UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

FACULTAD DE INGENIERIA

TRABAJO FINAL PARA OPTAR POR LA

ESPECIALIDAD EN CONSTRUCCION.

TEMA: ESTUDIO ECONOMICO COMPARATIVO ENTRE EL USO DE TUNELEADORA DE PLUMA Y EL USO DEL ESCUDO DE FRENTE ABIERTO PARA LA CONSTRUCCION DEL TUNEL PARA METRO ENTRE LUMBRERAS 1 y 3 DE LA LINEA 7.

PRESENTA:

LENNY PABON BURBANO

México, D.F.

Julio, 1985.

ESTUDIO ECONOMICO COMPARATIVO ENTRE EL USO DE TUNELEADORA DE PLUMA Y EL USO DEL ESCUDO DE FRENTE ABIERTO PARA LA CONSTRUCCION DEL TUNEL PARA METRO ENTRE LUMBRERAS 1 Y 3 DE LA LINEA 7.

PAGINA

PAGINA

INTRODUCCION

1.- INTRODUCCION

Desde hace unos años para acá, el transporte masivo de usuarios, ha sido uno de los mayores problemas sociales con que cuentan las ciudades de gran población.

Teniendo en cuenta la problemática que existe en la ciudad de México, como es el crecimiento incontrolado de la población, la escasez de áreas verdes, la acumulación de inmigrantes en la periferia, los desplazamientos de población a lugares cada vez más alejados entre sí, debido a la segregación de la vivienda, los lugares de trabajo y los de servicio, se esta llevando a cabo la ampliación de la línea 7 del metro, en el sector occidental de la ciudad, tendiendo a satisfacer parte de las necesidades, como son: cubrir las zonas con mayor densidad demográfica y de escasos recursos económicos, permitir a los usuarios un ahorro de tiempo por medio de rutas e interconexiones, intercomunicar los principales centros de actividad.

La linea 7 del metro, con una extensión de 18.7 km. va desde el Rosario hasta Barranca del muerto, siguiendo un eje aproximado norte - sur. Hasta el momento solo el primer tramo de la línea está integrado al servico con una longitud de 5.4 km., que comprende las estaciones - Tacuba - Auditorio.

El objetivo del presente trabajo es el de realizar un estudio eco-

nómico comparativo entre el uso de tuneleadora de pluma y el uso del - escudo, de frente abierto para la construcción del túnel entre las lumbreras 1-N y 3-N de la línea 7, determinando a su vez cual es mas viable y beneficioso desde el punto de vista técnico y económico.

1.1.- BREVE DESCRIPCION DEL PROYECTO

Antes de entrar a realizar una descripción detallada de las actividades, partes y factores que componen el proyecto, se presenta la - siguiente descripción somera del mismo.

El túnel en construcción está situado en el tramo Rosario - Aquiles Serdán, entre la lumbrera 1.N ubicada en el cadenamiento 3 + 340.329 y la lumbrera 3-N ubicada en el cadenamiento 4 + 451.570 correspondiente a la línea 7 Norte del metro.

La excavación de este subtramo, se iniciará en la lumbreral-N utilizando un escudo de frente abierto. Este escudo tendrá la función de contener las paredes de la excavación entre la sección de ataque y la sección ya revestida. O bién utilizando una tuneleadora de pluma westfalia.

La elección de uno u otro tipo de máquina dependerá del estudio económico que se desarrolla en las siguientes páginas.

CARACTERISTICAS DEL TUNEL

SECCION CON ESCUDO

La sección del túnel, utilizando escudo de frente abierto, será circular con un diámetro interior de 8.64 m y 9.15 m de diámetro exterior. Su revestimiento estará formado por anillos de concreto armado prefabricado.

Area de excavación = 65.75m^2.

SECCION CON TUNELEADORA

Al utilizar la tuneleadora, la sección del túnel tendrá forma de herradura cuyas características serán:

Area de sección excavada = 70.5 m^2

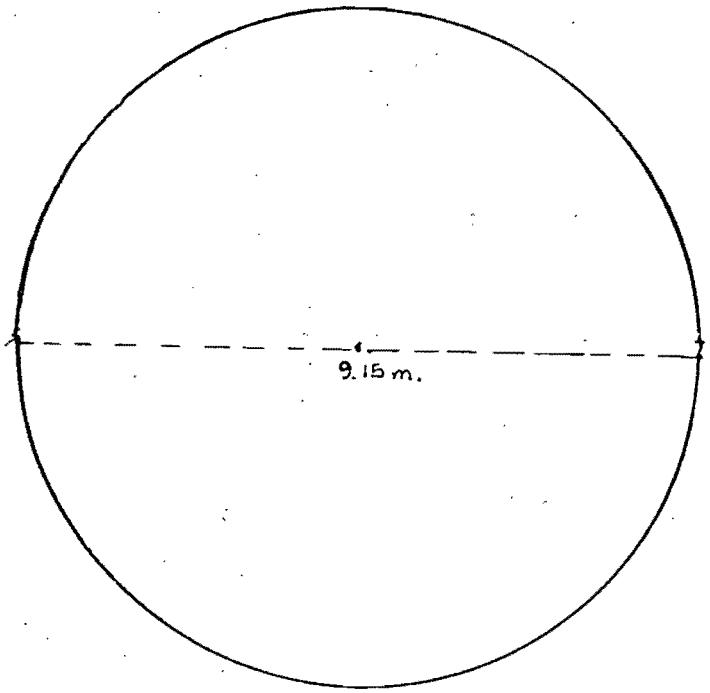
Base inferior = (sin incluir ademe) 7.32 m

Radio parte superior

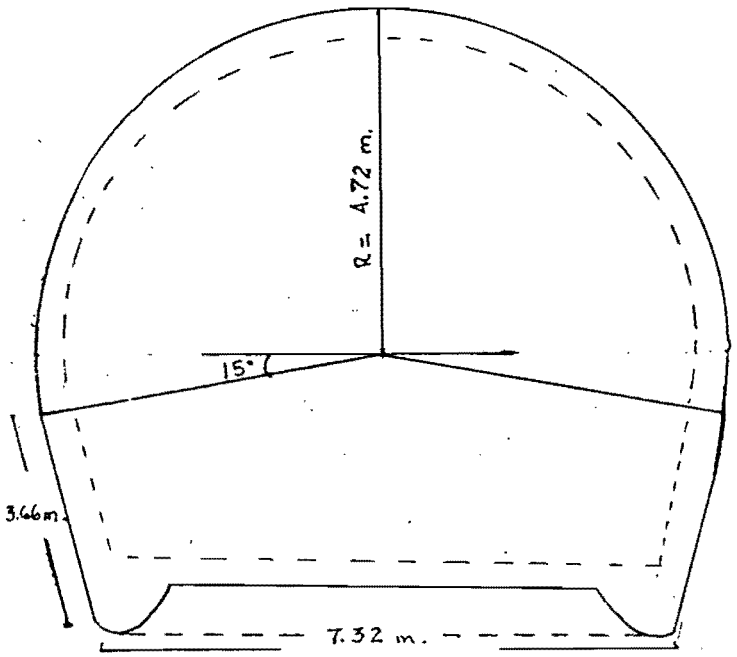
a excavación = 4.72

Espesor del revestimiento = 0.40 m.

SECCION CON ESCUDO



SECCION CON TUNELEADORA



1.2. ESTUDIOS PREVIOS

Las actividades encaminadas a la construcción del túnel están determinadas por una serie de factores geológicos, información esta que se obtiene como resultado de llevar a cabo lo que se conoce como exploración previa.

Dentro de los factores geológicos mas importantes que se deben tener en cuenta están:

En primer término tenemos la fijación de un marco geológico general del área o sector sobre el cual se ha proyectado llevar adelante dicha construcción, mediante la utilización de todos los recursos técnicos que estan al alcance como medida para aprovechar al máximo los estudios a realizar entre los que se destacan mapas, aerofotografías, etc, así como también el aprovechar toda información posible de experiencias o analogías de proyectos que se han realizado antes en la zona en cuestión.

Es indudable tener en cuenta, que además de lo anterior se realice un reconocimiento geológico general, a fin de completar satisfactoriamente la operación a realizar.

Ahora bién, como resultado de todos estos estudios previos se puede obtener algún rango de: tipos de suelos, estructuras geológicas, deregímenes de aguas subterráneas, del grado de fracturación, así como de algunas condiciones particulares del túnel organizando con todo esto una

historia o referencia geológica tentativa.

Un aspecto que es de mucha importancia y que debe tenerse en cuenta es el de identificar y valorar posibles riesgos potenciales y a su vez - los posibles rasgos geológicos críticos con el fin de evitar contratiempos en el desarrollo de la obra, como retrasos o paros en la ejecución - de la misma, y originando con esto inseguridad e inestabilidad, teniéndose que tomar en un momento dado decisiones o medidas especiales tendientes a facilitar la continuación de la construcción del tunel.

En segundo término se debe llevar a cabo la configuración de un programa al detalle, de exploración encaminada a delinear la geología faltante y a precisar hasta que grado los riesgos potenciales y los rasgos geológicos críticos se harán presentes en la operación del tuneleo.

Una vez realizada la descripción anterior, se procede a detallar los puntos analizados para conformar el informe previo a la construcción del tramo de túnel comprendido entre las lumbreras 1-N y 3-N de la línea 7-N del metro.

Con el fin de poder conocer las propiedades mecánicas del subsuelo en las zonas donde se construirá la línea 7-N del metro se procedió a efectuar sondeos de exploración a cada 100 m, de los cuales se extrajeron dos tipos de muestras alteradas e inalteradas.

Las muestras alteradas se obtuvieron hincando a percusión tubos -

muestreadores de pared gruesa de 3.5 cm de diámetro interior y 5 cm de diámetro exterior.

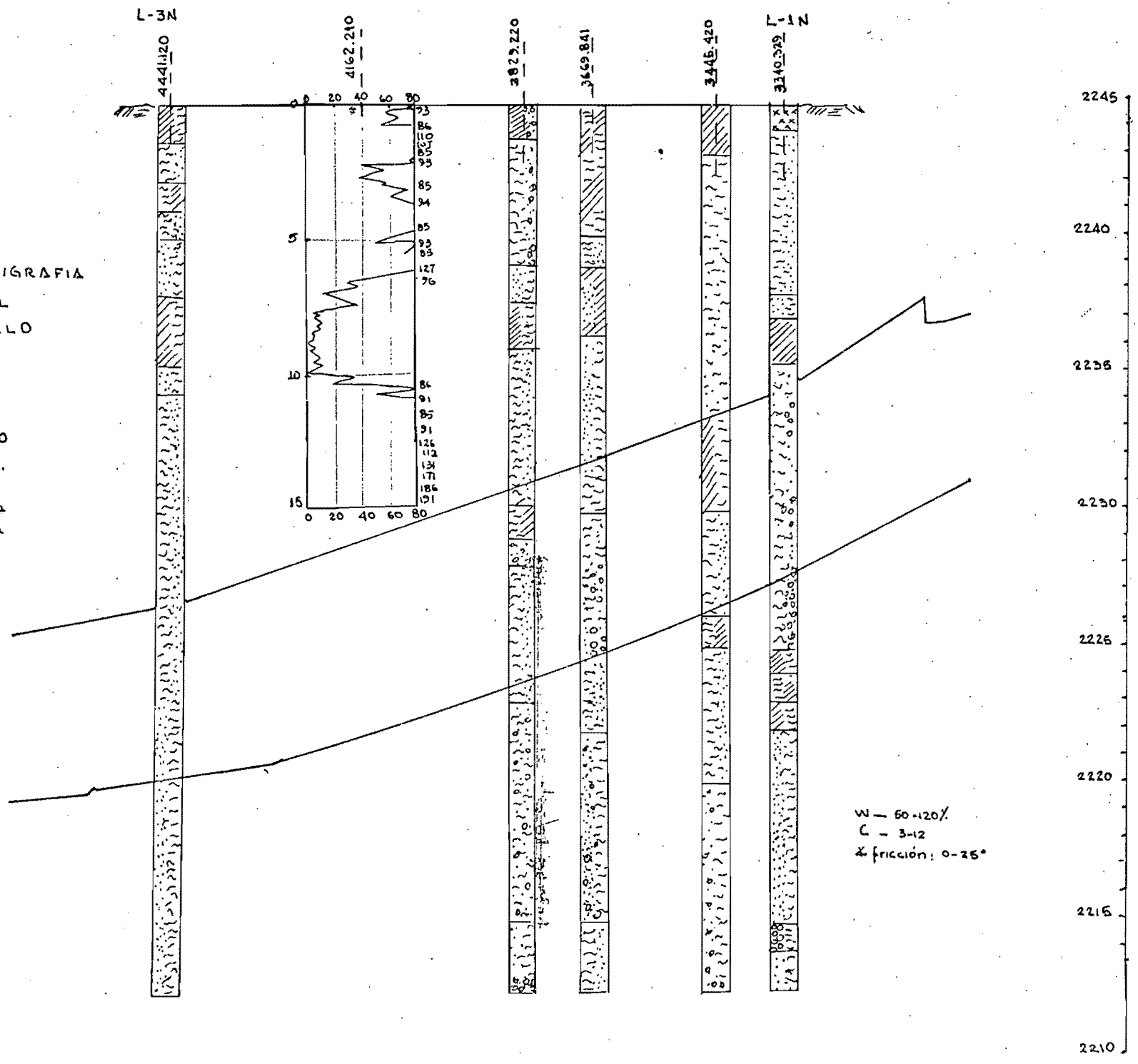
Las muestras inalteradas se obtuvieron hincando a presión tubos - muestreadores de pared delgada tipo shelby, de 10cm de diámetro interior.

Cuando la consistencia del subsuelo no permitió el hincado de los tubos anteriores, se utilizó el barril denison, hincado a presión y rotación- con el cual se tomaron muestras de 10 cm de diámetro.

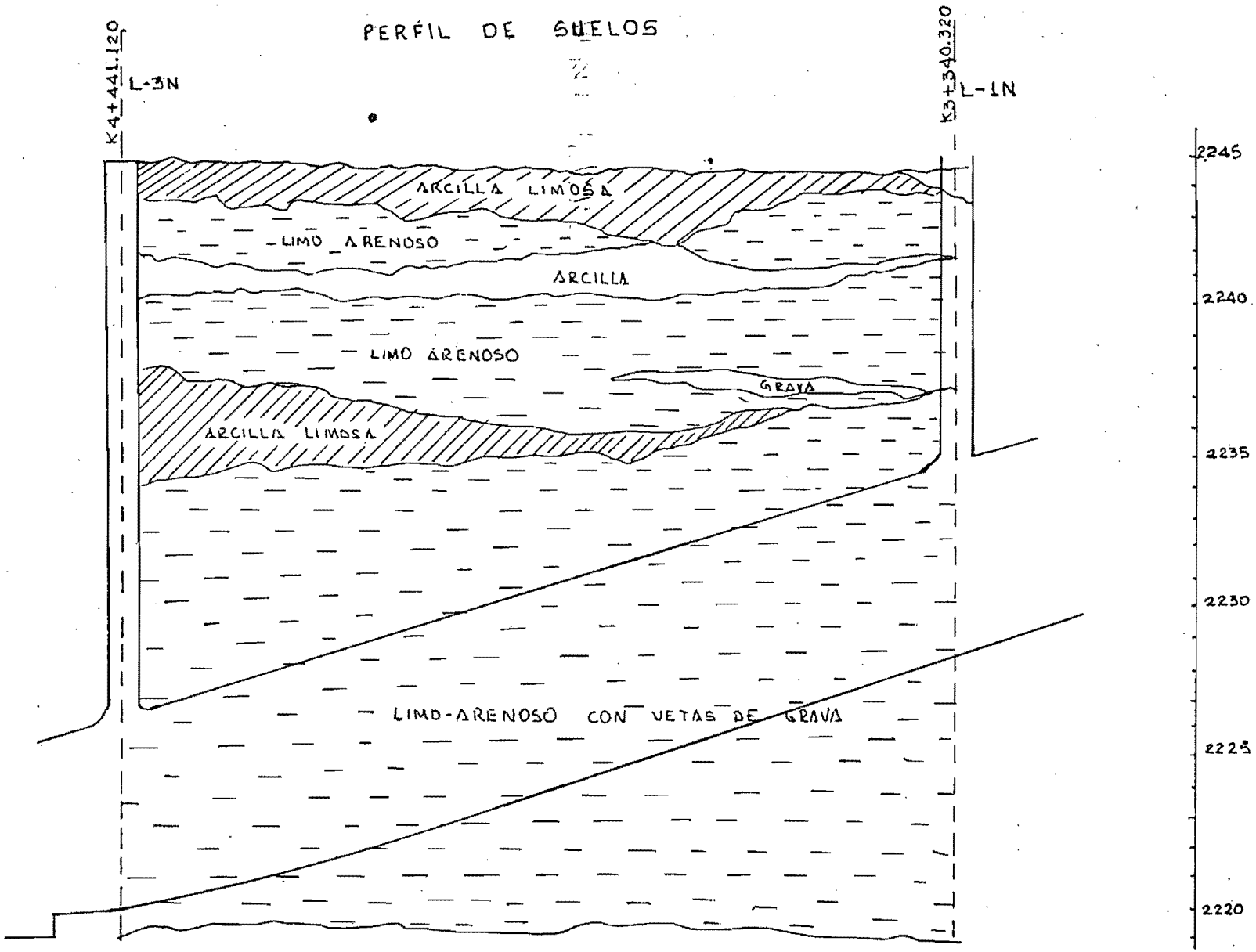
Se escribirán a continuación los materiales encontrados de acuerdo al perfil estratigráfico que se anexa del sondeo efectuado en el cadenamiento K3 + 829,220.

de	0	a	1.25 mt de prof.	Arcilla arenosa, con vetas de grava,
	1.25	a	6.00	limo arenoso con vetas de grava,
	6	a	7.20	arena limosa,
	7.20	a	9.0	arcilla limosa,
	9.0	a	15.0	limo arenoso,
	15	a	16.0	limo arcilloso,
	16	a	17.0	arena y grava
	17	a	20.0	limo arenoso
	20	a	30	grava combinada con arena y limos,
	30	a	32	arena limosa,
	32	a	33.4	limo arenoso con grava,
	33,4	a	35,0	arena combinada con grava y limos.

Con este tipo de exploración, se pudo determinar la profundidad de excavación del túnel, procurando dejar alojado la sección del mismo en- materiales limo-arenosos, con gravas, variando desde medianamente compactos hasta muy compactos.


ESTRATIGRAFIA
DEL
SUELO
xxx Relleno
Arcilla.
Limo
Arena
Grava
L-3N
4441.120
4162.210
3829.220
3649.841
3445.420
L-1N
3240.329
2245
2240
2235
2230
2225
2220
2215
2210
W — 60-120%
C — 3-12
∡ fricción: 0-25°

PERFIL DE SUELOS



Luego, en base a las pruebas de laboratorio realizadas a las muestras, se pudieron determinar las características esenciales de resistencia a la compresión, cohesión y humedad.

La humedad del suelo varía de 30-120% la cohesión se encuentra en el rango de 3-12 lo que indica que es un suelo cohesivo; también es bastante resistente.

Entre los estudios previos, también se analizaron los procedimientos de construcción, en función de las características del suelo, la estabilidad del frente y de las paredes, para cada zona del suelo que atraviesa el túnel, se recomendó la utilización del escudo de frente abierto ó el uso de tuneleadora de pluma y revestimiento simultáneo cercano al frente de excavación.

La exploración previa también debe considerar que el tuneleo no cause movimiento alrededor de la excavación que provoquen asentamientos en las vecindades del túnel. Para evitar esto, se efectuaron investigaciones sobre construcciones anteriores, instalaciones o propiedades en el área del proyecto, no encontrando problemas, ya sea de interferencias o de riesgo en afectar otras estructuras al construir el túnel en cuestión.

INSTRUMENTACION PREVIA

Para realizar mediciones del movimiento del subsuelo antes de ini-

ciar la excavación y en las áreas adyacentes a este, se efectuó una nivelación superficial, y se colocaron inclinómetros y extensómetros de posición múltiple desde la superficie.

INSTRUMENTACION DURANTE LA CONSTRUCCION

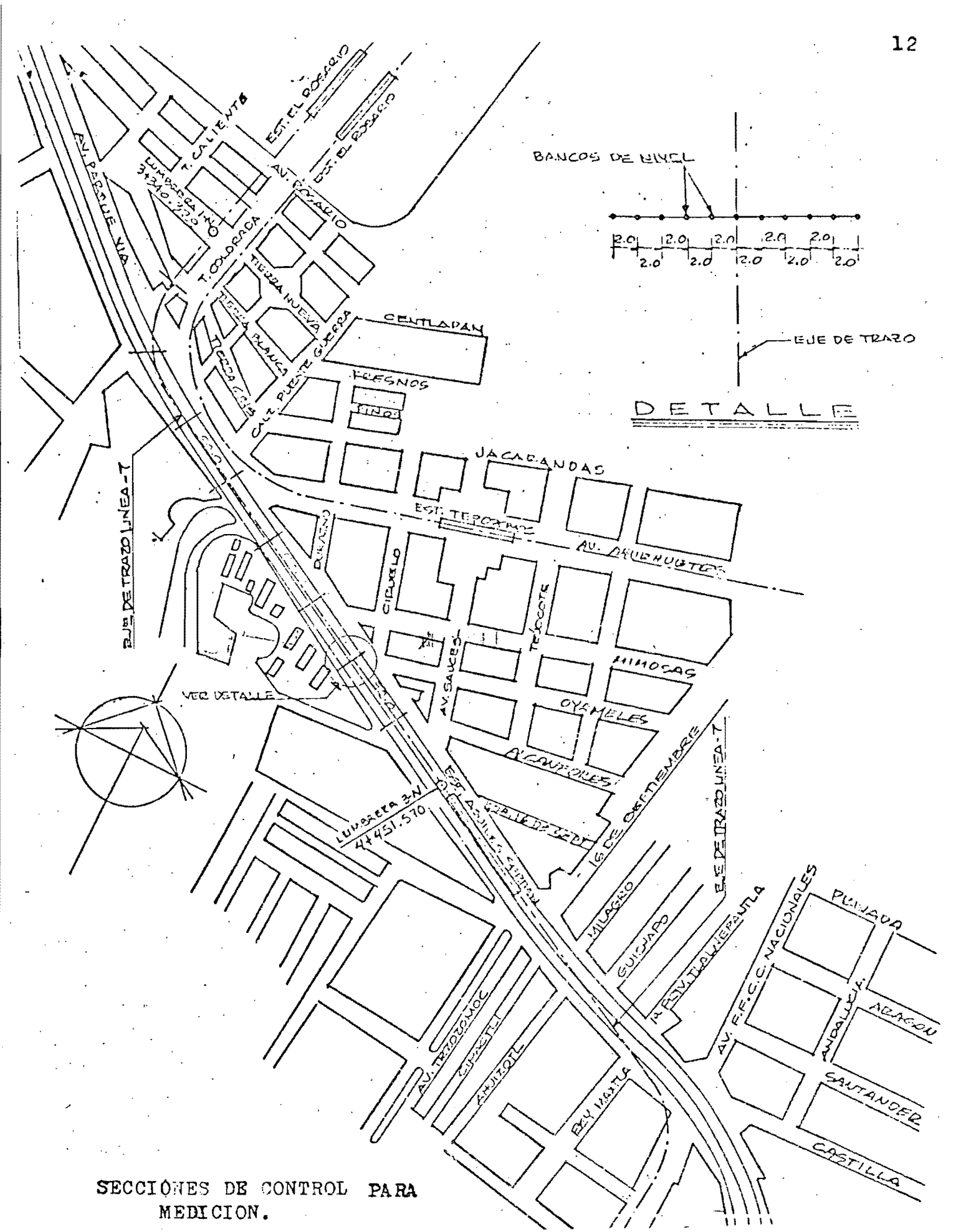
Para conocer los movimientos del terreno superficial durante la construcción del túnel, se colocará la siguiente instrumentación:

a) Secciones de control de niveles cada 50 m de longitud a lo largo del eje, constituido por 11 bancos de nivel superficiales separados en el sentido transversal al eje del túnel 0.00, 2.0, 4.6, 8 y 10 m instalados simétricamente respecto al eje (ver fig.):

La frecuencia de lectruras se hace 2 veces por semana, desde el momento de su instalación hasta el momento en que el escudo se localice a una distancia de 2 diámetros antes de la sección de medición. A partir de este momento se toma (1) lectura diaria hasta que el escudo se localice a una distancia de 5 diámetros adelante de la sección de medición. Posteriormente, se tomarán (2) lecturas por semana durante 4 semanas.

b) Se deben tomar medidas de los diámetros del túnel, en sentido longitudinal, vertical y diagonal, en varias secciones. La primera lectura de diámetros interiores, se toma cuando el escudo se localice, a una distancia de dos anillos adelante de la sección de medición.

