos a presión, que ya para el año de 1965 se efectuaban los trabajos experimentales -

que culminaron en la actualidad con la aplicación de sistemas ingeniosos que permiten controlar en las zonas urbanas - los asentamientos del terreno.

Actualmente, se encuentran construidos y en proceso de construcción en aquel país, túneles para diversas funciones, como son: Para suministro de agua potable, de alcantarillado, túneles carreteros y diversos pasajes subterráneos. - En una tabla se presentan estas experiencias.

Para la construcción del túnel del Interceptor Oriente, se usará esta nueva técnica de tuneleo que promete dar - buenos resultados, controlando las arcillas más malas del -- Oriente de la Ciudad.

La exposición del método se basará en los mayores - adelantos logrados por los técnicos japoneses.

El método consiste básicamente en un fluido a presión (en este caso lodo estabilizador), Escudo cortador y excavador mecánico.

Se usa lodo estabilizador como dispositivo de contra presión, para lograr la estabilidad del subsuelo en el frente de ataque, evitando así la pérdida de suelo y agua.

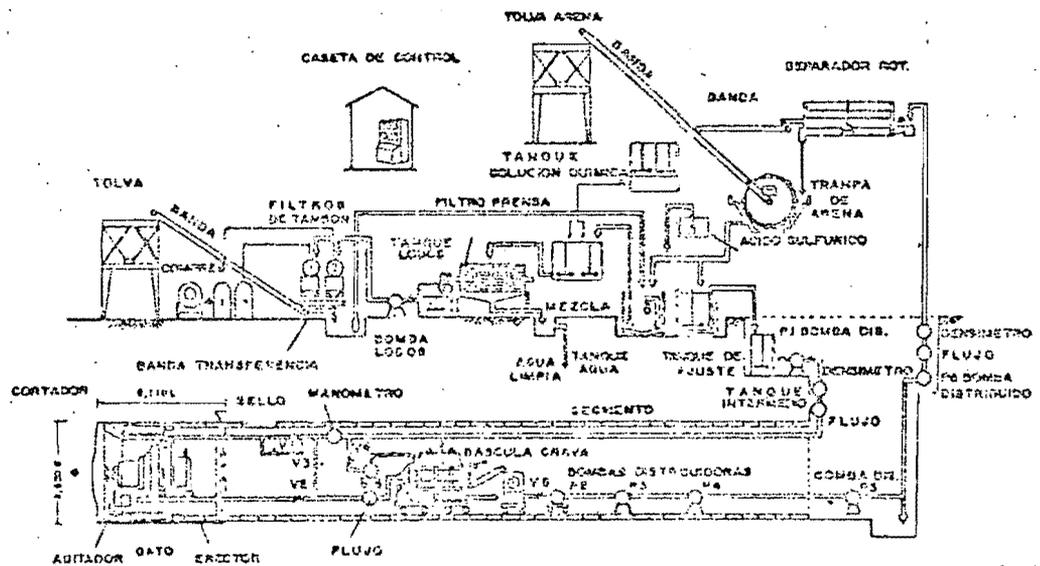
El Escudo Cortador se usará como parte de la herramienta de excavación, puede resistir las presiones que ejerce el terreno, ayuda con la cámara de presión a la estabilidad del frente, sirve además como recinto protector para el personal que trabaja en la colocación del ademe y el manejo de la maquinaria..

El excavador mecánico es un disco cortador rotatorio que se encuentra dentro de la cámara de presión, se usa para cortar el terreno mientras el escudo avanza.

El procedimiento constructivo se complementa con los siguientes sistemas:

El sistema de agitación que mezcla el material cortado con el lodo estabilizador dentro de la cámara de presión.

El sistema de bombeo que alimenta lodo estabilizador a la cámara de presión y extrae de ésta, la mezcla sue-



ELEMENTOS QUE INTEGRAN
LA MAQUINARIA

(YUSA)

lo excavado lodo estabilizador, enviándolo a la superficie para su tratamiento.

La planta de tratamiento instalada en la superficie se encarga de procesar la mezcla procedente del frente, dejando el lodo estabilizador en condiciones de ser usado nuevamente.

El sistema de control tiene como finalidad suministrar información procedente del frente de trabajo que al ser procesada en una computadora, sirve para coordinar todas las -- operaciones del procedimiento en forma automática o semiautomática, según se requiera.

En una figura se presentan los elementos que integran la maquinaria de los sistemas del método.

A continuación, se hará una descripción breve de cada uno de los componentes de los sistemas.

ESCUDO CORTADOR.

Es un cilindro metálico abierto en sus extremos pero dividido en dos cámaras por medio de una mampara, la primera de ellas directamente en el frente de ataque formando la cámara de presión, en la parte trasera del escudo se encuentra la segunda cámara de trabajo, en donde se efectúa la colocación del revestimiento primario.

La camisa o forro del escudo construido con placas de acero, tiene como función la de soportar las presiones de las paredes del túnel durante la excavación y mientras se instala el anillo de dovelas.

DISCO CORTADOR.

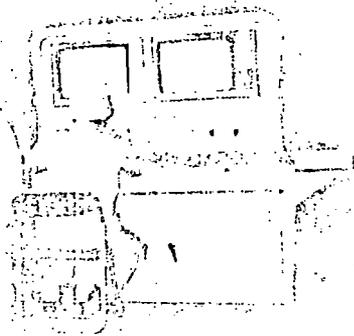
Dentro de la cámara de presión actúa el disco cortador que puede ser plano o achatado, cuenta con uno o varios ejes diametrales, perpendiculares entre sí, en donde van alojadas 12 cuchillas cortadoras que pueden ser reemplazadas. El disco tiene capacidad estructural para soportar el empuje del terreno, por lo que puede proveer soporte continuo en el frente de ataque, impulsa sus movimientos de rotación por medio de motores eléctricos o hidráulicos

10800/000000
MAR 11 1962
AUG 19 1962

RECEIVED

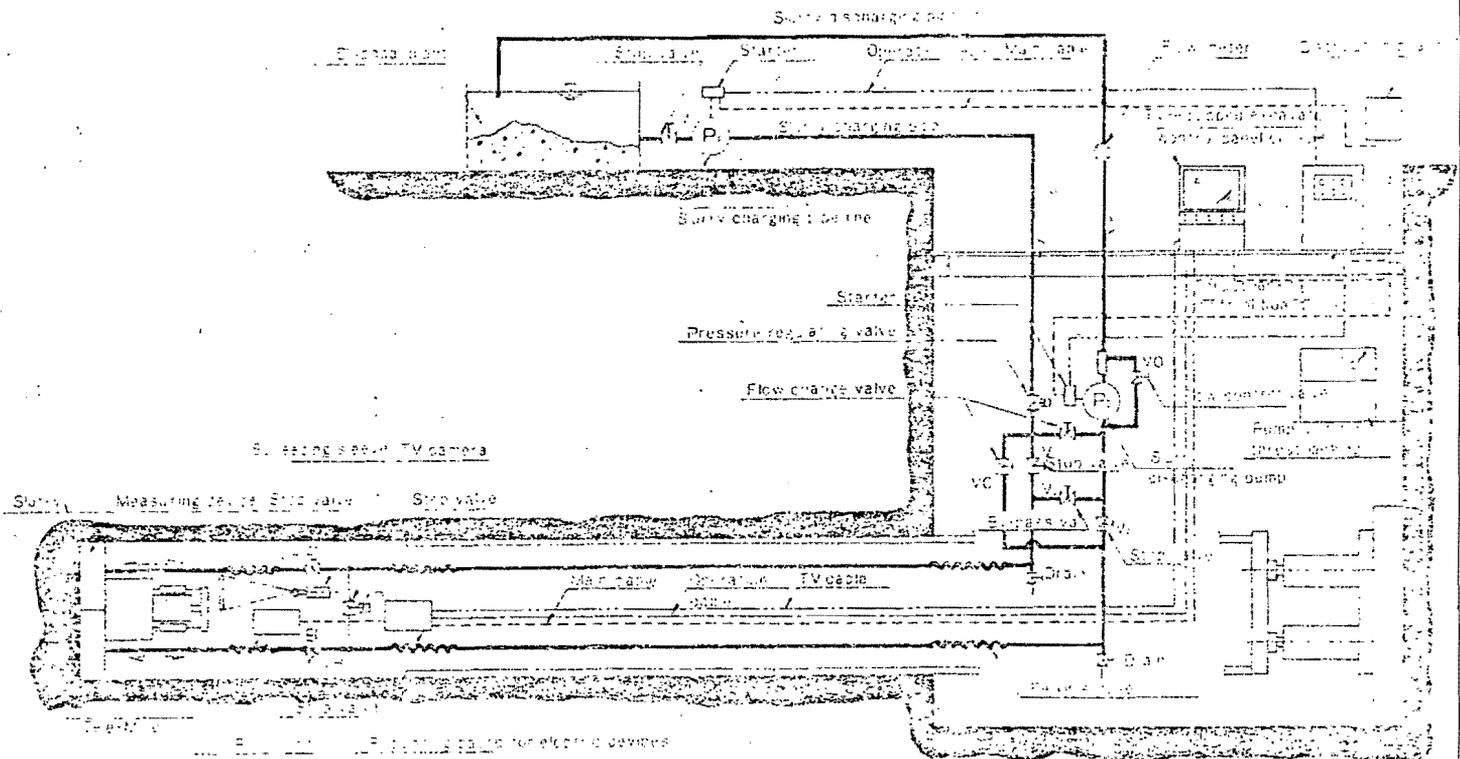
RECEIVED
MAR 11 1962

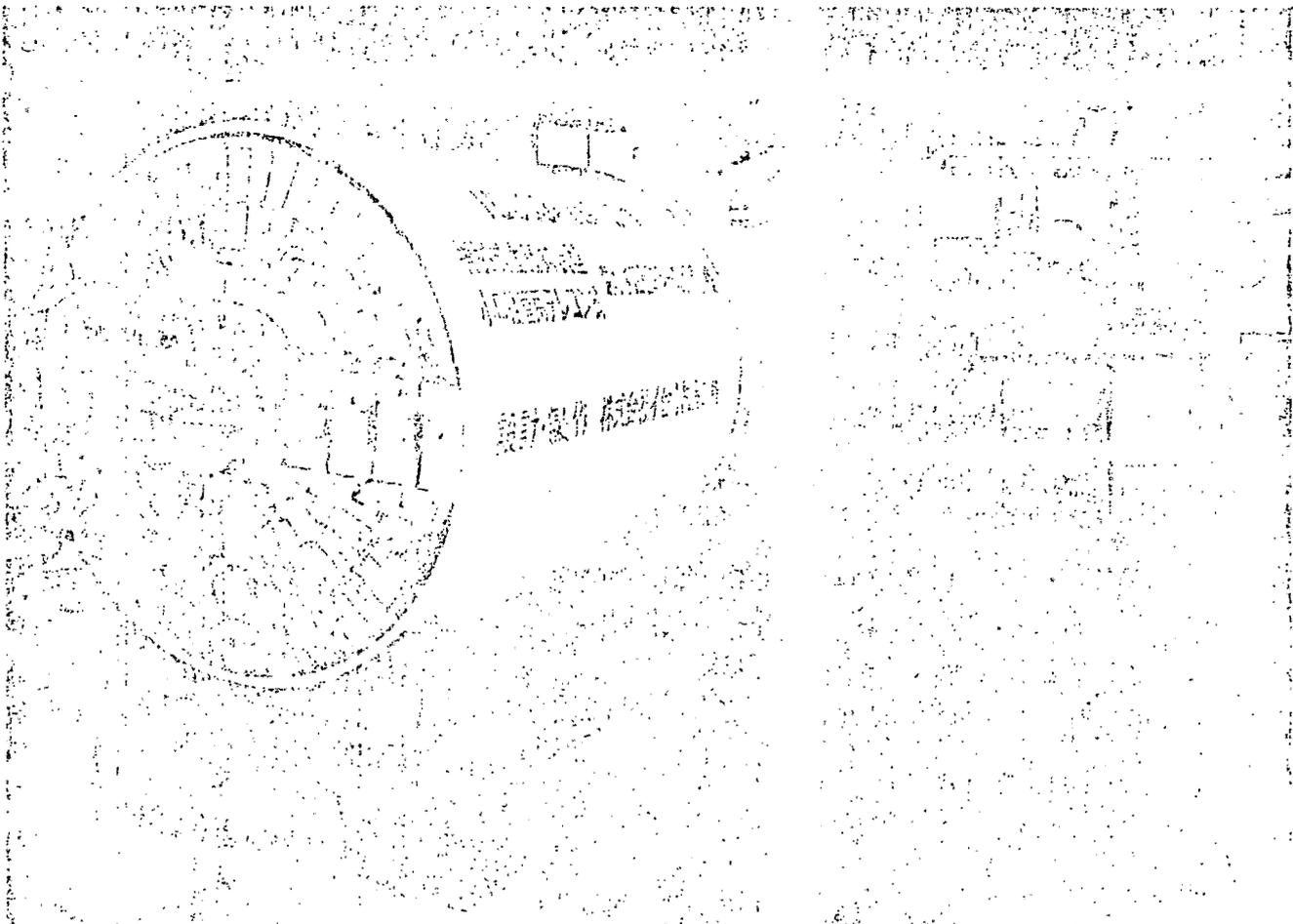
RECEIVED



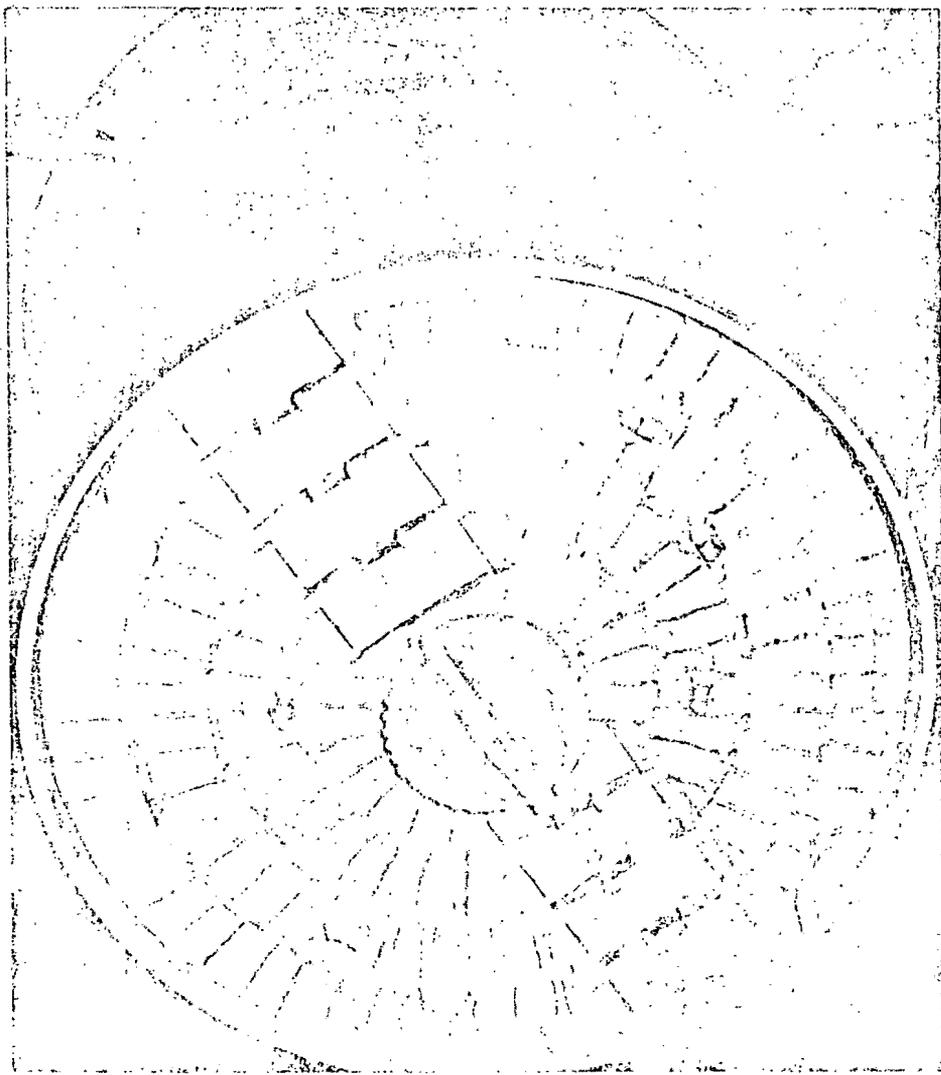
UNMANNED BENTONITE SLURRY SHIELD SYSTEM FOR SMALL-BORE PIPES LAYING

Flowchart





TELE-MOLE 788 for I.D. 800 X 180 H.P.



Exact and Accurate
Kansaskana Survey
Min. Scale 224 Feet
Owner: City of Emporia, Kansas
Constructor: State of Kansas
Construction
Surveying
Company

a 360° en dos direcciones y la velocidad de rotación varía - de 1 a 3 revoluciones por minuto, y puede desplazarse longitudinalmente 30 cm. dentro de la cámara, permitiendo la - excavación del terreno en el frente, mientras el escudo permanece fijo.

En la cara del cortador se encuentran unas compuertas que permiten regular la entrada de material cortado a la cámara de presión, logrando controlar el flujo de rezaga de - acuerdo a la velocidad de avance en la excavación. Esta -- particularidad evita la posibilidad de ocasionar un colapso del frente.

El disco cortador está conectado a una flecha o eje central, es accionada por medio de un sistema de engranes - reductores de velocidad impulsado por cuatro motores de -- 150 H.P., el sistema permite que el cortador se deslice al mismo tiempo que gira.

El cortador cuenta también con equipo de empuje que está formado por cuatro gatos hidráulicos con capacidad de 1000 toneladas, que le permiten avanzar independientemente

del escudo.

El escudo cuenta también con una exclusiva de personal para la revisión y mantenimiento de las navajas cortadoras y los agitadores en el frente de ataque, en ella se puede someter al personal encargado de estas tareas al tratamiento de compresión y descompresión al entrar a la cámara de presión, en donde el lodo estabilizador es sustituido -- por aire comprimido al efectuar estas labores. La exclusiva se encuentra colocada en la parte superior del eje del escudo, formando parte de la mampara.

En la parte posterior del escudo ,se encuentra el -- anillo erector, diseñado para facilitar el montaje del revestimiento formado por los anillos de dovelas de concreto reforzado.

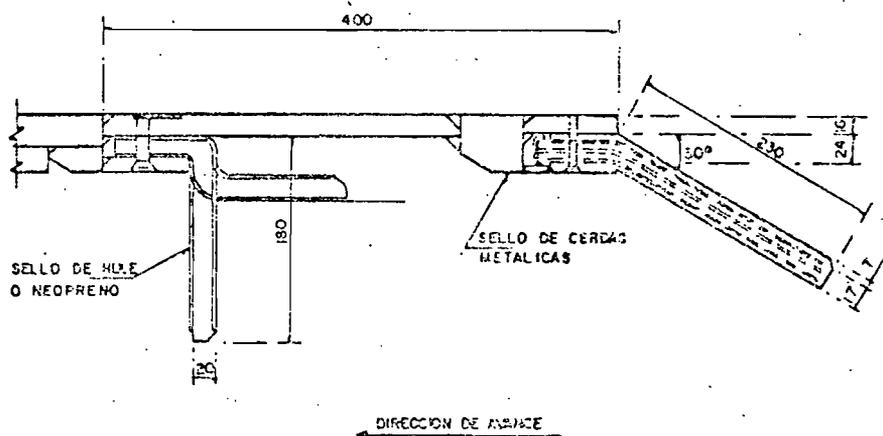
Tiene posibilidad de deslizarse longitudinalmente, - girar acoplarse a las dovelas y ponerlas en su posición final.

Como el faldón posterior del escudo de cabida a los

segmentos circulares, es necesario dedicarle atención especial a esta zona de trabajo ya que entre el escudo, el terreno natural y los segmentos circulares, queda un pequeño boquete producto de la excavación en el cual se producen -- flujos de material que escapan del frente que deben controlarse, evitando que lleguen al lugar de colocación de las dovelas y perturben las maniobras de montaje. Esto se consigue por medio de paquetes o sellos de hule o neopreno muy resistentes, con ellos se sella la cavidad.

Recientemente se han adoptado unos cepillos de cerdas de alambre compacto que se insertan en el angosto boquete -- impidiendo las posibles fugas de agua y suelo, desplazadas a lo largo del escudo; en otra figura se muestra el tipo de sello posterior del faldón.

El movimiento de avance del escudo se consigue por medio de 22 gatos hidráulicos con capacidad de 1,300 toneladas que se encuentran alojados en la parte central del escudo, sirviendo de refuerzo a la mampara y para su expansión se apoyan en el último segmento circular instalado.



BELLON DEL ESCUDO
 CON PRESION AL FRENTE

(TUSA)

Los gatos están diseñados para vencer la resistencia
a:

La fricción del terreno sobre la superficie exterior -
de la camisa del escudo.

La fricción de los anillos de dovelas en el faldón --
del escudo.

SISTEMA DE LODOS.

El sistema de lodos cuyo principio es similar al em-
pleado en la perforación de pozos petroleros, cubre el do-
ble propósito de soportar el frente de la excavación al --
mismo tiempo que remueve el material cortado.

El sistema está formado por: la cámara de presión -
constituída por el frente cortador del escudo y la mampara.
Ésta se llena de lodo estabilizador a presión para estabili-
zar el frente de la excavación.

El sistema de agitación se encuentra dentro de la --
cámara de presión, está formado por las paletas de mezclado

y los agitadores, éstos se encargan de licuar el material excavado mezclándolo con el lodo estabilizador para poder ser así bombeado a la superficie para su tratamiento.

Este sistema se encuentra cerca de la toma de succión de las bombas distribuidoras, evitando el taponamiento en los conductos para el lodo.

Las bombas para el lodo estabilizador utilizadas en el sistema son similares a las usadas por las dragas marinas, generalmente son cinco bombas las encargadas de hacer llegar la mezcla de material excavado lodo estabilizador a la superficie y llenar de lodo estabilizador a la cámara de presión se usan cuatro bombas de velocidad variable y una velocidad constante, la maquinaria del escudo y el sistema de lodos se muestran en una figura.

PLANTA DE TRATAMIENTO.

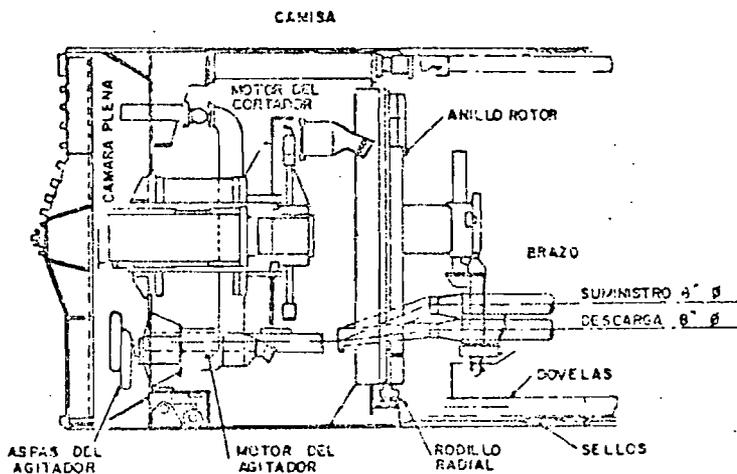
En las zonas urbanas es necesario instalar la planta de tratamiento para separar la mezcla de material excavado lodo estabilizador. Como este proceso de separación es la actividad más difícil en el método de escudo cortador estabi

lizado con fluídos a presión, ya que requiere equipo e instalaciones diversas para separar los distintos materiales que forman el suelo excavado.

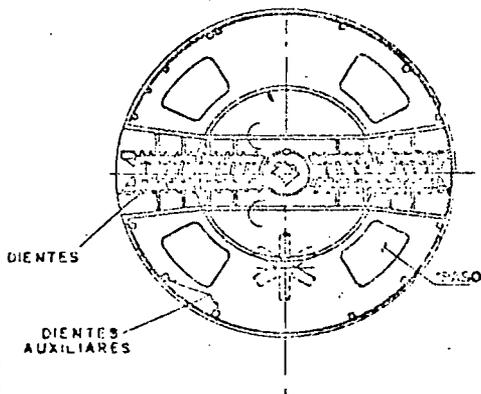
En general, la planta se compone de:

- Malla vibratoria primaria.
- Malla vibratoria secundaria.
- Ciclón
- Filtros prensa y de tambor.
- Bandas transportadoras.
- Tanque de floculación.
- Tanque separador de líquidos.
- Tanques mezcladores
- Tanques de control de lodos.
- Tanque neutralizador
- Tanque de agua limpia
- Bombas para inyección de lodo.
- Válvulas reguladoras.
- Tolvas de sólidos.