Las lecturas se toman 1 vez al día durante 6 semanas.



SECCIONES DE CONTROL PARA MEDICION.

1.3.- FACTIBILIDAD DE UTILIZACION CON EL ESCUDO

La factibilidad trata de verificar o evaluar que por lo menos una de las alternativas existentes es rentable, técnica y económicamente viable, para lo cual se exigen datos mas precisos para determinar su viabilidad con base en las alternativas mismas. Una vez que se determina esa solución tecnicamente viable, se puede decidir sobre la justificación y profundización de los estudios incurriendo en mayores gastos, los cuales se recuperan en la realización efectiva del proyecto.

El estudio de la factibilidad trata de encontrar por lo menos una alternativa de solución y viabilidad del proyecto ó de ordenar el conjunto de alternativas de solución para el proyecto según ciertos criterios elegidos que garanticen la optimización en el uso de los recursos empleados.

Por lo tanto y con base en los datos obtenidos de los estudios previos, se ha seleccionado como alternativa de solución o viabilidad y quizá la más importante a la condición del suelo, que clase de suelo es, cual es su naturaleza, características de resistencia y poder determinar la factibilidad de llevar a cabo el uso del escudo en el mencionado proyecto, toda vez que dicho recurso o mecanismo sirve para toda clase de suelo. Es decir que el uso del escudo, en esta clase de material limo - arenoso compacto, es viable técnicamente hablando . Además mediante el escudo la estabilidad del frente queda asegurada con

la presión que se aplica con el mismo escudo, lo cual da una mayor seguridad en la excavación, pudiendo revestirse el túnel simultáneamente con la excavación, lo cual genera mayores rendimientos en el avance de la construcción y menores tiempos de duración. Por lo tanto el uso del escudo es bastante apropiado para esta obra.

1.4.- FACTIBILIDAD DE UTILIZACION DE LA TUNELEADORA

El uso de la tuneleadora de pluma, es muy difundido en rocas y estratos duros como son los de formaciones carboniferas. Aunque también es utilizada en rocas suaves y suelos compactos como en este caso, por lo tanto existe viabilidad de aplicación, o sea que es factible el uso de la tuneleadora, para la excavación del tramo de túnel en estudio en cuanto al material por atacar.

También se recomienda, su uso porque el revestimiento del túnel puede realizarse en forma simultánea con la excavación. Esto repercutiría en una forma muy favorable en la obra, pues los rendimientos obtenidos, serían mayores, lo cual a su vez trae como consecuencia un menor tiempo de duración.

Otro factor que influye mucho en la viabilidad de utilización de la tuneleadora es su versátil movilización en todas las direcciones, por lo cual en un momento dado se podrían realizar modificaciones en la sección del túnel, si asi lo requiriera el proyecto, así como el aprovechamiento de la máquina en la construcción de nichos auxiliares fuera de la sección

principal.

Por tratarse de que ambos medios son perfectamente factibles desde el punto de vista técnico la diferencia radica básicamente en el estudio de costos, y tiempos de ejecución para determinar, cual de los dos es más rentable para llevar a cabo la construcción del túnel.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO CON EL ESCUDO

II.- PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO CON EL ESCUDO

II.1.- SECUENCIA DE ACTIVIDADES

Es de mucha importancia que para llevar a cabo la ejecución de una obra, se establezca un orden cronológico de las actividades a desarrollar, lo que comunmente conocemos como secuencia de actividades.

La excavación, es una de las actividades que componen el procedimiento constructivo esta se logra mediante el avance del escudo, el cual es impulsado hacia adelante por medio de 28 gatos hidráulicos colocados en la estructura que reaccionan contra los anillos del revestimiento del túnel previamente erigidos. En el frente el escudo cuenta con una cachucha que permite a los obreros trabajar con seguridad sobre plataformas que permiten excavar y ademar el frente de arriba hacia abajo utilizando martillos neumáticos.

Otra actividad principal es la rezaga del material, el cual se extrae por medio de un cargador de descarga lateral que lo pasa a vagonetas y estas lo llevan hasta la lumbrera.

El revestimiento definitivo consiste en anillos de concreto compuesto por 3 dovelas, colocando primero la dovela de piso y luego las de la clave con los dos brazos erectores.

II.1.1.- EXCAVACION

AVANCE DEL ESCUDO:

Antes de realizar cualquier avance, se debe proceder a efectuar el corte del material existente en todo el frente, definido por el perimetro interior del escudo en una longitud máxima de 80 cms, para permitir el avance del escudo. En la zona correspondiente a la cachucha del escudo, se excavará una ranura de 80 cms de longitud y 40 cms de ancho con el objeto de que en cada avance, la cachucha antes mencionada no encuentre resistencia al mismo. (Figuras No. 4 y 5)

Dependiendo de las condiciones de estabilidad del terreno por atravesar, la excavación de la ranura se realizará preferentemente al ras de la cachucha del escudo.

En el caso de zonas curvas en el trazo, la excavación de la ranura puede admitir ligeras sobre-excavaciones (10cm como máximo) con el fin de facilitar el control topográfico del escudo, evitando así posibles daños a los anillos previamente colocados, debido a empujes forzados.

Habiendo efectuado el corte, se procede a dar el avance del escudo con una longitud máxima de 80 cms, los cuales se miden en la carrera de los vastagos de los gatos de empuje.

El ataque del frente se realizará por medio de martillos rompedores, neumáticos. La excavación se iniciará en el instante en que se haya ter

minado el empuje del escudo mientras se coloquen los segmentos que forman el último anillo. Habiéndose desalojado la rezada del frente se procederá a ejecutar un nuevo avance.

El avance del escudo se logra mediante la operación de los gatos de la parte trasera, los cuales se apoyan por medio de sus zapatas en los anillos ya colocados.

II.1.2.- REZAGA

La rezaga del material producto de la excavación del frente , se desalojará por medio de un cargador de descarga lateral, el cual a su vez descarga directamente a vagonetas montadas sobre plataformas para vía. Las vagonetas son jaladas hasta la lumbrera por locomotoras donde se vacía la rezaga a botes cargadores que a su vez son izados con una grúa hasta la torre de manteo, donde descargan a una tolva y de ahí a camiones de volteo que son los encargados de acarrear el material hasta el banco de descarga situado a 2 km de la obra.

II.1.3.- REVESTIMIENTO

La sección final del proyecto de un túnel está dada por un revestimiento de concreto que tiene como fin soportar los empujes ocasionados por el suelo excavado, produciendo una presión interior estabilizadora;

así como también el de proporcionar el gálibo de proyecto.

Para este tramo de túnel del metro, y teniendo como fundamento los estudios de suelo se escogieron anillos de concreto compuestos cada uno por 3 dovelas o segmentos de concreto reforzado de 0.8 m de ancho y 0.25 m de espesor tanto como soporte temporal como revestimiento definitivo.

Cada segmento tendrá una longitud de 3.0 mt.

PROCEDIMIENTO PARA LA COLOCACION DE LOS ANILLOS

La secuencia de colocación es ascendente, se transportará en primer lugar la dovela "c" hasta la rampa de la deslizadera en donde se izará para colocarla en su posición definitiva dentro del faldón del escudo posteriormente se tranportarán las dovelas "a" y "b", una por una, hasta la rampa de la deslizadera para ser izadas y colocadas en posición para ser acopladas a los brazos erectores, los que las instalarán en su posición definitiva, tal como se observa en la figura No. 7.

Las dovelas a y b, traen insertos en la clave para ser unidas mediante una placa (figura No. 7).

Posteriormente se transportará hasta la parte posterior del escudo un - troquel que se ensambla en los insertos de las dovelas a y b (troquel - horizontal) (ver figura No. 8)

Una vez que el anillo haya salido de la camisa del escudo, se debe colocar un puntal vertical de acero, cedula 40 y 6" de diámetro; el cual, mediante un gato hidraúlico, ayudará a los gatos de expansión a levantar la clave del anillo. (Ver fig No.8).

Habiéndose colocado el puntal antes mencionado, se procede a aplicarle la precarga correspondiente y expander el anillo mediante los gatos de expansión, los cuales se colocan en los extremos de las dovelas a-c y b-c; debiendo realizarse estos eventos en forma simultánea . La - precarga que se aplica al puntal vertical es de 15 tons. y la correspondiente a los gatos de expansión de 40 tons.

Terminada la expansión se colocan 2 tubos de 3" de diámetro, cedula 8, con placas de 3/8 de 15 x 15 cm, para recibir las dovelas; hecho esto se retiran los gatos de expansión y se ligan las dovelas a-b y b-c (ver fig. 8).

Concluido lo anterior se colará el hueco ocupado por los gatos de expansión con concreto f'c = 300 K/c^2, con aditivo estabilizador de volumen, después de lo cual se podrá retirar el puntal vertical, dejando-

ahogados en este colado los 2 tramos de tubo de 3'' de diámetro.

El puntal horizontal colocado en los insertos de las dovelas a y b- debe permanecer en su posición por lo menos 12 horas.

II.2.- SELECCION DE RECURSOS

Dentro de los puntos o pasos que conforman el procedimiento cons - tructivo está el de llevar a cabo una adecuada selección de los recursos pertinentes, necesarios para la realización de esta obra y al cual debe prestarsele significativa importancia. Dicha selección debe abarcar:

II.2.1.- EQUIPO BASICO Y EQUIPO AUXILIAR

A.- EQUIPO BASICO

ESCUDO DE FRENTE ABIERTO

Este equipo queda seleccionado por si solo ya que su construcción fué específica para otros tramos de la Red de Líneas del Metro habiéndose utilizado ya con anterioridad. Además como se vió en un prinicipio, es- adecuado para trabajar en el tipo de suelos correspondientes al tramo en cuestión.

La estructura del escudo está formada por un cilindro de acero rígido de 9.15 m de diámetro y 4.70 m de longitud, el cual tiene frente - abierto. Algunas de las partes más importantes que constituyen al escudo son: cachucha en el frente, gatos frontales, plataforma de trabajo, gatos de empuje, centro y faldón como se indica en la fig. No.6.

La cachucha en el frente, donde se efectúa la excavación es su - mamente reforzada, generalmente con piezas fundidas para formar la cara de corte, su propósito es facilitar el avance uniforme y la conducción del cuerpo del escudo cortado al frente, además de proporcionar - una distribución de las presiones inducidas.

Los gatos frontales sirven para soportar el frente mientras el - escudo avanza, ejerciendo presión constante.

La plataforma de trabajo,da protección adecuada a los trabajadores, ocupados en la excavación, además de proporcionar un cierto soporte continuo al frente.

Los gatos de empuje son los encargados de efectuar el movimiento del escudo. La estructura consta de 28 gatos hidraúlicos que reaccionan contra los anillos del revestimiento del túnel previamente erigidos. La distribución de estos gatos, es simétrica con respecto a un eje vertical, pero con respecto a uno horizontal presenta mayor concentración en la parte inferior con el objeto de contrarrestar la tendencia de - los escudos a inclinarse hacía adelante.

El centro o tronco, está destinado para el alojamiento de la maquinaria de empuje (gatos hidraúlicos, tablero de operación, etc.)

El faldón o parte trasera, esta diseñada para soportar el túnel,

mientras se realiza el montaje de los segmentos del revestimiento.

MARTILLOS NEUMATICOS ROMPEDORES

La resitencia al corte del material por excavar permite el uso de martillos neumáticos para su extracción.

Los martillos neumáticos que se usan para excavación son maquinas que golpean y cortan el suelo fácilmente.

Como facilidad para el personal de excavación se han elegido martillos de peso ligero (30lb) que además son adecuados para extraer el suelo del frente.

Su aplicación es debida a la necesidad de excavar pequeños volúmenes de material que con otro equipo sería antieconómico.

El número de martillos queda definido de acuerdo al área de trabajo, siendo este número de 8.

VOLUMEN PARA EXCAVAR EN CADA CICLO.

$65.75\ m^2 \times 0.80\ m = 52.60\ m^3$

Rendimiento por martillo = $2.63\ m^3$/hr. (estadístico)

No. de martillos en el frente = 8

Rendimiento total = 8 x 2.63 m^3/hr

= 21.04 m^3/hr.

Tiempo de excavación = $\frac{\text{Volumen por excavar}}{\text{Rend/martillo x No. de martillos.}}$

$$Te = \frac{52.60\ m^3}{2.63 \times 8} = 2.5 \text{ hrs.}$$

Te = 150 min.

COMPRESORES

Indispensable para la alimentación de aire comprimido a los martillos rompedores.

Estas máquinas absorben el aire atmosférico, lo comprimen y lo envían por mangueras a las herramientas. El aire comprimido constituye un medio motor.

Los nuevos compresores son giratorios. En todos los tipos es importante que el aire que se comprime, se filtre, para evitar que el polvo produzca un desgaste excesivo, y ensucie las partes en movimiento, tapando los pasajes.

Siendo el consumo de aire comprimido de cada martillos de 90 pcm, se requieren: 90 pcm x 10 = 900 pcm. Además se requiere una perforadora para anclajes de 200 pcm, teniendo 1,100 pcm. de demanda . Efectuando correciones por eficiencias, pérdida y alturas quedan seleccionados

3 compresores de 600 pcm cada uno. (ver análisis de costos)

CARGADOR SOBRE ORUGAS

Se podría mencionar como un "tractor cargador" equipado con una cucharón delantero que puede utilizarse para empujar,excavar y cargar el material a camiones o vagonetas.

El cucharón tiene tres movimientos de trabajo, se levanta y baja por medio de cilindros hidraúlicos que lo controlan a través de brazos de empuje, se inclina o gira entre las posiciones de acarreo y descarga, y se llena y retrocede mediante el movimiento hacia adelante y de-reversa del tractor. Además es una máquina de un cucharón con tamaño-adecuado para cargar rezaga, las orugas le permiten trabajar con efi - ciencia y el cucharón con descarga lateral permite un llenado rápido y eficiente de las vagonetas.

El cargador a utilizar tiene un rendimiento de m^3/h.

LOCOMOTORA Y VAGONETAS

Es un equipo de transporte, utilizado para la extracción de rezaga, y demás servicios como transporte de dovelas y material requerido en la obra.

Cada locomotora tira de 6 vagonetas, que son las que llevan el material-de rezaga hasta la lumbrera.

Se utilizarán 3 locomotoras de 10 ton.

El número de vagonetas y locomotoras será:

Volumen por excavar en cada ciclo: 52.60 m^3

Volumen de rezaga: 52.60 x 1.35 (abundamiento) = 71.01 m^3

Capacidad de vagonetas: 4.0 m^3

Tiempo de carga de vagonetas: $\frac{4.0\ m^3}{3.5\ m^3/hr.}$ = 0.12 hr.

No. de vagonetas = $\frac{71.01\ m^3}{4\ m^3/seg.}$ = 17.7 18 vagonetas

Cada locomotora puede arrastrar 5 veces su peso (práctico) 10 ton. x 5 = 50 ton. = 50 ton

Peso de cada vagoneta cargada:

4.0 m^3 x 1.7 ton/m^3 + 1.5 ton. = 8.3 ton.

$\frac{50\ ton}{8.3\ ton/vag.}$ = 6 vagonetas/locomotora

No. de trenes = $\frac{18}{6}$ = 3

TORRE DE MANTEO

La torre de manteo ya en la superficie recibe en una tolva el material de rezaga, para luego pasarlo a camiones de volteo, que son los encargados de sacar el material de la obra.

El rendimiento requerido del sistema de manteo será:

Datos:

B.- EQUIPO AUXILIAR

Además del escudo, son necesarios otros equipos e instalaciones que ayudan a complementar el ciclo de excavación, como son:

Equipo para la colocación y fabricación de concreto en las juntas de expansión, el cual consta de revolvedora para concreto, de 1 saco , vibradores neumáticos y compresor de 365 p.c.m.

Equipo de inyección de contacto, entre dovelas y terreno natural com puesto por: agitador vertical, bomba mayno 3L-10, vibradores, neumáticos, compresor, agitador para lechada y equipo para perforación de borrenos.

Equipo de ventilación. Se colocará 1 ventilador por línea a cada - 250 m y 1 en superficie. Tubería de ventilación de 36" de diámetro. (Ver hoja adjunta para calculo de ventilación).

Equipo para control topográfico, con estación para teodolito con rayo Lasser, el cual mejora la exactitud de los alineamientos, proporciona mayor seguridad , reduciendo los costos.

Plataforma de trabajo inmediatamente después del escudo.

Equipo teléfonico, para comunicación desde la superficie al interior del túnel.

Suministro de agua para limpieza y otros servicios.

Además son ncesarias instalaciones exteriores como subestación eléctrica, quipo para oficinas técnicas de supervisión, topográficas, casetas para lockers y baños, etc.

VENTILADORES. (Para conocer el No de ventiladores necesarios).

1.- $Qv = QP + QM.$

Qv = Gasto del ventilador

QP = Aire fresco requerido por personal = 53 p.c.m./persona.

QM = Aire fresco requerido por maquinaria

QP = 53 p.c.m./persona x 60 personas = 3,180 pcm

QM = 70 p.c.m./HP.

QV = (3 locomotoras x 80 HP + 1 cargador CAT x 120 HP) x 70 pcm/HP
= 25,200 p.c.m. = 13.3 m^3/seg.

QV = 13.3 m^3/seg.

2.- Para V = 20 m/seg.

diámetro $d = 0.25 \sqrt{Qv}$

$= 0.25 \sqrt{13.3} = 0.90$ mt. = 36" Ø

3.- Distancia entre ventiladores

$Dv = \frac{P}{p}$ P = Carga del ventilador
p = Perdidas por fricción

$P = \frac{75 \times N \times HP}{Qv \times \rho}$ N = 0.75 eficiencia
ρ = 1.20 K/Km^3 peso volumétrico del aire.

$P = \frac{75 \times 0.75 \times 20}{13.3 \times 1.2}$ HP = Caballos de potencia del ventilador = 20 HP.

P = 70.48 mmH20

$P = K' \frac{v^2}{d^2}$ K' = 0.00054 Coeficiente de fricción.

v = 20 m/s. Velocidad del aire

d = 0.91 m.

$$p = 0.00054 \frac{(20)^2}{(0.91)^2} = 0.260 \text{ mm/m.}$$

$$Dv = \frac{70.48}{0.260} = 271 \text{ mt}$$

Corrección por fugas = 10%

Distancia real = 271 x 0.9 = 244 m.

4.- Número de ventiladores a colocar:

$$\frac{1,100 \text{ m}}{244 \text{ m}} = 6$$

II.2.2.- PLANTILLA DE PERSONAL -CONSTRUCCION TUNEL CON ESCUDO POR DIA

CATEGORIA	CANTIDAD
EXCAVACION	
Sobrestante de excavación	2
Cabo varios	2
Oficial perforistas	12
Ayudantes de perforación	10
Operador de escudo	3
Ayudantes generales	2
Operador traxcavo	2
Operador de locomotora	6
Telefonistas	6
	45
MANIOBRAS Y MANTEO	
Cabo varios	2
Oficial maniobrista	6
Operador de grúa Hiad 20 toneladas	2
Operador malacate	3
Ayudantes generales	4
	17
COLOCACION DOVELAS Y UNION	
Cabo varios	2
Oficial maniobrista	12
Ayudantes generales	14
	28

CATEGORIA	CANTIDAD
Cabo varios	2
Operador de dosificadora	4
Perforador de pierna	2
Oficial maniobrista	2
Ayudantes generales	24
Oficial albañiles	4
	38
COLOCACION DE VIAS Y TUBERIAS	
Cabo varios	2
Rieleros y tuberas	6
Ayudantes generales	8
	16
TOPOGRAFIA	
Auxiliares	2
Cadeneros	4
	6
SOLDADURA	
Oficial soldador	2
Ayudantes	2
	4
MECANICOS	
Oficial mecánicos	2
Oficial electromecánico	2
Ayudantes generales	4
Engrasador	2
	10

CATEGORIA	CANTIDAD
ELECTRICISTAS	
Oficial electricista	2
Ayudantes generales	2
	4
CARPINTERIA	
Oficial carpintero	4
Ayudantes generales	4
	8
T O T A L	86

II.2.3.- DOVELAS Y MATERIALES COMPLEMENTARIOS

El revestimiento del túnel está constituido por anillos de concreto, formado por dovelas las cuales son de 3 tipos: a, b y c. Cada anillo - está formado por 3 dovelas una de cada tipo, las a y b forman los costados y la clave, estas dovelas son similares con excepción de sus extremos superiores donde se forma una rótula donde se efectúa la unión por medio de una placa de acero, la cual se atornilla en ambos extremos. La dovela c forma la cubeta.

Las dovelas son de concreto y con un ancho igual a 0.80 m. y un espesor de 0.25 m. salvo las correctivas que dependen de la curvatura del túnel.

Estas dovleas se fabrican en la obra, con ccto reforzado de f'c= 350 k/c^2 aplicando un proceso de curado acelerado a base de calentamiento del concreto por medio de inyección de vapor.

Cada anillo, va reforzado con 8 varillas No. 6 (3/4"), amarradas con estribos # 3 en el inicio, y # 2 (1/4) en el resto, formando canastilla. Cada anillo lleva 10 insertos para maniobras, remache en la clave del - túnel, y para inyección.

Anillos correctivos: Se construyen para evitar posibles errores de operación y para dar la curvatura al túnel, donde sea requerida. Son de 2 tipos: corrección de 75mm y corrección de 50 mm, la cual se lleva a cabo en uno de los costados del anillo.

II.3.- PROGRAMA DE CONSTRUCCION

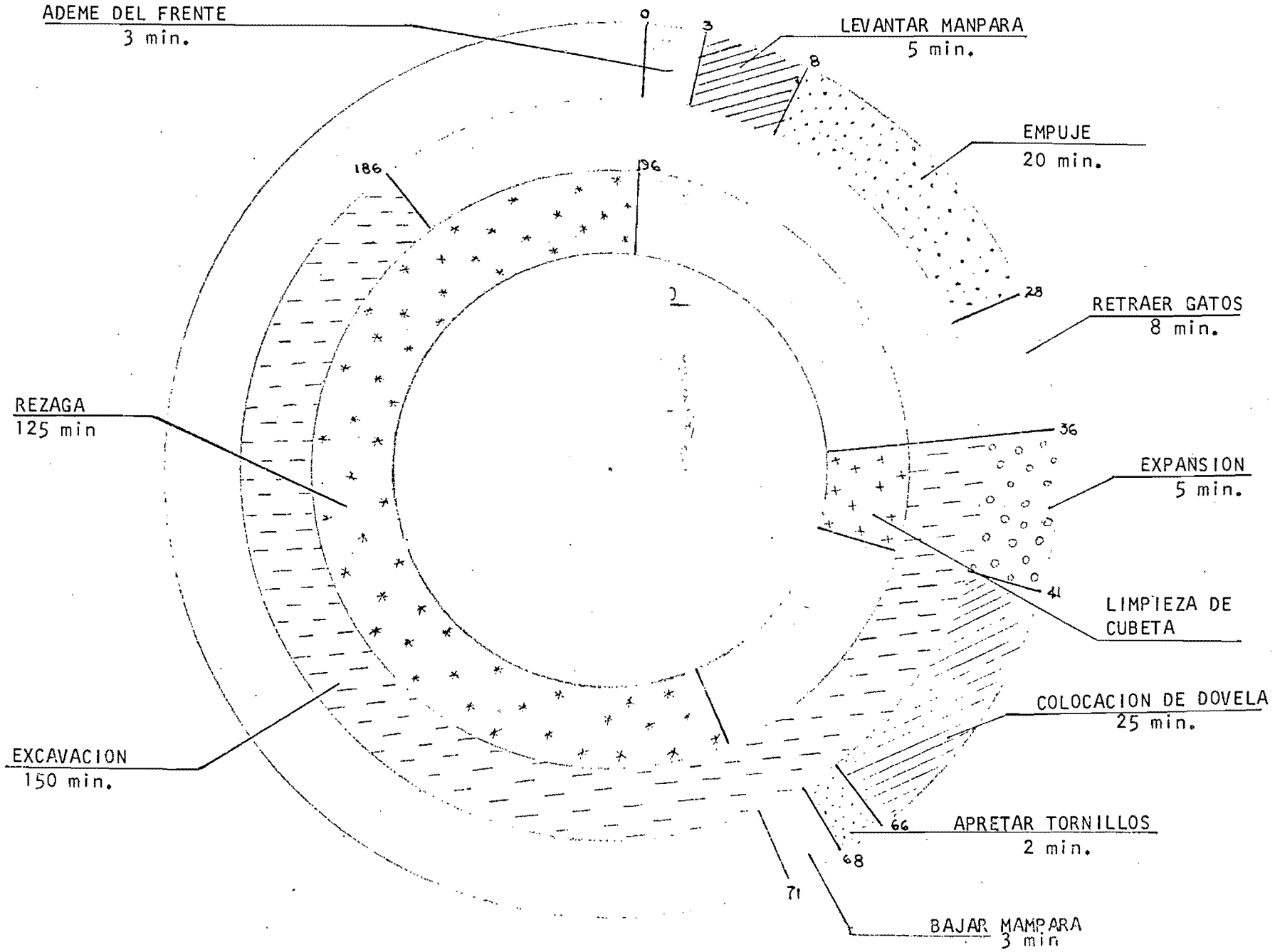
Con el programa de construcción parte verdaderamente el desarrollo de ejecución de las actividades a realizar, ejecución que tiene por objeto realizar un análisis de la configuración del ciclo de actividades, con el propósito de poder determinar ciertas características como es el caso del tiempo de duración en el desarrollo de las mismas, ver si se están llevando a cabo de acuerdo a lo programado inicialmente, de lo contrario establecer las correcciones o ajustes de las posibles desviaciones sufridas, por las distintas restricciones espaciales o temporales. Todo esto encaminado a garantizar un exacto cumplimiento en la entrega final de elaboración de las obras. Es decir que los programas son un mecanismo efectivo de revisión y control en la ejecución y desarrollo de las diferentes etapas que conforman el proyecto.

II.3.1.- ANALISIS DEL CICLO

El establecimiento y la descripción del ciclo, tiene como objeto el poder realizar comparaciones de costos entre una fase de un proyecto y el proyecto completo. Esta información sirve de base para la estimación y predeterminación de los costos de nuevos proyectos.

Los registros del ciclo de operaciones, también permiten conocer cada día si la productividad de trabajo se está desarrollando de acuerdo a lo estimado; y a la vez indican o determinan que fases del proyecto requieren posibles soluciones o decisiones de atención especial.

CICLO DE ACTIVIDADES TRAMO L1N - L3N LINEA 7N DEL METRO



Dentro de las operaciones del túnel, el ciclo de operación con escudo, se compone de varias etapas de trabajo:

- Ademe del frente
- Levantar mampara o compuerta de rezaga
- Empuje del escudo
- Retracción de gatos
- Expansión
- Colocación de dovelas
- Apretar tornillos entre segmentos
- Bajar mampara
- Excavación
- Limpieza de cubeta.
- Rezaga.

La estabilización del frente se logra a base de tableros de madera, que son detenidos por los gatos frontales. Esta operación tiene una duración de 5 min. luego se levanta la mampara que se encuentra en la parte posterior del escudo y cuya finalidad es retener el material producto de la excavación. Finalizada esta operación que dura 3 min, se lleva a cabo el montaje del escudo.

Esta es una operación muy delicada del ciclo, ya que es la que define los alineamientos y pendientes proyectadas, por lo cual es muy importante realizar el avance con los gatos adecuados. Esta operación consta de 2 actividades: el empuje o avance en si con una duración de 20 min apro-

ximadamente y la retracción de los gatos que se tarda 8 min.

Terminando el avance, se limpia la plantilla dentro del faldón del escudo y se ejecuta a su vez la expansión; ambas actividades con duración de 5 min.,para proceder luego al montaje del revestimiento definitivo (dovelas). Cada una de las piezas se instala por medio de un brazo erector de accionamiento hidráulico montado en la parte posterior del escudo. Dicho brazo puede girar alrededor de su eje horizontal a cualquier posición que se requiera y puede extenderse o retraerse.

A medida que se va ensamblando, los gatos de empuje se van retirando, a continuación se apreta la tornillería que une los segmentos entre sí y con el anillo anterior.

Después de lo anterior se baja la mampara o compuerta de rezaga para iniciar la excavación del frente, y con relación a la seguridad es la actividad más difícil con el tuneleo con escudo. Su duración es de 150 min.

La herramienta empleada para la excavación del frente, depende del grado de dureza del suelo, en este caso se usarán martillos neumáticos. Esta excavación se inicia al terminar el empuje del escudo y es simultánea a la colocación de los anillos.

Luego se procede a retirar el material producto de la excavación, o sea la rezaga del material con duración de 125 min, para luego iniciar nuevamente el ciclo.

Duración completa del ciclo = 196 min. = 3.3 hrs.

II. 3.2.- ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

A.- INYECCION

Con el objeto de reducir los asentamientos superficiales que puedan presentarse durante la excavación del túnel, reducir las filtraciones de agua freática hacia el interior de éste, establecer un relleno compacto y estabilizar el terreno circundante reduciendo la presión del suelo contra el ademe, se hará una inyección de acuerdo a lo siguiente:

Con la finalidad de que cada anillo presente una inyección satisfactoria en su perímetro, se utilizarán los insertos para maniobras existentes en cada dovela, realizando perforaciones adicionales de 2" diámetro. Tanto las perforaciones adicionales como las que se efectuen a través de los insertos, deben penetrar en el suelo circundante 25 cm.

Las perforaciones adicionales se realizan así: 3 en anillos que se inyecten en 2a fase, y 1 en anillos que se inyecten en 3a fase. Las inyecciones pueden hacerse durante la construcción de las dovelas o cuando ya esten colocadas en el interior del túnel (ver fig. 9).

Cada anillo debe contar con una inyección de dos fases.
La inyección de primera fase se realiza en todos los anillos y las de segunda y tercera fase se efectúan alternadamente.

INYECCION 1a FASE

Se lleva a cabo, una vez que el anillo por inyectar, cuente con 3 anillos

entre él y el faldón del escudo.

El volúmen a inyectar por barreno es de 0.5 m^3 a una presión mínima de 1 K/c^2.

INYECCION 2a FASE

El anillo a inyectar, ya debe contar con la inyección de 1a fase, y tener entre este anillo y el faldón del escudo una distancia igual a 5 anillos, o sea debe ser el 6o anillo localizado atrás del faldón. El volumen a inyectar será de 0.5 k/c^2 y una presión mínima de 1.5 k/cm^2

INYECCION 3a FASE

El anillo a inyectar 3a fase debe tener la inyección 1a fase, y contar entre él y el faldón del escudo 10 anillos.

La distancia al anillo mas alejada de dicho faldón no debe exceder de 40 anillos.

Volumen a inyectar 0.5 m^3 a una presión de 1.5 k/c^2.

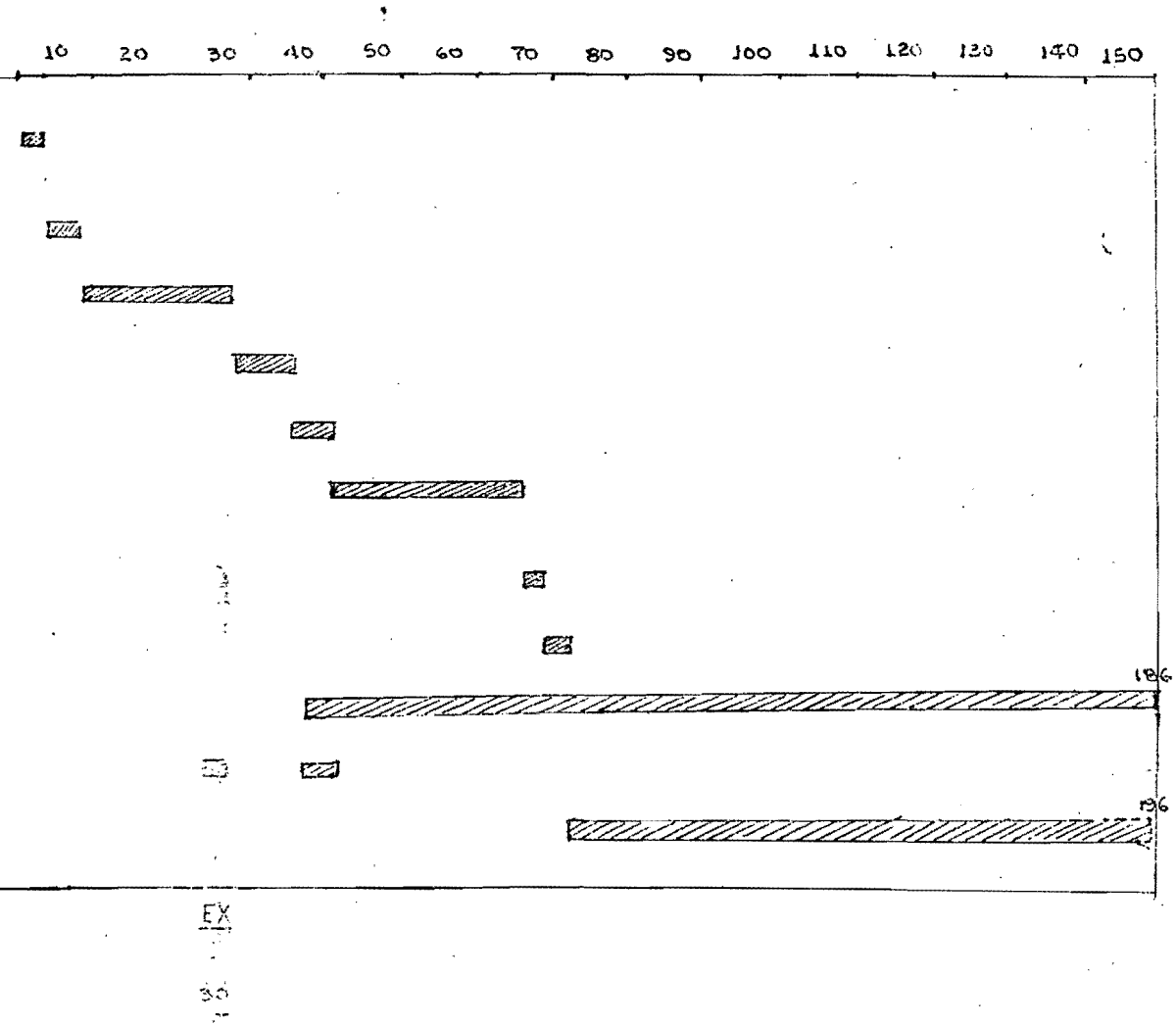
Proporciones de cada una de las inyecciones:

	1a FASE	2a FASE	3a FASE
Agua (lts)	136	160	152
Cemento (kgs)	250	250	250
Bentonita (lts)	67	42	50.2
Arena (kgs)	160	150	-
Acelerante de fraguado (kg)	2.5	-	-

Tiempo de hidratación de bentonita 8 hrs.

2.3.3.- PROGRAMA DE EXCAVACION CON ESCUDO

ACTIVIDADES	Duración minutos.
1.- Estabilización del frente.	5
2.- Levantar mampara	3
3.- Empuje	20
4.- Retraer gatos	8
5.- Expansión	5
6.- Colocación de dovelas	25
7.- Apretar tornillos entre segmentos.	2
8.- Bajar mampara	3
9.- Excavación	150
10.- Limpieza de cubeta	5
11.- Rezaga.	125



E X C A V A C I O N E S

ANALISIS DEL PRECIO UNITARIO DE EXCAVACION CON ESCUDO DE 9.15 M. DE DIAMETRO.

DATOS PARA LA INTEGRACION DEL PRECIO UNITARIO POR CONCEPTO DE EXCAVACION DE TUNEL CON ESCUDO DE 9.15 M.DE DIAMETRO.

1.- LONGITUD DE TUNEL

a.-	De Lumbrera 1 a Lumbrera 3	=	1,1000.00 metros
b.-	Diámetro de excavación (9.15 + 0.10 sobre excav.)	=	9.25 metros
c.-	Area de excavación	=	67.20 metros^2
d.-	Volumen de excavación	=	67.20 metros^3/metro
e.-	Rendimiento $\frac{1 \text{ anillo}}{3.3 \text{ h.}} \times 20h \times 0.8$	=	4.80 m/día

INTEGRACION DEL PRECIO UNITARIO

I.-	MATERIALES	$ 121,423.57/	/m
II.-	OBRA DE MANO	$ 75,751.03	/m
III.-	MAQUINARIA	$ 563,346.24	/m.
	COSTO DIRECTO	$ 747,784.33	/m.

I.- MATERIALES PARA INSTALACIONES EN TUNEL

a.- Tuberías para agua, aire comprimido, aceite hidraúlico y ventilación.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD10/ML	COSTO	IMPORTE/ML.
- Tubo galvanizado de 2"Ø para agua.	M	1.0	1,113.15	1,113.15
- Tubería vitaulic de 6" Ø para aire comprimido	M	1.0	7,626.00	7,626.00
- Junta vitaulic completa de 6" Ø a cada 6 m.	Pza.	0.17	17,047.80	2,898.12
- Tubería negra sin castura ced 80 de 1" de Ø para aceite hidraúlico.	M	2.0	3,487.05	6,974.10
- Tubería negra sin constura ced 80 de 2 1/2" Ø.	M	1.0	6,666.60	6,666.60
- Tubería para ventilación de - 36" Ø	M	1.0	2,675.25	2,675.25
- Varios (coples, válculas, tees, niples, soportes para tubería, soldadura y pintura).	Global.			6,600.00
				$ 34,553.22/ML

COSTO = 34,553.22 x 0.75 = $ 25,914.92/ML

b.- Líneas eléctricas en túnel.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
Cable 500 MCM. THW	M	3.0	5,274	15,822
Cable vinicón THW antiflama 2/0	M	4.0	1,349.6	5,398.4
Cable de centro 7 x 14	M	1.0	985.2	985.2
Bastidor para 7 carretes completo.	M	0.2	18,450.0	3,690
Varios (alambre de amarre, varillas, cinta)	Glob.			300.0
				$ 26,195.6/Lote

Costo = $ 26,195.60 x 0.70 = $ 18,336.92/ML.

c.- Vía para tránsito de rezaga.

Se analiza el costo para el tramo de 1,100 mt.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
Riel de 60 lbs/yd (tramo de - 9.15 m)	pza.	240	58,613.44	14'067,225.6
Planchuela para riel de 60 lbs.	pza.	480	2,152.50	1'033,200
				$ 15'100,425.6/lote

$$\text{Costo} = \frac{\$\ 15'100,425.6/\text{lote} \times 0.70}{1,100.00\ \text{m.}} \qquad \$\ 9,609.36/\text{m}$$

Materiales de consumo.

Este tipo de materiales se destruyen regularmente - por lo que se incluye el 20% de desperdicio.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
Duermiente de 8" x 8" x 1.50 m. (26.251 PT) a cada 80 cm.	pza.	1,376.00	2,331.50	3'208,144...
Clavo para vía de 9/16" x 5 1/2" (4 piezas por durmiente)	pza.	5,504.00	160	880,640
Tornillo para planchuela (4 pzas por cada par de planchelas).	pza.	960.00	196.80	188,928
			SUMA =	$ 4'277,712/lote.

$$\text{Costo} = \frac{\$\ 4'277,712/\text{lote} \times 1.20}{1,100.00\ \text{m}} \qquad \$\ 4,666.6/\text{m}$$

$ 14,276.00/m.

d.- Cambios para vía.

1.- Fijo en lumbrera y espuela.

CONCPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
Riel de 60 lbs/yd. (tramo 9.15m)	pza.	20.00	58,613.40	1'172,268
Planchuela para riel de 60 lbs/yd (2 pzas por tramo de riel).	pza.	40.00	2,152.50	86,100...

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
Sapos para vía.	pza.	4.00	504,300	2'017,200
Mecanismo para cambio de vía	pza.	2.00	147,600	295,200

SUMA = $ 3'570,768/lote

$$\text{Costo} = \frac{\$\ 3'570,768/\text{lote} \times 0.60}{1,100.00\ \text{m.}} \qquad \$\ 1,947.69/\text{m}$$

Materiales de consumo.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
Durmiente 8" x 8" x 1.50 m- a cada 80 cm.	pza.	115,00	2,331.50	268,122.50
Clavo para vía de 9/16" x 5 1/2" (4 pzas por durmiente)	pza.	460.00	160	73,600.00
Tornillo para planchuela (4- pzas por cada par de planchuelas)	pza.	80.00	196,80	15,744

SUMA = $ 357,466.50/lote

$$\text{Costo} = \frac{\$\ 357,466.50/\text{lote} \times 1.20}{1,100.00\text{m.}} \qquad \$\ 389.90/\text{m.}$$

$ 2,337.65/m.

2.- Laterales a cada 500.00 m.
Cada cambio = 36.60 m de longitud

$$\text{Número de cambios} = \frac{1100\ \text{m}}{536.6} + 1 = 3\ \text{cambios}$$

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
Riel de 60 lbs/yd. (tramo de- 9.15 m) 366 x 2 riel x 3 cam/- 9.15 = 24	pza.	24.00	58,613.50	1'406,724
Planchela p/riel de 60 lb/yd.	pza.	48.00	2,152.50	103,320
Sapos para vía (2 pzas/cambio).	pza.	6.00	504,300	3'025,800

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
Mecanismo para cambio de vía- (2 pzas/cambio)	pza.	6	147,600	885,600
			SUMA =	$ 5'421,444/lote

Costo = $ 5'421,444/lote x 0.60 / 1,100.00 m. $ 2,957.15/m.

Materiales de consumo.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
Duermiente de 8" x 8" x 1.50 m. a cada 80 cm.	pza.	276.00	2,331.50	634,494
Clavo p/vía de 9/16" x 5 1/2" (4 pzas/durmiente)	pza.	1,104.00	160	176,640
Tornillo por plancheia (4 pzas/tornillo por cada par de planchelas)	pza.	192.00	196,80	37,785.6
			SUMA =	$ 857'919.6/lote

Costo = $ 857,919.6/lote x 1.20 $ 935.91/m.

$ 6,230.71/m.

f.- Alumbrado

1.- En el túnel.

Lámpara flourescente 2 x 74 W se coloca 1 a cada 10.00 m.

Costo = $ 7,510.30/pza x 0.60 / 10.00 m. $ 450.62/m.

2.- En el frente.

Porta lampara de cuarzo de 1500 W, se cambian cada 200.00 m. de avance.

Costo = $ 3,93.50/pza. x 4 pza. / 200.00 m. $ 78.67/m

$ $ 529.29/m.

g.- Materiales de consumo en el frente de excavación.

1.- Pulseta excavadora de 7/8" x 4 1/4" x 18".

Vida útil = 134,40 m 3/pza.

Volumen de excavación /m. = 67.20 m^3/m.

Costo de adquisición = $ 6,273 /pza.

Costo reafilados = $ 6,642 /pza.

$$\text{Costo} = \frac{\$\ 12{,}915/\text{pza} \times 67.20\ m^3/\text{m.}}{134.40\ m^3/\text{pza.}} \qquad \$\ 6{,}457.50\ /\text{m.}$$

2.- Madera para ademe del frente.
Por el tipo de actividad que se ejecuta se consideran 5 usos.

Area de excavación = 67.20 m^2.

- Se emplean tablones de 2" x 6" x 8/4'

67.20 m^2 x 10.76 pies 2/m^2 = 707.47 $pies^2$.

707.47 pies ÷ 4.125 pies 2/pza. = 171.51 pza.

- Se colocan madrinas de 8" x 8" x 8 1/4"

a cada 1.50 m en 3 niveles

6 pza/nivel x 3 niveles = 18 pzas.

$$\text{Costo} = \frac{\$\ 761.06/\text{pza.} \times 171.51\ \text{pza} + \$\ 3{,}788.4/\text{pza.} \times 18\text{pza.}}{5\ \text{usos} \times 0.80\ \text{m/uso.}}$$

$ 49,678.25 /m.

$ 56,135.75 /m.

COSTO TOTAL MATERIALES $ 121,423.57 /ML.

II.- MANO DE OBRA PARA INSTALACIONES EN TUNEL

a.- Instalación de tuberías para: agua, aire comprimido, aceite hidraúlico y ventilación

1 Oficial tubero	$ 4,441.10/tno.	x	1	=	$ 4,441.10/tno.
1 Ayudante	$ 2,936.34/tno.	x	1	=	$ 2,936.34/tno.
					$ 7,377 44/tno.

b.- Soldadura para el habilitado de soporte para-tuberías para: agua, aire comprimido, aceite-hidraúlico: así como la fijación de los bastidores para las líneas eléctricas y las lámparas fluorecentes.

1 Oficial soldador	$ 3,936.60/tno.	x	1	=	$ 3,936.60/tno.
1 Ayudante	$ 2,936.34/tno.	x	1	=	$ 2,936.34/tno.
					$ 6,872.94/tno.

c.- Instalación de líneas eléctricas y alumbrado en-el túnel, así como el mantenimiento del equipo - eléctrico tanto en túnel como en superficie.

Oficiales electricistas tunel.	$ 3,704.25/tno.	x	1	=	$ 3,704.25/tno.
Ayudantes	$ 2,936.34/tno.	x	1	=	$ 2,936.34/tno.
					$ 6,640.59/tno.

d.- Instalación y mantenimiento de vía.

1 Cabo	$ 3,965.36/tno.	x	1	=	$ 3,965.36/tno.
2 Oficiales rieleros	$3,761.44/tno.	x	2	=	$ 7.522.88/tno.
3 Ayudantes	$ 2,936.34/tno.	x	3	=	$ 8,809.02/tno.
					$ 20,297.26/tno.

e.- Control topográfico.

1 Auxiliar topográfico	$ 3,965.36/tno.	x 1	=	3,965.36/tno.
2 Cadeneros	$ 3,205.86/tno.	x 2	=	6.411.72/tno.
				$10,377.08/tno.

f.- Manteo de rezaga y suministro de materiales y/o equipo a lumbrera y túnel.

1 Cabo	$ 3,965.36/tno.	x 1	=	$ 3,965.36/tno.
3 Maniobristas	$ 3,761.44/tno.	x 3	=	$ 11,284.32/tno.
2 Ayudantes	$ 2,936.34/tno.	x 1	=	$ 5,872.68/tno.
				21,122.36/tno.

g.- Cuadrilla para excavación y ademada del frente.