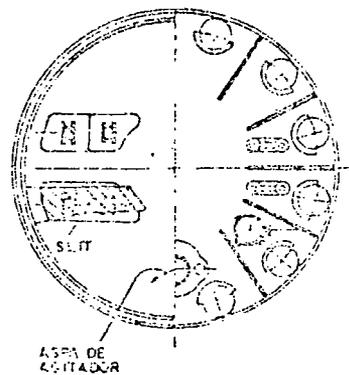
MAGUINA DEL ESCUDO CON PRESSION AL FRENTE



FRENTE CORTADOR



UNIDAD DE ACCIONAMIENTO DE ACOTADURAS



SISTEMA DE CONTROL.

Está constituido por un tablero visual instalado en la superficie, en él se presentan los componentes más importantes del conjunto a través de una réplica, para que con una simple observación se pueda conocer el estado de funcionamiento del equipo. Este sistema nos da información confiable, mediante la cual se confirme que el volumen excavado coincide con el volumen teórico avanzado por la máquina cortadora y con ayuda de una computadora coordina todas las operaciones del sistema en forma automática o semiautomática, según se requiera.

Los instrumentos que constituyen este sistema son:

Medidor de presión de lodo estabilizador.

Medidor de flujo de la mezcla material excavado lodo estabilizador.

Medidor de la densidad de lodo estabilizador.

Equipo para controlar el cortador.

Medidor de la velocidad del cortador.

Medidores para el control de las bombas del lodo

Control de válvulas de llegada y salida del lodo estabilizador de la cámara de presión.

EQUIPO AUXILIAR.

En el equipo auxiliar podemos considerar todos los -- equipos y herramientas necesarias para completar la actividad del sistema de tuneleo, como son:

Motores hidráulicos y eléctricos.

Sistemas de ventilación.

Sistemas de aire a presión.

Transformadores de energía eléctrica.

Sistemas de comunicación.

Maquinaria para inyección e impermeabilización.

Indicadores de los sistemas de control

Dovelas para el revestimiento.

Equipo hidráulico de emergencia

Tuberías de conducción.

Dispositivos de seguridad.

Todos los equipos y herramientas para estas funciones se encuentran alojados en el llamado tren de equipo, -- que tiene una longitud de 50 m. aproximadamente, construido con marcos y plataformas metálicas.

Se desplaza sobre rieles jalado por el empuje de los gatos hidráulicos del escudo, ya que se encuentra unido a éste por medio de tensores.

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.

Después de haber bajado a través de la lumbrera e instalado la maquinaria del escudo en el frente de ataque del túnel con ayuda de aire comprimido en la cámara de presión, se efectúa la demolición del muro de la lumbrera para colocar el anillo de apoyo.

A continuación, se inyecta lodo estabilizador en la cámara de presión, de esta manera queda soportado el terreno natural en el frente de excavación.

En el momento en que el disco cortador se pone en movimiento cortando el terreno, éste fluye a través de las ranuras de la cara del cortador, las virutas de arcilla se desmenuzan dentro de la cámara de presión por medio de las paletas y agitadores mezclándose con el lodo estabilizador, al mismo tiempo se establece el bombeo que succiona esta --

mezcla ,por medio de una tubería de 8" de diámetro, enviándola a la superficie para su tratamiento, simultáneamente por el conducto de alimentación del lodo estabilizador se repone el fluido extraído, de esta manera se mantendrá en todo momento de la excavación, la cámara llena a la presión del diseño.

Como todas las actividades del trabajo de tuneleo en estas condiciones, se efectúan simultáneamente conforme va cortando y avanzando el disco rotador, los gatos hidráulicos del escudo que están apoyados en el segmento circular de apoyo, se van abriendo, empujando a toda la estructura del escudo hacia adelante, con lo cual al encajarse el frente cortador en el terreno, facilitan el corte de las navajas o cuchillas de la cara del cortador.

Cuando el escudo al avanzar hace que todos los sistemas que se encuentran adosados a él avancen también en la misma proporción y los gastos de empuje se abren totalmente, el cortador suspende de inmediato su movimiento, al mismo tiempo se cierran las válvulas que controlan en los conductos el suministro de carga y descarga de lodo estabilizador dentro de la cámara de presión.

Es aquí, en donde para colocar los segmentos del recubrimiento primario se necesitan retraer los gatos de empuje - al mismo tiempo que el anillo erector va colocando las dovelas para formar el segmento circular, al quedar bien apretados los tornillos que sujetan las dovelas entre sí, podemos decir que se cierra una secuencia de actividades que en adelante será reiterativa.

Estas secuencias reiterativas en todo sistema de tunelaje se conoce como ciclo de excavación.

El propósito de establecer este ciclo de excavación midiendo el tiempo que se tarda en cada una de sus actividades, nos sirve para comparar el proyecto con el avance en la construcción, pudiendo de esta manera corregir en cualquier momento las deficiencias en los rendimientos, calculando los costos de ejecución.

El ciclo de excavación queda definido con las siguientes etapas de trabajo:

Excavación

Mezclado

Extracción y suministro de lodos

Empuje del escudo

Colocación de segmentos

Apretar tornillos entre segmentos.

El avance en cada ciclo, se establece al quedar totalmente extendidos los gatos hidráulicos de empuje y quedar colocado el segmento circular, por lo que éste es del orden de 0.75 m. o sea, el largo de un anillo de dovelas.

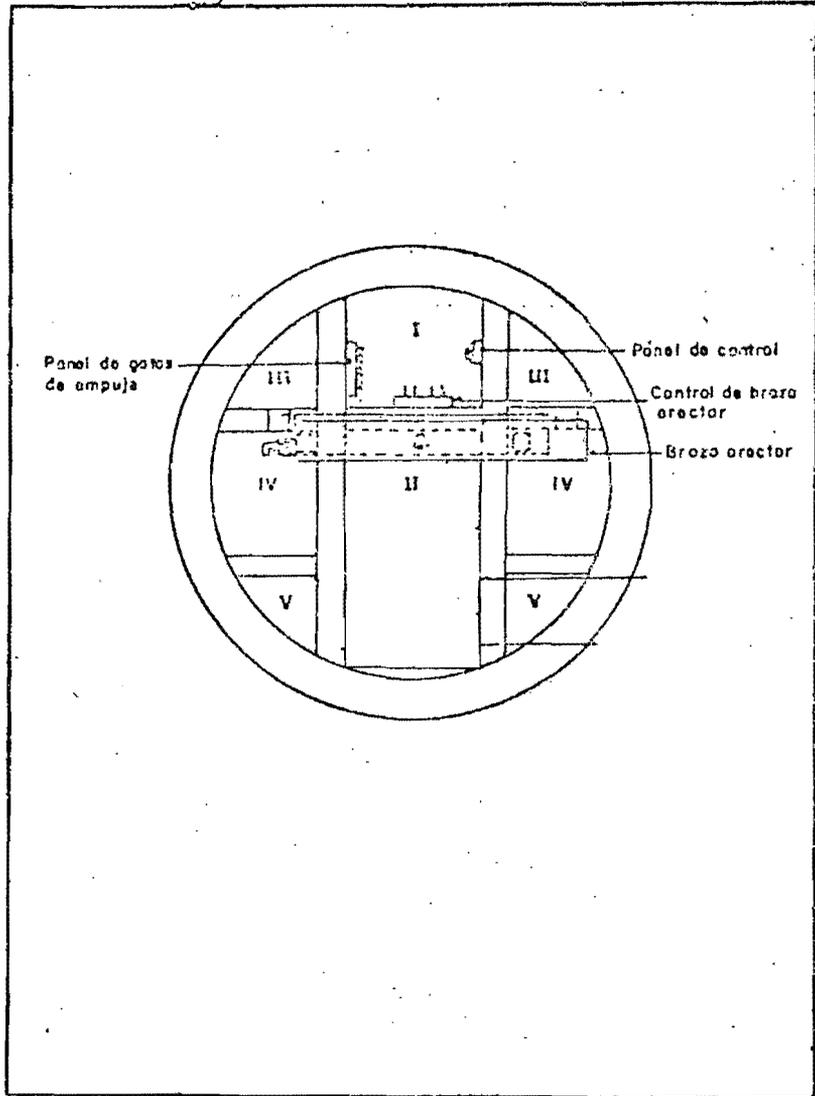
En la figura (21) se presenta el anillo erector.

Otras actividades que se desarrollan independientemente del ciclo de excavación son:

Colocación de dispositivos para mantener la geometría de los anillos.

Inyección de los materiales para soportar las paredes del túnel e impermeabilizarlas.

Colocación de tuberías para la conducción de suministro y descarga de lodos, aire comprimido, agua y ventilación del túnel.



ERECTOR DE DOVELAS.



Instalaciones de alumbrado, electricidad y comunicaciones.
Instalación de los sistemas de control.

El recubrimiento primario se encuentra formado por doce piezas de concreto reforzado de 75 cm. de largo y de --- 600 Kgs. de peso, una de ellas es de menor tamaño, pesa ---- 150 Kgs. y es la que cierra el anillo, todas las piezas necesarias son transportadas en el tren de servicios.

Los anillos ya montados tienden a adoptar una forma -- oval y no circular como lo pide el proyecto, por lo que se ha ce necesario colocar un par de puntales dotados con gatos -- mecánicos para su ajuste. Este apuntalamiento mantiene la - geometría de los segmentos circulares y se conserva hasta -- después del inyectado. La forma de colocar los puntales se muestra en una figura.

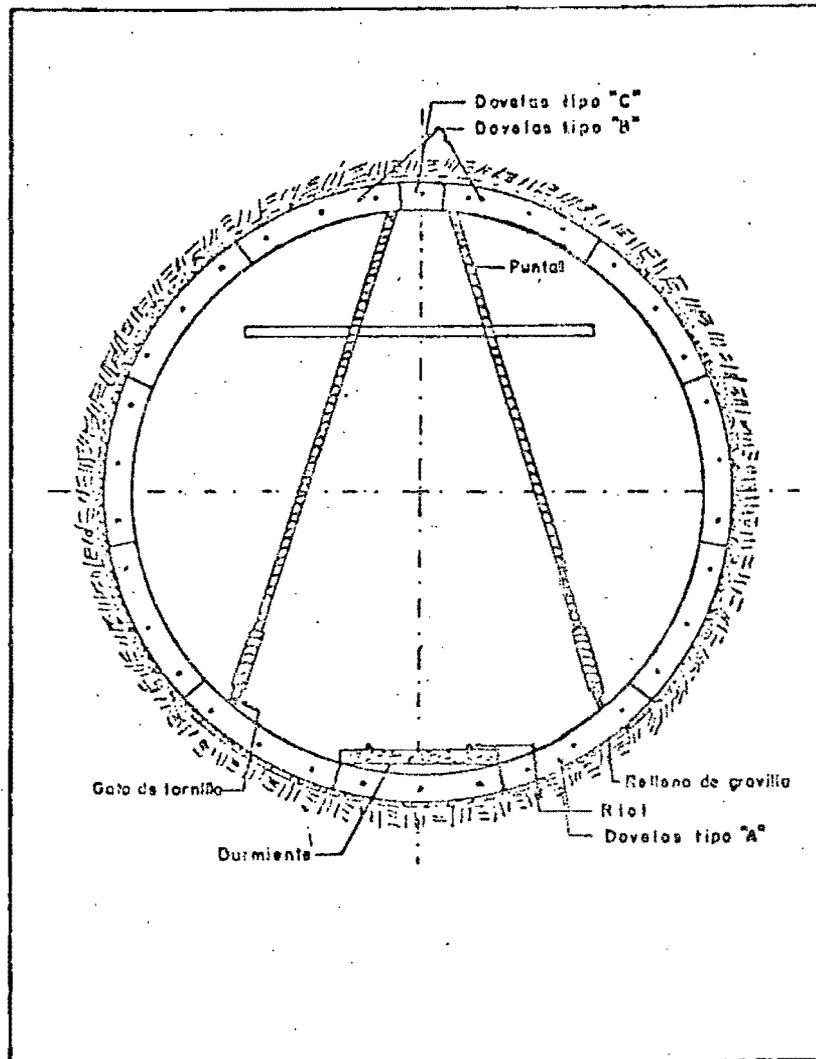
Al ir avanzando el escudo entre el ademe primario y el terreno natural, va quedando un espacio vacío ocasionado por el espesor del faldón, con la finalidad de reducir los asentamientos superficiales y para sellar las filtraciones hacia - el túnel se requiere que la oquedad sea llenada con materia-

les graduados. Estos son inyectados a presión mediante el uso de una lanzadora neumática que se conecta a una manguera, la cual se introduce en perforaciones estratégicamente colocadas en las dovelas. En la fig. que se presenta, se muestra la boquilla en la perforación de la dovela.

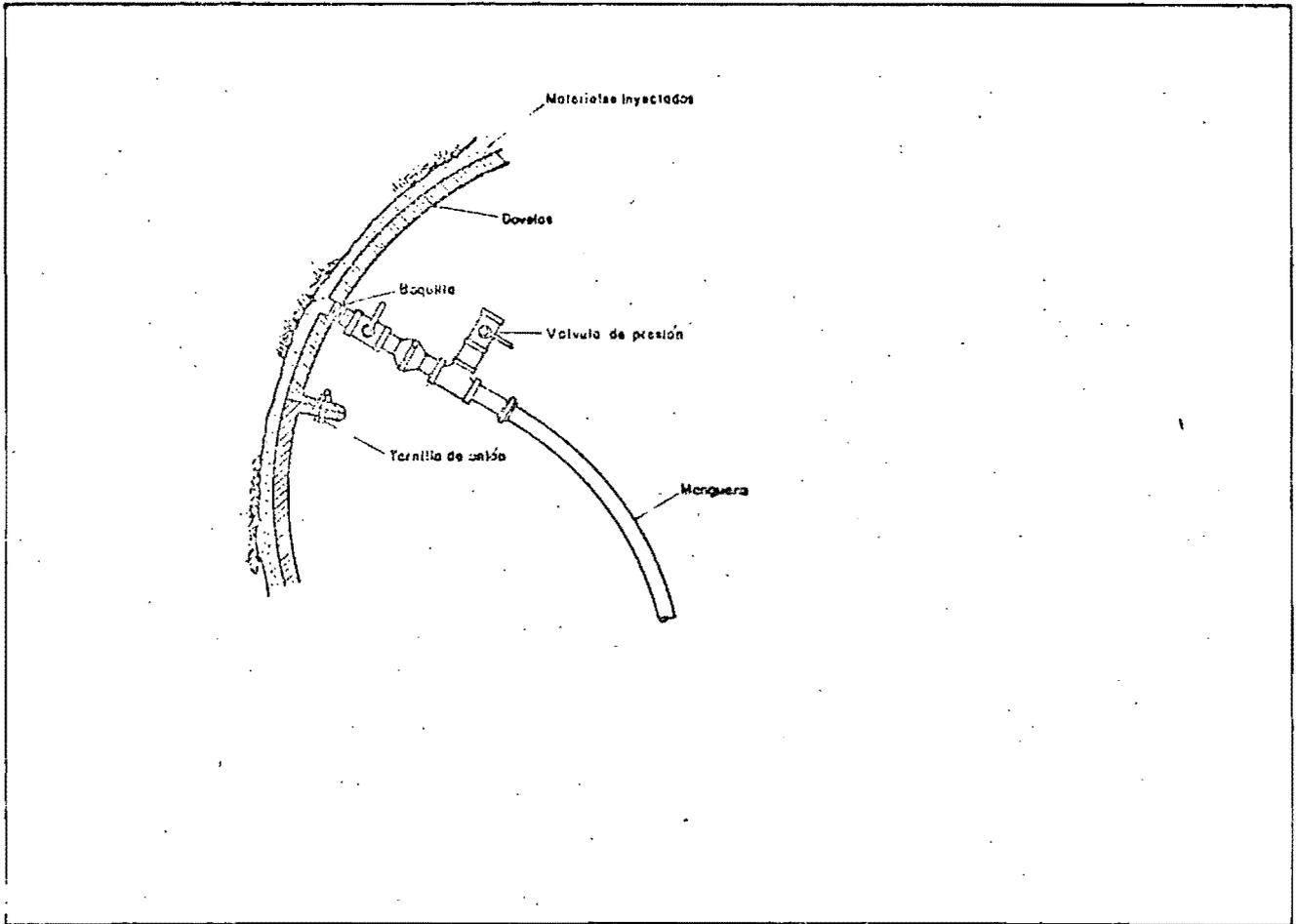
Es una práctica común en túneles construidos con escudos, el llenar con gravilla el espacio anular, las ventajas que presenta el usar esta gravilla cuyo tamaño debe ser uniforme de 4 o 6 mm. porque puede mantenerse hasta el faldón del escudo, se puede ir colocando simultáneamente con el avance del escudo, es más barata que una inyección de cemento y forma un relleno efectivo.

Posteriormente, se inicia la inyección de lechada de acuerdo a la siguiente secuencia:

Primera etapa.- Es una inyección que se realiza en los últimos anillos del tramo a tratar, que tiene como finalidad evitar que la lechada de las capas siguientes se prolonguen a la zona del escudo. Esta mezcla consiste en un mortero de fraguado rápido.



CORTE DEL TUNEL
 PUNTALES



INYECCION DE MATERIALES

Segunda etapa.- Se aplica una inyección menos densa que la anterior, sigue siendo un mortero pero más fluído y sin -- acelerante, su función principal es rellenar los huecos que -- han quedado entre dovelas, terreno y gravilla.

Tercera etapa.- Esta inyección es más fluída y está formada con agua, cemento y bentonita, su función principal es -- la de sellar e impermeabilizar. Antes de iniciar el proceso -- de inyección ,se deben tener calafateadas las uniones entre -- dovelas, para evitar fugas de la mezcla e introducción de lodo a la galería; en una figura se presenta la forma en que -- se realiza el inyectado, iniciándolo con el orificio 1, al -- sellarse éste se sigue con los orificios 5, continuando con -- los orificios 2.

Después de llenar el volumen correspondiente a los orificios 4, se concluye el proceso de inyección en los orificios 3, o sea el de la galería, por cada una de las etapas.

SOPORTE DE LA CARA DE CORTE CON LODO ESTABILIZADOR.

La estabilidad de la cara del túnel debe ser discutida

en los dos puntos principales, que son la presión del lodo y la densidad para lograr la estabilidad del frente, mientras el cortador actúa, la presión del lodo estabilizador deberá cumplir con las siguientes relaciones:

- 1.- Presión del lodo estabilizador $>$ presión del terreno en el frente de excavación + presión del agua que contiene el suelo.

Esta relación es válida para aquellos casos en que la cara del túnel no se puede autosoportar.

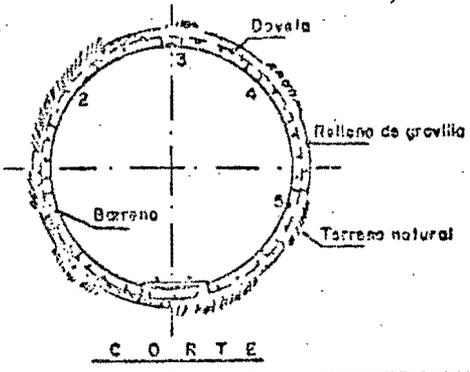
- 2.- Presión del lodo estabilizador $>$ presión del agua que contiene el suelo.

Relación válida para aquellos casos donde la cara del túnel se puede soportar:

$$\text{Presión del lodo estabilizador } (H - 4 C)$$

Relación determinada para el caso particular de excavaciones de túneles en la zona del lago de la Ciudad de México.

ANILLO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
BARRENO N°																					
1		○		•		○		○		•		○		•		○		•		•	
2		○		○		○		○		•		○		○		○		○		•	
3		○		○		○		○		○		○		○		○		•		•	→ AVANCE
4		○		○		○		○		○		○		○		○		•		•	
5		○		○		○		○		○		○		○		○		•		•	



- INYECCION 2a. ETAPA
- INYECCION 3a. ETAPA
- INYECCION 4a. ETAPA

PROCEDIMIENTO DE INYECCION

Se puede determinar la presión del lodo estabilizador en base a la teoría del profesor Murayama de la Universidad de Kyoto, Japón, para el manejo de túneles.

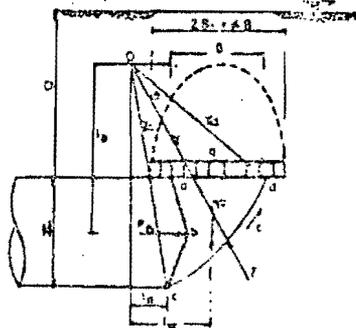
$$P_o = \frac{1}{lp} \left[(W \cdot lw) + (qB) \left(la + \frac{B}{2} \right) - \frac{C}{2 \tan \phi} (\gamma_c^2 O - \gamma_d^2 O) \right]$$

$$\Sigma P = P_o \cdot H$$

Donde:

- Po = Presión del suelo aplicada al escudo.
- W = Peso del terreno
- q = Presión del suelo en el escudo
- B = Longitud superior del arco de falla
- C = Cohesión del suelo
- φ = Angulo de fricción interna del suelo
- H = Diámetro del escudo.

TEORIA MURAYAMA



lp, lw, la, γc, γd = Distancia desde el punto O a P_o, w, a, c y d.

Como se observa en la figura anterior, la presión del lodo estabilizador juega un papel importante para el soporte del frente.

Otra propiedad importante que debe cuidarse es la densidad del lodo estabilizador que varía con las propiedades del subsuelo. Los técnicos japoneses después de muchos experimentos de laboratorio, recomiendan que los valores de la densidad deben ser: 1.2 y 1.3.

Los trabajos de soporte del frente son, relativamente fáciles en las capas de arcilla y limo con coeficiente de permeabilidad K inferior a 10^{-4} cm./seg.

En suelos que tienen un K aproximado de 10^{-3} cm/seg., se requiere incrementar la presión del lodo estabilizador para lograr soportar la excavación.

Cuando el suelo tiene un K mayor de 10^{-2} cm./seg., puede haber filtraciones de lodo estabilizador en el sitio, si esto ocurre, el disco cortador es usado para presionar el frente ayudando en el soporte, con lo cual se evitan po

sibles desprendimientos del terreno. Por ésto, para prevenir dificultades semejantes, es necesario que la densidad del lodo estabilizador sea alta y que se cuente con técnicas de control muy perfeccionadas.

FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.

Dentro de la cámara de presión, el suelo excavado se mezcla con el lodo estabilizador para poderlo transportar con el sistema de bombeo hidráulico a la superficie del terreno, en donde el lodo estabilizador es separado del suelo excavado.