1 Sobrestante	$ 7,236.40/tno.	x 1	=	$ 7,236.40/tno.
1 Cabo	$ 3,965.36/tno.	x 1	=	$ 3,965.36/tno.
6 Perforistas	$ 3,453.33/tno.	x 6	=	$ 20,719.98/tno.
5 Ayudantes	$ 2,936.34/tno.	x 5	=	$ 14,681.70/tno.
1 Of. carpintero	$ 3,776.0 /tno	x 1	=	$ 3,776.0 /tno.
1 Ayudante	$ 2,936.34/tno.	x 1	=	$ 2,936.34/tno.
				$ 53,315.78/tno.

h.- Mecánicos

Of. Mecánico	$ 3,936.60/tno.	x 1	=	$ 3,936.60/tno.
Of. electromecánico	$ 3,936.60/tno.	x 1	=	$ 3,935.60/tno.
Ayudantes	$ 2,936.34/tno.	x 2	=	$ 5,872.68/tno.
Engrasador	$ 2,936.34/tno.	x 1	=	$ 2,936.34/tno.
				$ 16,682.22/tno.

i.- Telefonistas.
(Escudo, bajo lumbrera, torre de manteo)

Costo = $ 2938.8/tno. x 3 = $ 8,816.4/tno.

COSTO TOTAL MANO DE OBRA $ 151,502.07 /tno.

$$\text{COSTO/ ML} = \frac{\$\ 151,502.07/\text{tno}}{2.0\ \text{m/tno.}} = \$\ 75,751.03$$

III.- MAQUINARIA Y EQUIPO EMPLEADO PARA LAS INSTALACIONES EN TUNEL

a.- Barrenación en dovelas para colocar los soportes de las tuberías para: agua, aire comprimido, aceite hidraúlico, ventilación; bastidores para lineas eléctricas; lamparas para alumbrado.

1.- Compresor 600 pcm.

Activo.

Costo = $\frac{\$\ 2{,}763.5/hr \times 4\ hr/tno.}{2.00\ m/tno.}$ $ 5,527.00 /m

2.- Perforadora de pierna.

Activa.

Costo = $\frac{\$\ 150.07/hr \times 4\ hr/tno.}{2.00\ m/tno.}$ $ 300.14 /m

Habilitado de los soportes anteriores.

1.- Soldadora de 300 amperes.

Activa.

Costo = $\frac{\$\ 1{,}352/hr \times 4\ hr/tno.}{2.00\ m/tno.}$ $ 2,716.20 /m

2.- Equipo de corte oxígeno-acetileno.

Costo = $\frac{\$\ 328.8/hr \times 4\ hr/tno.}{2.00\ m/tno.}$ $ 657.60/m

$ 9,200.90/m

b.- Ventilación.

Se coloca un ventilador por línea a cada 250.00 m y uno en superficie. de Ø 36".

Activo.

Costo = $\frac{\$\ 612.61/hr \times 10\ hr/tmo \times 7\ pzas.}{2.00\ m/tno.}$ $ 21,221.35/m

c.- Excavación y ademado en el frente.

1.- Escudo de frente abierto de 9.15 m diámetro.

Costo = $\frac{\$\ 30,133.35/hr \times 10\ hr/tno.}{2.00\ m/tno.}$ $ 150,666.75 /m

2.- Martillo rompedor.

Activo.

Costo = $\frac{\$\ 150.07/hr \times 10\ hr/tno \times 10\ pzas.}{2.00\ m/tno.}$ $ 7,503.5/m

3.- Compresor 600 pcm.

Para el consumo de aire comprimido se tiene que:

Martillo rompedor = 10 pza x 90 pcm/pza = 900 pcm.

Perforadora pierna = 1 pza x 200 pcm/pza = 200 pcm.

1,100 pcm.

Este consumo se afecta por los siguientes factores:

Factor de diversidad = 0.80

Factor de altura = 1.25

Factor de uso. = 1.10

Factor de fugas. = 1.20

Consumo total = 100 pcmX0.80X1.25X1.10X1.20 = 1,452 pcm.

Activo.

Costo = $\frac{\$\ 2,763.43/hr \times 10hr/tno \times 3\ pza}{2.00\ m/tno.}$ $ 41,451.45/m

$ 200,021.7 /m.

d.- Carga y acarreo de rezaga en el interior del túnel.

1.- Traxcavo caterpillar 955 de descarga-lateral.

Activo.

Costo = $\frac{\$\ 6{,}184.80/hr \times 10\ hr/tno \times 1\ traxcavo.}{2.00\ m/tno.}$ $ 30,924.0 /m

Reserva.

Costo = $\frac{\$\ 3{,}756.8/hr \times 10\ hr/tno.}{2.00\ m/tno.}$ $ 18,784.0 /m

2.- Locomotora Plymouth capacidad 15 tons.

Costo = $\frac{\$\ 6{,}620.65/hr \times 10hr/tno \times 31\ locomotoras}{2.00\ m/tno.}$ $ 99,309.75/m

4.- Truck de carga con eje de 36"

Costo = $\frac{\$\ 247{,}10/hr \times 10hr/tno \times 24\ trucks.}{2.00\ m/tno.}$ $ 29,652.00/m

4.- Vagoneta de carga con capacidad de 2.5 m^3.

Costo = $\frac{\$\ 172.45/hr \times 10\ hr/tno \times 24\ vagonetas}{2.00\ m/tno.}$ $ 20,694.0 /m

$ 199,363.75/m.

e).- Manteo de rezaga.

1.- Torre de manteo y tolva para almacenamiento de rezaga.

Costo = $\frac{\$\ 19\ 448{,}700/torre \times 0.90}{1{,}100.00\ m.}$ $ 15,912.57/m

2.- Gatos para accionar componentes de la tolva,

Se requiere 1 gato por componente y son dos-compuertas.

Costo = $\frac{\$\ 468.70/hr \times 10\ hr/tno \times 2\ gatos.}{2.00\ m/tno.}$ $ 4,687.0/m

3.- Skips para elevación y descarga de la rezaga, capacidad 7.5 m^3 c/u.

Costo = $\frac{\$\ 805{,}035/\text{skip} \times 3\ \text{piezas}}{1.100.00\ \text{m.}}$ $\$\ 2{,}195.55/\text{m}$

4.- Malacate para manteo de 30 tons.

Activo.

Costo = $\frac{\$\ 19{,}389.2/\text{hr} \times 10\ \text{hr/tno.}}{2.00\ \text{m/tno.}}$ $\$\ 96{,}946.0/\text{m}$

$\$\ 119{,}741.12/\text{m.}$

f.- Acarreo en superficie del material producto de la excavación, se considera 2 kilometros.

Tiempos:

1.- Espera y acomodo. = 20 minutos

2.- Carga

$\frac{6.00\ m^3 \times 60\ \text{min/hr}}{22.20\ m^3/\text{hr} \times 1.35}$ = 12 minutos

3.- Recorrido.

Velocidad promedio: 10 km/hr.

Tiempo por viaje.

$\frac{4\ \text{km (ida y regreso)} \times 60\ \text{min/hr}}{10\ \text{km/hr.}}$ = 24 minutos

Ciclo = 56 minutos.

4.- Camión volteo 6 m^3

Activo.

Costo = $\frac{\$\ 1{,}795.3/\text{hr} \times 56\ \text{min} \times 67.20m^3/\text{m} \times 1.35}{60\ \text{min/hr} \times 6m3/\text{viaje.}}$ = $\$\ 452.42/\text{m}$

5.- Camión con grúa hiab.

Activa.

Costo = $\frac{\$\ 2{,}62500/\text{hr} \times 10\ \text{hr/tno.}}{2.00\ \text{m/tno.}}$ $\$\ 13{,}125.00/\text{m}$

$\$\ 13{,}577.42/\text{m.}$

COSTO TOTAL MAQUINARIA Y EQUIPO $ 563,346.24 /m.

II.4.2. - REVESTIMIENTO DEFINITIVO

El revestimiento definitivo está formado por - dovelas de concreto prefabricadas, que se colo can en el interior del túnel.

Datos para la integración del precio.

1.-	Longitud del túnel	1,100.00 m.
2.-	Rendimiento de excavación	2.00 m/tno
3.-	Ancho de cada anillo	0.80 m/anillo
4.-	Cantidad de anillos a fabricar considerando el- 5% por fracturas y ajustes (1,100/0.8) x 1.05	1,444.00 anillos
5.-	Anillos por metro de túnel sin incluir el 5% - (1/0.8)	1.25 anillo/m
6.-	Cantidad de dovelas, incluyendo el 5% (1444 x 3)	4,332.00 pza.
7.-	Dovelas por metro de túnel, incluye el 5%	3.94 pza/m.
8.-	Cantidad de dovelas a colocar	4,125.00 pza.
9 -	Dovelas colocadas por metro de túnel	3.15 pza/m.

I.-	Materiales	$ 925,782.79 /m
II.-	Mano de obra	$ 28,795.64 /m
III.-	Maquinaria y equipo	$ 94,832.80 /m
	Costo directo =	$ 1'049,411 23 /m

I.- MATERIALES.

1.- Suministro en obra de dovela precolada

Costo = $ 229,149.04/pza. x 3,94 pza/m. $ 902,847.22/m.

2.- Izaje de dovelas para integrar el anillo.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
Pernos cónicos de 2/2" Ø - x 6"	pza.	4.00	$ 6,500	$ 26,000

(Debido a que es un material que se destruye-constantemente, se repone cada 80 anillos (240 dovelas))

Costo = $\frac{\$\ 26,000/\text{juego} \times 17\ \text{juego}}{1,100.00\ \text{m.}}$ $ 401.8 /m.

3.- Expansión del anillo en su posición definitiva-materiales usados en la unión superior y en las juntas laterales.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
Canal de 6" x 0.80 m.	Kg.	17.0	140.00	2,380
Perno 2 3/3 x 3"	pza.	2.00	3,800.00	7,600
Tubo negro ced. 80 de 3" Ø	M.	2.00	6,513.00	13,026
Placa de 1/2 x 10 x 10 (8 pzas) (0.924 kg)	Kg.	7.39	149.00	1,101
Grava de 3/4"	M^3	0.13	1,300.00	169
Arena	M^3	0.13	1,300.00	169
Cemento	Kg.	135.00	14.61	1,372.35
Ferrolith	Kg.	3.38	22.00	74.86
Curacreto	Lt.	1.50	54.00	81.00
Soldadura 7018 - 5/32"	Kg.	5.00	319.00	1,595
				$ 28,167.71/anillo

Costo = $\frac{\$\ 28,167.71/\text{anillo}}{1.25\ \text{anillo/m.}}$ $ 22,534.17/m.

b.- Cimbra de madera.

Por el tipo de actividad se consideran 5 usos de cada pieza y son 2 piezas por anillo.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
Tablón de 1" x 6" x 1.00 m	pza.	5.33	126.79	675.79
Barrote de 2" x 3" x 1.00mm	Pza.	4.00	126.79	5507.16
Clavo de 2"	kg.	1.20	1182.70	271.05
Alambre recocido	kg.	5.00	50.00	250
				$ 1,707 /anillo

Costo = $ 1,707 /anillo / 5 usos x 1.25 anillo/m. $ 273,12/m.

COSTO TOTAL MATERIALES : $ 925,782.79.

II.- MANO DE OBRA.

1.- Transporte en el interior del túnel, desde lumbrera hasta el frente.

1 Cabo maniobrista	1	x	$ 3,965.36 /tno.	=	$ 3,965.36/tno.
1 Maniobrista	1	x	$ 3,761.44/tno.	=	$ 7,522.88/tno.
2 Ayudantes	2	x	$ 2,936.34/tno.	=	$ 5,872.68/tno.
					$ 17,360.92/tno.

2.- Izaje, colocación y expansión del anillo en su posición definitiva.

3 Maniobristas	3	x	$ 3,761.44/tno.	=	$ 11,284.32/tno.
3 Ayudantes	3	x	$ 2,936.34/tno.	=	$ 8.809.02/tno.
					$ 20,093.34/tno.

3.- Elaboración de concreto y su colocación en la junta de expansión, incluye el cimbrado y curado.

2 Oficial albañil	2	x	$ 3,776.00/tno.	=	$ 7.552.00/tno.
2 Ayudantes	2	x	$ 2,936.00/tno.	=	$ 5,872.68/tno.

1 Oficial carpintero	1 x	$ 3,776.00/tno.	=	$ 3,776.00/tno.
1 Ayudante	1 x	$ 2,936.34/ "	=	$ 2,936.34/ "
				$ 20,137.02/tno.

TOTAL MANO DE OBRA = $ 57,591.28/tno.

$$\text{COSTO MANO DE OBRA} = \$\ \frac{57{,}591.28/\text{tno}}{2.0\ \text{m/tno.}} = 28{,}795.64/\text{m.}$$

III.- MAQUINARIA Y EQUIPO

1.- Bajada de dovelas al túnel a través de la lumbrera.

a.- Motogrua hidraúlica de 20 tons.
activa.

Costo = $ 8,496.75/hr x 10 hr/tno. / 2.08 m/tno. $ 40,849.78/m

2.- Transporte en el interior del túnel desde lumbrera hasta el frente.

a.- Locomotora Plymouth capacidad 15 tons.

activa.

Costo = $ 6,620.65 /hr x 10 hr/tno. / 2.08 m/tno. $ 31,830.04/m

b.- Truck de carga con eje de 36"
activo.

Costo = $ 247,10/hr x 10 hr/tno x 3 pzas / 2.08 m/tno. $ 1,188.00/m

3.- Izaje, colocación y expansión del anillo en su posición correcta.

a.- Brazo erector hidraúlico

activo.

Costo = $ 3,049.24/hr x 10hr/tno. / 2.08 m/tno. $ 14,659.80/m

b .- Polipato eléctrico capacidad 5 tons.
activo.

Costo = $ 334.18 /hr x 10 hr/tno. / 2.08 m/tno. $ 1,606.63/m

c.- Gatos hidraúlicos empleados para la expansión y levante del anillo Activo.

Costo = $\frac{\$\ 468.70/hr \times 10\ hr/tno \times 4\ pzas}{2.08\ m\ /tno.}$ $ 2,253.37 /m

d.- Equipo aux. empleado en la expansión del anillo

i.- Troquel vertical en el levante del anillo.

Costo = $\frac{\$\ 60,605.00/pza \times 4pzas \times 0.70}{1,100.00\ m.}$ $ 154.27 /m.

ii - Troqueles horizontales para evitar que se-cierre el anillo.

Costo = $\frac{\$\ 450,000.00/pza \times 8\ pza \times 0.70}{1,100.00\ m.}$ $ 2,290.91 /m.

4.- Equipo para la elaboración y colocación del cemento en

Equipo (activo)	Unidad	Cantidad	Costo	Importe
Revolvedora para corriente de /saco	Hr.	10.00	621.24	6,212.4
Vibrador neumático	Hr.	10.00	179.91	1,799.1
Compresor 365 pcm	Hr.	10.00	2,045.29	20,452.9
				$ 28,464.4/tno.

Costo = $\frac{\$\ 28,464.40\ /tno}{2.08\ m/tno.}$ $ 13,684.80/m.

COSTO TOTAL MAQUINARIA Y EQUIPO $ 94,832.80/M.L.

II.4.3.- INYECCION DE CONTACTO ENTRE DOVELA Y TERRENO NATURAL.

Esta inyección tiene la función de rellenar el espacio, anular que existe entre el terreno natural en la cara 1 exterior del anillo de dovelas.

Datos para integración del precio:

1.- Cada anillo deberá contar con una inyección de dos-fases. La primera fase se realizará en todos los anillos, la segunda fase en los anillos marcados como pares y la tercera fase en los anillos marcados como nones.

2.- Barrenos a inyectar por anillo

Anillo no.	1a fase	2a fase	3a fase	total
Par	4	3	-	7
Impar	4	-	3	7

$$\text{Barrenos/metro túnel} = \frac{7 \text{ barrenos/anillo}}{1.25 \text{ anillo/metro}} = 8.75 \text{ barr/metro.}$$

3.- Volumen máximo de inyección por barreno.

Fase	1a	2a	3a
Vol. m^3	0.5	0.5	0.5

4.- Proporcionamiento de inyección para cada fase.

Concepto	Unidad	1a fase	2a fase	3a fase
Agua	lt.	136	160	152
Cemento	kg.	250	250	250
Bentonita	lt.	67	42	50.2
Arena	kg	160	150	-
Acelerante	kg.	2.5	-	-
Volumen	m^3	0.358	0.352	0.285

5.- Volumen de inyección por metro de túnel.

$$Vol/m. = \frac{7 \text{ barrenos/anillo} \times 0.5 \text{ m}^3\text{/barreno}}{1.25 \text{ anillo/metro.}} = 2.80 \text{ m}^3\text{/m.}$$

6.- Consumo de materiales de inyección por metro de túnel.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD/M.
Cemento	kg.	2,110.00
Bentonita	Kg.	211.00
Arena	m^3	0.56
Sigunit	Kg.	19.55

7.- Material de consumo para el celafateo de juntas entre anillos.

Cemento	Kg.	200.00
Yeso	kg.	100.00

I.-	Material	$ 344,815.84	/m.
II.-	Mano de obra	$ 35,368.00	/m.
III.-	Maquinaria y equipo	88,633.75	/m.
	Costo directo =	$ 468,817.59	/m.

1.- MATERIALES

1.- Tubería para conducción de lechada y agua.

CONCEPTO	UNIDAD	COSTO	CANTIDAD m/túnel	IMPORTE
Tubería de 2" Ø	M	1,113.15	2.00	2,226.30
Coplegalvanizado de - 2" Ø 6.00 m.	pza.	372.70	0.33	122.29
Varios (tuercas, válvulas, tees. de Ø 2")				502.17
				$ 2,851.46 /m

Costo = $ 2,851.46 /lote x 0.50 $ 1,425.73 /m.

Manguera A.P de 2" Ø	M.	4,969.20	15.00	$ 74,538.00

Debido a que es un material que se desgasta constantemente, se repone cada 560 m^3 de inyección.

$$\text{Costo} = \frac{\$\ 74{,}538.00\ /\text{lote} \times 5.5}{1{,}100.00\text{m}} \qquad \$\ 372.69\ /\text{m.}$$

$ 1,798.42 /m.

2.- Instalación de conexiones en equipos de traspaleos. colocados a cda. 300 m.

CONCEPTO	UNIDAD	COSTO	CANTIDAD	IMPORTE
Tubería galvanizada de 2" Ø	M.	1,113.15	4.00	$ 4,452.6
Varios (tuercas, valvulas, codos, tees, niple).				$ 49,565.19
				$ 54,017.79 /m.

$$\text{Costo} = \frac{\$\ 54{,}017.79\ /\text{lote} \times 4.00\ \text{equipo}}{1{,}100.00\ \text{m.}} \qquad \$\ 196.43\ /\text{m}$$

CONCEPTO	UNIDAD	COSTO	CANTIDAD	IMPORTE
Manguera A.P. de 2" Ø	M	4,969.20	8.00	$ 39.753.6/lote

Se rompe cada 560 m^3 de inyección

Costo = $\frac{\$\ 39,753.60\ /\text{lote} \times 4\ \text{equipo} \times 5.5}{1,100.00\ \text{m.}}$ $ 795.07 /m

$ 991.50 /m.

3.- Tuberías y conexiones para la línea de inyección de retorno (araña).

CONCEPTO	UNIDAD	COSTO	CANTIDAD	IMPORTE
Tubería galvanizada 2" Ø	M.	1,113.15	300.00	$ 333,945.00
Cople 20" Ø 6.00 m	pza.	1,025.82	50.00	51,291.
Varios (tuercas, codos, válvulas)				$ 53,976.52
				$ 439,212.52

Costo = $\frac{\$\ 439,212.52\ /\text{lote}}{1,100.00\ \text{m.}}$ $ 399.28/m

Manguera A.P. de 2" Ø	M.	4,969.20	45.00	$ 223,614.00

Se rompen cada 560 m^3 de inyección.

Costo = $\frac{\$\ 223,614.00\ /\text{lote} \times 5.5}{1.100.00\ \text{m.}}$ $ 1.118.07 /m

$ 1,517.35 /m.

4.- Araña de inyección

CONCEPTO	UNIDAD	COSTO	CANTIDAD	INGRESO
Niple galvanizado 11/4" Ø x 15-cm.	pza.	158.50	5.00	792.50
Tuerca unión 1/4" Ø	pza.	1,300.00	2.00	2,600.00
Cruz 11/4"	pza.	910.00	1.00	910.00
Valvula macho de 11/4" Ø	pza.	5,872.00	1.00	5,872.00
Reducción bushing 11/4" x 1/4"	pza.	1,092.00	1.00	1,092.00
				$ 11,266.50 /lote.

CONCEPTO	UNIDAD	COSTO	CANTIDAD	IMPORTE
Se rompe cada 140 m^3 de inyección.				

Costo = $\frac{\$\ 11{,}266.50\ /\text{lote} \times 11}{1{,}100.00\ m.}$ $ 112.66 /m.

Manómetro de 0-4 kg/cm^2	pza.	2,145.00	2.00	4,290.00

Se rompe cada 70 m^3 de inyección.

Costo = $\frac{\$\ 4{,}290.00\ /\text{lote} \times 44}{1{,}100.00\ m}$ $ 171.60/m

$ 284.26 /m

5.- Boquillas y conexiones para inyección (8.75 bar./m)

CONCEPTO	UNIDAD	COSTO	CANTIDAD	IMPORTE
Niple 11/4" Ø x 1.50 m.	pza.	1,785.00	8.75	15,618.75
Válvula macho de 11/4" Ø	pza.	5,872.00	8.75	51,380.00
				$ 66,998.75/m.

Se considera que tienen 5 usos.

Costo = $\frac{\$\ 66{,}998.75\ /m}{5\ \text{usos}}$ $ 13,399.75/m.

6.- Consumos de material por metro lineal de túnel.

CONCEPTO	UNIDAD	COSTO	CANTIDAD	IMPORTE
Cemento.	kg	135.00	2,110.00	284,850.0
Arena sílica	M^3	3,500.00	o.56	1,960.0
Bentónita	kg	18.08	211.00	3,814.88
Fraguasil	kg	90.00	19.55	1,759.50
				$ 292,384.38/m

Costo = $ 292,384.38/m.

7.- Material de consumo para calafateo por metro lineal.

CONCEPTO	UNIDAD	COSTO	CANTIDAD	IMPORTE
Cemento	kg.	135.00	200.00	$ 27,000
Yeso	kg.	14.00	100.00	1,400
				$ 28,400 /m
Costo = $ 28,400 /m				$ 28,400 /m.

8.- Aditamento de perforación para la barrenación de dovelas.

CONCEPTO	UNIDAD	COSTO	CANTIDAD	IMPORTE
Zanco de perforación 7/8" x 12"	pza.	13,312.00	1.00	$ 13,312.00
Cople de 7/8" Ø cuerda - rope.	pza.	7,770.00	1.00	7,770.00
Barra de extensión de 7/8" x 0.80 m.	pza.	19,360.00	1.00	$ 19,360.00
Broca de cruz de 1/2" - cuerda rope	pza.	26,000.00	1.00	26,000.00
				$ 66,442.00/lote

Este material tiene una duración de 100 m de perforación por equipo y son dos equipos.

Longitud de perforación por metro de túnel = 1.00m/m.

$$\text{Costo} = \frac{\$\ 66{,}442.00/\text{lote} \times 2 \text{ equipos}}{2\text{m/m} \times 1100\text{m.} \quad 100\text{ m}} = \$\ 6{,}040.18/\text{m}$$

$ 6,040.18/m.

TOTAL COSTO MATERIALES $ 344,815.84/ML.