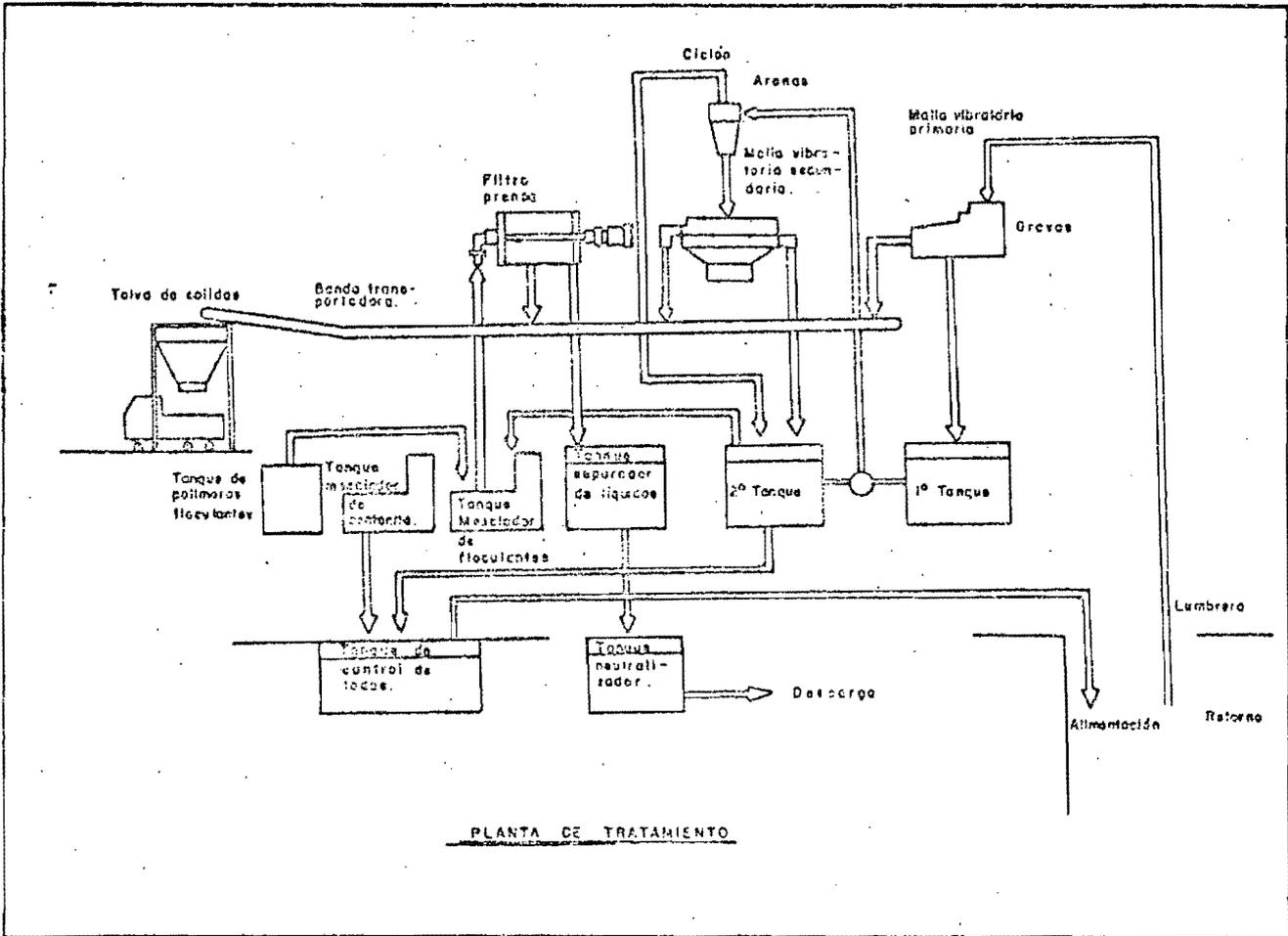
Este proceso es el más difícil del método y aunque parece demasiado antieconómico, tiene sus ventajas.

La fábrica necesita ocupar un terreno grande cerca de la lumbrera, para acomodar los variados equipos e instalaciones que se requieren para separar los distintos materiales del suelo contenidos en la mezcla.

El proceso de tratamiento en general está compuesto de tres etapas ingeniosas: la separación de gravas, la separación de las partículas finas en suspensión y el cribado de arenas.

Como la grava sedimenta rápidamente, la mezcla de todos se pasa por una malla vibratoria primaria, aquí se separan las gravas y pequeños boleos, enviándose por medio de bandas transportadoras a la tolva de sólidos. La mezcla restante es un lodo fluido que se deposita en un tanque, de aquí se bombea a un clasificador rotatorio o ciclón, el cual con la ayuda de la malla vibratoria secundaria, separa las arenas para mandarlas por medio de la banda transportadora a la tolva de sólidos.

El lodo fluido de partículas finas sobrante, es conducido a un segundo tanque, en el que se separa el lodo estabilizador de las partículas finas en suspensión, de la mezcla. De aquí se envía el lodo estabilizador al tanque de control de lodos, en donde se deja en condiciones óptimas para volverlo a la circulación hacia el frente; el lodo de partículas finas al tener lenta velocidad de asentamiento es enviada al tanque mezclador de aditivos coagulantes para



acelerar el asentamiento, de aquí puede ser sometido a un proceso de desague mediante la utilización de máquinas como: filtros-prensas, centrífugas, filtros de tambor, cinturón de presión, etc. Resultando un material formado de terrones con un contenido de humedad de 30 a 40 %

El líquido es conducido al tanque separador de líquidos en donde, si se requiere, se puede separar el agua de las sustancias químicas que se agregan a la mezcla cuando pasa por el tanque defloculación, el funcionamiento de la planta está representada por la figura

PROCESO DE CONTROL.

Como la superficie de corte de la perforadora de túneles en terreno suave está protegida por la mampara, es imposible visualizar si la excavación es llevada a cabo con propiedad, por esta razón la excavación era altamente dependiente de la experiencia y destreza del trabajador y el control de la deposición de la excavación era un serio problema.

Para remediar esta situación y continuar la excavación bajo un criterio lógico, ha sido necesario investigar y de-

sarrollar el sistema automático de control, con él todos los datos que conciernen a la operación, con seguridad son detectados por instrumentos de medición e indicados digitalmente en todo momento, estos datos son alimentados continuamente a una computadora, en donde los cálculos son llevados a cabo, alcanzando así una excavación estable y segura.

SISTEMA DE CONTROL.

Los datos que muestran las condiciones de la excavación son usados para generar señales desde el panel de control central para gobernar la excavadora y de una simple observación se puede conocer el estado de funcionamiento del equipo y además, coordina todas las operaciones del sistema en forma automática o semi-automática según se requiera, de esta manera un colapso en la cara del túnel debido a la saturación o a la emanación de agua , puede ser prevenido.

CONTROL DE VOLUMEN DE EXCAVACION.

Es necesario observar constantemente los indicadores correspondientes a los controles del volumen y peso de los

lujos de carga y descarga de los lodos, para que el soporte de la superficie de corte sea apropiado.

Esto se logra mediante la medición de volumen y peso, tanto del lodo de descarga, como del lodo de alimentación.

En general, el contador de fluido electromagnético y el contador de densidad de rayos y (gama) son combinados, - por lo que el peso de excavación es computado por sustracción de la entrada y salida.

Cuando el volumen de excavación se excede de un valor designado, se asume que el colapso en el frente puede ocurrir, por lo que el volumen excavado debe ser igual al volumen teórico avanzado por la máquina.

CONTROL DE CALIDAD DEL LODO ESTABILIZADOR.

El material seleccionado para usarse como lodo estabilizador debe cumplir las especificaciones del laboratorio teniendo facilidad de tratamiento, los suelos cohesivos disponibles y evaluados en el sitio de construcción, pueden --

ser apropiados para usarlos como material estabilizador.

Deben hacerse los ajustes necesarios para incrementar la densidad de suelos cohesivos y bajarla para los suelos -- arenosos, en suelos con poca plasticidad, tipo kaolín; se -- debe agregar aditivos hasta alcanzar la calidad requerida.

CONTROL DE PRESION DEL LODO ESTABILIZADOR.

La presión del lodo estabilizador es muy importante -- para soportar el frente de trabajo, por lo que debe determi-- narse con mucho cuidado para cada trabajo en particular.

Para controlar la presión del lodo, se usan las válvu-- las de control de la presión del agua, por medio de la velo-- cidad variable de las bombas que manejan el lodo estabiliza-- dor y el regulador automático de la velocidad de rotación de las bombas.

Es importante que cuando las operaciones de excava-- ción sean detenidas ya sea por el fin de semana o en días -- festivos, se mantenga la superficie cortadora protegida de --

colapso, continuando el control de la presión del lodo estabilizador desde la superficie, esto se consigue dejando la cámara de presión presurizada, en la misma forma en que se deja cuando se montan los segmentos circulares.

CONTROL DE DIRECCION.

El movimiento de dirección y pendiente, se maneja con el empuje de los gatos hidráulicos del escudo, el fluido a presión dentro de la cámara del frente funciona como un cojinete que ayuda a que el escudo se desplace con facilidad; sin embargo, puede ser alterado este movimiento cuando el flujo de alimentación y descarga no se efectúan correctamente. Como estas actividades se realizan en forma automática, debe verificarse si la maquinaria sigue la dirección y pendiente establecidas.

Esto se logra por medio del uso de sistemas laser, que en la construcción de túneles sirve no sólo para reducir costos, sino para mejorar la exactitud, reducir pérdidas y proporcionar mayor seguridad.

Una multitud de lasers y montajes se consiguen comercialmente, pero la combinación más conveniente proyecta la luz laser a través del sistema optico de un teodolito, de manera que ángulos horizontales y verticales puedan girarse convenientemente con precisión.

La combinación laser-teodolito, se monta en un soporte especialmente diseñado, fijo al revestimiento primario. El soporte se diseña de manra que el laser teodolito se coloque en tres dimensiones y la luz laser precisamente orientada en --- azimuth (dirección) y la flexión (pendiente). La posición del laser-teodolito y la orientación de la luz laser, se calculan con equipo de procesamiento electrónico de datos y es registrado en una computadora.

La luz laser se dirige continuamente a dos tarjetas -- fijas en el escudo. En las intersecciones de la luz con las tarjetas aparecen puntos rojos brillantes. Conforme al escudo se mueve, los puntos rojos trazan trayectorias en las tarjetas.

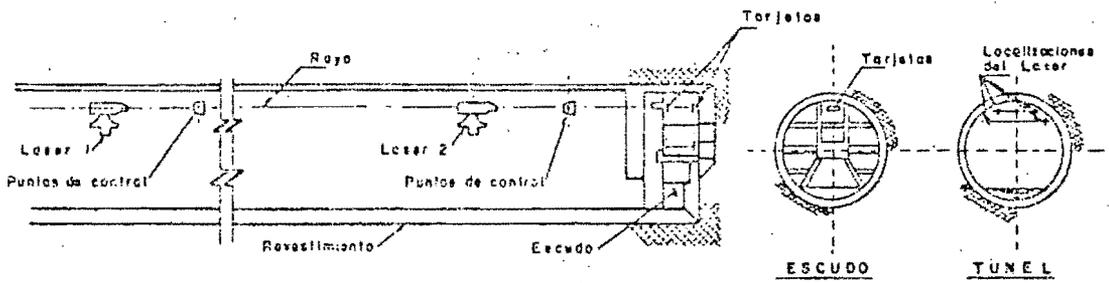
La posición relativa de la trayectoria marcada por el -

punto, comparada con la trayectoria calculada, indica la -- desviación del escudo de la posición deseada. En la figura , se presenta la localización del laser y las tarjetas dentro del túnel.

En una sección del túnel en tangente o en línea recta, la trayectoria calculada es una línea recta inclinada. En una sección de túnel en curva, la trayectoria calculada se aproxima a una hipérbola. A lo largo de la trayectoria -- graficada, se marcan estaciones a ciertos intervalos para referencia.

En el techo del compartimiento del operador del escudo, se montan dos tarjetas. Se usan dos tarjetas en lugar -- de una, por la misma razón que un rifle tiene mira trasera -- y delantera.

Las tarjetas se colocan en soportes con pasadores, y pueden girar hacia arriba o hacia abajo, según estén en uso o no. Los soportes también pueden moverse lateralmente alrededor del centro del escudo para compensar el giro del es cudo. Para un rápido chequeo del giro y pendiente del escu



SISTEMA DE DIRECCION DEL ESCUDO

do, el operador puede usar una plomada y una placa graduada en grados de giro y porcentaje de pendiente.

Si por alguna razón el laser se mueve, debido a movimientos del revestimiento o por accidente, la luz no pasa a través de los puntos de control y el operador no verá el punto rojo. Un punto de control es una placa perforada que se coloca entre el laser y el escudo; la luz del rayo debe pasar en todo momento a través del orificio y se colocan normalmente tres puntos de control.

ELIMINADOR DE GRAVAS.

En todos los lugares en donde se construyen túneles, pueden encontrarse estratos confinados conteniendo gravas, guijarros o pedruscos, con tamaños que van de 50 m.m. a 250 mm.; éstos materiales al tratar de pasar por la toma de succión de la tubería de descarga, producen atascamientos por lo que es necesario removerlos.

Una manera de conseguir ésto, es usando una trituradora hermética, la que recoge estos materiales para triturarlos y después regresarlos a los ductos de transportación de la mezcla de lodos, de esta forma son descargados a la superficie del terreno.

El proceso del disco cortador, es el que presenta mayor seguridad, porque la superficie cortadora va cortando el terreno y triturando el material grueso, para luego pasarlo a la cámara de presión y de aquí mezclado con los lodos, sacarlo por el sistema de bombeo a la superficie.

Otro procedimiento es por eliminador hermético que atrapa las gravas, guijarros y pedruscos, pasandolos hacia afuera de la cámara de presión a través de la mampara, por medio de las dobles puertas en forma de esclusa.

CAPITULO 5

OTROS SISTEMAS DE EXCAVACION.

Varios son los métodos constructivos que pueden seguirse para la excavación de túneles en suelos. Pero de todos ellos, el de aplicación más frecuente en la actualidad y con perspectivas, seguramente a imponerse por completo en el futuro, es el Método del Escudo.

La idea básica del escudo es que el proceso de excavación y la colocación del ademado deben dividirse en etapas lo más pequeñas posible, de tal manera que las dos operaciones sean casi concurrentes o simultáneas.

El escudo es una pieza cilíndrica de metal rígido -- cuyo perímetro reproduce la forma del túnel que se desea excavar. Su función primordial consiste en resistir las presiones que ejerce el terreno mientras se efectúa el montaje del revestimiento dentro de esta protección. Naturalmente, existen muchos modelos de escudos y algunas variantes en su operación, pero básicamente podemos distinguir tres tipos de

escudo, a saber:

- a.- Escudo de Frente Abierto
- b.- Escudo de Frente cerrado
- c.- Escudo con Presión al Frente.

a .- . Escudo de Frente Abierto.-

Este tipo de escudo es un cilindro de acero rígido -abierto en sus dos extremos longitudinales; presenta grandes facilidades en el frente de ataque para realizar la excavación del terreno, y hace menos difíciles los trabajos de --- erección del revestimiento prefabricado, ya que cuenta con - " un brazo erector" colocado en la parte posterior.

Aunque existe una gran variedad de escudos en cuanto a la forma, los circulares son los más utilizados debido a que presentan mayor resistencia a las presiones externas - que, como ya se mencionó, es la función principal del escudo. Las valiosas experiencias en cuanto a diseño de escudos circulares han dado como resultado que una relación de longitud a diámetro con valores entre 1 y 1.5, sean los adecuados para facilitar su manejo.

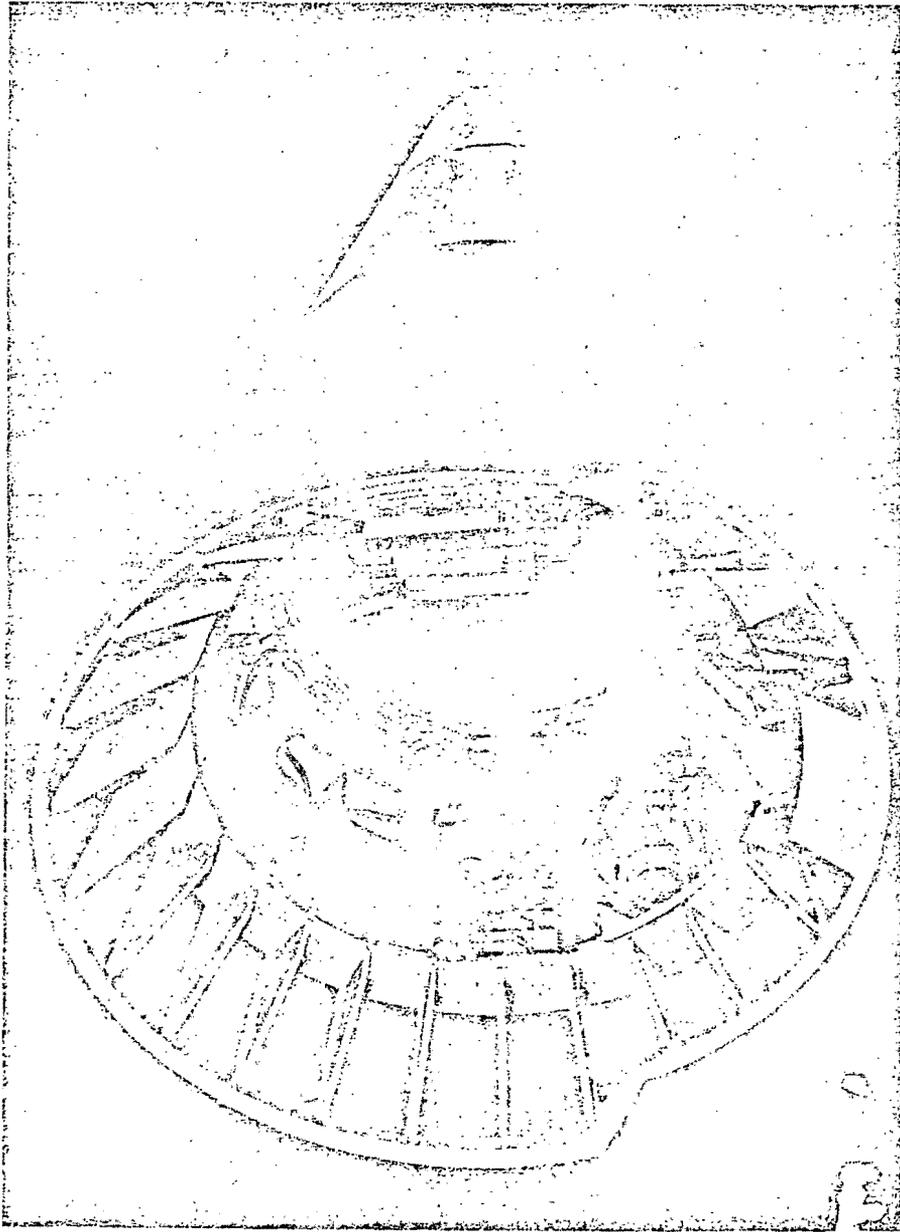
La parte principal de la estructura del escudo recibe el nombre de " camisa " o " forro", la cual está constituida de placas de acero que unidas entre sí le dan la forma cilíndrica.

La camisa o forro, a su vez, se divide en tres partes, que son:

1.- La cuchilla cortadora o " cachucha ", colocada en el extremo delantero de la camisa y cuyo diámetro es ligeramente mayor que el diámetro del escudo. Tiene la capacidad de penetrar un suelo blando bajo el impulso de una serie de gatos hidráulicos apoyados contra el revestimiento final. Es sumamente reforzada y su rigidez interna se incrementa con anillos atezados. Las funciones que tiene encomendadas son las siguientes:

- a) Facilitar uniformemente el avance y conducción del cuerpo del escudo cortando el frente, y proveer -- una distribución hasta donde sea posible de las -- presiones inducidas que lo empujan hacia atrás.
- b) Proteger a los trabajadores que realizan la excavación, y resistir la presión del terreno en el -- frente.

2.- El " tronco " o parte intermedia de la camisa sirve para alojar la maquinaria que permite impulsar hacia adelante el escudo, tales como gatos hidráulicos, así mismo, ta bleros de operación, plataformas de trabajos montadas sobre postes atezadores, etc.



Acabado de Frente Anillo. Mástilo para el túnel en -
suelos blandos.

3.- La cubierta trasera del escudo se le conoce con el nombre de " faldón", está diseñada de tal manera que pueda soportar las presiones verticales ejercidas por el terreno. Es en esta parte donde se realizan las maniobras necesarias para ir colocando el revestimiento prefabricado del túnel a medida que avanza la excavación.

La estructura total del escudo se complementa con maquinaria especial para la excavación, rezaga y transporte del material, montaje e inyección. El escudo está equipado con cuatro plataformas de rastras en las cuales están colocados: el brazo erector; bombas para proporcionar el fluido hidráulico a los gatos; equipo hidráulico de emergencia; y el control eléctrico para protección y operación del equipo, incluyendo un transformador de energía eléctrica. Todo esto es indispensable en la tunelización con escudos.

Las figuras 5-1 y 5-2 nos muestran las partes del escudo.

Ciclo de Operación.

La excavación de un túnel se realiza estableciendo un " Ciclo de Operación" (figs. 5.3 y 5.4), cuyo propósito es el de llevar a cabo una comparación de costos entre cada fase de un proyecto. También permite conocer si la ejecución del trabajo con respecto al tiempo se está efectuando tal y como se planeó, para que, en caso contrario, se preste atención especial a aquellas fases del trabajo que van retrasadas.

Dentro de las operaciones del túnel el ciclo de trabajo

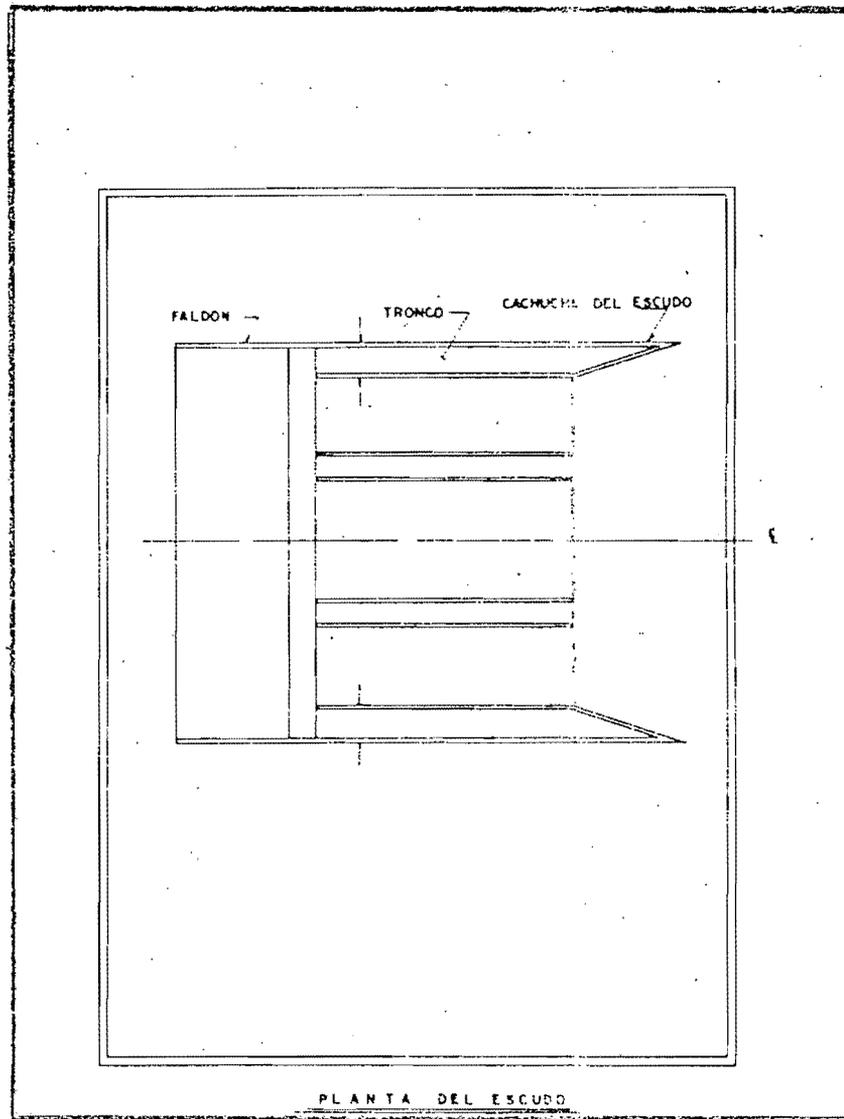


fig. 5.1

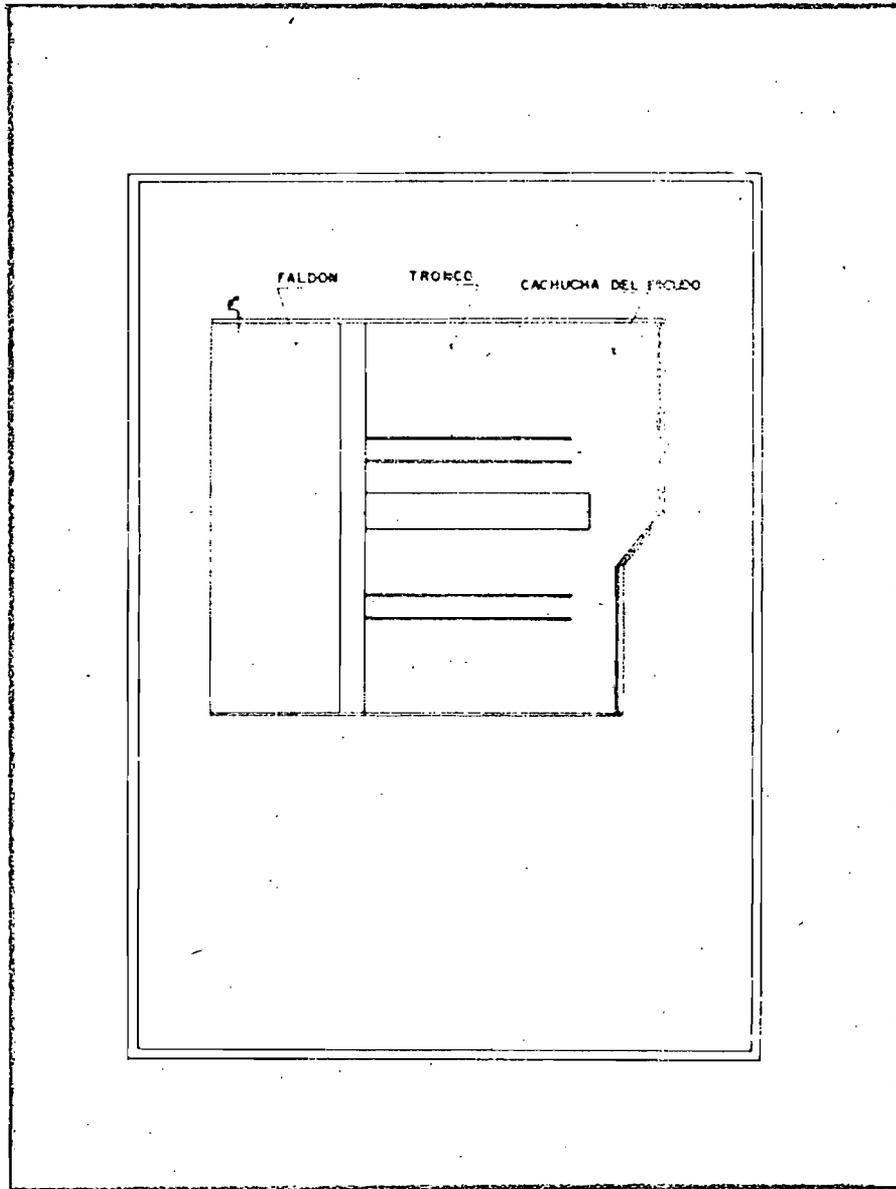


fig. 5.2

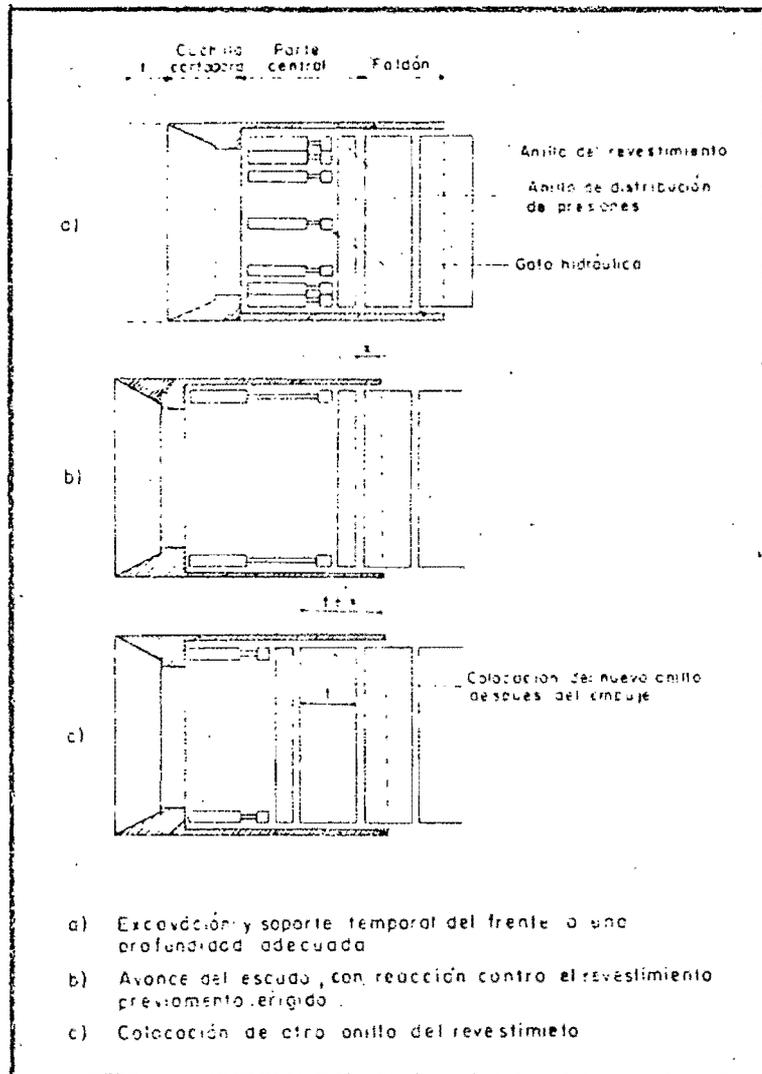


fig. 5.3

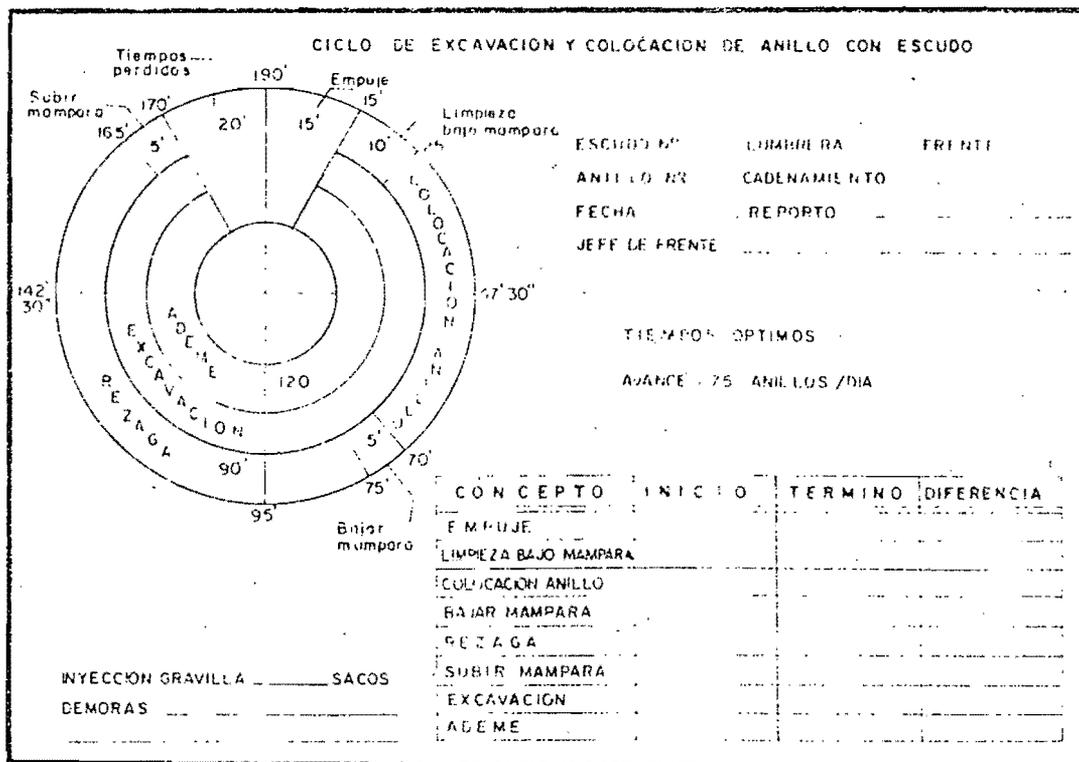


fig. 5.4

jo se compone de las siguientes etapas:

- a).- Excavación
- b).- Ademe del frente
- c) Bajar mampara
- d).- Rezaga
- e).- Levantar mampara
- f).- Empujar el Escudo
- g).- Limpiar la plantilla
- h).- Colocar segmentos
- i).- Apretar tornillos entre dovelas.

La excavación se realiza en el frente mediante el uso de martillo neumático, brazos excavadores u otro tipo de herramienta adecuada. Normalmente el frente se divide en 6 partes: tercio superior, derecha e izquierda; tercio medio, derecha e izquierda y tercio inferior, derecha e izquierda. Fig.V.5.)

Cada sección se "banquea" de arriba hacia abajo en una profundidad equivalente a un empuje. Además, se ejecuta una ranura en forma de punta de flecha de 60-80 cm. de profundidad y 20-40 cm. de ancho en la clave, para facilitar el avance del escudo. El material "banqueado" cae a la parte-

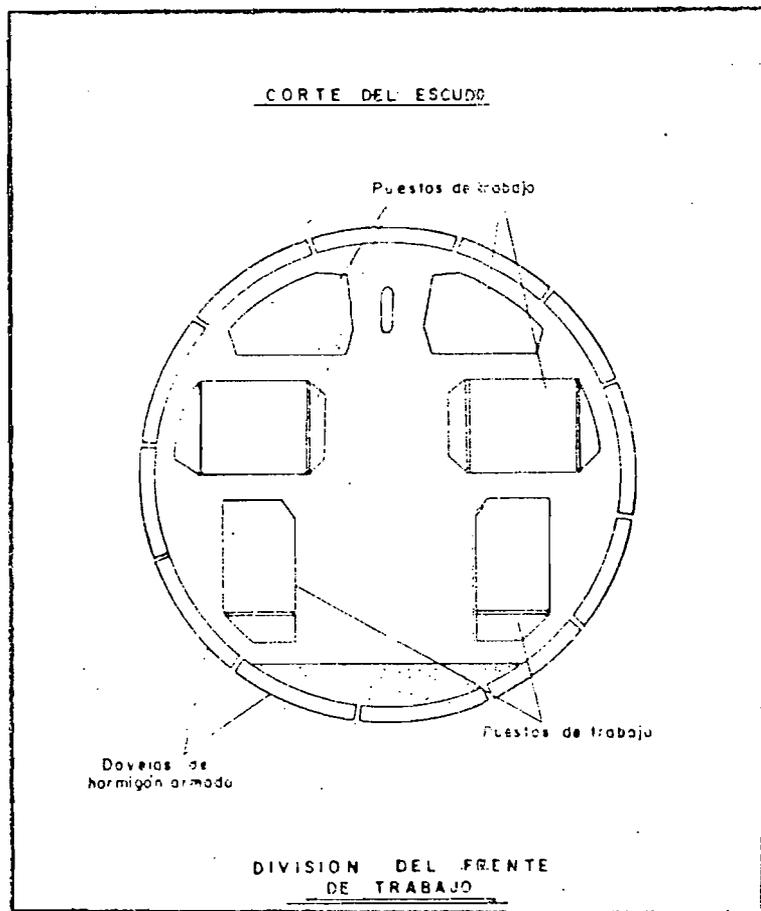


fig. 5.5

inferior del escudo en el tramo del " Tronco" donde es rete
nido por una mampara.

Esta operación se inicia al terminar un empuje del --
escudo y es simultánea a la colocación del último anillo de
dovelas.

El ademado del frente consiste en colocar tableros de
madera inmediatamente después de terminar el " banqueo" de -
cada parte. Los tableros son detenidos por los gatos fronta
les que el escudo lleva en la parte delantera. Estos gatos -
tienen además la cualidad de retraerse al avanzar el escudo,
manteniendo una presión constante en el frente de ataque. -
(fig. v.6).

Simultánea a la excavación y al ademe frontal, se ini
cia la extracción del material cortado. Para ésto, primero -
se baja la mampara que retiene a los escombros y después se
permite el acceso a una máquina rezagadora con banda trans-
portadora, la cual deposita el material en vagonetas que, -
arrastradas por una locomotora, se encargan de llevarlo a la
lumbrera. De ahí la rezaga es elevada a la superficie por -
medio de un malacate y vaciado a una tolva, hasta donde lle

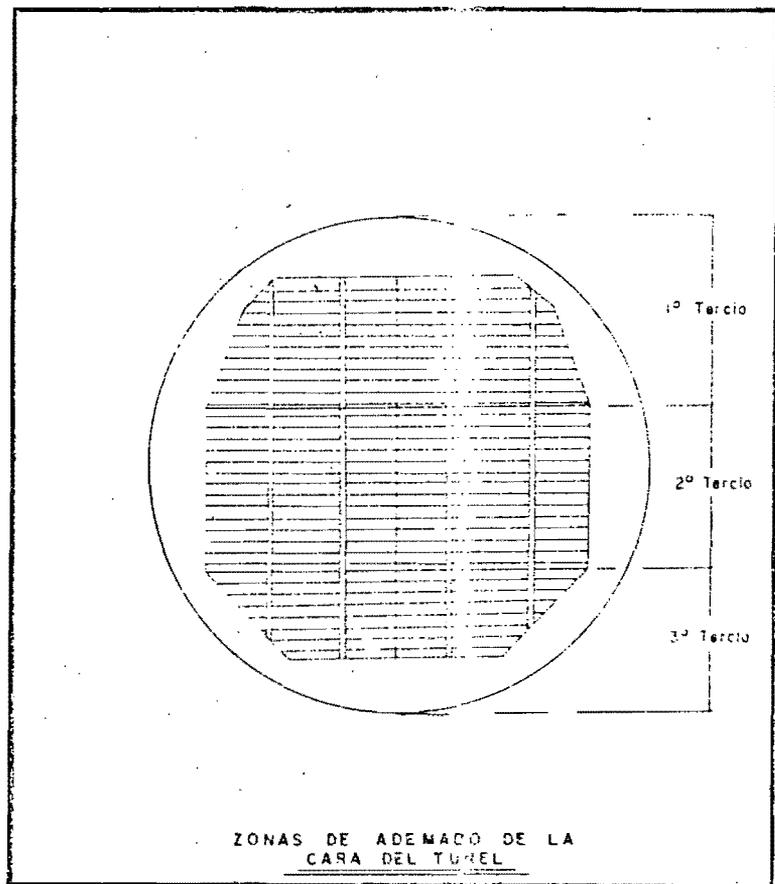


fig. 5.6

gan los camiones de volteo encargados de acarrear los escombros a la zona de tiro elegida.

Terminadas las excavaciones, ademe del frente y rezaga, se levanta la mampara con el objeto de impedir que el suelo - que pudiera desprenderse del frente durante el empuje, caiga - dentro de la zona del faldón donde se hará la ercción del anillo. Acto contínuo, se accionan los gatos de empuje y se hace avanzar el escudo, hincándolo en forma de cuña en el terreno. Los gatos frontales permanecen presionando al suelo del frente gracias a la acción automática de retracción que poseen.

El empuje define los alineamientos y pendientes del -- proyecto con la ayuda de un sistema combinado laser-teodolito. Esta combinación se monta en un soporte especialmente diseñado, fijo al revestimiento primario. La posición del laser - teodolito y la orientación de la luz laser se calculan con - equipo de procesamiento electrónico de datos y es registrado en una computadora. La Luz laser se dirige contínuamente a - dos tarjetas fijas en el escudo, en las intersecciones de la luz con las tarjetas, aparecen puntos rojos brillantes. Conforme el escudo se mueve, los puntos rojos trazan trayecto--

rias en las tarjetas (fig. 5.7)

La posición relativa de la trayectoria marcada por el punto comparada con la trayectoria calculada, indica la desviación del escudo de la posición deseada.

El uso del laser con tarjetas elimina mucho tiempo -- de comprobación después de cada empuje ayudando a acelerar -- el ciclo.

Como el movimiento del escudo es una operación muy -- importante, su avance se debe realizar con el número de gatos adecuados. Estos se apoyan en el último anillo de dovelas, -- colocando en el propio faldón del escudo.

Terminado el avance se limpia la plantilla dentro del faldón para proceder a colocar el adema primario formado por dovelas. Estas pueden ser de concreto reforzado, acero o hierro fundido, y sus dimensiones dependerán principalmente del peso que pueda ser manejado y de las dimensiones del faldón. El montaje de los segmentos se hace mediante un " brazo erector" que está colocado en la parte posterior del escudo --- (fig. V.8.); el brazo tiene facilidad de girar, desplazarse-

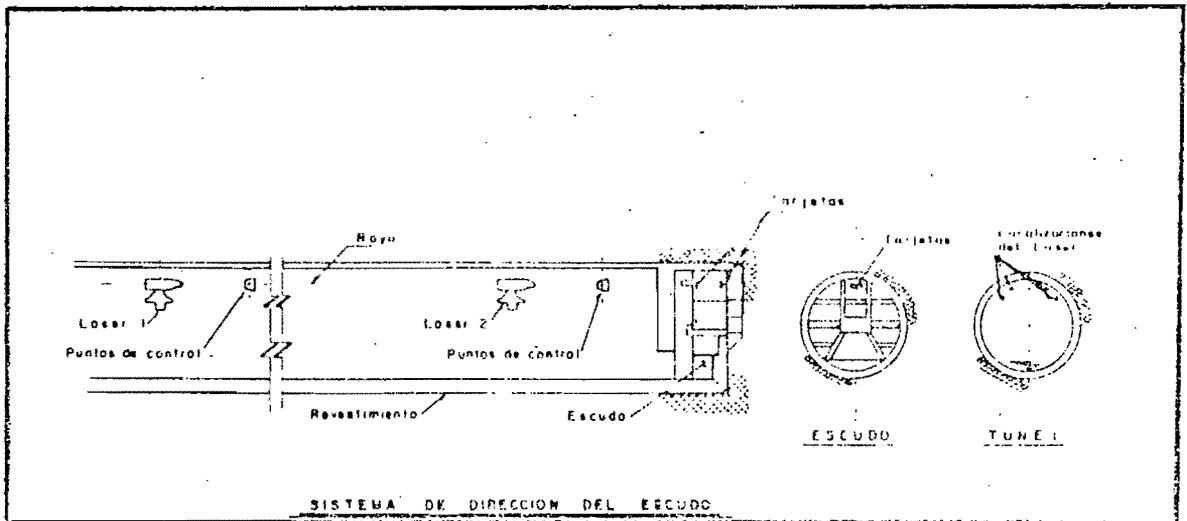


fig. 5.7

o retraerse longitudinalmente y acoplarse a la dovela para ponerla en su posición final. La colocación del segmento se empieza del piso hacia los lados y en la clave se coloca una pieza de cierre o llave. Muchas veces, los anillos formados tienden a adoptar una forma oval y no circular como se proyecta, por lo que es necesario colocar un par de puntales para evitar su deformación. Este apuntalamiento se conserva hasta después del inyectado, tratado más adelante (fig. V.9).

A continuación se aprietan los tornillos que sirven de unión entre segmentos y con ésto se cierra el ciclo de la excavación.

Inyecciones.

Al realizar un empuje queda un espacio vacío entre las dovelas y el terreno natural, el cual se llena mediante inyecciones de materiales para reducir los asentamientos en la superficie y para disminuir al mínimo las filtraciones de agua hacia el túnel. Comúnmente la inyección se ejecuta en cuatro etapas:

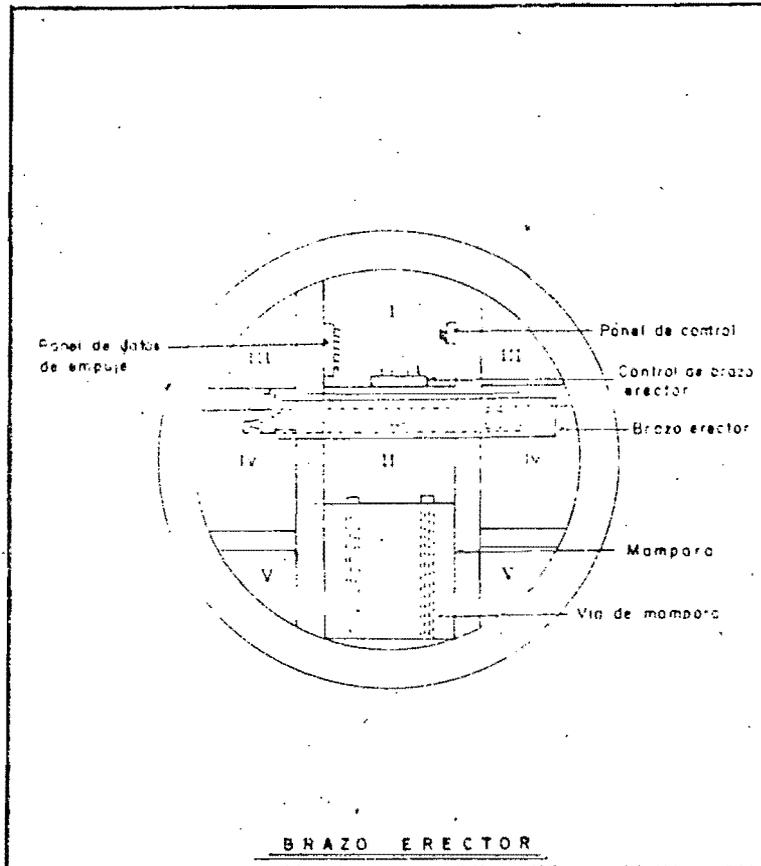


fig. 5.8

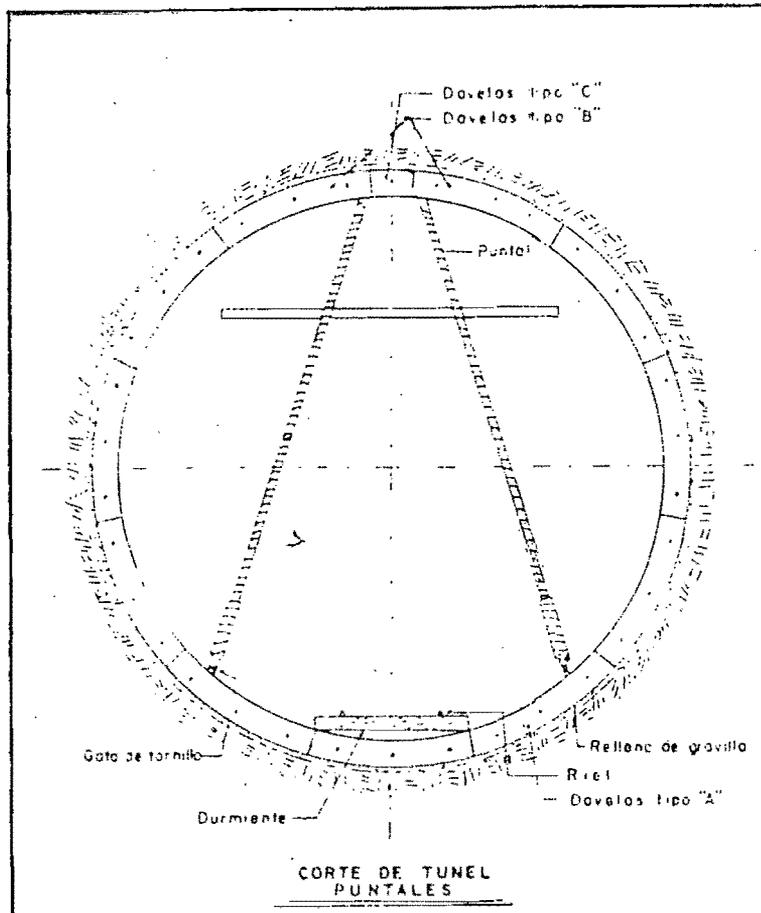


fig. 5.9

Primera etapa.

El espacio vacío se rellena con gravilla inyectada a presión. La gravilla es colocada mediante el uso de una lanzadora neumática que se conecta a una manguera, la cual se introduce en perforaciones previamente dejadas en las dovelas. El tamaño de la gravilla varía entre 4 y 6 mm. y su colocación se puede hacer simultáneamente con el avance del escudo.

Segunda etapa.

Tapón.- En los últimos tres anillos del tramo a tratar se inyecta un mortero de fraguado rápido, cuya finalidad es evitar que la lechada de las etapas siguientes se prolonguen a la zona del escudo.

Tercera etapa.

Esta ineycción es menos densa que la anterior, consiste de un mortero más fluido y sin acelerante que se usa para llenar los vacíos dejados por la gravilla.

Cuarta etapa.

Finalmente, se inyecta una mezcla fluida formada de agua, cemento y bentonita, su función principal es la de sello e im permeabilización. La fig. V.10 nos muestra el procedimiento de inyección.

Abatimiento del Nivel Freático.

Cuando la excavación de un túnel se realiza en suelos situados bajo el nivel frático, es necesario ejecutar un abatimiento del mismo con el objeto de facilitar las operaciones de construcción y para mejorar las condiciones de estabilidad del frente.