II.- MANO DE OBRA

1.- Elaboración del lodo bentonítico

Cabo de inyección	1	x	$ 3,965.36/tno.	=	$ 3,965.36 /tno.
Ayudante general	5	x	$ 2,936.34/tno.	=	$ 14,681.17/tno.
					$ 18,647.06/tno.

Costo = $\frac{\$\ 18,647.06/\text{tno.}}{2.00\ \text{m/tno.}}$ $ 9,323.53

2.- Elaboración y dosificación de la mezcla.

Operador del equipo de bombeo	1	x	$ 3,184.63/tno.	=	$ 3,194.63/tno.
Ayudante general	2	x	$ 2,936.34/tno.	=	$ 5,872.68/"
					$ 9,067.31/"

Costo = $\frac{\$\ 9,067.31/\text{tno.}}{2.00\ \text{m/tno.}}$ 3.Costo = $ 9,067.31/t $4,533.65

3.- Operación de cada equipo de traspaleo.

Operador del equipo	1	x	$ 3,194.63/tno.	=	$ 3,194.63/tno.
Ayudante	2	x	$ 2,931.60/tno.	=	$ 5,863.20/tno.
					$ 9,057.83/tno.

Costo = $\frac{\$\ 9,057.83/\text{tno x 2 equipos}}{2.00\ \text{m/tno.}}$ $ 9.057.83/m

4.- Perforación de los barrenos.

Perforista	1	x	$ 3,453.33/tno.	=	$ 3,453.33/tno.
Ayudante de perforación.	1	x	$ 2,936.34/tno.	=	$ 2,936.34/"
					$ 6,389.67/"

Costo = $\frac{\$\ 6,389.67/\text{tno.}}{2.00\ \text{m/tno.}}$ $ 3,194.84

5.- Colocación y retiro de boquillas.

Oficial albañil	1 x	$ 4,441.10/tno.	=	$ 8,882.80/tno.
Ayudante albañil	1 x	$ 2,936.34/tno.	=	$ 5,872.68/tno.
				$ 7,377.44/tno.

Costo = $\frac{\$\ 7,377.44/tno}{2.00\ m/tno.}$ $ 3,688.72/m.

6.- Colocación de la lechada en cada barreno.

Manómetro 1 x $ 3,761.44/tno = $ 3,761.44/tno.

Costo = $\frac{\$\ 3,761.44/tno.}{2.00\ m/tno.}$ $ 1,880.72/m

7.- Calefateo entre anillos.

Oficial albañil	1 x	$ 4,441.10 /tno.	=	$ 8,882.20/tno.
Ayudante albañil	1 x	$ 2,936.34/tno.	=	$ 5,872.68/tno.
				$ 7,737.44/tno.

Costo = $\frac{\$\ 7,737.44/tno.}{2.00\ m/tno.}$ $ 3,688.72/m.

COSTO TOTAL MANO DE OBRA: $ 35,368.00/ML.

III.- EQUIPO Y MAQUINARIA

A.- En superficie.

1.- Equipo para la elaboración del lado bentonítico

Costo = $\frac{\$\ 7{,}911.14/hr \times 10\ hr/tno.}{2.00\ m/tno.}$ $ 39,555.7 /m

2.- Equipo para preparación de la mezcla e inyección hacia el túnel y cernido de arena.

a.- Agitador vertical.

Costo = $\frac{\$\ 769{,}69\ /hr \times 10\ hr/tno. \times 2\ equipos}{2.00\ m\ /tno.}$ $ 7,696.9 /m

b.- Bomba moyno 3L-10

Costo = $\frac{\$\ 816.46/hr \times 10\ hr/tno \times 2\ equipos}{2.00\ m/tno.}$ $ 8,164.60/m.

c.- Vibrador neumático.

Costo = $\frac{\$\ 179{,}91/hr \times 10\ hr/tno \times 3\ equipos}{2.00\ m/tno.}$ $ 2,698.65/m.

d.- Compresor 600 pcm.

Costo = $\frac{\$\ 2{,}763{,}43/hr \times 10\ hr/tno}{2.00\ m\ /tno.}$ $ 13,817.15 /m

$ 71,933.99 /m.

B._ En el túnel.

1.- Equipo de inyección en el interior del túnel y traspaleos

a.- Agitador J-7 para lechada

Costo = $\frac{\$\ 264.36\ /hr \times 10\ hr/tno. \times 4\ equipos}{2.00\ m/tno.}$ $ 5,287.2/m

b.- Bomba moyno para inyección.

$$\text{Costo} = \frac{\$\ 816.46/\text{hr} \times 10\ \text{hr/tno} \times 4\ \text{equipos}}{2.00\ \text{m/tno.}} \qquad \$\ 16{,}329.2\ /\text{m.}$$

2.- Equipo para la perforación de los barrenos.

a.- Perforadora de pierna.

$$\text{Costo} = \frac{\$\ 288.36/\text{hr} \times 10\ \text{hr/tno.} \times 2\ \text{equipos}}{2.00\ \text{m/tno.}} \qquad \$\ 2{,}883.60\ /\text{m}$$

b.- Compresor de 600 pcm.

$$\text{Costo} = \frac{\$\ 2{,}763.43/\text{hr} \times 10\text{hr/tno.}}{2.00\text{m/tno.}} \qquad \$\ 13{,}817.15/\text{m.}$$

$$\$\ 16{,}700.75/\text{m.}$$

II.4.2.- INTEGRACION DEL COSTO UNITARIO PARA CONSTRUCCION DE TUNEL CON ESCUDO

I.-	MATERIALES	$ 1'392,022.22/M.L.
II.-	MANO DE OBRA	$ 139,914.67/M.L.
III.-	MAQUINARIA Y EQUIPO	$ 746,812.70/M.L.
	COSTO DIRECTO TOTAL	$ 2'278,749.59/M.L.

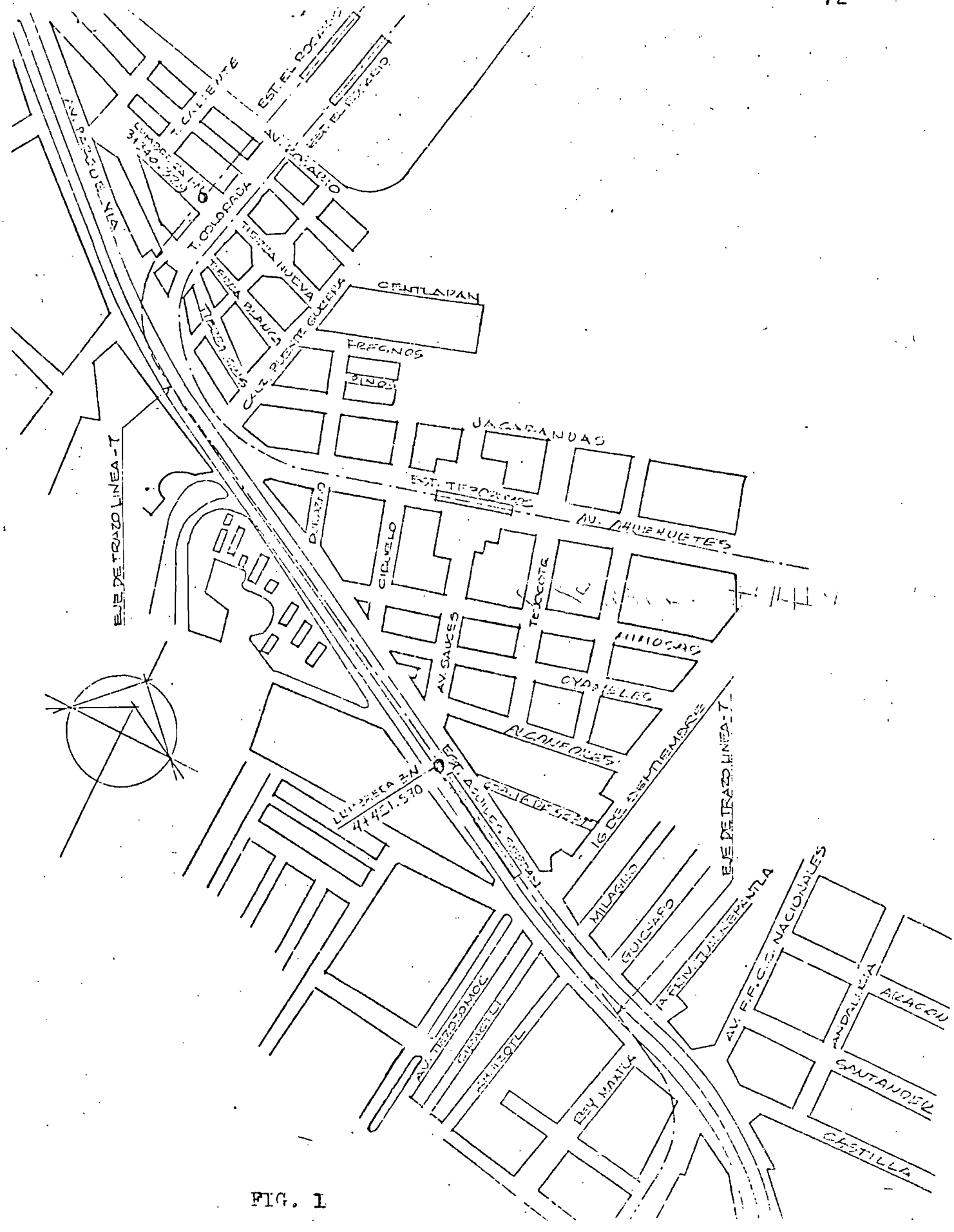
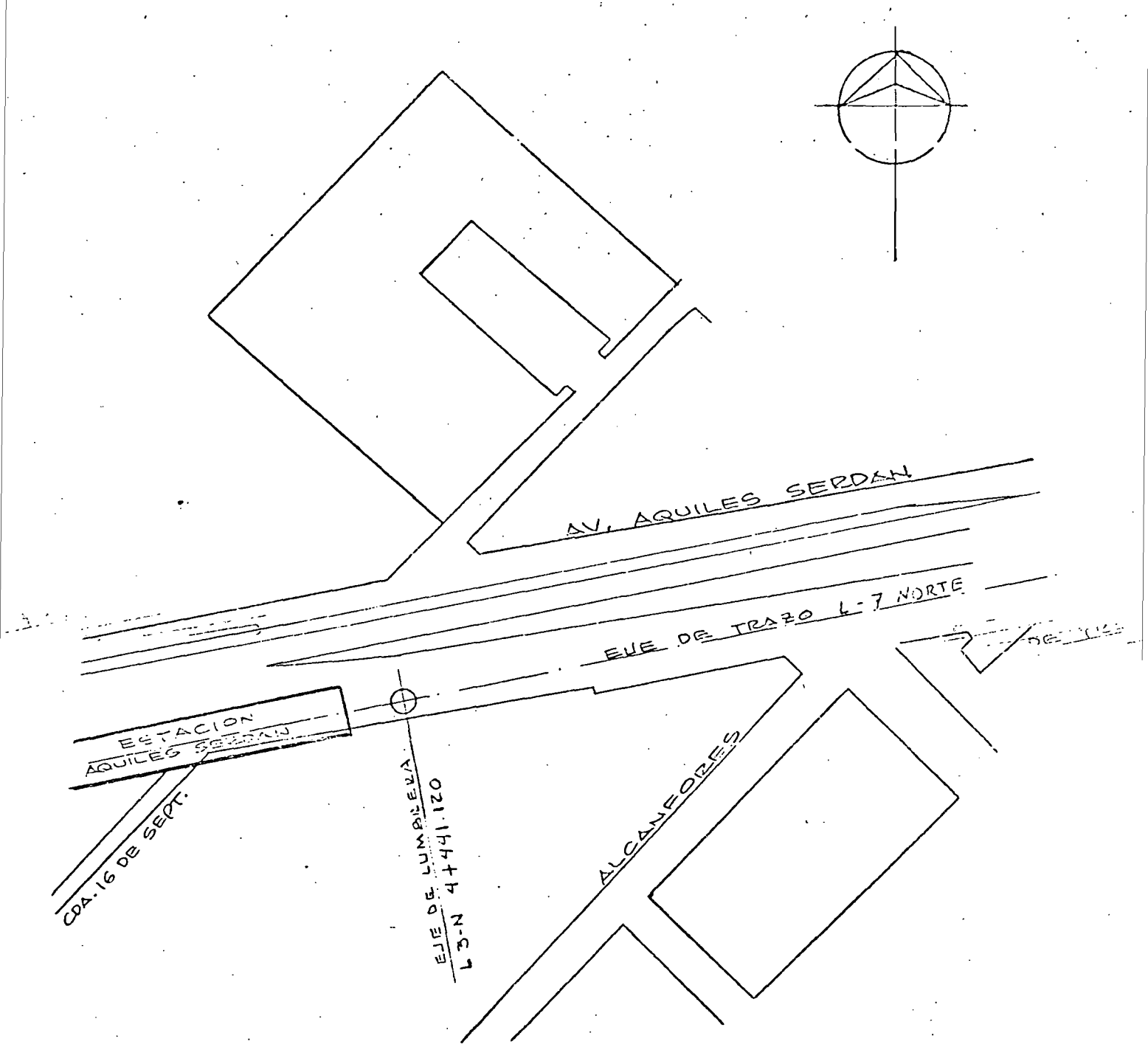
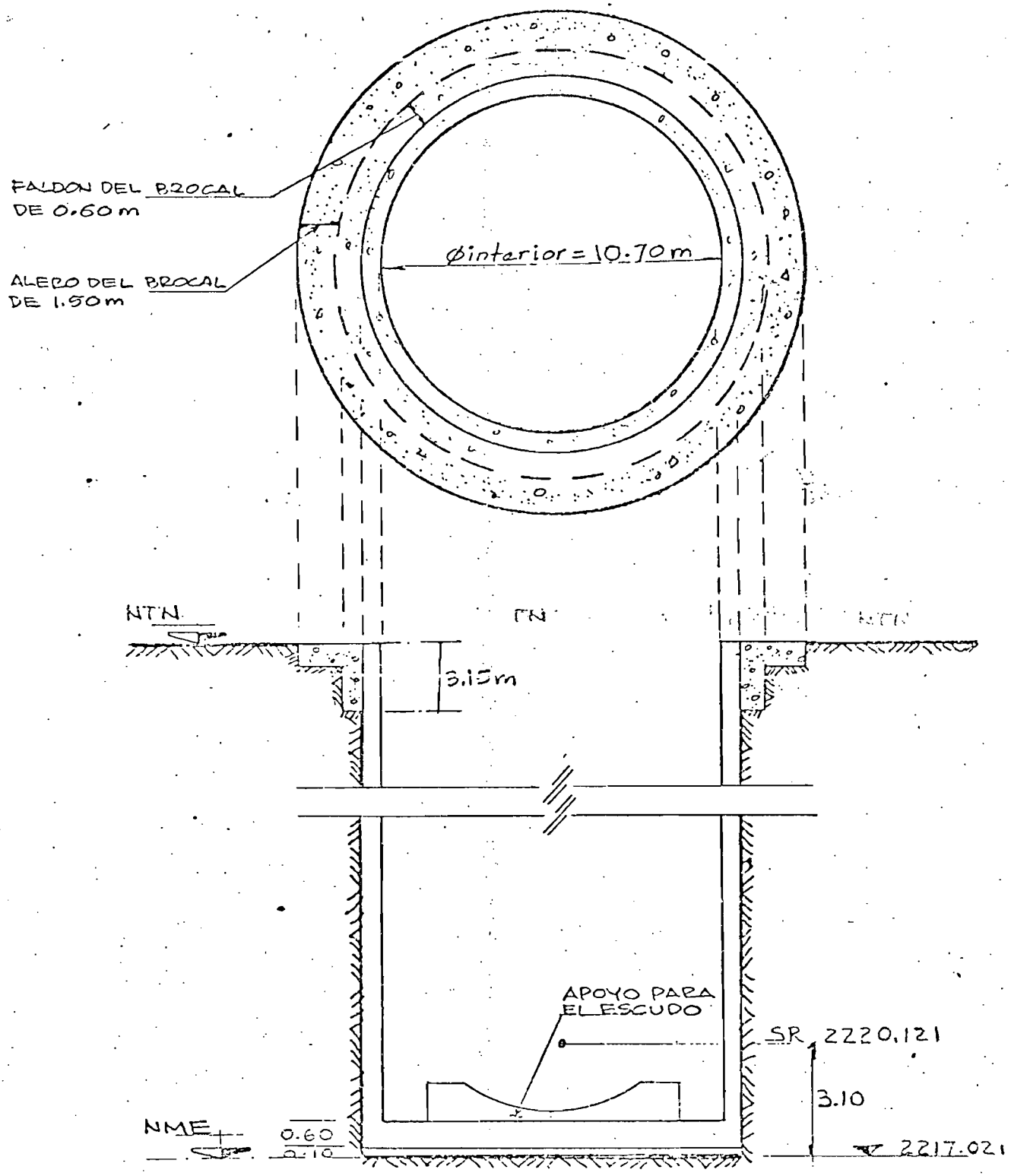

AV. PERIFERICO
T. CALLEJERO
EST. EL ROSARIO
T. COLORADA
TIERRA NUEVA
TIERRA BLANCA
CRUZ PUENTE GUERRA
CHINTLAPAN
FRESNOS
PINOS
JACARANDAS
EST. TIPOCHMOC
AV. HUEHUETES
PALMERO
CIRUELO
TEJOCOTA
AV. SAUCES
MIMOSAS
CYPRESES
ALCANFORES
EJE DE TRAZO LINEA-T
LUMBREA AV
EST. AZULEJOS
MILAGROS
GUIGNAGO
AV. FERROCARRILES NACIONALES
ANDALUCIA
ARAGON
SANTANDER
CASTILLA
AV. TEZOZOMOC
REY NAXTLA

FIG. 1



CROQUIS DE LOCALIZACION

FIG . 1°



DETALLE DE LA LUMBRERA

FIG. 2

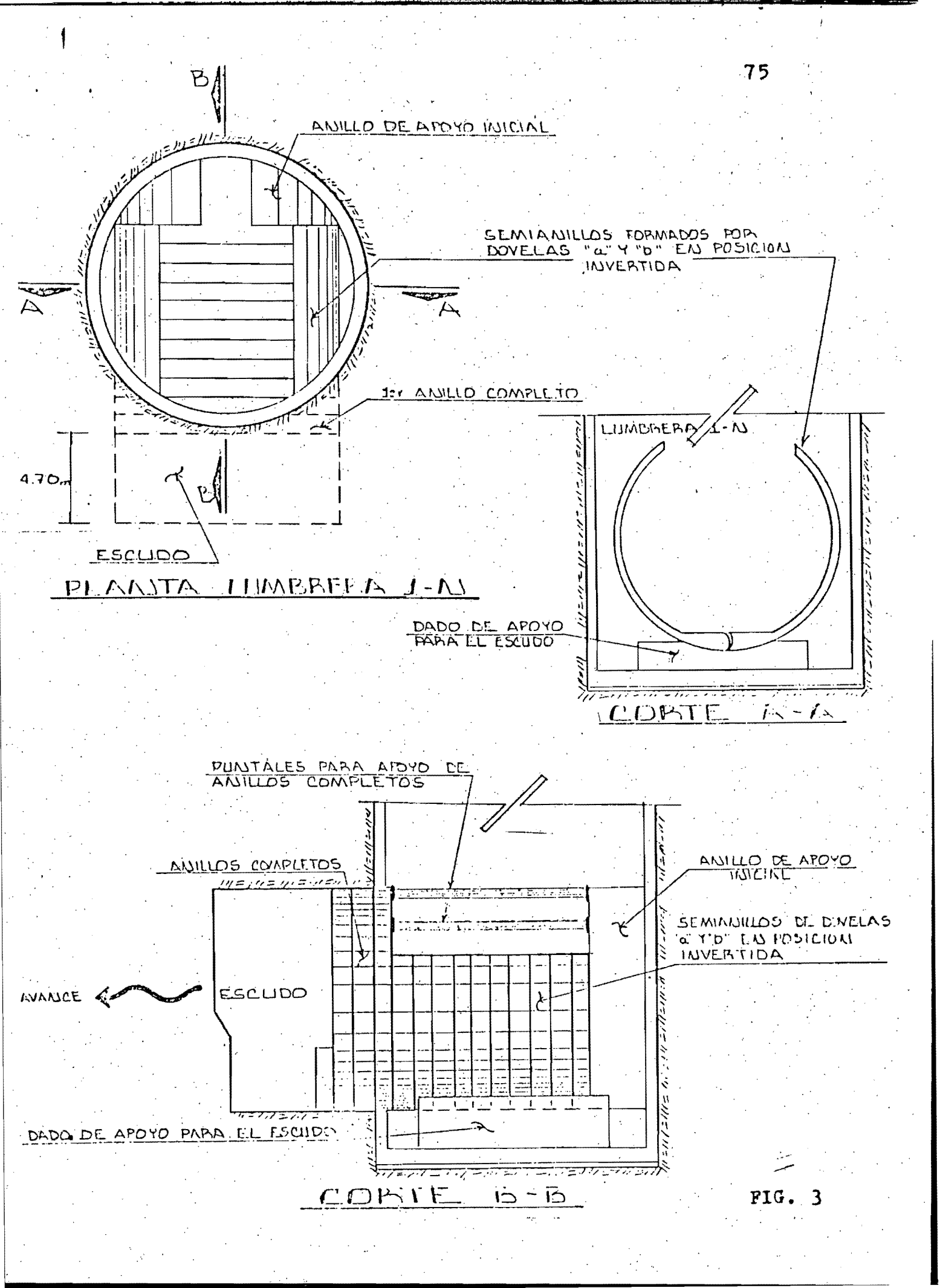
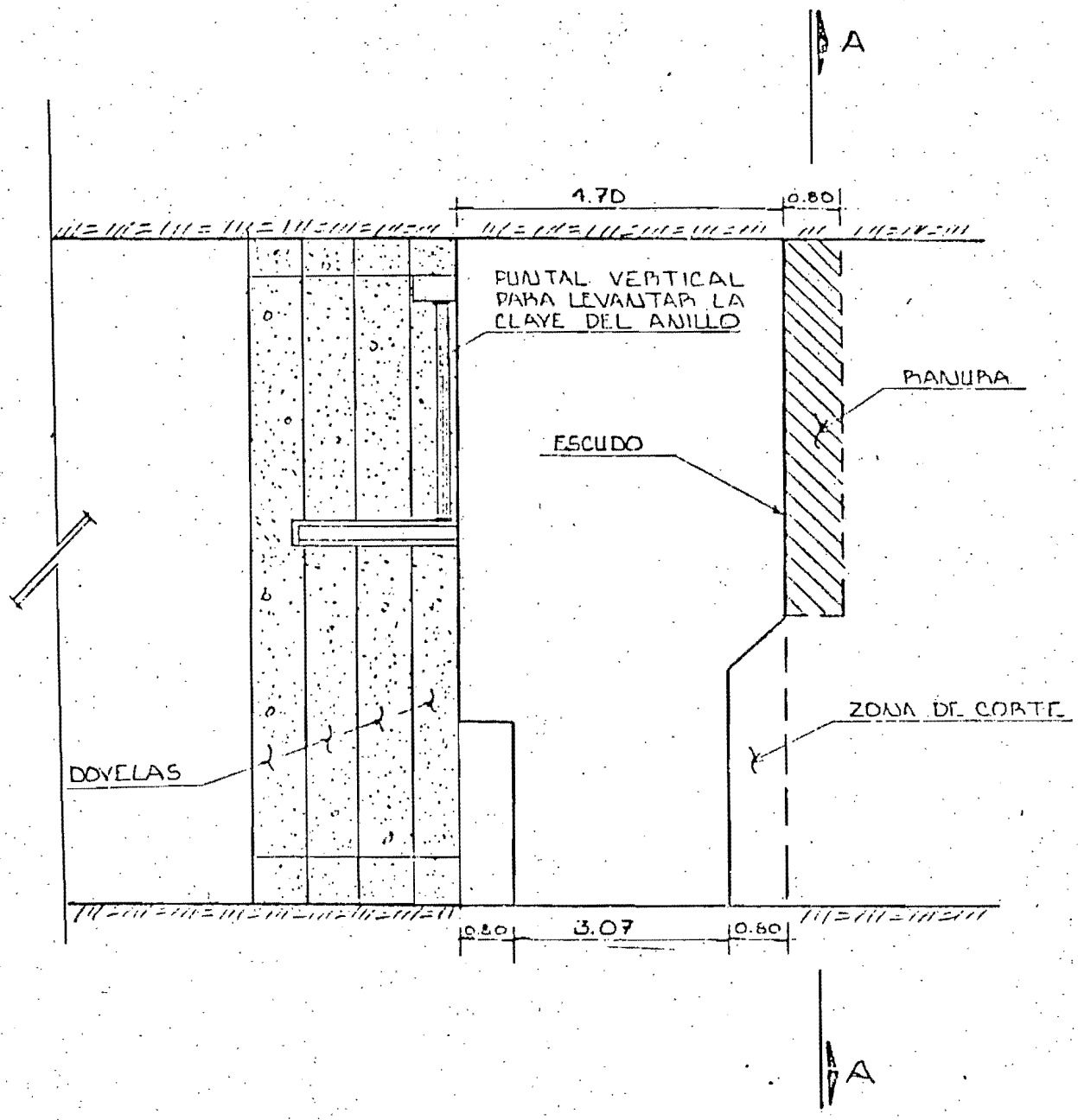
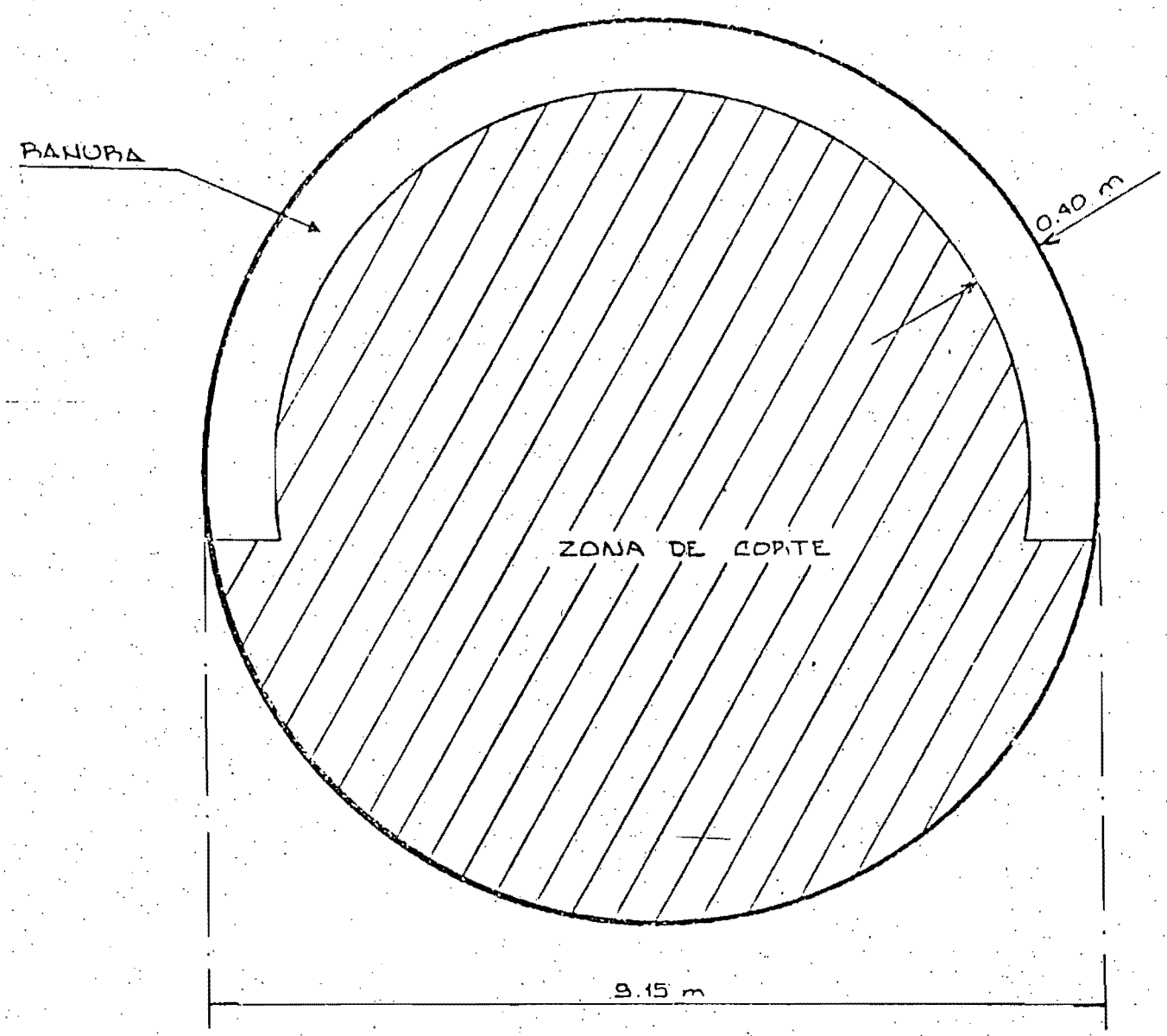