Generalmente, el sistema de abatimiento consiste en perforar pozos hasta una profundidad bajo la plantilla del túnel igual a dos veces el diámetro de éste; y en ellos instalar bombas sumergibles.

Los pozos se colocan en dos líneas separadas 6 metros del eje del túnel y dispuestos a tresbolillo con espaciamientos que según experiencias acumuladas, pueden variar de ---

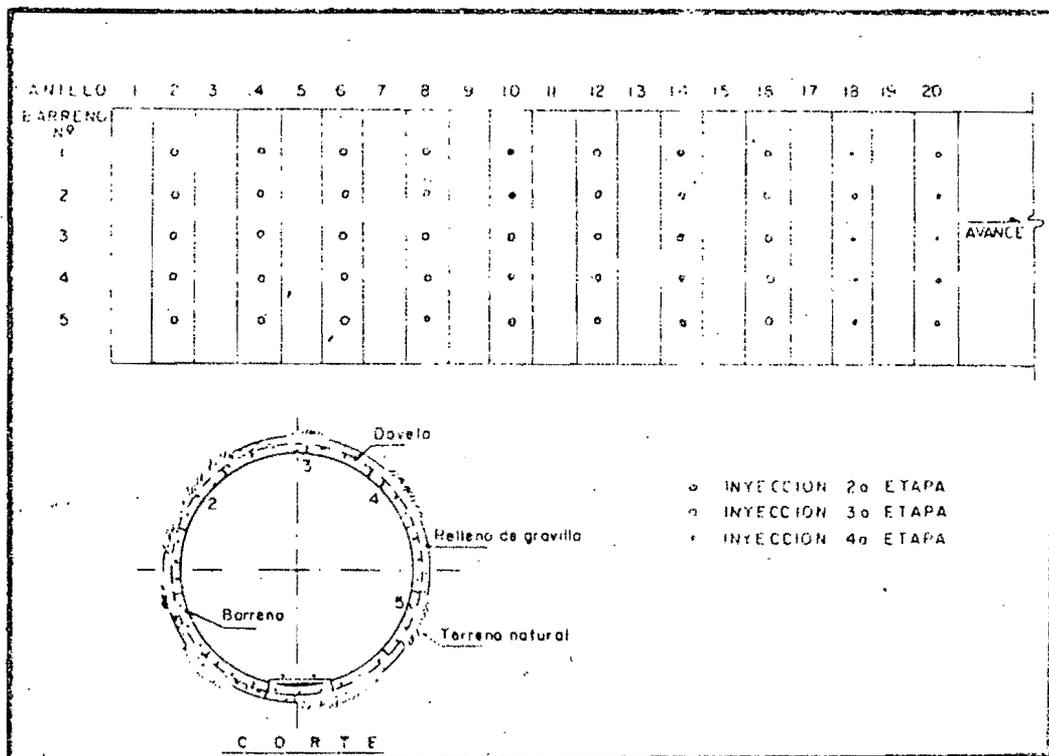
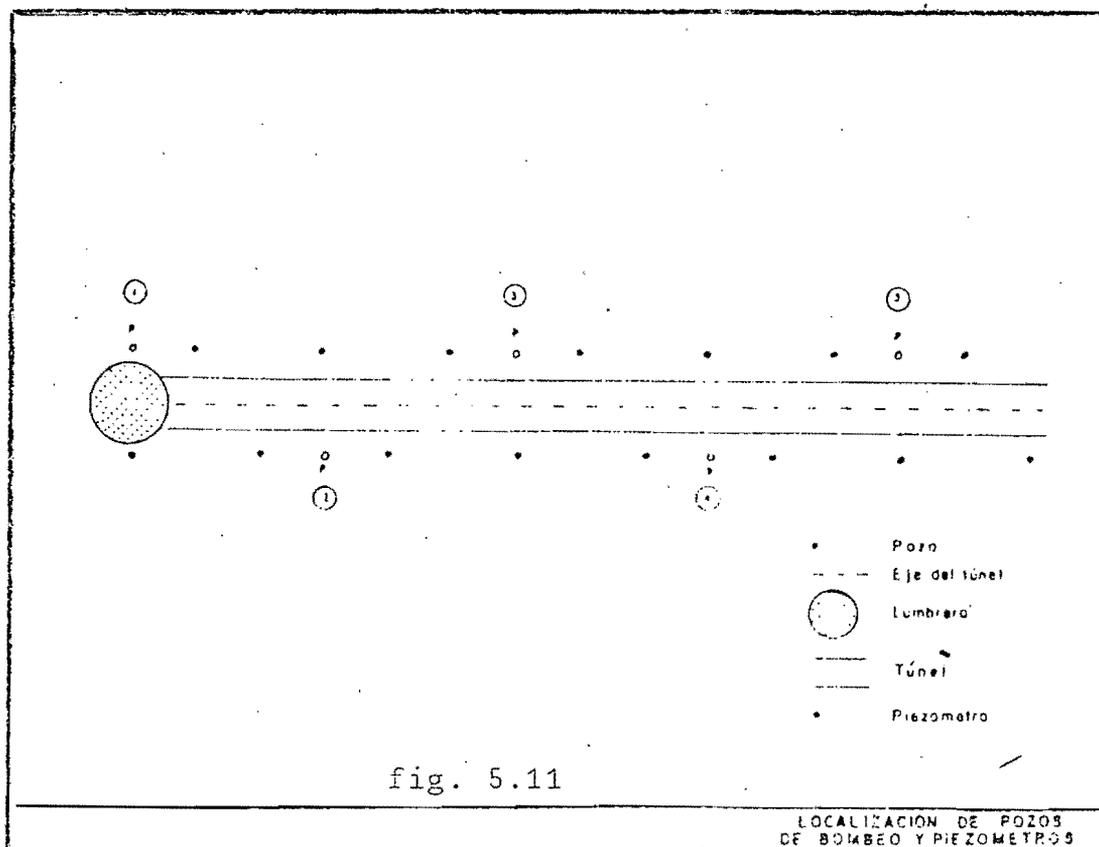


fig. 5.10



15 a 20 metros y en una longitud aproximada de 100 metros - atrás y 100 metros adelante del escudo.

Los pozos se deben diseñar de tal forma que se logre su máxima eficiencia permitiendo la mayor atracción del agua que se encuentra en la zona a tratar y que, además, impide la entrada de materiales finos durante el bombeo y la consecuente formación de cavernas en la línea a seguir por el escudo - (fig. V.11)

b) .- Escudo de Frente Cerrado.

Un segundo tipo de escudo es aquel que lleva en todo su frente una estructura metálica, conocida con el nombre de "mampara", que contiene al suelo delante de la excavación. - La mampara está compuesta de viguetas de acero en forma de rejillas cubiertas con placas dobles, igualmente de acero reforzado. La obstrucción frontal es el motivo por el cual a esta máquina se le conoce como " Escudo de Frente Cerrado "

La máquina tradicional del tipo mencionado, va realizando la excavación del túnel mediante simple desplazamiento

del suelo, al penetrar el escudo por la acción de empuje de los gatos hidráulicos. Estos están localizados dentro de la camisa del escudo para dar fuerza a la mampara apoyándose en las dovelas que integran el revestimiento primario. Los gatos de empuje deben ser diseñados para vencer las siguientes resistencias:

- a).- La fricción del terreno sobre la superficie exterior de la camisa del escudo.
- b) La fricción del anillo de dovelas en el faldón del escudo.
- c).- La resistencia del terreno que no ha sido desplazado en el frente del escudo.

La fig. V-12, nos muestra los gatos típicos usados en el tuneleo con escudos.

Sobre el túnel se sobreeleva la superficie del terreno por el suelo desplazado, que puede posteriormente dragarse, si así se desea (fig. V-13)

Algunas veces resulta ventajoso permitir el flujo de

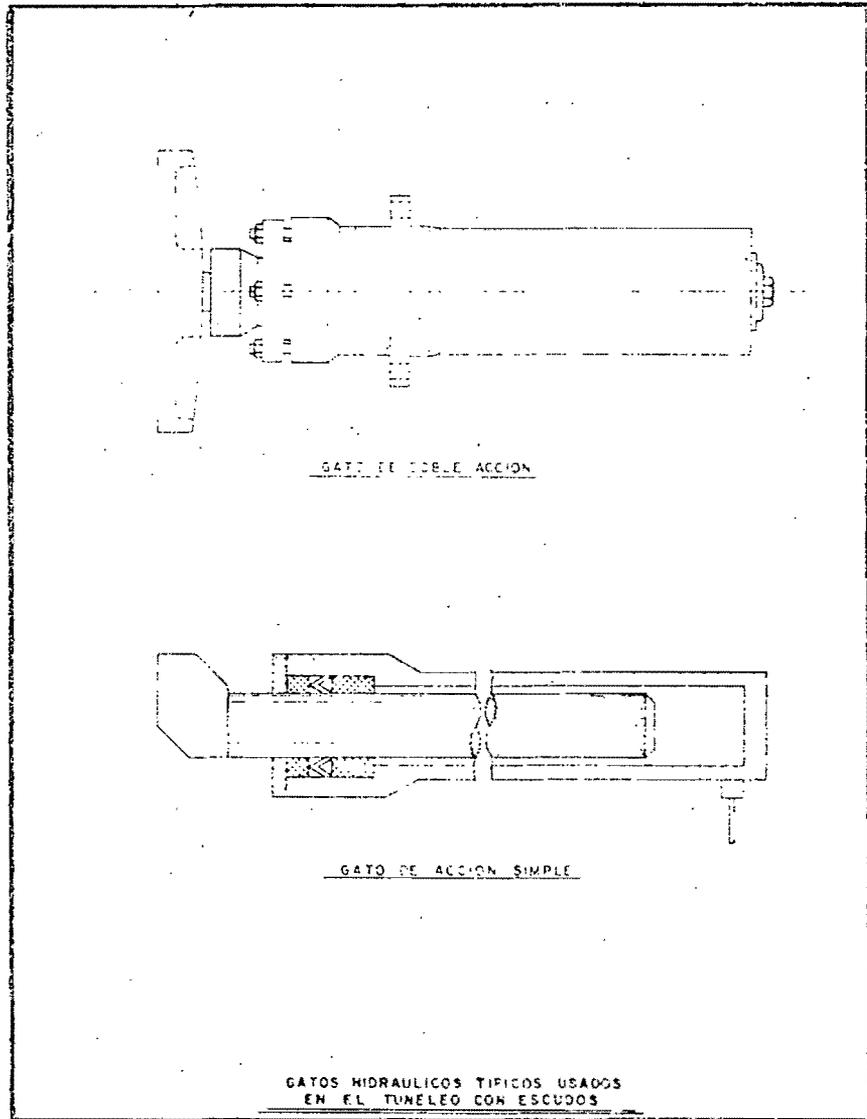


fig. 5.12

algo de material hacia el interior del escudo, ésto se puede conseguir mediante una o más aberturas muy pequeñas realizadas previamente en la mampara. El flujo de material se puede mantener a un mínimo ajustando las ranuras entre el 15 y 20% del área total del frente, conforme van variando las condiciones del suelo, con ésto se logra reducir los costos de operación del movimiento de tierras a través del túnel. Las ranuras de admisión son controladas por operación de compuertas y gatos hidráulicos. Las figuras V.14 y V.15, nos muestran este tipo de escudo.

En la parte posterior del escudo se dispone de un brazo hidráulico con el propósito de colocar el revestimiento primario del túnel, formado generalmente por dovelas que unidas entre sí, van integrando anillos. Las dovelas son transportadas en el interior del túnel a través de vagonetas que son tiradas por una locomotora; son llevadas hasta el brazo erector el cual posee en su extremo un dispositivo especial que toma a la dovela y la coloca en el lugar deseado.

Unos metros atrás del escudo se cuenta con una estructura metálica provista de ruedas y que se desplaza sobre rieles. En ella se tienen los motores para las bombas del sistema

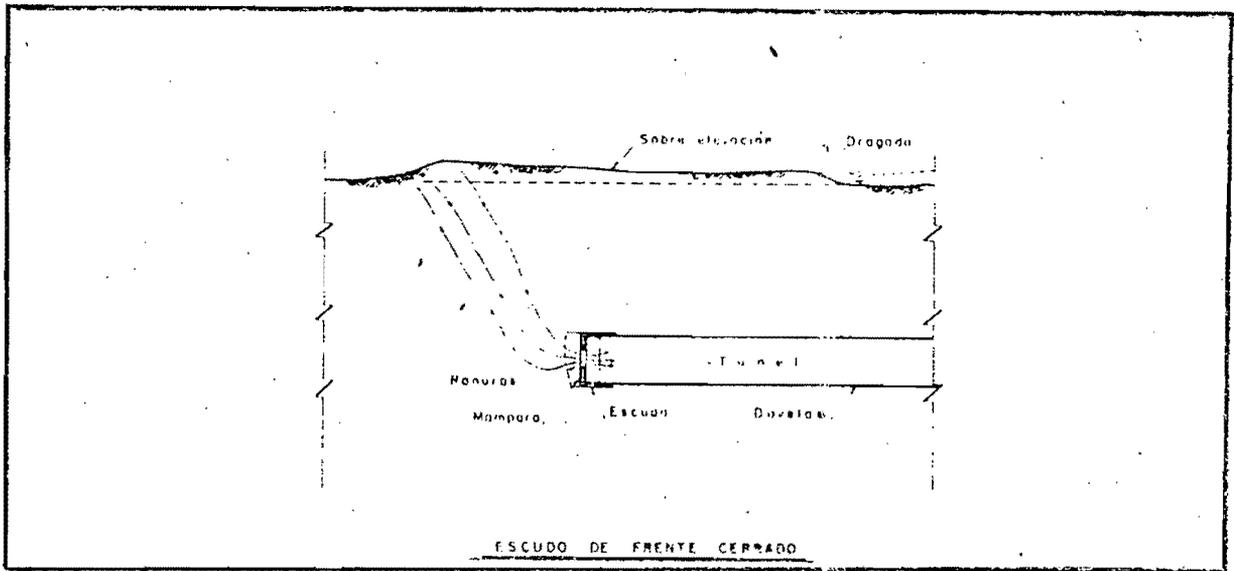


fig. 5.13

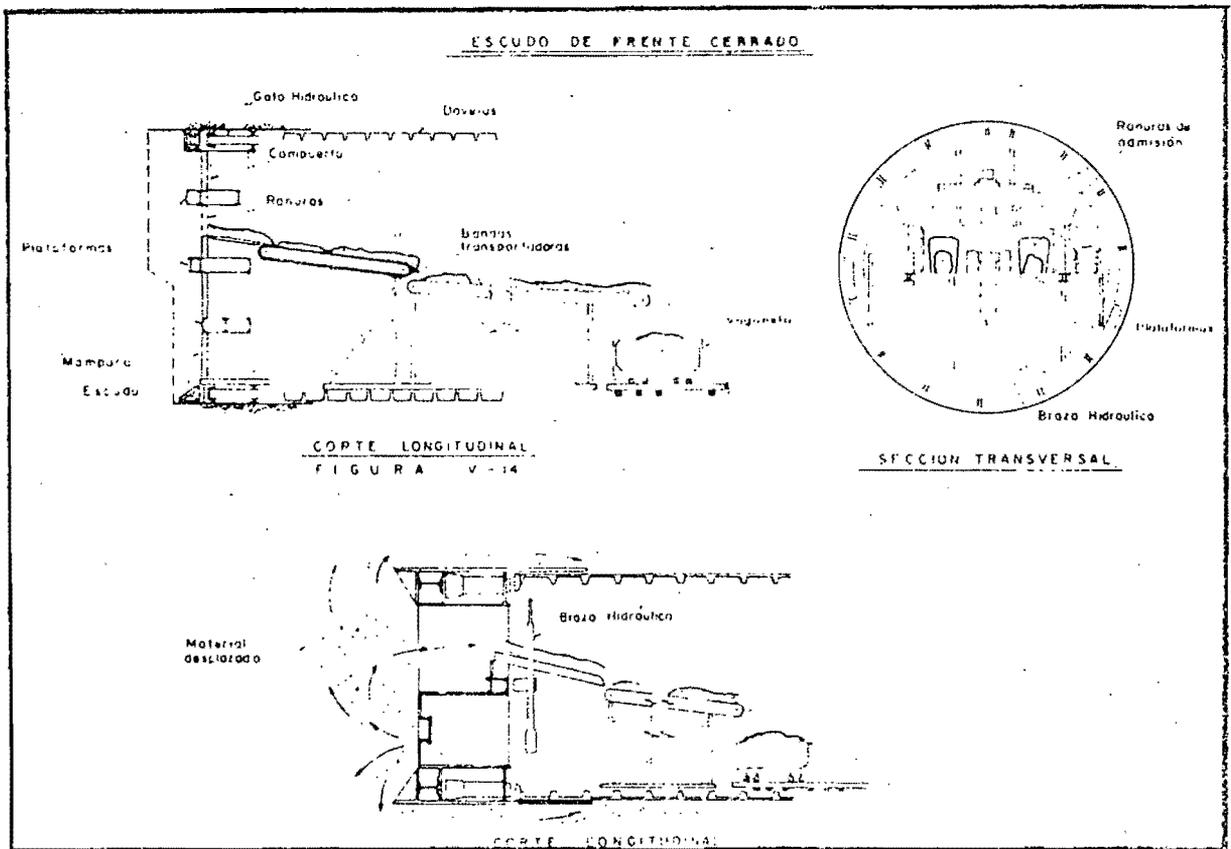


fig. 5.14 y fig. 5.15

ma hidráulico que accionan los gatos de empuje, motorreductores de las bandas que transportan el material que se permite pasar hacia el interior, un transformador que alimenta a los motores y otro que se usa para la iluminación y uso de herramientas eléctricas, y el equipo de inyección de materiales.

El alineamiento del escudo se lleva por medio de un rayo laser, siguiendo el mismo sistema que para escudos de frente abierto.

Ciclo de Excavación.

El ciclo de excavación de un escudo de frente cerrado consiste de las operaciones siguientes:

- a).- Empuje del escudo.
- b).- Operación de compuertas
- c).- Rezaga
- d).- Erección de dovelas
- e).- Apretar tornillos entre dovelas.

a).- Empuje del Escudo.

El empuje se realiza por la simple acción de expansión de los gatos hidráulicos que se apoyan en el último anillo -- del revestimiento primario colocado. El empuje de los gatos debe ser uniforme para impedir que el escudo tienda a salirse de la línea proyectada. La dirección correcta del escudo se controla mediante un sistema combinado de rayo laser-teodolito.

b).- Operación de compuertas.

Conforme el escudo avanza, las compuertas de las ranuras frontales se abren para permitir el flujo de material hacia el interior. Cuando ya ha penetrado el material necesario, las compuertas se vuelven a cerrar impidiendo el flujo. Su manejo se realiza mediante gatos hidráulicos que las hacen accionar.

c).- Rezaga.

Simultáneamente a la operación de las compuertas, una banda transportadora se encarga de ir recogiendo el material que fluye al interior y lo va depositando en una tolva, de ahí

pasa directamente a las vagonetas encargadas de llevar los escombros a la lumbrera.

d).- Erección de Dovelas.

Una vez terminada la expansión de los gatos de empuje del escudo, se procede a retraerlos uno por uno para dar espacio a la colocación de las dovelas. El brazo erector es utilizado en esta operación. La colocación se empieza del piso hacia los lados y en la clave se coloca una pieza de cierre de llave.

e). Apretar tornillos entre dovelas.

Formado ya el anillo de dovelas, se procede a apretar los tornillos que las unen entre sí, con esto se cierra el ciclo de la excavación.

El hueco existente entre el revestimiento primario y el terreno natural, formado al avanzar el escudo, es rellenado por gravilla y lechada de cemento, tal como se muestra en la fig. V.16.

Algunos escudos de frente cerrado están diseñados - de tal manera que delante de la mampara se puede adaptar un sistema mecanizado de excavación. Entre los sistemas de este tipo se tienen:

- a).- El Disco Excavador Rotatorio.
- b).- El Disco Excavador Oscilante.
- c).- La Draga con Cabeza Excavadora.

En muchos casos, además de la máquina excavadora, se re quiere de un método estabilizador del frente, que contenga - al suelo e impida el flujo de agua hacia el interior. Los - principales métodos de estabilización de la cara se resumen - en la tabla V-1

La figura V.17 nos muestra un procedimiento de excava- ción en que se combinan: escudo de frente cerrado-excavador mecánico-estabilización del frente.

- c).- Escudo con Presión al Frente.

En los años recientes se ha desarrollado en varios paí - ses una nueva técnica de tuneleo, cuya utilización puede -

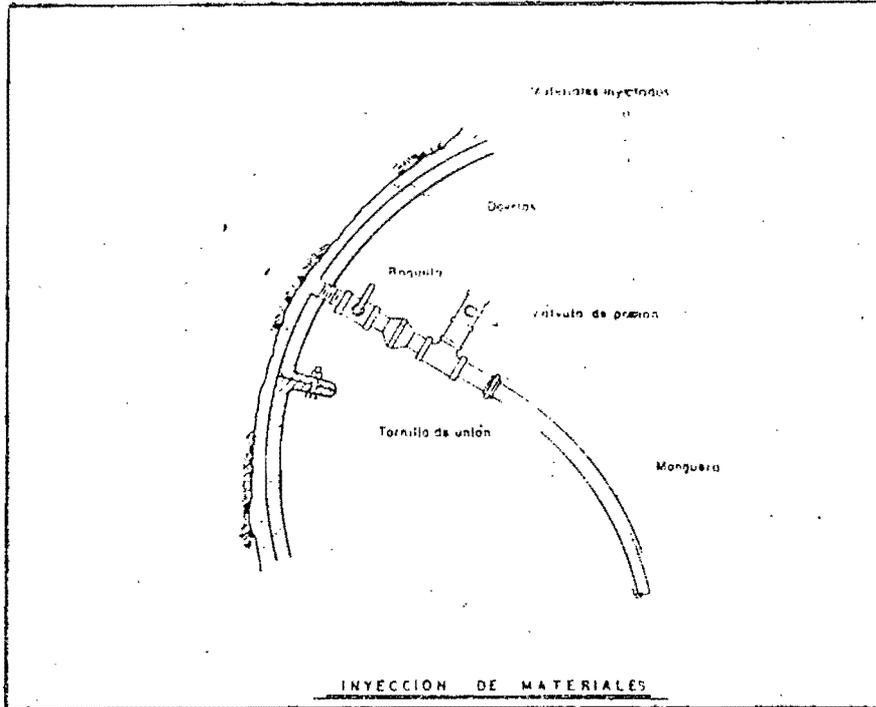
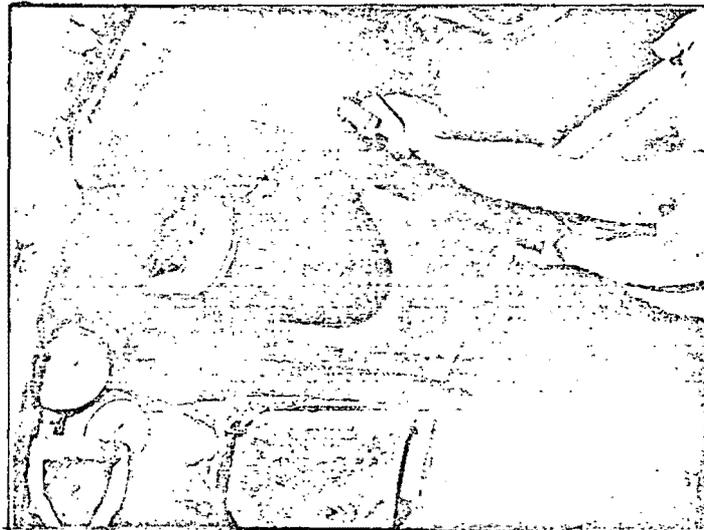


fig. 5.16



Retracción de los gatos hidráulicos para la colocación de las dovelas.