B
ANILLO DE APOYO INICIAL
SEMIANILLOS FORMADOS POR DOVELAS "a" Y "b" EN POSICION INVERTIDA
A
A
1er ANILLO COMPLETO
4.70m
B
ESCUDO
PLANTA LUMBRERA J-N
LUMBRERA J-N
DADO DE APOYO PARA EL ESCUDO
CORTE A-A
PUNTALES PARA APOYO DE ANILLOS COMPLETOS
ANILLOS COMPLETOS
ANILLO DE APOYO INICIAL
SEMIANILLOS DE DOVELAS "a" Y "b" EN POSICION INVERTIDA
AVANCE
ESCUDO
DADO DE APOYO PARA EL ESCUDO
CORTE B-B

FIG. 3



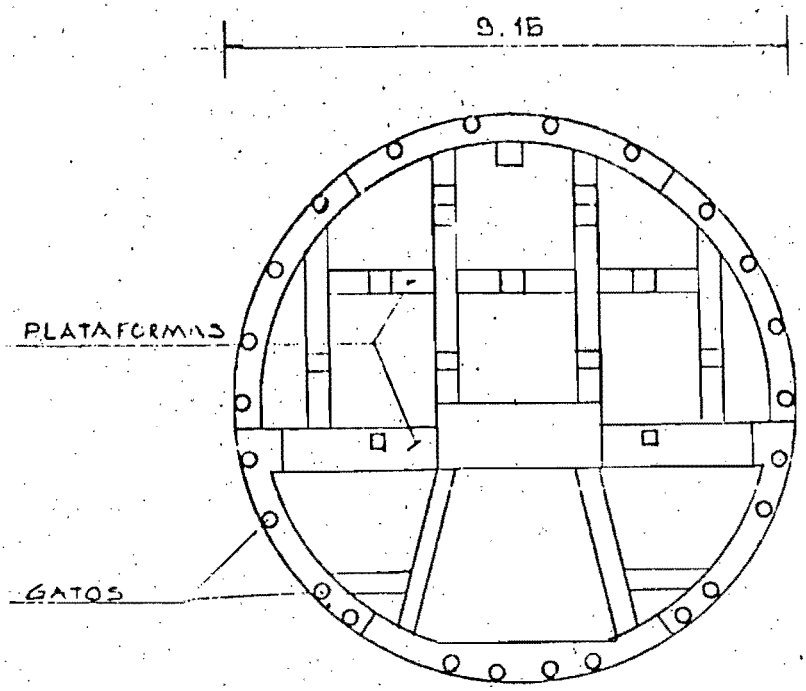
APUNTALAMIENTO DE DOVELAS

FIG. 4

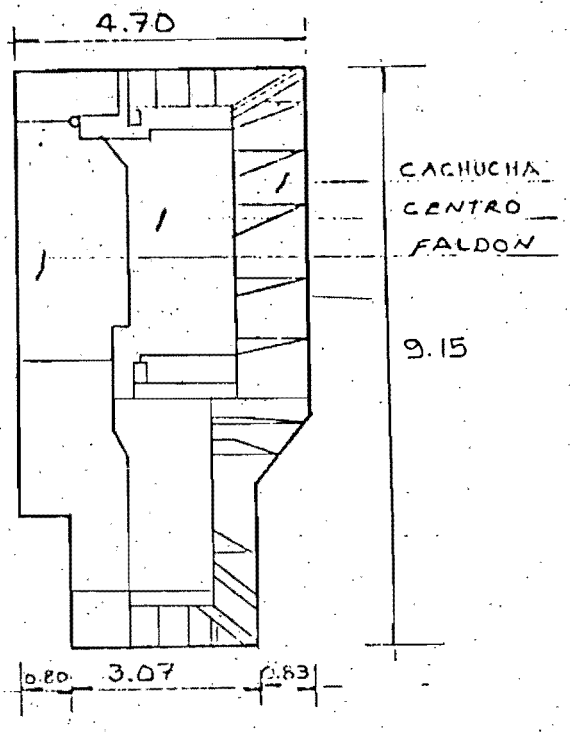


CORTE A-A

Fig. 5



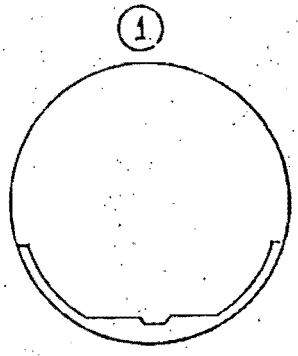
VISTA FRONTAL



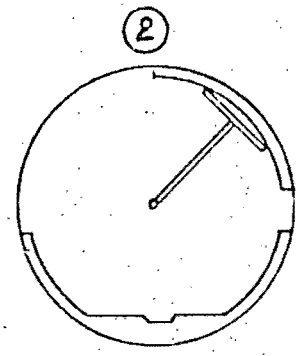
CORTE LONGITUDINAL

ESTRUCTURA DEL ESCUDO. - FIG. 6

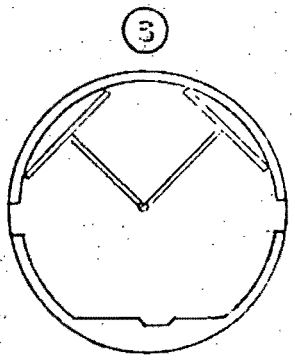
PROCEDIMIENTO PARA LA COLOCACION DE LOS ANILLOS.



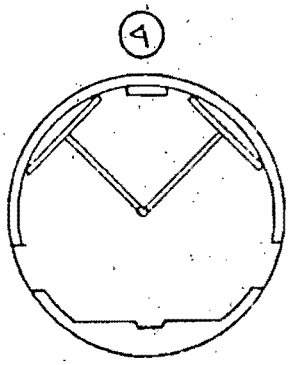
COLOCACION DE LA DOVELA "C"



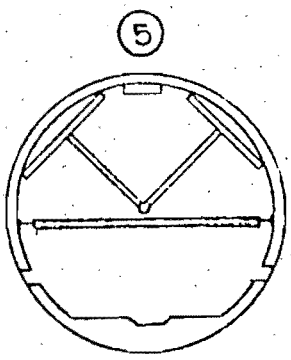
COLOCACION DE LA DOVELA "A"



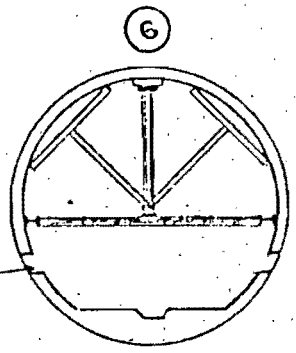
ERECCION DE LA DOVELA "B"



COLOCACION DE LA PLACA EN LA CLAVE



COLOCACION DEL PUNTAL HORIZONTAL



COLOCACION DEL PUNTAL VERTICAL

FIG. 7

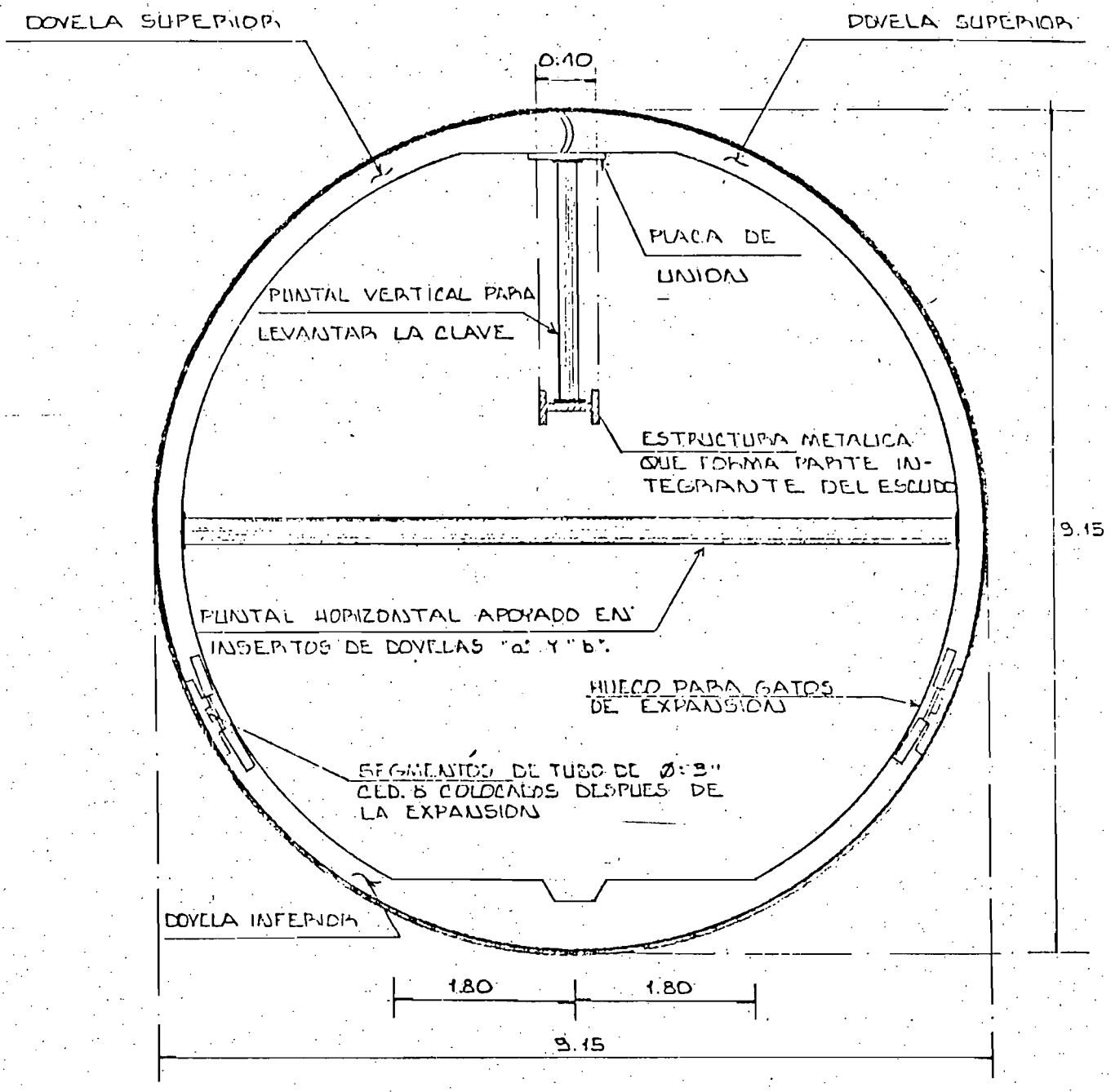
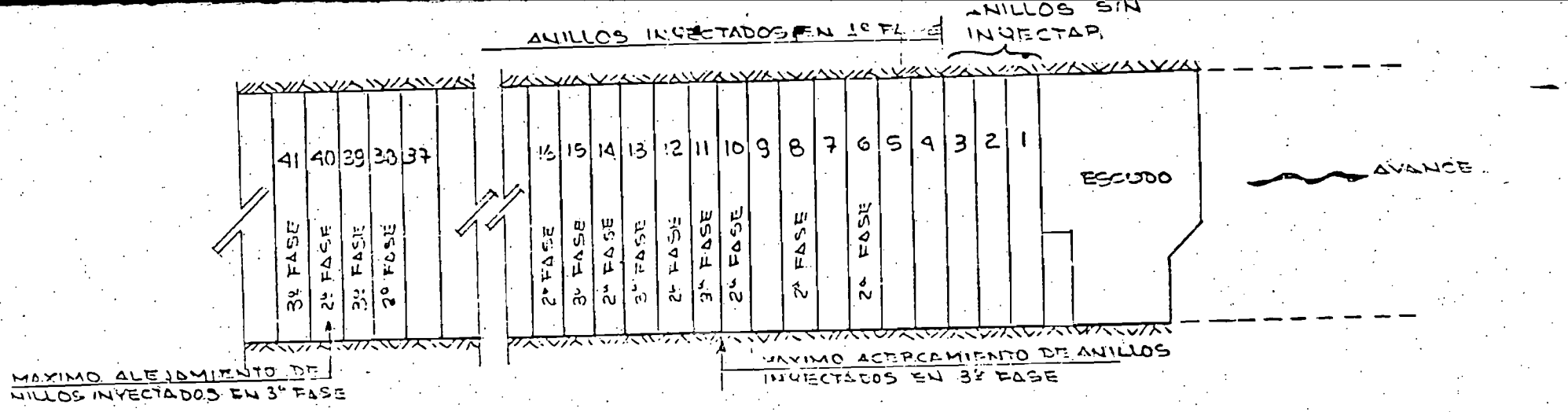

DOVELA SUPERIOR
DOVELA SUPERIOR
0.10
PLACA DE UNION
PUNTAL VERTICAL PARA LEVANTAR LA CLAVE
ESTRUCTURA METALICA QUE FORMA PARTE INTEGRANTE DEL ESCUDO
9.15
PUNTAL HORIZONTAL APOYADO EN INSERTOS DE DOVELAS "a" Y "b".
HUECO PARA GATOS DE EXPANSION
SEGMENTOS DE TUBO DE Ø=3" CED. 6 COLOCADOS DESPUES DE LA EXPANSION
DOVELA INFERIOR
1.80
1.80
9.15

FIG. 8

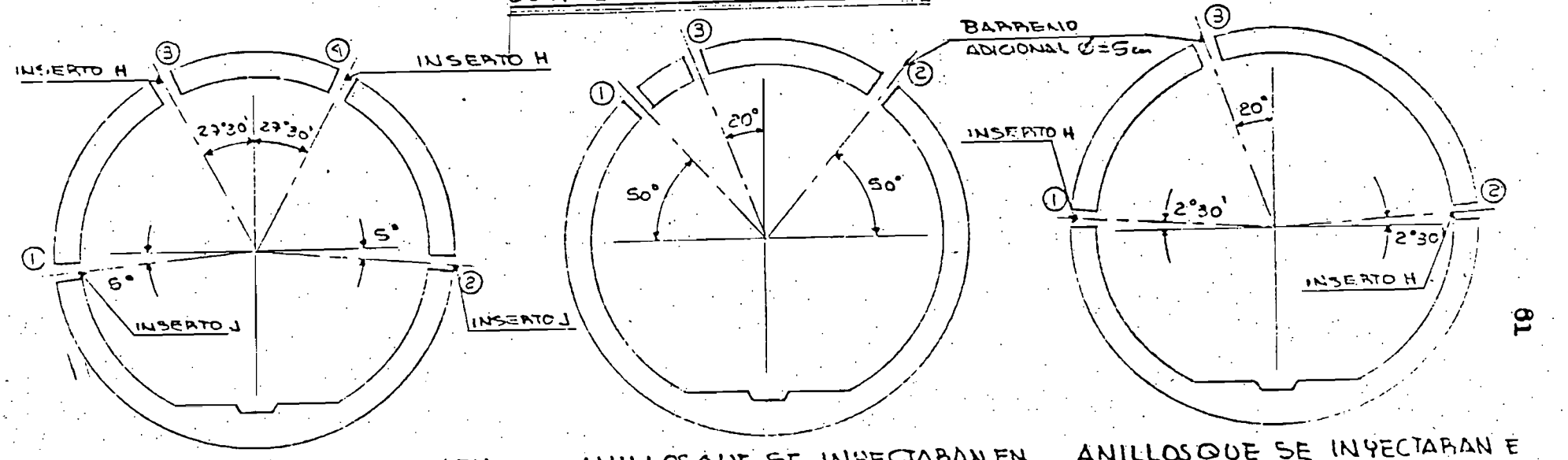


CORTE LONGITUDINAL

③ SECUENCIA DE INYECCION

DIB. ESQUEMATICO

CORTES TRANSVERSALES



ANILLOS QUE SE INYECTARAN EN 1ª FASE

ANILLOS QUE SE INYECTARAN EN 2ª FASE

ANILLOS QUE SE INYECTARAN E 3ª FASE

FIG. 9

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO CON TUNELEADORA DE PLUMA

III.- PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO CON TUNELEADORA DE PLUMA

El procedimiento constructivo comprende una serie de etapas específicas, tendientes a desarrollar las actividades de ejecución de la obra. En la construcción de túnel, existe una secuencia lógica y básica de dichas actividades como son la excavación, rezaga, ademe, y revestimiento definitivo.

La tuneleadora o Westfalia es la encargada de realizar la primera actividad del ciclo, o sea la excavación mediante una pluma oscilante en todas las direcciones, que en su extremo tiene un cortador, el cual puede ser de tipo fresa o desgarrador (Ver fig. 11) fresa o desgarrador.

En este caso, se usará el cortador desgarrador, en él, el eje es normal al eje de la pluma, por lo que todo el peso de la máquina y el empuje dado por las garras del tránsito puede utilizarse para efectuar el ataque.

El material excavado cae en una charola, y luego pasa a una banda transportadora, de donde pasa a los camiones de rezaga, y estos a su vez lo llevan hasta la lumbrera.

III. 1.- ACTIVIDADES DEL CICLO

III.1.1.- EXCAVACION Y REZAGA

La sección del túnel, se excavará a sección completa en tramos de 2.0 m de longitud.

La excavación se realizará con la máquina rozadora, Westfalia de 30 m^3/h de rendimiento, la cual cargará el material sobre la banda transportadora para pasarlo luego a camiones diesel de volteo de $6M^3$ de capacidad, los que acarrean el material hasta la lumbrera, donde es depositado en canalones bajo el nivel del piso del túnel. De los canalones la rezaga pasa al bote de manteo, y este es extraído a la superficie por un malacate.

III.1.2.- ADEME O SOPORTE TEMPORAL

La elección del soporte temporal del túnel, depende de varios factores entre los que se encuentran: los estudios previos que se hayan realizado sobre geología, características de resistencia, humedad, etc. del suelo por excavar, así como de la capa sobreyaciente.

Para llegar a conocer el empuje del suelo sobre el revestimiento deben analizarse las siguientes variables:

- Propiedades del suelo.
- Estado natural de solicitaciones del suelo

- Rigidez y deformabilidad del soporte
- Método de excavación.

Con objeto de lograr un estado de esfuerzos estable, es necesario que el sistema de soporte, actue sobre el estado de esfuerzo creado por la excavación, modificándolo de tal modo, que sea compatible con las condiciones del suelo y las características de los ademes son así, componentes del sistema de soporte que reacciona contra el suelo que lo rodea produciendo una presión interior estabilizadora.

Por lo tanto, no se puede dar una receta previa para la colocación de uno u otro tipo de ademe, esperando sea acertada ciento por ciento, en virtud de esto el ingeniero que se encuentra al frente de la construcción del túnel debe observar minuciosamente el comportamiento de los ademes que se han colocado y proponer alternativas para el caso concreto, en base a sus conocimientos y experiencias. La instrumentación instalada durante la construcción permite modificar el ademe en caso necesario.

En este tramo del túnel para el metro y teniendo como fundamento los estudios de suelo, se escogió el concreto lanzado de 25 cm de espesor, como ademe, el cual una vez dosificado en la proporción requerida, se lleva a la lanzadora y ésta, lo suministra a presión a una mangue

ra, que conduce la mezcla seca a una boquilla o chiflón. En este lugar se incorpora el agua y la mezcla se proyecta sobre la superficie a cubrir.

El concreto colocado adquiere debido a la presión una compactación, muy buena, por lo cual no requiere vibrado para su acomodo.

Para absorber los esfuerzos de tensión producidos por la elevación de temperatura, cuando el concreto lanzado está en la fase de fraguado inicial se coloca una malla electrosoldada con un recubrimiento libre determinado en las paredes y clave del túnel.

III. 1.3. - REVESTIMIENTO DEFINITIVO:

El revestimiento de concreto se realizará durante la excavación efectuándolo a una distancia tal del frente de manera que las actividades concreto-excavación no se interfieran.

Para este caso se utilizará una cimbra estacionaria de 6.0m de longitud (ver fig.2) y el colado se realizará en tres etapas:

1a etapa: Guarniciones laterales, para anclaje y rodamiento

2a etapa: Clave y paredes laterales.

3a etapa; Cubeta o losa de piso del túnel

Primera etapa:

Para llevar a cabo este primer colado se utilizará una cimbra de la mis

ma longitud de la que se usará en clave y paredes.

Cabe destacar que la topografía del túnel se resolverá en este colado, por lo que la cimbra de las guarniciones cuenta con mecanismos para facilitar su alineación y nivelación.

Este equipo cuenta con soportes para colocar el anclaje de la segunda etapa de colado, para lo cual se utilizarán chiboles y colas de cochino.

Segunda etapa de colado:

Esta etapa se realizará con una cimbra y un transportador para su movimiento.

La cimbra es metálica constituida por tres paredes de contacto articuladas entre sí. Es autosoportable, por lo tanto no requiere del transportador para resistir las cargas de concreto y su propio peso para alinearse, nivelarse y anclarse se apoya en la guarnición colada de antemano.

El transportador lleva a cabo el descimbrado, el movimiento e instalación de la cimbra en la siguiente posición de colado.

Este equipo cuenta con mecanismos hidraúlicos para desmoldar las paredes, alinear y nivelar la cimbra y ruedas metálicas de doble caja para deslizarse sobre la vía y durmientes.

Para tener acceso a la sección entre cimbra y terreno, la cimbra cuenta con ventanas de vibrado e inspección, que además pueden servir -

para iluminación, limpieza y colocación del concreto.

Para el vibrado se podrán utilizar vibradores de inmersión o de contacto dependiendo de la zona que se esté vibrando.
El desplazamiento longituidinal de la cimbra se realiza por medio de malacates o tirfords, debido a su corta longitud.

Tercera etapa:

Para este colado se emplea una regla deslizante que se apoya sobre las guarniciones ya coladas en la primera etapa.
Este equipo está integrado por un deflector delantero para obtener una buena distribución del concreto, una plataforma para el apoyo de los obreros que darán el acabado final en la parte posterior, y se tiene la posibilidad de instalar vibradores de contacto para mejorar el acabado así como de lastrar el equipo en caso de suscitarse flotación.

III.2.- RECURSOS

III.2.1. SELECCION DE LA TUNELEADORA

La tuneleadora básicamente consiste en un aparato autopropulsado con motores eléctricos, que tiene una pluma oscilante en todas direcciones en cuyo extremo se encuentra un cortador; el material desprendido cae en una banda transportadora. De la banda transportadora el material pasa a un sistema de carga de vagonetas (ver fig.1), o camiones de volteo para ser extraido hasta la lumbrera.

Las máquinas actuales, debido a su peso se clasifican en 3 clases:

- Superpesadas de 70 a 90 tons.
- Pesadas: Entre 30 y 50 tons. con motores de 215 H.P.
- Peso medio: Entre 20 y 30 tons. diseñadas para secciones pequeñas y en general para rocas con esfuerzos de ruptura a la compresión libre de 800 kg/cm^2 máximo.
- Ligeras: Son máquinas entre 5 y 20 tons. de peso, diseñadas para excavar rocas de 500 kg/cm^2 de esfuerzo de ruptura o menos, para arcillas, limos y otros materiales suaves.

Para el proyecto en estudio, de acuerdo a los estudios previos realizados sobre geología y demás características se concluyó que el suelo de este tramo está compuesto por materiales compactos limo-areno

sos en su mayoría, por lo tanto puede utilizarse una máquina de peso medio, ya que el material a excavar es un suelo suave. Para tal fin se eligió la Westfalia con rendimiento de 30 m^3/h; potencia del motor 45 kw, potencia del cortador 60 H.P. y con un peso de 20 tons. Además se tuvieron en cuenta para su elección otros factores como facilidad de obtención de la máquina, costos de operación y mantenimiento, etc.

III.2.2.- EQUIPO COMPLEMENTARIO

El equipo que ayuda a complementar las operaciones de excavación-rezaga y revestimiento del túnel está dado en la siguiente tabla:

EQUIPO QUE INTERVIENE MAS DIRECTAMENTE EN LA EXCAVACION Y ADEME POR FRENTE

EXCAVACION

Cant.	Descripción	Características de la máquina Marca	Modelo	Rendimiento o capacidad	Observaciones
1	Compresor	Atlas copco	DT-4	600 PCM	Su uso se coordina con los dos que hay para concreto lanzado.
3	Martillos neumáticos rompedores	Atlas copco	Tex-11	3 m^3/h	Para afinar la sección.
1	Torre y malacate de manteo	Arantham-wiseman		1 m/seg.	15m/min. de velocidad tangencial.
1	Bote de manteo			4.0 m^3	
1	Tolva receptora sujeta a la torre			18 m^3	Puede construirse en la obra de acuerdo a las necesidades.
2	Soldadoras	Lincon	SAE-300		
3	Camiones para acarreo de rezaga	Dodge International, etc.		6 m^3	
6	Ventiladores Axial.	Joy		28000 PCM	

ADEME POR CONCRETO LANZADO

Cant.	Descripción	Características de la máquina Marca	Modelo	Rendimiento o Capacidad
2	Compresores	Atlas-Copco	DT-4	
2	Carro mezclador de agregados y cemento	Stabilator	Trixer	3.4 m3 mezcla seca/hora
1	Lanzadora de con-- creto	Aliva	250	3.4 m3 mezcla seca/hora

EQUIPO A UTILIZAR PARA EL REVESTIMIENTO DEFINITIVO

Cantidad	Nombre del equipo por frente
1	Tolva receptora del concreto
1	Tanque amortiguador
2	Ollas mezcladoras dentro del túnel
1	Cimbra monolítica de 6.10 mts. de long.
1	Transportador de cimbra
4	Vibradores de inmersión
3	Vibradores de contacto
1	Estructura Garza
1	Bomba de concreto

III.2.2.1- INSTALACIONES

Además del equipo básico antes mencionado, son necesarias instalaciones tanto interiores como exteriores que aunque no intervienen directamente en la construcción son fundamentales y sirven como complemento y apoyo a las personas y equipo que trabajan en la construcción del túnel.

Instalaciones Interiores.

Como instalaciones interiores se debe contar con: una tolva de recepción de rezaga bajo el nivel de piso del túnel y en la zona de la lumbrera. También se deben llevar líneas de corriente para motores y alumbrado del túnel (se utilizarán 5 líneas); tubería para suministro de agua para limpieza y otros servicios.

Equipo de ventilación con tuberia de lona de 36" de diámetro.

Instalaciones exteriores:

Entre estas se encuentran:

- Compresores eléctricos de 600 p.c.m.
- Subestación eléctrica para transformación de corriente tanto para motores como para alumbrado.
- Torre de manteo, junto con malacate de capacidad suficiente para izar el bote de 4.5cm^3 que extraerá la rezaga del túnel a la superficie donde se vaciará a una tolva.
- Tanque para agua de 10,0000 lts de capacidad para concreto lanzado.
- Tanque para silicato de sodio de 10,000 lts de capacidad para concre-

to lanzado.

- Tolva para recibir agregados para concreto lanzado, con salida de 10" de diámetro y un tubo que bajará al túnel para conectar la tolva con la superficie.
- Almacén, oficinas técnicas de supervisión, oficinas topográficas, casetas para lockers, baños, etc.

III.2.3.- PLANTILLA DE PERSONAL PARA EXCAVACION Y ADEME DE TUNEL- POR FRENTE / DIA

CATEGORIA	CANTIDAD
FRENTE - EXCAVACION	
Sobrestante general	1
Sobrestante excavación	2
Cabo de excavación	2
Perforistas	12
Ayudantes perforación	12
	29
CONCRETO LANZADO	
Cabo de lanzado	2
Operador Aliva	4
Lanzador	4
Ayudantes de lanzado	12
	22
OPERACIONES DE MAQUINARIA	
Op. Westfalia	2
Op. Malacate	2
Compresoristas	2
Op. Volteo túnel	6
Op. Volteo ext.	6
	18
TOPOGRAFIA	
Auxiliar topografía	2
Cadeneros	4
	6

CATEGORIA	CANTIDAD
FRENTE-MANTEO	
Cabo de manteo	2
Ayudantes	8
	10
FRENTE - SOLDADORES	
Soldadores	2
	2
MECANICOS	
Oficial mecánico	2
Oficial electromecánico	2
Ayudantes	4
Engrasador	2
	10
TOTAL MANO DE OBRA:	97

III.2.3.- PLANTILLA DE PERSONAL PARA REVESTIMIENTO DEFINITIVO DE-TUNEL POR FRENTE / DIA.

CATEGORIA	CCANTIDAD
FRENTE. COLOCACION DE CONCRETO	
Sobrestante	2
Cabo de vibradoristas	2
Vibradoristas	8
Ayudantes	10
	22
FRENTE CARPINTERIA	
Cabos	2
Carpinteros	6
Ayudantes de carpinteros	12
	20
FIERREROS	
Cabo de fierreros	2
Fierreros	18
Ayudantes fierrero	18
	38
FRENTE-ALBAÑILES	
Of. Albañil	8
	8
MANIOBRAS	
Cabo de maniobras	2
Maniobristas	8
Ayudantes	8
	18

CATEGORIA	CANTIDAD
OPERADORES MAQUINARIA	
Op. Bomba de concreto	2
Op. ollas revolvedoras	4/6
TOPOGRAFIA	
Auxiliar de topógrafo	2
Cadeneros	4/6
FRENTE - SOLDADORES	
Soldadores	4/4
TOTAL MANO DE OBRA	121

III.2.4.- MATERIALES PARA EXCAVACION ADEME DE TUNEL CON TUNELEADORA DE PLUMA

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD/ML.
Picas para rozadora	pza.	15
Pulsetas para martillo de 7/8" x - 4'/4" x 18"	pza.	3.7
Mallalac de 6" x 6"	m^2	23.0
Cementos	ton.	1.44
Agregados para concreto lanzado	m^3	3.60
Aditivos para concreto lanzado	kg.	43.20
Agua	lts.	810
Oxígeno	carga	0.05
Acetileno	carga	0.025
Tubería galvanizada de 2" Ø para agua	ML.	1.0
Tubería vitaulic de 6" Ø para aire	ML.	1.0
Tubería para ventilación de 36" Ø	ML	1.0
Líneas eléctricas		
- Cable 500 MCM THW	ML	3.0
- Cable vinicón THW antiflma 2/0	ML	4.0
- Cable de control 7 x 14	ML	1.0
Alumbrado		
- Lámpara fluorescente 2 x 74W	pza.	0.20
- Porta lámpara de cuarzo 500W	pza.	0.01
- Cable TW calibre 14	ML	0.20

RECURSOS NECESARIOS EN MATERIALES PARA EL REVESTIMIENTO DEFINITIVO POR FRENTE

Concepto		Unidad	Cantidad/M.L.
Concreto hidráulico con tam. máximo de 3/4 y revenimiento de 18 f'_c= 250 kg/m2		M3	10.5
Acero de refuerzo de	3/8	Kg.	27.64
	1/2	Kg.	348.87
	3/4	Kg.	277.13
Curacreto		Lts.	30
Banda PVC de 6" para juntas		Mts.	2
Tubería PVC anger de 8" para instalaciones hidráulicas de desagüe		Mts.	2
Tubería de 6" para bombeo de concreto		Mts.	2
Tubería para bajar concreto de 10"		Mts.	0.02
Silletas de PVC de 8" x 3" para registro de desagües		Pzas.	0.8
Colas de cochino para anclaje cimbra		Pza.	2.5
Chiboles para anclaje cimbra		Pza.	0.02
Oxígeno		Carga	0.05
Acetileno		Carga	0.025
Alambre recocido para amarrar fierro		Kg.	10
Soldadura 7018 1/8" ó 5/32"		Kg.	1.5
Vía para moviliazar cimbra		Mts.	0.04
Cimbra para guarnición		M2	2.00
Cimbra para bóveda y paredes		M2	13.34
Cimbra para tapones		M2	1.62

III.3.- PROGRAMA DE CONSTRUCCION

El programa de construcción, ha sido elaborado de tal manera que lo proyectado pueda cumplirse con la realidad, teniendo encuenta para su - elaboración, la necesidad de dar la obra al servicio en una fecha determinada, el rendimiento de la máquinaria a utilizar, el número de turnos por día y su rendimiento. Por medio del programa determinamos si las- actividades de la obra, se están llevando a cabo de acuerdo a lo programado, o de lo contrario se pueden hacer los ajustes respectivos de acuerdo a como se desarrolle la construcción.

III.3.1.- ANALISIS DEL CICLO III.3.1.-

El ciclo consta de las siguientes actividades:

Excavación y rezaga.

Colocación de malla electrosoldada

Ademe con concreto lanzado de 15cm de espesor

Revestimiento tramo 1.

- Armado Guarnicones
- Cimbra "
- Colado "
- Fraguado "
- Colocación de vía Guarniciones.
- Armado clave.

Revestimiento tramo 2.

- Colocación tapón en clave
- Colado clave
- Fraguado
- Descimbrado

  Movimiento cimbra

  Limpieza y engrase

  Cimbrado

  Alineación y nivelación.

La excavación la realiza la tuneleadora de pluma (westfalia), la cual carga el material y lo pasa a camiones de volteo de $6m^3$ de capacidad. Los camiones acarrean el material de rezaga hasta la lumbrera en donde descargar al canalón bajo el nivel del piso del túnel. De ahí el material pasa al bote de manteo y este es izado al exterior por un malacate.

Para perfilar mas exactamente la sección, se utilizan martillos neumáticos.

Luego se realiza la colocación del ademe o soporte temporal, primero se aplican 5cm de espesor de concreto lanzado, para colocar después la malla de refuerzo electrosoldada de 6" x 6". Después de esta operación se coloca otra capa de concreto lanzado de 15 cm de espesor y nuevamente una segunda malla, luego una tercera capa de concreto lanzado de 5cm de espesor.

Deben efectuarse los traslapes de las mallas de las secciones superior e inferior y trasladar o llevar la malla y el concreto lanzado hasta las zapatas.

El concreto para el revestimiento definitivo del túnel, se fabrica en plantas de producción y se transporta al sitio en ollas revolvedoras, las cuales descargan a una tolva receptora en superficie, y de ahí el concreto es suministrado al túnel por gravedad y es recibido por un tanque amortiguador que se encuentra a nivel del techo del túnel, su función es restituirle la segregación que se le indujo en la caida.
El tanque amortiguador descarga a una bomba de concreto la cual lo impulsa al frente de colado por tuberias.

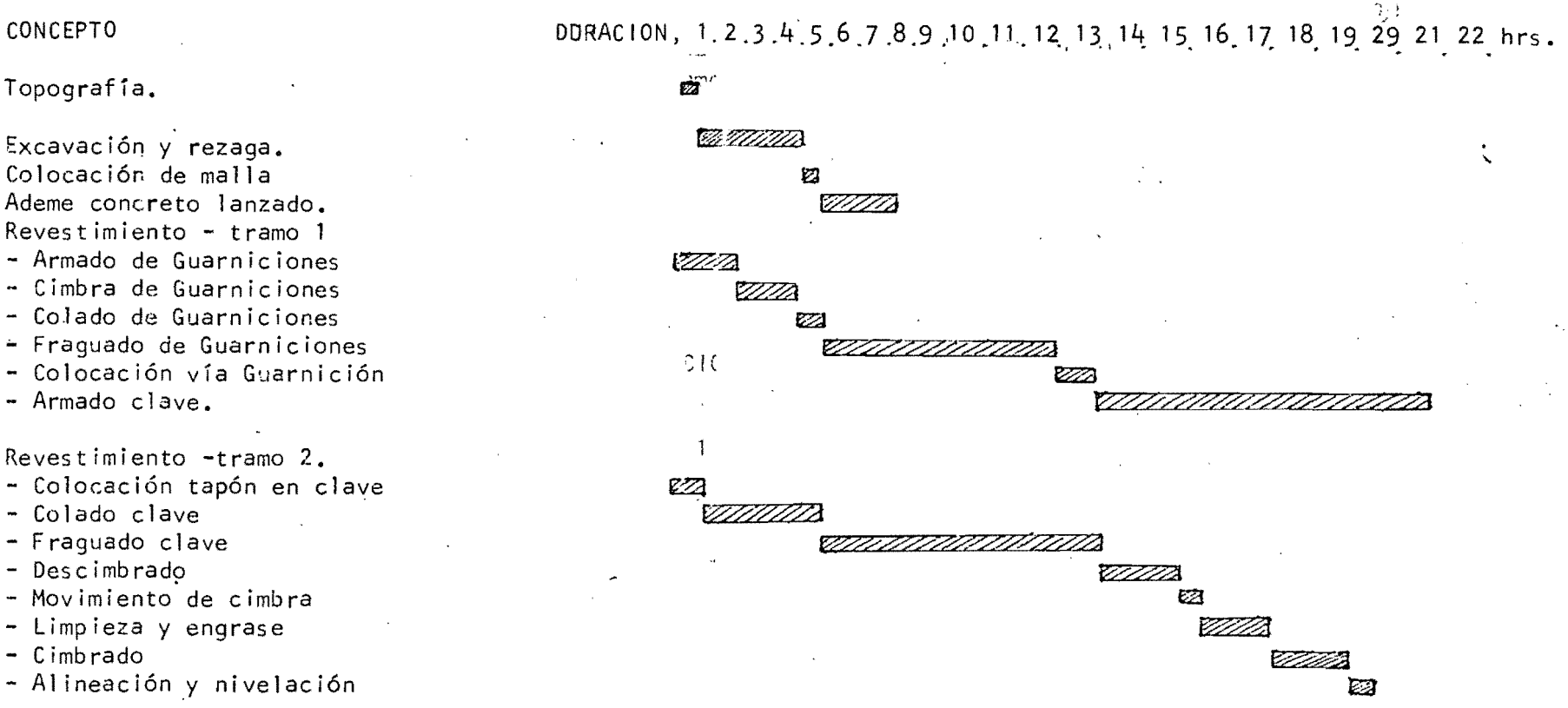
El acomodo del concreto en la cimbra se realiza por vibradores de inmersión que se introducen por las ventanas previstas para tal efecto.

El colado se efectuará en 3 etapas como se describió en el punto III 1.3., la colocación del hierro de refuerzo en la zona por colar puede ser simultánea con la colocación del concreto.
Para obtener una buena compactación del concreto se utilizan vibradores de contacto y de inmersión. Luego viene el tiempo de fraguado que se específica de 4 a 10 horas, para proceder después a las operaciones de descimbrado, transporte, nivelación y alineación, extensión de tuberias de bombeo de concreto y colocación del tapón lateral para evitar que el concreto reboze la longitud de la cimbra y no se salga por ese espacio.

Quedaría por colocar únicamente la cubeta del túnel, lo que puede hacerse al terminar la excavación para no interrumpor el paso de los vehículos, y además se obtendrían rendimientos muy altos pues sería la única actividad dentro del túnel. Otra opción es colar la cubeta los fines de semana.

Toda vez que se específica que el túnel debe ir armado, se debe contar con el acero de refuerzo habilitado y colado en su posición por lo menos en un tramo de longitud igual al de la cimbra y delante de ésta.

III.3.2.- PROGRAMA DE OBRA EXCAVACION -ADEME Y REVESTIMIENTO DE TUNEL



NOTA: Para no interferir el armado de la clave con el cimbrado de la clave, se llevará siempre - un tramo(1) libre adelante de la cimbra.

tramo 2	tramo 1	tramo 1

A continuación se describen los tiempos de duración de las actividades que integran el programa de obra de excavación, rezaga, ademe y revestimiento definitivo, expuesto en la página anterior.

III.3.2.1.- CICLOS DE EXCAVACION - REZAGA Y ADEME

Area de la sección 70.5 m^2 (considerando una sección en herradura tal como se muestra en el Anexo 1).

Material por excavar. Limo arenoso.

Coeficiente de abundamiento: 35%

Excavadora westfalia de rendimiento 30 m^3/h.

Camiones para rezaga de 6 m^3 de capacidad.

Se excavarán tramos de 2.000 m. de profundidad.

TIEMPO DE EXCAVACION.

$$T = \frac{70.1\ m^2 \times 2.00\ m}{30\ m^3/h.} = 4.67\ hrs.$$

REZAGA:

El volumen de rezaga será:

$$70.5\ m^2 \times 2{,}00\ m \times 1.35\ abud = 190{,}35\ m^3.$$

Los cuales deben extraerse del frente en las 6 horas, por lo tanto el rendimiento requerido será:

$$\frac{190.35\ m^3}{4.67\ hrs.} = 40.76\ m^2/h.$$

Ciclo del camión:

$$Carga = \frac{6\ m^3 \times 60\ min/hr}{20\ m/hr} = 18\ min$$

Velocidad V = 10 km/hr. de ida y V = 12 K/hr de regreso.

Distancia de acarreo, promedio : 550 mt.

Tiempo de ida del camión : $\frac{550 \text{ m} \times 60}{10.00 \text{ m/hr}}$ = 3.3 min

Tiempo de retorno: $\frac{550 \times 60}{12.00 \text{ m/h}}$ = 2.80 min.

El ciclo del camión será:

Tiempo de carga:	18 min
Tiempo de ida:	3.3 min.
Maniobras:	2.0 min.
Descarga:	3.0 min.
Tiempo de retorno	2.0 min.
Acomodo:	1.0 Min.
TOTAL	30.0 min.

No. de ciclos = $\frac{60 \text{ min/hr} \times 0.83}{30 \text{ min.}}$ = 1.66 ciclos/hr.

Factor de eficiencia de trabajo: $\frac{50}{60}$ = 0.83

Rendimiento = 1.66 ciclos/hr x 6 m^3/ciclo= 10 m^3/hr.

No. de camiones a utilizar = $\frac{40.76 \text{ m}^3\text{/hr}}{10 \text{ m}^3\text{/hr/camión.}}$ = 2.77 = 4 camiones

Por lo tanto se requieren 4 camiones para efectuar la rezaga.

ADEME:

Perímetro por lanzar = 24,62 mt (ver anexo 1)

Longitud de lanzado = 2.0 mt.

Espesor de lanzado = 0.25 mt.

Cr. Coeficiente de rebote = 1.30 min.

Rendimiento de la lanzadora = 2. m^3/hr.

Número de lanzadora = 2

Volumen colado = 24.62 x 2 x 0.25 = 12.31 m^3

Para colocar este volumen se requiere lanzar:

Volumen lanzado = 1.3 x 12.31 = 16.00 m^3

Tiempo de ademe = $\frac{16.00\ m^3}{2.\times\ 2\ m^3/hr.}$ = 4.00 hrs.