METODOS DE ESTABILIZACION DEL FRENTE		
DESARROLLADOS	MECANICOS	MAMPARA
		ESCUDO
		GALERIA Y BANCO
	AIRE COMPRIMIDO	
	MORTERO QUIMICO	
	MORTERO CEMENTADO	
	POZOS PUNTA Y POZOS PROFUNDOS	
	CONGELACION	
	BALANCEO AGUA Y SUELO	
	NO DESARROLLADOS	ESTABILIZADORES QUIMICOS
ESPUMA DE POLIURETANO		
RESINA EPOXICA		
ACIDO ACRILICO COPOLIMER		
LATEX URETANO		
ALCOHOL TURBULENTO		
FENOL Y UREA FORMALDEHIDA		
RESINA EPOXICA SOLUBLE EN AGUA		
ETER POLIVINILICO		
GOMA SOLUBLE EN AGUA		
HIDRON S.		
AIRE SOLO EN EL FRENTE		
COMPACTACION VIBRATORIA		
CONGELAMIENTO CRIOGENICO		
ELECTRO - OSMOSIS		

TABLA V.1

resultar prometedora para controlar las arcillas más malas de la Ciudad de México. Los técnicos japoneses son los que han logrado los mayores adelantos de esta técnica conocida como " Escudo con Frente de Lodo "

Generalmente, para poder aplicar este método se requiere de los siguientes elementos:

- 1.- Un escudo que mantiene estables las paredes del túnel y ayuda en la estabilidad del frente.
- 2.- Una cámara de presión al frente llena de lodo presurizado que estabiliza la cara de la excavación.
- 3.- Un disco cortador rotatorio sumergido en la cámara de presión que se mueve por medio de motores eléctricos o hidráulicos para cortar el suelo.

- 4.- Un sistema de agitación que desmenuza el material cortado y lo mezcla con el lodo estabilizador, dentro de la cámara de presión.

- 5.- Un sistema de bombeo que extrae la mezcla suelo-lodo de la cámara de presión y la envía a superficie para su posterior tratamiento y eliminación

- 6.- Una planta de tratamiento instalada fuera del túnel, se encarga de separar el lodo estabilizador de la mezcla descargada y lo deja en condiciones para recircular en el frente.

La fig. V-18.- nos muestra los elementos que integran la maquinaria del Método del " Escudo con Frente de Lodo "

La máquina del escudo.

La máquina del escudo con frente de lodo es un cilindro abierto en sus extremos, pero dividido en dos partes de tal forma que se tienen igual número de zonas de trabajo en -

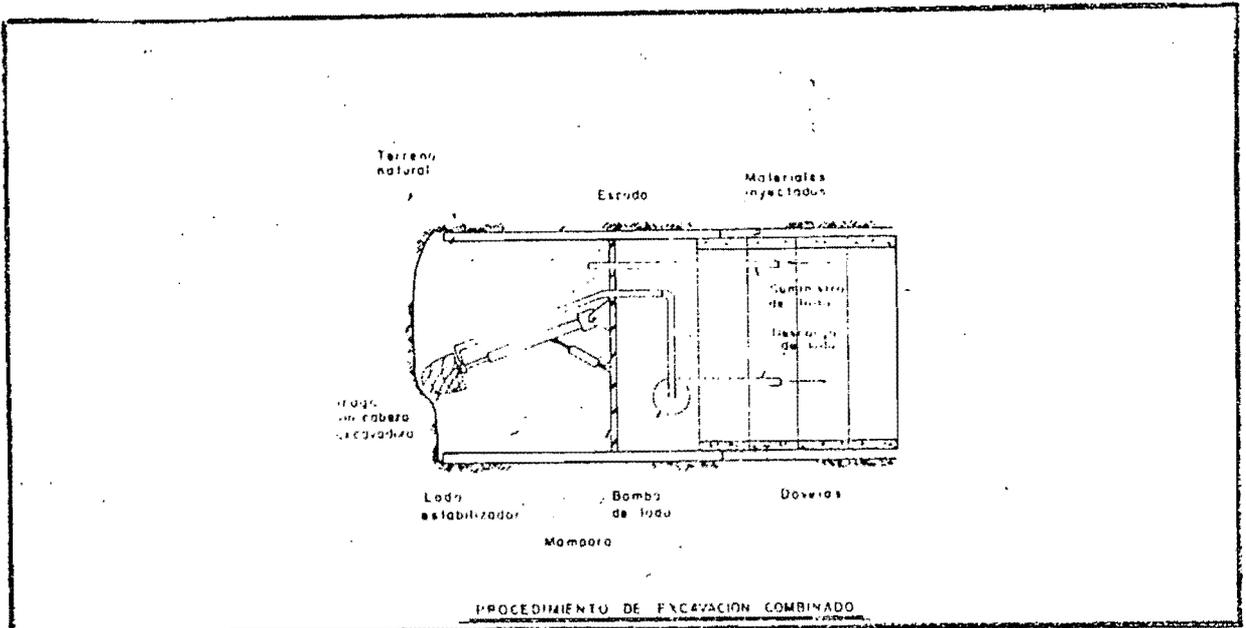


fig. 5.17

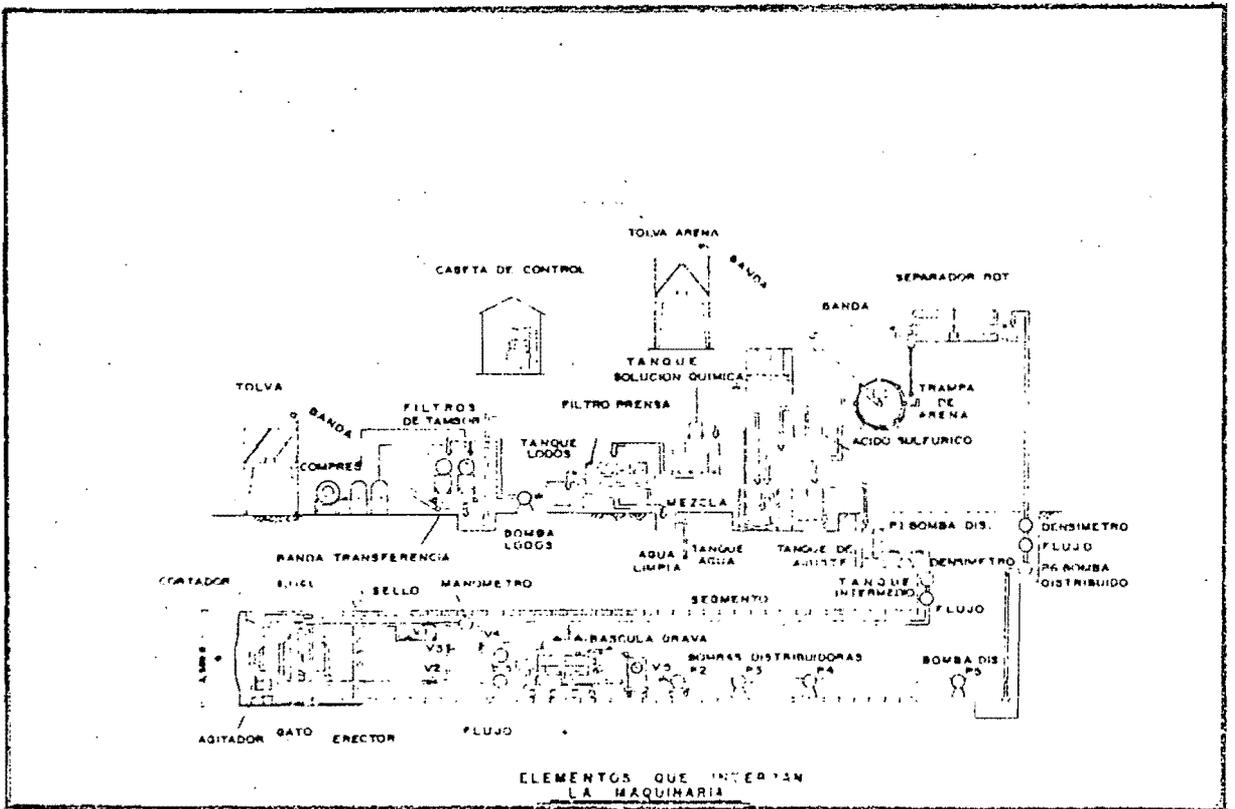
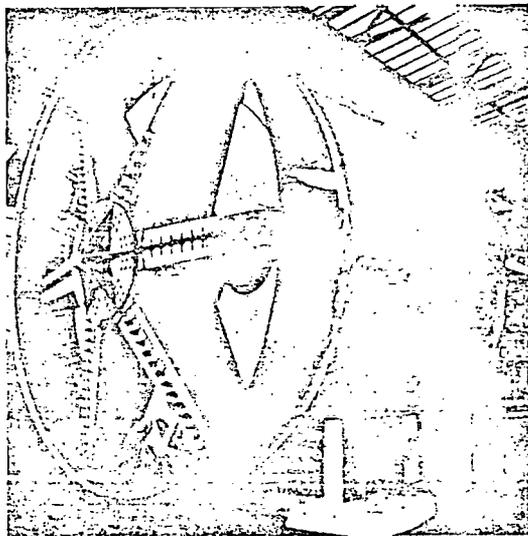


fig. 5.18



Máquina del Escudo con Frente de Lodo

Incluye el escudo, el cortador y el sistema de agitación.

condiciones distintas, la parte delantera forma la cámara de presión y la parte trasera es la zona de erección del revestimiento. Tiene un cortador plano o achatado, con uno o varios ejes diametrales en donde van colocadas las navajas cortadoras, se mueve por motores aleohidráulicos o eléctricos y posee un eje central o flechá que lo hace rotar y le permite desplazarse cierta longitud. La cara del cortador tiene unas compuertas de escape por donde pasan los escombros a la cámara de lodo.

La parte posterior de la máquina es de una longitud donde pueden caber dos segmentos circulares formados por dovelas. En el faldón del escudo se tiene un sello con apariencia a un cepillo de cerdas de alambre, el cual impide que las posibles fugas de lodo que puedan acontecer en el frente y se desplacen a lo largo del escudo, lleguen al lugar donde se colocan los segmentos y perturben las maniobras de erección. Al sello de cerdas de alambre suelen seguirle dos más de hule o neopreno muy resistente, desempeñando la misma función del primero ---
(fig. V-19).

En la mitad superior del escudo y pegada a la mampara que limita a la cámara de presión, se tiene una pequeña esclusa de personal que se presuriza con aire, cuando se utiliza para revisión del cortador y de los agitadores.

Dentro de la cámara de presión se tiene un sistema de agitación que se encarga de revolver el suelo excavado con el lodo. A un lado de los agitadores se tiene una tubería por donde se descarga la mezcla y se manda a la superficie con la ayuda de bombas, similares a las usadas por las dragas marinas de succión. Una tubería más que sale de la parte superior de la cámara de presión, es la encargada de inyectar lodo a presión, proveniente de la superficie, a la cámara.

A una distancia conveniente atrás del escudo y jalado por éste, se tiene una estructura formada por marcos metálicos y plataformas que desliza sobre rieles, se le conoce como "tren de equipo". En él, se encuentran instaladas las bombas de lodo, transformadores de energía eléctrica, sistema de comunicación, maquinaria para la inyección de lechadas y demás herramientas que se requieren.

La capacidad de la máquina del escudo dependerá principalmente de las propiedades del suelo y del diámetro del túnel a construir.

De la literatura japonesa presentamos la siguiente tabla que nos señala la capacidad del escudo según las propiedades del suelo.

	Par de Torsión del Cortador T.m.	Velocidad del Cortador m/min.	Velocidad de Mo- vimiento del Es- cudo cm/mín.
Arcilla, limo N: Inferior a 5	0.4 - 0.6 D ³	15 - 30	3-10
Arena, arena y grava. N:20 a 50	1.0 - 1.4 D ³	8 - 15	2- 6

En donde:

- N = Número de golpes en prueba de penetración estándar
- D = Diámetro del Escudo.

La fig. V 20. nos muestra la máquina del escudo con presión al frente.

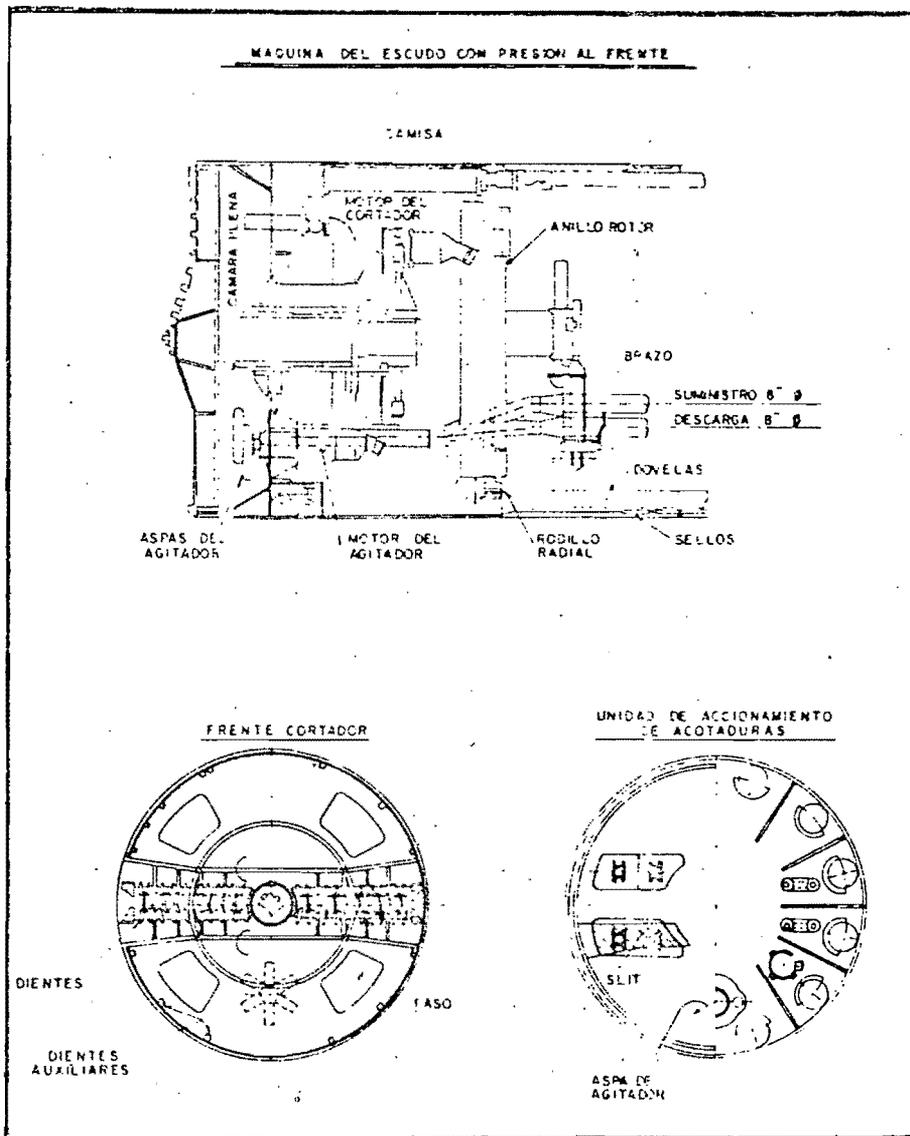
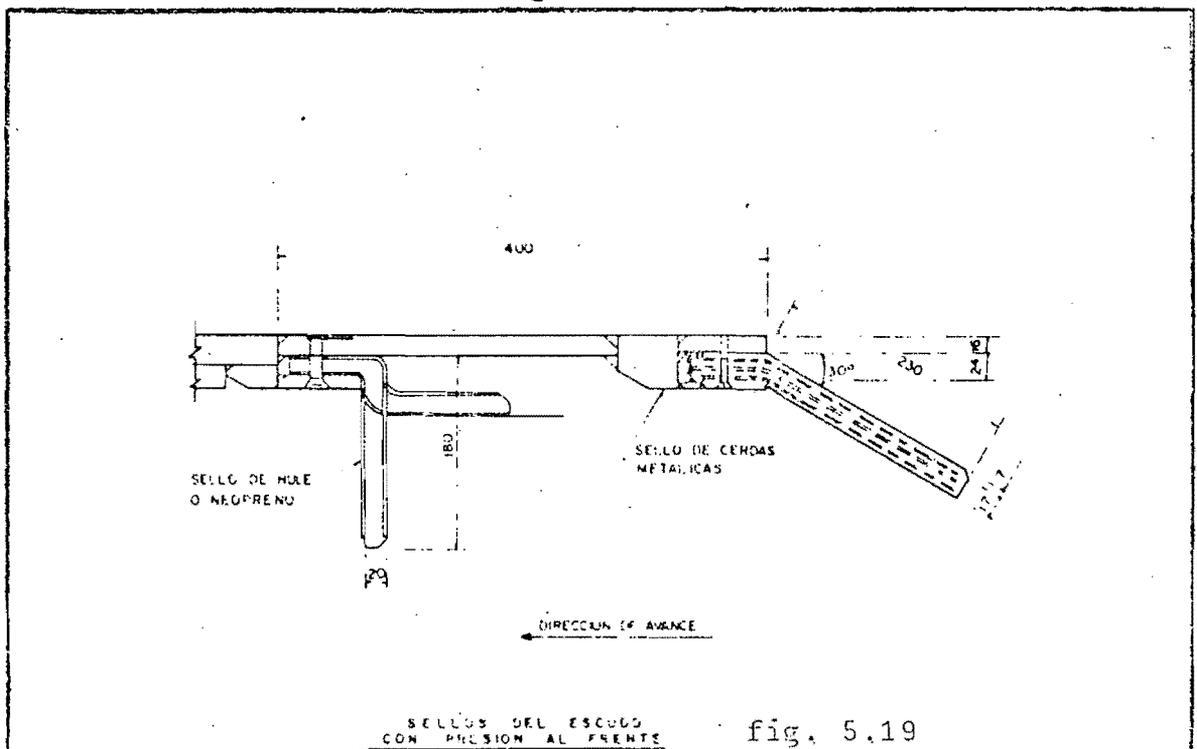


fig. 5.20



Soporte de la CARa de Corte.

Para soportar el frente durante la excavación, se trabaja con lodo a presión con el fin de prevenir un colapso por la pérdida de agua. El papel principal para lograr la estabilización, lo desempeñan la densidad y la presión del lodo.

La densidad del lodo varía de acuerdo con las propiedades del suelo; las experiencias en otros países indican que los valores de la densidad deben ser de 1.2 a 1.3.

Los trabajos de soporte del frente son, relativamente, fáciles en las capas de arcilla y limo con coeficiente de permeabilidad K inferior a 10^{-4} cm./seg.

En suelos que tienen un K aproximado de 10^{-3} cm./seg., se requiere incrementar la presión del lodo para lograr soportar la exvacación.

Cuando el suelo tiene un K mayor de 10^{-2} cm./seg., puede haber filtraciones de lodo en el sitio, si ésto ocurre, el disco cortador es usado para presionar el frente ayudando en el soporte, con lo cual se evitan posibles desprendimientos del terreno. Por ésto, para prevenir dificultades semejantes

es necesario que la densidad del lodo sea alta y que se --
cuenta con técnicas de control sofisticadas.

Con respecto a la presión del lodo para soportar la ca-
ra de corte, se deberán establecer las siguientes relaciones:

- a).- Presión del lodo > presión del suelo en el --
frente + presión del agua del suelo (En terreno
no donde la cara no se puede autosoportar).
- b).- Presión del lodo > presión del agua del suelo
lo (En terreno donde la cara se puede autosoportar)
- c).- Presión del lodo > $\gamma H - 4 C$

El profesor Murayama de la Universidad de Kyoto, propo-
ne las siguientes ecuaciones para determinar la presión del-
lodo:

$$P_o = \frac{1}{l_p} \left[(W l_w) + (qB) \left(l_a + \frac{B}{2} \right) - \frac{C}{2 \tan.\phi} (Y_c^2 - Y_d^2) \right]$$

$$P = P_o \cdot H$$

donde:

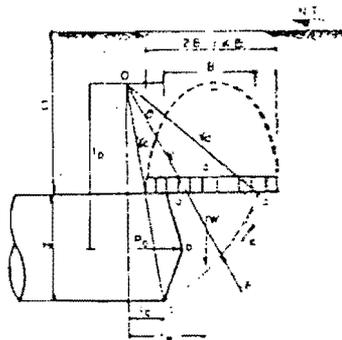
- P_o = Presión del suelo aplicada al escudo.
 W = Peso del terreno
 q = Presión del suelo en el escudo.
 B = Longitud superior del arco de falla
 C = Cohesión del suelo.
 ϕ = Angulo de fricción interna del suelo
 H = Diámetro del escudo

$l_p, l_w, l_a, \gamma_c, \gamma_d$ = Distancia desde el punto 0 a $P_o,$

w, a, c y d

○ Tal como se muestra en la Fig. siguiente.

TEORIA MURAYAMA



Planta de Tratamiento.

La planta de tratamiento es instalada para separar la mezcla formada por rezaga-lodo- agua, extraida de la cámara de presión.

Los procesos de separación son los más difíciles en el método del Escudo con Frente de Lodo, además de que resultan muy costosos, pues se requieren varios tipos de equipo e instalaciones para separar las distintas clases de suelo de acuerdo con sus tamaños.

La planta está compuesta de:

- a).- Malla vibratoria primaria
- b).- Malla vibratoria secundaria
- c).- Ciclón.
- d).- Filtros prensa y de tambor.
- e).- Banda transportadora
- f).- Tanque de floculación

- g).- Tanque separador de líquidos.
- h).- Tanque mezcladores
- i).- Tanque de control de lodos.
- j).- Tanque neutralizador
- k).- Tanque de agua limpia
- l).- Bombas para la inyección de lodo.
- m).- Válvulas reguladoras.
- n).- Tolva de sólidos.

Funcionamiento de la Planta:

El Suelo excavado, es mezclado con el lodo estabilizador dentro de la cámara de presión, y transportado por bombeo - hidráulico a la superficie.

Fuera del túnel, la mezcla pasa primeramente por una malla vibratoria primaria, donde se separan las gravas y boleos, y se envían por medio de la banda transportadora a la tolva de sólidos, el material restante es un "atole lodoso" que se deposita en un tanque, de éste, se bombea al Ciclón el cual, con la ayuda de la malla vibratoria secundaria logra apartar las arenas para enviarlas a la tolva de sólidos; la mezcla fina que queda es conducida a un se-

gundo tanque. En éste se logra separar el lodo estabilizador de la mezcla fina excavada. El lodo se traslada al tanque de control de lodos en donde se deja en condiciones optimas para volverlo a la recirculación en el frente, el atolelodoso se conduce al tanque mezclador de floclulantes y de ahí pasa al filtro prensa, encargado de cerrar el tratamiento de separación, pues logra apartar la rezaga fina del líquido que contenía. El material fino es trasladado a la tolva de sólidos, el líquido es conducido al tanque separador de líquidos en donde, si se requiere, se puede separar el agua de las --- substancias químicas que se agregan a la mezcla cuando pasa por el tanque de floclulación.

El funcionamiento de la planta está representado en la fig. V-21.

Ciclo de Operación.

Antes de iniciar el ciclo de excavación, el frente del túnel está soportado por lodo presurizado confinado en la cámara de presión.

El ciclo se inicia al poner en movimiento el disco cortador mediante sus motores eléctricos o hidráulicos, y realizar la excavación del material con sus navajas cortadoras. El material excavado va cayendo a la cámara de presión en donde, con la ayuda de los agitadores, se mezcla con el lodo estabilizador para ser extraídos ambos por el conducto de descarga. A la vez que se está realizando la descarga, por un segundo conducto de diámetro mayor al primero se inyecta lodo a presión. De esta manera se mantiene, en todo momento de la excavación, repleta de lodo la cámara de presión para evitar un colapso.

Conforme el cortador va avanzando, los gatos hidráulicos del escudo, apoyados en el último anillo del revestimiento primario, se van abriendo y empujando a toda la estructura cilíndrica hacia adelante. El escudo avanza llevando en su interior al cortador, cámara de presión, agitadores, motores y erector de dovelas; y jalando al tren de equipo que lo sigue metros atrás.

Cuando los gatos de empuje se abren totalmente, se suspende de inmediato el movimiento del cortador y se cierran -

las válvulas de los conductos de carga y descarga. Posteriormente, los gatos de empuje se retraen y se colocan los segmentos necesarios para formar un anillo; el brazo erector es el encargado de esta tarea. Es aquí donde se cierra un ciclo de excavación con un avance equivalente al ancho de un anillo.

Simultáneamente a las actividades del ciclo de excavación se desarrollan otras, tales como:

- Inyección de gravillá y lechada.
- Colocación de dispositivos para mantener la geometría de los anillos.
- Colocación de líneas de conducción para aire comprimido, ventilación, agua, teléfono y alumbrado.
- Colocación de la vía para el deslizamiento del tren de equipo.
- Ajuste de los tornillos de las dcvelas y
- Bajada de los materiales.

Durante la ejecución de los trabajos de tuneleo por el método del Escudo con lodo al frente, es necesario observar --

constantemente en los indicadores respectivos que el volumen de alimentación y volumen de descarga, presión y densidad del lodo, tratamiento suelo-lodo y regulación de la densidad, sean los adecuados para evitar fallas en el frente. Por tal motivo es necesario contar con los siguientes procesos de control:

1.- Control del Volumen de Excavación.

Como no es posible ver las condiciones que prevalecen en el frente de trabajo, es esencial el confirmar cuando no se está realizando normalmente la excavación. Esto se logra mediante la medición de volumen y peso tanto del lodo de alimentación como del lodo de descarga. En general, la medición de flujo electromagnético y la medición de densidad por rayos - son combinados, los informes que se obtienen se alimentan automáticamente a una computadora la cual se encarga de general señales de la central de control al panel de control de lodo. Cuando el volumen de excavación se excede de un valor designado, se asume que el colapso en el frente puede ocurrir. El volumen excavado debe ser igual al volumen teórico avanzado por la máquina.

2.- Control de Calidad del Lodo.

El material seleccionado para formar el lodo estabilizador debe cumplir con el requisito de densidad adecuado. El lodo preparado a base de bentonita es más conveniente para la estabilización del frente, aunque las dificultades en el tratamiento son mayores. Por ésto, en los sitios de áreas urbanas cuando se utiliza planta de tratamiento, el uso de bentonita no es recomendable.

Los suelos cohesivos evaluados en el sitio de la excavación pueden ser apropiados para usarse. Los suelos tipo kaolín de menor plasticidad requieren de aditivos para hacer el requerimiento de lodo estabilizador.

3.- Control de Presión del Lodo.

La presión del lodo es muy importante para soportar el frente de trabajo. Su valor se determina de acuerdo a la condición de la naturaleza del material que formará el lodo.

Para controlar la presión del lodo se usan las válvulas de control de la presión del agua, las bombas de velocidad variable y el regulador automático de la velocidad de rotación de las bombas.

4.- Control de Dirección.

La dirección del Escudo se controla mediante un sistema combinado de rayo laser-teodolito, de la misma manera que la seguida en escudos de frente abierto, descritos con anterioridad.

Sistema de Control.

Consiste de un tablero visual instalado en la superficie, en él se presentan los componentes más relevantes del conjunto, a través de una réplica para que de una simple observación se pueda conocer el estado de funcionamiento del equipo. Este sistema nos da información confiable mediante la cual se confirma que el volumen excavado coincide con el volumen teórico avanzado por la máquina. Además, coordina todas las operaciones del sistema en forma automática o semiautomática según se requiera.

Los instrumentos que forman este sistema son:

- a).- Medidor de presión del lodo
- b).- Medidor del flujo del lodo y escombros.
- c).- Medidor de la densidad del lodo.
- d).- Equipo para controlar el impulso del --
cortador.
- e).- Medidor de la velocidad del cortador
- f).- Bombas de carga y descarga.
- g).- Válvulas de control.
- h).- Otros.

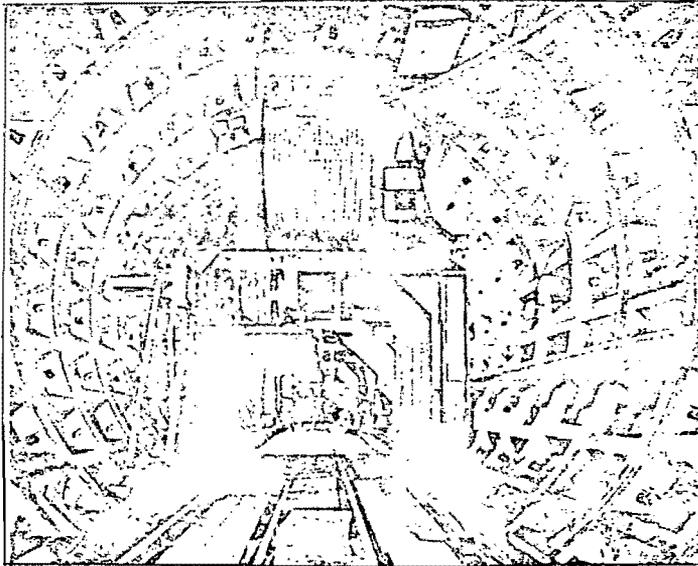
Equipo Auxiliar.

El equipo auxiliar incluye todas aquellas herramientas que se utilizan en los movimientos complementarios - del tuneleo, como son:

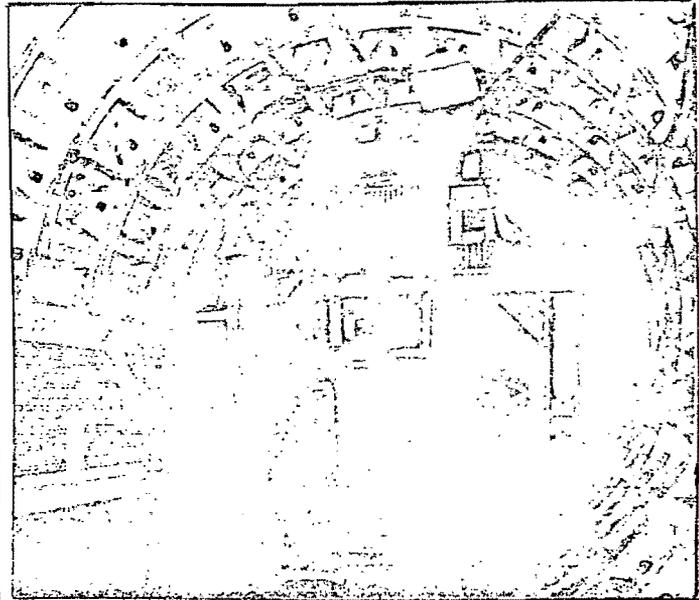
- a).- Gatos hidráulicos.
- b).- Motores hidráulicos y eléctricos.
- c).- Sistema neumático
- d).- Plataformas de trabajo.
- e).- Transformadores de energía eléctrica.

- f).- Sistema de comunicación.
- g).- Maquinaria para la inyección de gravilla
- h).- Indicadores del sistema de control.
- i).- Otros.

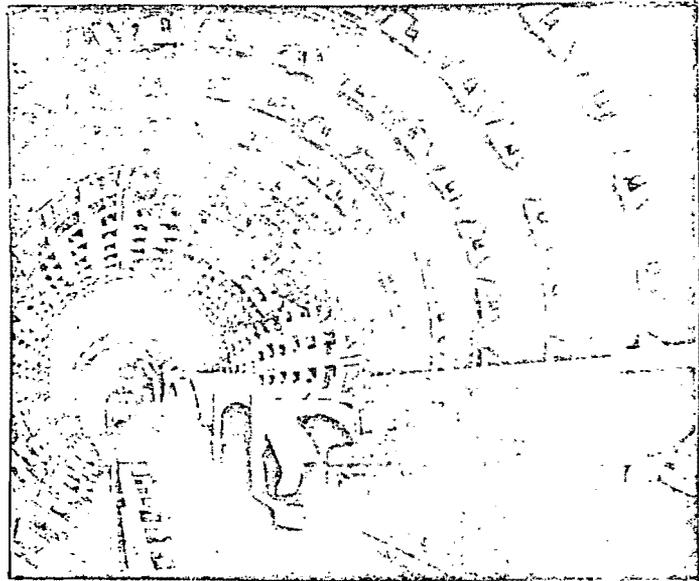
La mayoría de este instrumental se encuentra en el tren de equipo, el cual puede ser de una longitud de aproximadamente 48 metros. El tren se desplaza con el empuje del escudo, pues se encuentra unido a éste por medio de tensores.



Vista posterior del tren de Equipo.



Forma como se realiza la carga y el acarreo de la rezaga.



Transporte interior de las dovelas de concreto reforzado.

CAPITULO 6.

COSTOS COMPARATIVOS.

En base a estudios realizados por el Departamento de Transportación US, Washington, D.C. 20591, sobre la factibilidad técnica y económica de Sistemas de Túneles en suelos blandos, se determinó el presupuesto correspondiente a la construcción del túnel del Interceptor Oriente, para el año de 1980.

En estos estudios se consideraron cinco diferentes métodos de túneles compatibles entre sí, los cuales son:

Método 1.- Escudo con disco cortador que permite la estabilización del frente con aire comprimido o con lodo a presión. El revestimiento primario de concreto es colado en obra y se transporta la maquinaria en el interior del túnel, por medio de rieles.

Método 2.- Escudo con disco cortador, también se puede usar aire comprimido o lodo a presión en el frente, El

revestimiento primario es por medio de segmentos circulares a base de dovelas pre-fabricadas de concreto reforzado, la máquina dentro del túnel se transporta por medio de rieles.

Método 3.- Escudo con excavador de cabeza cortadora, y extracción de terreno excavado por medio de sistema hidráulico, lodo estabilizador de presión en el frente, revestimiento de concretocolado en obra.

Estos métodos operan en terrenos de tipo 1-10 sueltos. Las condiciones de trabajo en el túnel. En terreno suelto el movimiento es igual que un líquido viscoso; se presenta la extrusión, pudiendo invadir el túnel no solamente por entre la bóveda y los costados, sino también a través del piso. Es necesario rellenar el terreno alrededor del túnel para contener el flujo.

Los tipos de suelos representativos son, terrenos bajo el N.A.F., que tengan la mayoría de sus granos de un tamaño cercano a 0.005 m.m.

Método 4.- Es un sistema limitado para usarse solamente en suelos firmes. Utiliza un escudo con disco cortador. El revestimiento primario de concreto es colado en obra.

Método 5.- Es un sistema semejante al anterior, pero el revestimiento primario y el definitivo es a base -- de segmentos circulares prefabricados.

Los métodos constructivos 4 y 5 operan en terrenos de tipo 1-6 firmes. Las condiciones de trabajo en el túnel, semejantes a suelos compactos, el movimiento en el túnel es lento; sin embargo, es asociado con incrementos considerables de volumen en el terreno que rodea la galería.

Los suelos representativos son: arcillas precomprimidas pesadas, con índice de plasticidad mayor o cercano a 30, formaciones sedimentarias, los dibujos esquemáticos de estos cinco métodos se presentan en las figuras (6.1) y (6.2)

El costo total de estos sistemas fue obtenido mediante un programa de computación, de acuerdo con las siguientes fórmulas:

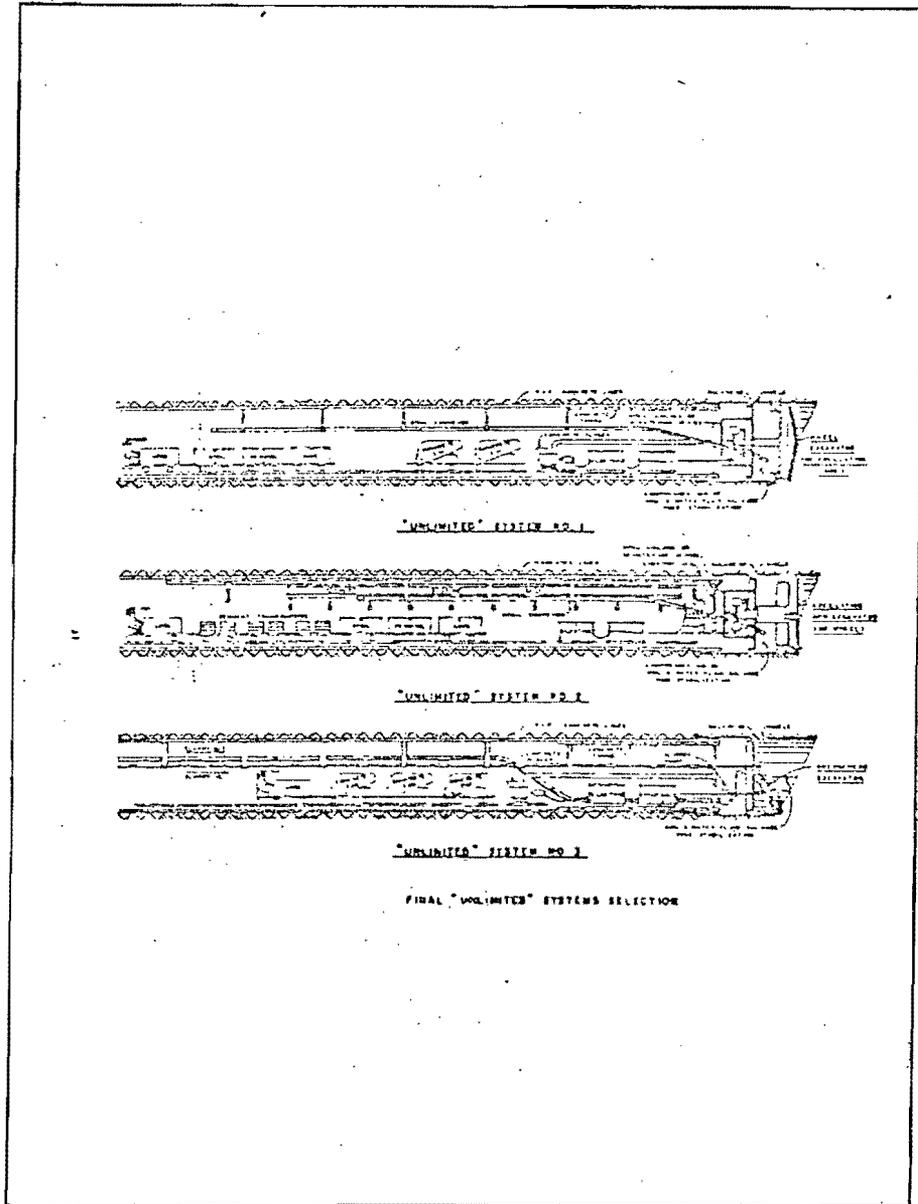


fig. 6.1

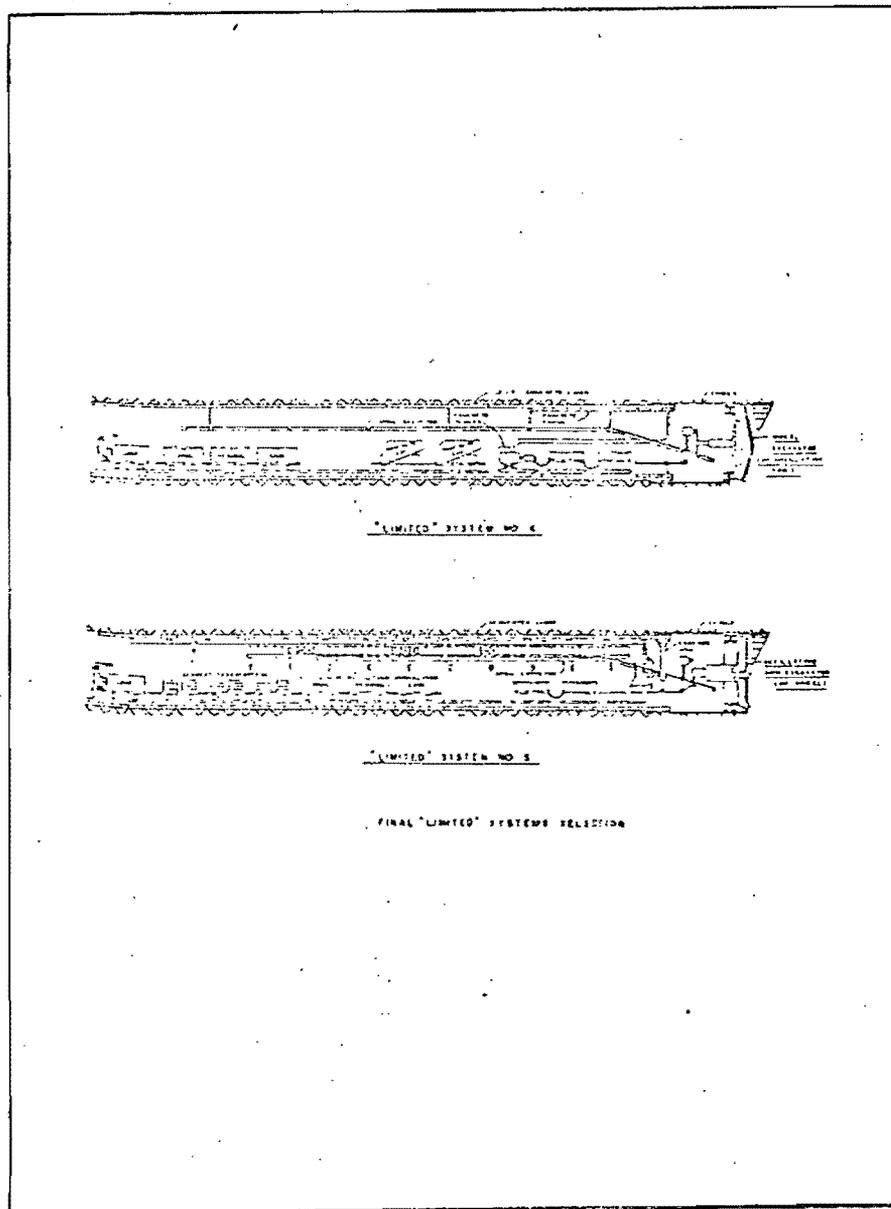


fig. 6.2

1.- Costo fijo neto - $E_i + M_i * C_1$

2.- Costo de labor neto = $(\frac{WR_i + C_2}{L \text{ Roa}})$

3.- Costo total del sistema = C_3 (Costo fijo neto + costo de labor neto)

donde:

E_i = Costo por equipo para i componentes (dólares por pie lineal)

M_i = Costo de materiales para i componentes (dólares - por pie líneal)

C_i = Costo neto de la constante común a todos los sistemas (dólares por pie líneal).

WR_i = Coeficiente del suelo de labor para la componente número 1 (dólares por 24 horas)

C_2 = Constante del coeficiente del suelo de labor común para todos los sistemas (dólares por 24 horas)

L Roa = Mínimo coeficiente de avance entre componentes de los sistemas (pie lineal por 24 horas)

C_3 = 1.3, constante que considera un coeficiente por gastos generales del 30%

TABLA X

CONCEPTO DE LOS SISTEMAS		(TIPO DEL SUELO 1 - 10)		
NUMERO DE SISTEMA DESIGNACION Y DESCRIPCION DE LA COMPUTACION.	No. 1 Disco Excavador y Escudo, Transporte de rieles, aire comprimido o lodo a presión estabilizando el frente. Revestimiento de concreto colado en obra.	No. 2 Disco Escavador y Escudo, Transporte de rieles, aire comprimido o lodo a presión estabilizando el frente. Revestimiento a base de dovelas de concreto reforzado.	No. 3. Excavador de fresa y Escudo rezaga hidráulica, transporte de rieles, lodo a presión estabilizando el frente, Revestimiento de concreto colado en obra.	
COSTO (\$/PIE LINEAL) ^a				
PROMEDIO	800	780	900	
1975				
RANGO	685 - 1 070	685 - 1 010	775 - 1 180	
PROMEDIO	580	600	650	
1980				
RANGO	530 - 635	560 - 645	600 - 710	
PROMEDIO	515	525	575	
1985				
RANGO	500 - 550	520 - 565	560 - 610	
TIEMPO DE AVANCE (PIES/ 24 HORAS.)				
PROMEDIO	40	45	40	
1975				
RANGO	25 - 50	30 - 60	25 - 50	
PROMEDIO	90	95	90	
1980				
RANGO	70 - 115	75 - 115	70 - 115	
PROMEDIO	200	210	200	
1985				
RANGO	145 - 225	145 - 225	145 - 225	
INVESTIGACION Y DESARROLLO (\$ x 10 ⁶) ^{a, b}				
PROMEDIO	2.6	1.8	5.6	
1975				
RANGO	1.7 - 4.2	1.1 - 3.0	3.3 - 7.7	
PROMEDIO	12.3	11.1	16.7	
1980				
RANGO	9.0 - 43.6	8.0 - 35.9	13.5 - 52.8	
PROMEDIO	4.3	3.8	5.8	
1985				
RANGO	2.9 - 10.0	2.6 - 10.2	4.1 - 10.9	

a - Costos en dólares basados en la constante para 1970

b = Costos para el desarrollo de componentes de los sistemas.

Los datos de alimentación para el programa de la computadora, fueron derivados de una variedad de fuentes. Para muchos componentes de los sistemas, los costos y rendimientos fueron obtenidos de publicaciones de datos, publicaciones de manufacturas y reportes de obras de túneles en suelos blandos. En otros casos, fue necesario generar la estimación, basándose en experiencias y fallas ingenieriles.

Los análisis de costos y rendimientos fueron considerados para el período comprendido de 1970 a 1985. Los resultados fueron generados para 1975, 1980 y 1985 y se resumen en la tabla (X).

Todos los costos fueron expresados en dólares con las constantes para 1970, los análisis de organismos especializados, pronosticaron un crecimiento inflacionario anual normal que con la crisis económica ocasionada con la escasez de materias y energéticos, hicieron que los índices inflacionarios se elevaran considerablemente, y ya para el año de 1975 sobrepasarán todos los cálculos previstos, por lo que es necesario considerar incrementos del orden del 250% al 350%, para la década de 1975 a 1985.

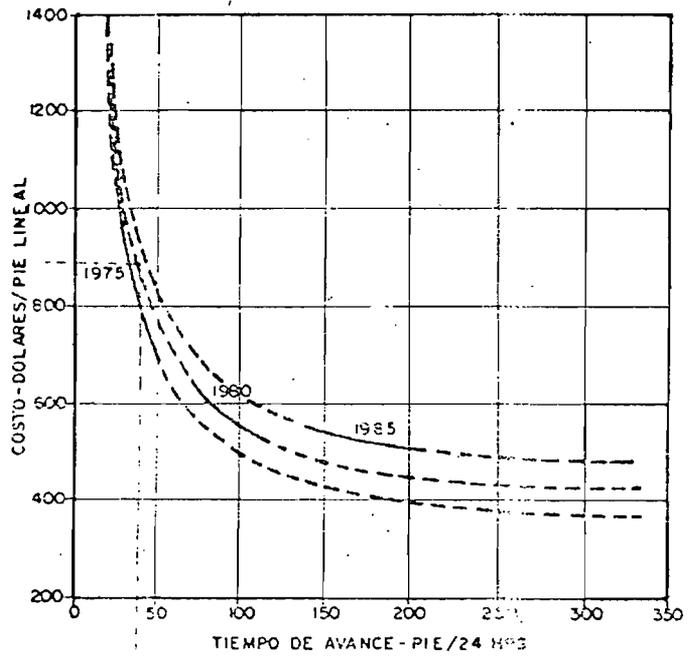
Para la estimación de costos de este trabajo, se tomó el promedio de estos valores o sea 300%.

OBTENCION DEL PRECIO UNITARIO.

De la gráfica (6.1) para un avance de 40 ft. por día -- aproximadamente 12 mts., por 24 horas, se obtiene un costo por pie (ft) de \$ 950 dólares, lo que equivale a 3,116 dólares por metro lineal. Si a este costo le aplicamos el factor inflacionario para el período de 10 años (1970-1980), calculado como 300%, se tendrá un costo actualizado de 9.348 dólares por metro lineal y considerando el cambio de dólares a pesos mexicanos de \$ 23.40, se tendrá 218.743.20 pesos, considerando aproximadamente 220,000 pesos por metro lineal.

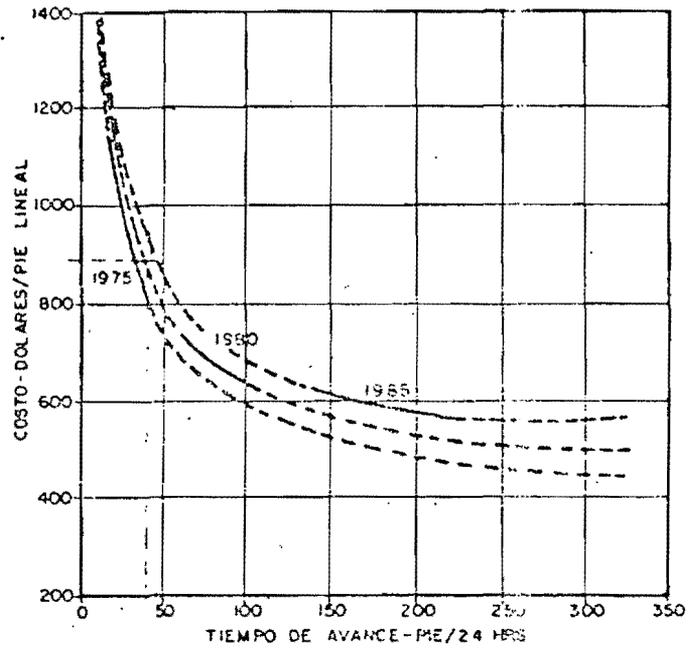
El presupuesto obtenido para la construcción del túnel del Interceptor Oriente en base a la figura (6.3) ,se detalla -- la forma siguiente:

El costo total por metro lineal de túnel terminado mediante el sistema combinado Escudo Cortador con Frente Estabili



COSTOS Y TIEMPOS DE AVANCE ESTIMADOS PARA EL SISTEMA Nº 1

Grafica 6.1.a



COSTOS Y TIEMPOS DE AVANCE ESTIMADOS
 PARA EL SISTEMA Nº 3

Grafica 6.2.b

zado con fluidos a presión, es de 220,000 pesos (determinado para el año de 1980) aproximadamente, por lo que para excavar 15,600 mts. de túnel se requerirá intervenir 3,432 millones de pesos, de la siguiente manera:

PRESUPUESTO PARA LA EXCAVACION DEL INTERCEPTOR ORIENTE

DATOS DEL TUNEL:

Longitud de excavación = 15.6 Km.

Diámetro de excavación = 6.2 m.

Profundidad media = 30.0 m.

	UNIDAD	CANTIDAD (m)	P.U. (\$)	IMPORTE (\$x10 ⁶)
Excavación con Escudo y Disco excavador de túnel de 6.2 m. de Ø, a una profundidad media de 30 m. y en suelos pertenecientes a la "Zona del Lago"	m.l.	15 600	15 400	240.24
Estabilidad frontal de túnel de Ø = 6.2 m., con el sistema de lodo a presión	m.l.	15 600	35 200	549.12
Rezaga de material producto de excavación de túnel. Material muy blando con 20% de sólidos por unidad de volumen. Sistema hidráulico de rezaga. Incluye transporte a 20 Km. de distancia de la lumbrera al tiradero.	m.l.	15.600	52 800	823.68
Revestimiento temporal y final del túnel a base de segmentos de concreto reforzado con espesor e=60 m.	m.l.	15.600	94 600	1475.76
Inyección de materiales para rellenar el hueco dejado por el escudo al realizarse su avance.	m.l.	15 600	8 800	137.28
Inst. necesarias requeridas p' realizar trab.de tuneleo(elect,hidraulic,-tendidos vía, etc.)	m.l.	15 600	6 600	102.96
Otras act. para compl.los trabajos	m.l.	15 600	6 600	102.96
T O T A L:	m.l.	15 600	220 000	3,432.00

Mano de obra	\$	995.28	millones
Materiales		1,115.40	"
Equipos		1,321.32	"
		<hr/>	
Costo	\$	3,432.00	millones

En la figura (6.4) se presentan los factores de costos determinados por el estudio de la referencia 15, para los conceptos:

Mano de obra, materiales y equipo en trabajos de túneles en suelos blandos.

En la figura (6.3) se muestran los factores de costos para cada una de las actividades que se realizan en el tuneleo con el método anteriormente mencionado.

En la tabla Z se muestran los costos reales obtenidos en 1980 para las obras del drenaje profundo en el interceptor Centro Poniente e Interceptor Central.

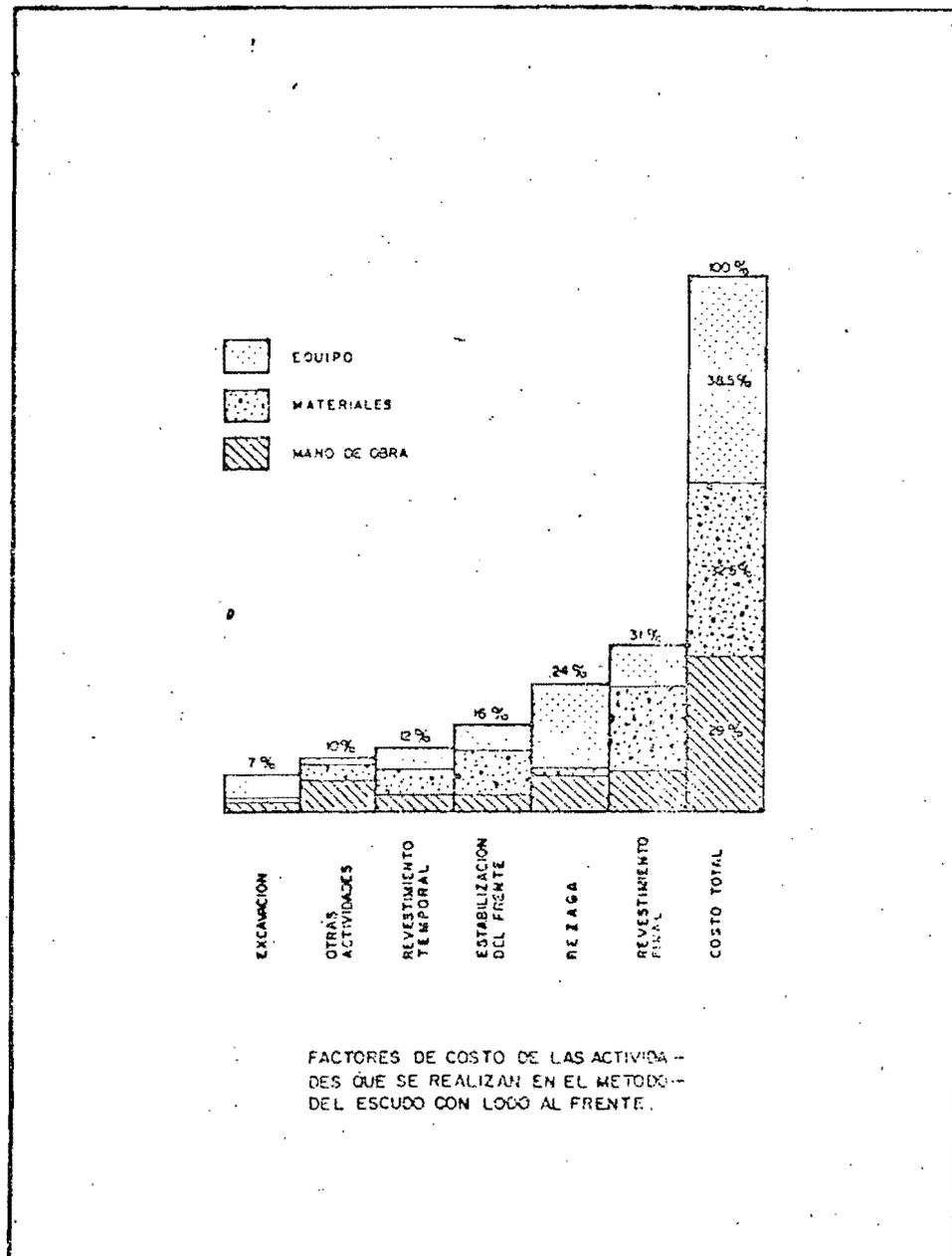


fig. 6.3

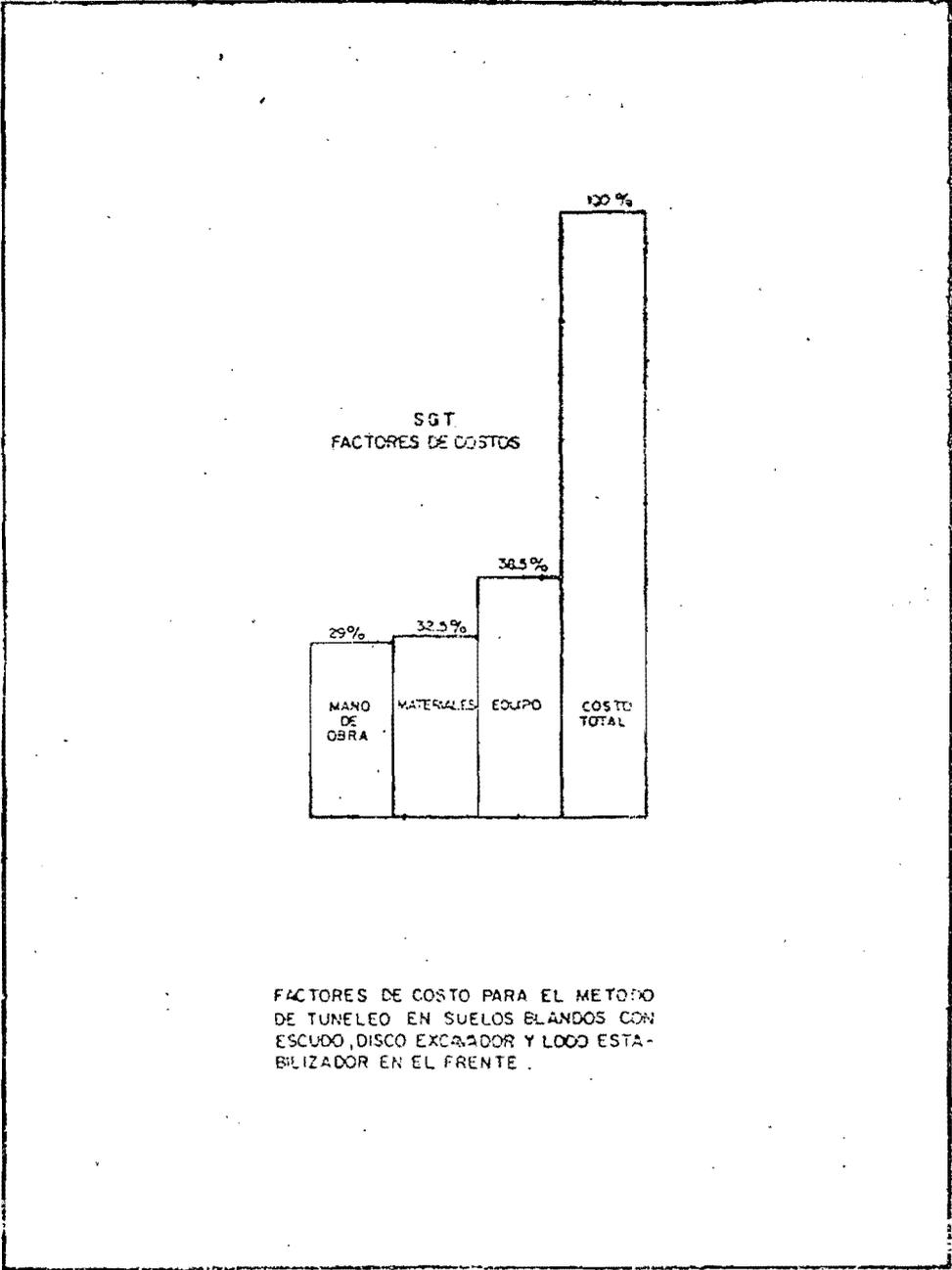


fig. 6.4

TABLA Z

COSTOS REALES OBTENIDOS EN 1980 PARA LAS OBRAS DEL DRENAJE PROFUNDO

CONCEPTO	INTERCEPTOR CENTRO PONIENTE					INTERCEPTOR CENTRAL				
	INVERSION TOTAL	EXCAVACION 5813.33 ml		REVESTIMIENTO 7128.60 ml		INVERSION TOTAL	EXCAVACION 1099.7 ml		REVESTIMIENTO 3657.45 ml	
		COSTO TOTAL	COSTO /ml	COSTO TOTAL	COSTO /ml		COSTO TOTAL	COSTO /ml	COSTO TOTAL	COSTO /ml
TRABAJOS VARIOS	7'933,616.04	4'	0'685	4'	0'561	21'103,312.39	15'8	14'376	5'3	1'419
TRABAJOS POR ADMINISTRACION	136'180,386.17	68'	11'687	68'	9'539	44'880,658.57	33'7	30'664	11'2	3'062
PLANTA DE LUZ	-	-	-	-	-	4'661,328.43	3'5	3'184	1'1	0'301
TRABAJOS EN SUPERFICIE	387,820.92	0'2	0'034	0'2	0'028	2'852,928.42	2'1	1'910	0'7	0'191
INYECCION	7'184,789.04	3'6	0'619	3'6	0'505	33'180,082.48	24'9	22'656	8'3	2'269
BOMBEO	3'750,755.41	1'9	0'326	1'9	0'266	10'367,498.87	7'8	7'097	2'6	0'711
REVESTIMIENTO DEFINITIVO	182'006,810.20	-	-	182'	25'533	76'594,022.19	-	-	76'6	20'946
TOPOGRAFIA	11'931,704.64	6'0	1'031	6'0	0'842	2'908,462.80	2'2	2'001	0'7	0'191
EXCAVACION DE TUNEL	411'761,910.71	411'7	70'763	-	-	230'695,082.62	230'7	209'913	-	-
REVALORIZACION	3'762,337.12	1'9	0'326	1'9	-	-	-	-	-	-
CONEXION L-1 E.C. con I.C.P.	18'892,930.63	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CONSTRUCCION L-9 I.C.F.	5'061,368.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CAPTACION L-2 I.C.P.	11'947,689.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CAPTACION L-3 I.C.P.	4'564,221.31	-	-	-	-	-	-	-	-	-
COLECTOR HERUES	-	-	-	-	-	10'370,612.88	-	-	-	-
LOVELAS FABRICADAS, NC COLOCADAS	-	-	-	-	-	6'140,427.69	-	-	-	-
CONSTRUCCION L-5 I.C.	-	-	-	-	-	22'733,214.76	-	-	-	-
SUB - TOTAL (TUNEL, S.A.)	805'367,339.46	85'471		37'274		466'487,632.10	291'801		29'090	
CEMENTO	-	-	-	-	6'253	-	-	-	-	2'555
SUB - TOTAL DE EXC. Y REVEST.	-	85'471		43'527		-	291'801		31'645	
COSTO / ML (EXC. Y REVEST.)	-	128'998				-	323'446			

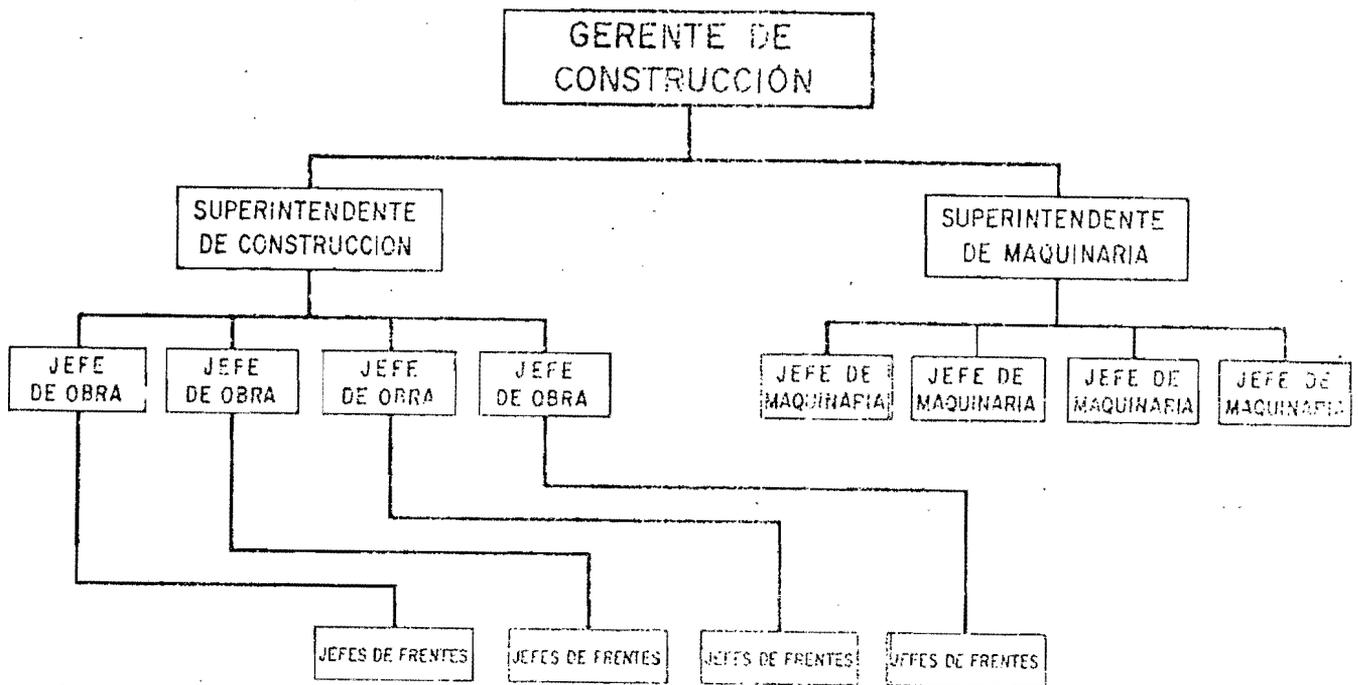
CAPITULO 7

ORGANIZACION DE LA OBRA

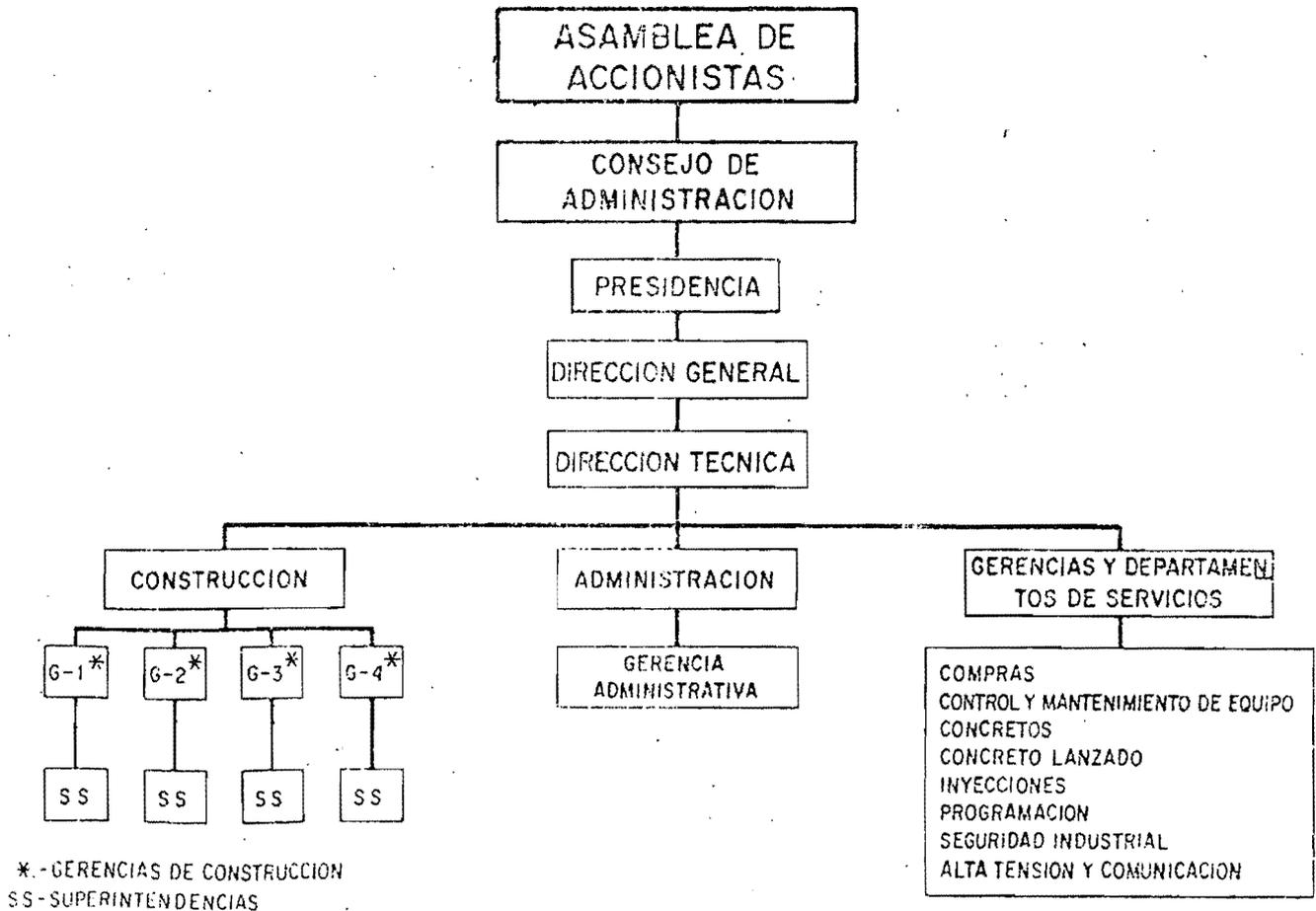
Para llevar a cabo una obra de la magnitud de los interceptores y el emisor central, se necesita hacer una organización lo más perfecta posible de tal manera que no existan fugas de carácter económico, esto es, tratar de que la obra cumpla con todos los requisitos técnicos administrativos y de seguridad, economizando al máximo los trabajos.

Un organigrama para este tipo de obra, sería el siguiente:

ORGANIGRAMA GERENCIAS DE CONSTRUCCION



ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA



Donde las Gerencias de Construcción dependerían de la Dirección General y Técnica, marcando las políticas a seguir en relación con el programa obligado de la obra.

Para complementar esta organización se crean las Gerencias Administrativa y de Servicios, éstos pueden ser: compra, control y mantenimiento de equipo, además, se pueden crear la -- sección de Departamentos, y éstos pueden ser, por ejemplo: el de Programación, el de Alta Tensión y Comunicación, el de Seguridad Industrial, etc. Todo lo anterior lo podemos - apoyar técnicamente con un grupo de asesores altamente cali- ficados.

Gerencias de Construcción:

Estas Gerencias son responsables de la producción y se pueden componer de 1 Gerente de Construcción y sus Auxilia-- res principales, 1 Superintendente de Construcción y un ---- Superintendente de Maquinaria. Estos a su vez pueden con- tar con Jefes de Obra y Jefes de Maquinaria, así como Jefes - de Frente de Obra.

GERENCIA ADMINISTRATIVA.

Esta Gerencia cubre todos los aspectos administrativos de las Gerencias de Construcción y de Servicios.

A su vez, la Administración de cada Gerencia de Construcción, puede contar con Departamentos de Personal, Contabilidad, Almacén, Caja y Compras Locales.

GERENCIA DE COMPRAS.

Esta Gerencia se responsabiliza del abastecimiento de los materiales necesarios para la obra.

GERENCIA DE CONTROL Y MANTENIMIENTO DE EQUIPO.

Esta Gerencia por su importancia, de acuerdo al tipo de obra como lo es la construcción de los túneles en la cual se tiene una de las mayores concentraciones de equipo de construcción, deberá tener un control sumamente estricto.

Se responsabilizará de la adquisición y control del --
equipo necesario para la obra, así como de darle un adecuado
servicio de mantenimiento

GERENCIA DE CONCRETOS.

La labor de esta Gerencia consiste en la explotación --
de los bancos de materiales pétreos para la obtención y sumi-
nistro de agregados para los concretos, suministro de cemento
y aditivos, producción del concreto y transporte en superficie
del mismo.

GERENCIA DE CONCRETO LANZADO.

Es la responsabilidad de supervisar, asesorar y coordi-
nar los trabajos de concreto lanzado que ejecutan las Geren-
cias de Construcción.

GERENCIA DE INYECCIONES.

Se establece para desarrollar las inyecciones de consolidación del terreno en los lugares que lo amerite y, practicar las inyecciones de contacto entre el revestimiento y la roca.

DEPARTAMENTO DE PROGRAMACION.

Se establece con el fin de llevar una programación de la obra en sus renglones de personal, materiales y equipo, así como solucionar los diferentes problemas de Ingeniería en sus aspectos técnicos.

DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD INDUSTRIAL.

Se crea, para establecer las medidas de seguridad industrial, para la protección de los trabajadores y al equipo de la Empresa, así como vigilar y supervisar que tales medidas se llevarán a cabo para proteger no sólo la vida de los trabajadores, sino que en muchos casos, es de ayuda para que la construcción se lleve más ordenadamente.

DEPARTAMENTO DE ALTA TENSION Y COMUNICACIONES.

Este Departamento es creado para instalar, revisar y mantener las líneas de baja y alta tensión y las comunicaciones, tanto en superficie como en el interior de lumbreras y túneles.