Por lo tanto el ciclo total estará compuesto por:

Topografía	0.20
Excavación (2.0 ml.)	4.67
Colocación de mallas	0.25
Ademe por concreto lanzado	4.00
TOTAL:	9.12

Considerando una eficiencia del 85% tendremos un ciclo real de:

$\frac{9.12}{0.85}$ = 1067 hr/ciclo

Ciclos por día: $\frac{24\ hr/día}{10.67\ hr/ciclo}$ = 2.25 ciclos/día

Avance por ciclo = 2.00 m.

Avance por día = 2.25 ciclos/día x 2.0 m/ciclo = 4.50 m/día

<u>Tiempo de colado</u>

Colado de la clave

Perímetro de la clave = $2\pi r \frac{(210)}{360}$ = 2 (3.1416) x $\frac{210}{360}$ x 4.52 = 16.56 mt.

Volumen de concreto a colar en clave: $16.56 \times 1 \times 0.4 \times 6.00 = 39.74\ m^3$

Rendimiento de la bomba de concreto: $20\ m^3/hr.$

Tiempos de la olla de colado

- Tiempo de carga : 4 min.
- Tiempos de viaje: ida = $\frac{550m \times 60}{15000\ m/hr}$ = 2.2"

  regreso = $\frac{550 \times 60}{18000\ m/hr.}$ = 1.8 "
- Maniobras = 3 "
- Descarga y colado $6\ m^3 \times \frac{60\ min/hr}{20\ m^3/hr}$ = 18 "

  TOTAL ciclo olla = 29 min.

Considerando una eficiencia del 85% $\frac{29}{0.85}$ = 34 min

No de viajes de olla necesarios: $\frac{39.74}{6} = 6.6 = 7$ viajes

Tiempo de colado de la clave:

$$\frac{7\ viajes \times 34\ min}{60\ min/hr.} = 3.97\ horas = 4\ hr.$$

COLADO GUARNICION:

Volumen a colar: $1 \times 1 \times 0.4 \times 6.00 = 2.4\ m^3$

Tiempos de olla de colado: 10.0 min

Descarga y colado: $\frac{2.40\ m^3 \times 60\ min/hr}{20\ m^3/h.}$ = 7.2 min

Ciclo de la olla = 17.20 min

Tiempo de colado: para las 2 guarniciones: $\frac{17\ min}{60\ min/hr} \times 2 = 0.56$ horas.

A continuación se enlistan los tiempos de duración de las actividades del colado, de acuerdo al personal y los recursos a usar, teniendo un fraguado de 8 hrs como especificación:

Armado de Guarniciones	2 horas
Cimbra de Guarniciones	2 horas
Colocación vía en Guarniciones	1 hora
Armado de la clave	8 horas
Colocación tapón en clave	1 hora
Descimbrado de la clave	2 "
Movimiento cimbra en clave	0.4 "
Limpieza y engrase de cimbra en la clave	1.6 "
Cimbrado en clave	2.0 "
Alineación y nivelación	0.5 "

Duración del ciclo de colado en clave: 1 + 4.0 + 8 + 2 + 0. 4 + 1.6 + 2 + 0.5 + 0.5 = 20 hr (duración de actividades de acuerdo al ciclo).

Ciclos por día: 20 hr/día / 20hr = 1 día

Avance por ciclo = 6.00 m.

Avance por día = 6.00 m x 1 = 6.0 mt/día

Duración ciclo de colado en guarnición: 2 + 2 + 0.56 + 7 + 1 + 8 = 20.5hr.

Ciclos por día = $\frac{20 \text{ hr/día}}{20.5}$ 1.0 día (se toma 1 día, ya que el tiempo de - fraguado puede ser menorr)

Avance por ciclo = 6.00 mt.

Avance colado = <u>6.0 m/día</u>

DIFERENCIA ENTRE FRENTE DE EXCAVACION Y FRENTE DE REVESTIMIENTO

Duración excavación = $\frac{1100 \text{ m}}{4.5 \text{ m/día}}$ = 244 días

Duración revestimiento = $\frac{1,100 \text{ m}}{6 \text{ m/día}}$ = 183 días

61 días

= 61 días x 4.50 m/día = 275 m.

III.4.- ANALISIS ECONOMICO

El análisis económico es un factor muy importante que se debe tener en cuenta al realizar un movimiento de tierras en una obra. Cuando se lleva a cabo dicho movimiento, lo que más interesa a la empresa constructora es obtener el costo mas bajo por unidad.

A continuación se hará un análisis de los recursos mano de obra, materiales y equipo que intervienen en las diferentes etapas de excavación, rezaga, ademe y revestimiento definitivo para la construcción de un túnel con tuneleadora de pluma.

DATOS PARA LA INTEGRACIÓN DEL PRECIO UNITARIO

Longitud del túnel	= 1,100 mts.
Area de excavación (sección herradura - ver fig. y anexo 1)	= 70.5 m^2
Volumen de excavación	= 70.5 m^3/m.
Rendimiento excavación	= 3.50 m/día = 1.75m/tno.
Rendimiento revestimiento definitivo	= 6.00 m/día.

INTEGRACIÓN DEL PRECIO UNITARIO PARA EXCAVACION DE TUNEL CON WESTFALIA.

I.-	MANO DE OBRA	$ 158,677.26 /m.
II.-	MATERIALES	$ 625,804.30 /m.
III.-	EQUIPO	$ 590,122.98 /m.
	COSTO DIRECTO	$ 1'374,604.54. /m.

III.4.1.- COSTO DE LOS RECURSOS

III.4.1.1.- EXCAVACION -ADEME

1.- MANO DE OBRA

a.- Excavación en el frente.

Sobrestante general	$ 8,532 /tno	x	1	=	$ 8,534.00
Sobrestante	$ 7,236.40/tno.	x	1	=	$ 7.236.40/tno.
Cabo	$ 3,965.36 "	x	1	=	$ 3,965.36/tno.
Perforistas	$ 3,453.33 "	x	6	=	$$ 20,719.98/tno.
Ayudantes	$ 2,936.34 "	x	6	=	$ 17,618.04/tno.
Op. tuneleadora	$ 7,236.04 "	x	1	=	$ 7,236.04/tno.
Op. Malacate	$ 7,236.04 "	x	1	=	$ 7,236.04/tno.
Compresorista	$ 3,453.33 "	x	1	=	$ 3,453.33/tno.
Op. camión volteo Sup.	$ 3,965.36 "	x	3	=	$ 11,896.08/tno.
Op. camión volteo Tu.	$ 3,965.36 "	x	3	=	$ 11,896.08/tno.
					$ 99,791.35/tno.

b.- Concreto lanzado frente

Cabo	$ 3,965.36/tno	x	1	=	$ 3,965.36/tno.
Op. Aliva	$ 3,453.33/tno	x	2	=	$ 6,906.66/tno.
Lanzador	$ 3,205.8 /tno	x	2	=	$ 6,411.60/tno.
Ayudantes	$ 2,936.34/tno	x	6	=	$ 17,618.04/tno.
					$ 34,901.66/tno.

c.- Manteo

Cabo	$ 3,965.36/tno	x	1	=	$ 3,965.36/tno.
Ayudantes	$ 2,936.34/tno	x	4	=	$ 11,745.36/tno.
					$ 15,710.72/tno.

Además intervienen otras cuadrillas para instalaciones y habilitado de tubería, agua y ventilación; para líneas eléctricas, que ya fueron analizadas anteriormente, por lo tanto solamente se colocará el costo por turno.

d.- Mano de obra para instalaciones de agua, aire, ventilación.	$ 7,377.44/tno.
Mano de obra para instalaciones eléctricas	$ 6,640.59/tno.
Mano de obra para soldadura y habilitado de-soporte de tuberías para agua, aire comprimido, ventilación, bastidores para líneas eléctricas y lámparas fluorecentes.	$ 6,872.94/tno.
Control topográfico	$ 10,377.08/tno.
e.- Mecánicos.	$ 13,745.88

Costo mano de obra = $ 195,417.66 /tno.

Costo /ML= $\frac{\$\ 195,417.66\ /tno.}{2.25\ m/tno.}$ $ 86,852.29 /m.

I.- MATERIALES PARA EXCAVACION Y ADEME

CONCEPTO	UNIDAD	COSTO/UNID	CANTIDAD/ml	COSTO/ML
Picas para rozadora	pza.	$ 14,540.00	15	$ 218,100
Pulsetas para martillo de 7/3 x 4'/4" x 18"	pza.	5,100.00	3.7	18,870
Mallalac de 6" x 6"	m^2	345.73	43.05	148,856
Cementos	ton		1.44	21,038.40
Agregados para concreto				
Lanzadora	m^3	1,300	3.60	4,680
Aditivos para concreto Lanzado	kg.	50	43.20	2.160
Agua	lts.	0.5	810	405
Oxígeno	carga	5,500.00	0.05	275
Acetileno	carga	17,200.00	0.025	430
Líneas de corriente eléctrica	m.	18,336.30	-	18,336.30
Alumbrado	m.	16,319.50	-	16,319.50
Tuberías para agua, aire comprimido y ventilación	Glb.	25,934.54	-	25,934.54
Varios	Glb.			14,600.00

COSTO TOTAL MATERIALES: $ 356,034.37

III.- MAQUINARIA Y EQUIPO

EXCAVACION Y REZAGA.

a.- Excavadora -rezagadora westfalia.

$$\text{Costo} = \frac{\$\ 58,,674.18/\text{hr.} \times 10\ \text{hr/tno.}}{2.25\ \text{m/tno.}} = \$\ 260,774.13/\text{m.}$$

b.- Compresor 600 p.c.m.

$$\text{Costo} = \frac{\$\ 2,763.43 \times 10\ \text{hr/tno.}}{2.25\ \text{m/tno.}} = \$\ 12,281.91/\text{m.}$$

c.- Martillos neumáticos

$$\text{Costo} = \frac{\$\ 150.00/\text{hr} \times 10\ \text{hr/tno} \times 6\ \text{pzas.}}{2.25\ \text{m/tno.}} = \$\ 4,000.00/\text{m.}$$

d.- Camiones acarreo rezaga (6 m^3)

$$\text{Costo} = \frac{1,795.30/\text{hr} \times 10\ \text{hr/tno} \times 3\ \text{pzas.}}{2.25\ \text{m/tno.}} = \$\ 23,937.33$$

e.- Soldaduras 300 amperes.

$$\text{Costo} = \frac{1.358.10/\text{hr} \times 10\ \text{hr/tno} \times 3}{2.25\ \text{m/tno.}} = \$\ 18,108.\ /\text{m.}$$

$$\$\ 319,101.37\ /\text{m.}$$

VENTILACION (Cálculo de ventilación -ver anexo 2)

$$\text{Costo} = \frac{612.60/\text{hr} \times 10\ \text{hr/tno} \times 5}{2.25\ \text{m/tno.}} = \$\ 13,613.33/\text{m.}$$

ADEME

a.- Compresor 600 p.c.m.

$$\text{Costo} = \frac{\$\ 2,763.43/\text{hr} \times 10\ \text{hr/tno}}{2.25\ \text{m/tno.}} \times 2 = \$\ 24,563.82$$

b.- Carro mezclador de agregados y cemento

$$\text{Costo} = \frac{\$\ 4{,}346.95/\text{hr} \times 10\ \text{hr/tno.}}{2.25\ \text{m/tno.}} \times 2 = \$\ 38{,}639.55/\text{m}$$

c.- Lanzadora de concreto Aliva

$$\text{Costo} = \frac{\$\ 1{,}965.56/\text{hr} \times 10\ \text{hr/tno}}{2.25\ \text{m/tno.}} \times 2\ \text{pzas.} = \$\ 17{,}471.64/\text{m.}$$

$$\$\ 80{,}675.01/\text{m.}$$

MANTEO DE REZAGA

a.- Gatos para accionar compuertas de tolva.

$$\text{Costo} = \frac{\$\ 468.70/\text{hr} \times 10\ \text{hr/tno}}{2.25\ \text{m/tno.}} \times 2 = \$\ 4{,}166.22/\text{m.}$$

b.- Malacate de manteo

$$\text{Costo} = \frac{\$\ 19{,}389.23/\text{hr} \times 10\ \text{hr/tno.}}{2.25\text{m/tno.}} = \$\ 86{,}174.35/\text{m.}$$

c.- Torre de manteo y tolva para almacenamiento de rezaga.

$$\text{Costo} = \frac{\$\ 19{,}448{,}700/\text{torre} \times 1 \times 0.90}{1{,}100\ \text{m.}} = \$\ 15{,}912.57$$

d.- Skips para elevación de rezaga.

$$\text{Costo} = \frac{\$\ 805{,}035/\text{skip} \times 3}{1{,}100\ \text{m.}} = \$\ 2{,}195.55\ /\text{m.}$$

$$\$\ 108{,}448.70\ /\text{m.}$$

TOTAL COSTO MAQUINARIA Y EQUIPO : $ 508,225.08 /m.

III.4.1.2.- COSTOS PARA REVESTIMIENTO DEFINITIVO

1.- MANO DE OBRA REVESTIMIENTO DEFINITIVO/TURNO

a.- Colocación concreto.

Sobrestante	$ 7,236.40/tno	x	1	=	$ 7,236.40/tno
Cabo de vibradoristas.	$ 3,965.36/tno	x	1	=	$ 3,965.36/tno.
Vibradorista	$ 3,761.44/tno.	x	4	=	$ 15,045.75/tno.
Ayudantes	$ 2,936.34/tno.	x	5	=	$ 14,681.7 "
					$ 40,929,2/tno.

b.- Carpintería en el frente

Cabo	$ 3,965.36/tno	x	1	=	$ 3,965.36/tno.
Oficial carpintero	$ 3,776.00/tno.	x	3	=	$ 11,328.00/ "
Ayudantes	$ 2,936.34/ "	x	6	=	$ 17,618.04/ "
					$ 32,911.4 /tno.

c.- Fierre[illegible] frente

Cabo	$ 3,965.36/tno	x	1	=	$ 3,965.36/tno.
Fierreros	$ 3,761.44/"	x	9	=	$ 33,852.96/"
Ayudantes	$ 2,936.34/"	x	9	=	$ 26,427.06/"
					$ 64,245.36/tno.

d.- Albañiles - oficial $ 3,776/tno x 4 = $ 15,104.00/tno.

e.- Maniobras:

Cabo	$ 3,965.36/tno.	x	1	=	$ 3,965.36/tno.
Maniobristas	$ 3,761.44/tno.	x	4	=	$ 15,045.76/"
Ayudantes	$ 2,936.34/ "	x	4	=	$ 11.745.36/tno.
					$ 30,756.48/tno.

f.- Topografía

Auxiliar topógrafo	$ 3,965.4/tno.	x	1	=	$ 3,965.4/tno.
Cadeneros	$ 3,205.80/"	x	2	=	$ 6.411.6/tno.
					$ 10 ,377.00/tno.

g.- Soldadores - frente $ 3,776 /tno. x 2 = $ 7,552.00/tno.

TOTAL MANO DE OBRA PARA REVESTIMIENTO

a.- $ 40,929.2/tno.

b.- $ 40,147.8/tno.

c.- $ 64,245.36/tno.

d.- $ 15,104.00/tno.

e.- $ 19.011.12/tno.

f.- $ 10,377.00/tno.

g.- $ 7.552.00/tno.

h.- Mecanicos $ 13,745.88/tno.

i.- Instalaciones:

1 Cabo	1	x	3,965.36/tno	=	$ 3,965.36/tno.
1 Oficial	1	x	3,761.44/ "	=	$ 3,761.44/ "
2 Ayudantes	2	x	2,936.34/ "	=	$ 5,872.68/ "
					$ 13,599.48/tno.

COSTO M.O. REVESTIMIENTO = $ 215,474.92/tno.

$$\text{COSTO M.O/M.L} = \frac{\$\ 215{,}474.92/\text{tno}}{3.0\ \text{m/tno.}} = \$\ 71{,}824.97/\text{m}$$

II.- MATERIALES PARA REVESTIMIENTO DEFINITIVO

CONCEPTO	UNID.	COSTO/UNID	CANT./UNID	COSTO/ML.
Concreto hidraúlico premezclado con tam. máx de 3/4 y revenimiento de 18 f'c = 250k/c^2 - (incluye transporte)	m^3	$ 18,410.00	10.5	$ 193,305.00
Acero de refuero de 3/8"	kg.	67.74	27.64	2,418.50
1/2"	kg.	67.26	348.87	30,526.12
3/4"	kg.	66.17	277.13	24,248.87
Curacreto	lts.	54.00	30	1,620
Banda PVC 6" para juntas	mt.	834.75	2	1,669.50
Tubería PVC anger 8" para instalaciones hidraúlicas de desague.	mt.	1,111.80	2	2,223.60
Tubería PVC 6" para bombeo deccto	mt.	1,389.75	2	2,779.50
Tubería de 10" para bajar el - concreto	mt.	26,700.00	0.02	534.
Silletas PVC de 8 x 3" para registros de desague.	pza.	750.00	0.8	600
Colas de cochino p/anclaje de - cimbra	pza.	1,800.00	2.5	4,500
Chiboles para anclaje de cimbra	pza.	2,300.00	0.02	46
Oxígeno	carga	5.500.00	0.05	275.
Acetileno	carga	17,200.00	0.025	430
Alambre precocido p/amarrar - fierro.	kg.	105.00	10	1,050
Soldadura 7018 de 1/8 O 5/32"	kg.	392.4	1.5	588.6
Cimbra para guarnición	m^2	1,055.67	2.0	2,111.34
Cimbra para tapones	m^2	970	0.87	843.9
Cimbra para bóveda (ver en - equipo).				

COSTO TOTAL DE MATERIALES POR ML/TUNEL $ 269,769.93 /ml.

III._ COSTO DE MAQUINARIA Y EQUIPO PARA REVESTIMIENTO DEFINITIVO

Avance = 6 m/día

Avance por hora:

Considerando 20 hrs hábiles por día tenemos:

$$\frac{6.00\ m}{día} \times \frac{1\ día}{20\ hr} = 0.30\ m/hr$$

Teniendo el costo horario del equipo y su avance o rendimiento por hora, calcularemos su costo por metro:

DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO HORARIO	COSTO POR ML
- Tolva receptora de concreto	1	123.00	410.0
- Tanque amortiguador	1	66.00	220.0
- Olla mezcladora	2	4,346.95	28,979.66
- Cimbra monolítica con transportador y vía de 6.0 m de long.	1	2,808.00	9,360.00
- Bomba de concreto	1	6,603.50	22,011.66
- Vibrador de inmersión	4	179.90	2,398.66
- Vibrador de contacto	3	179.90	1,798.99
- Estructura garza	1	250,000/pza x 1 / 1,100 m.	227.27
- Cortador de varilla	1	2,301.25	7,670.83
- Doblador de varilla	1	2,301.25	7,670.83
- Sierra eléctrica	1	345.00	1,150.00

COSTO MAQUINARIA PARA REVESTIMIENTO DEF. $ 81,897.90/M.L.

INTEGRACION DEL PRECIO UNITARIO PARA REVESTIMIENTO DEFINITIVO CON TUNELEADORA

I.-	MANO DE OBRA	$ 71,824.97 /m.
II.-	MATERIALES	$ 269,769.93 /m.
III.-	MAQUINARIA Y EQUIPO	$ 81,897.90 /m.
		$ 423,492,80/m.

INYECCION DE CONTACTO

La siguiente actividad es la inyección de contacto entre revestimiento definitivo y terreno, para cumplir con lo siguiente:

- Llenar los huecos dejados entre el revestimiento definitivo y la excavación con lo que se evitan deformaciones del terreno y concentraciones al propio revestimiento.

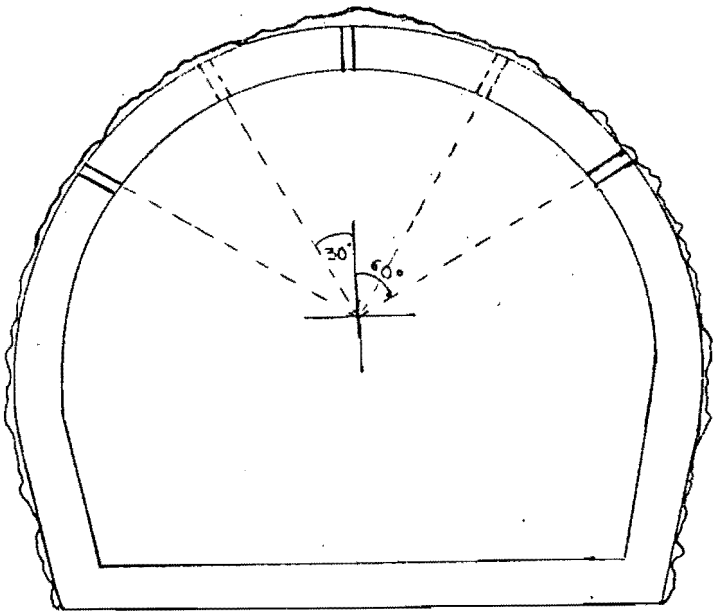
Esta inyección se realiza en dos fases de acuerdo a las condiciones siguientes:

1.- Vacíos de varios centímetros y aún decímetros de altura en la clave del túnel que se rellenan básicamente en la primera fase de la inyección y cuando el concreto del revestimiento definitivo cumple con 14 días de edad.

2.- Vacíos con espesor de un centímetro o menos cuando la inyección de la primera fase cumple con 14 días de edad.

La inyección se lleva a cabo a través de barrenos perforados de 5 cm. de diámetro, las cuales penetran en el terreno 10 cm, y su distribución está dada en la gráfica de la página siguiente.

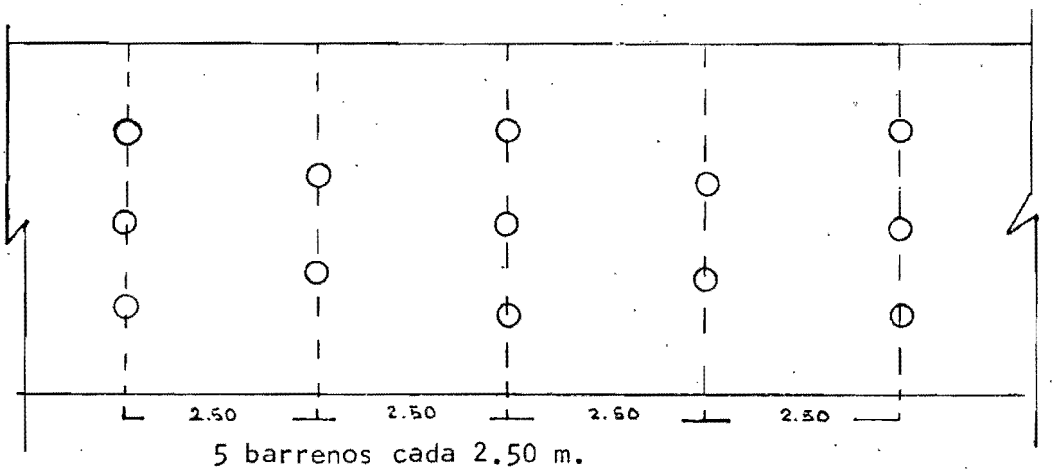
INYECCION DE CONTACTO



1a Fase = 3 barrenos

2a Fase = 2 barrenos.

VISTA EN PLANTA



5 barrenos cada 2.50 m.

$$\frac{5 \text{ barrenos}}{2.50 \text{ m}} = 2 \text{ barrenos/m.}$$

COSTO DE LOS RECURSOS

Como los costos de materiales, mano de obra y equipo, son similares a los analizados para la inyección de contacto entre dóvelas y terreno unicamente se colocarán cantidades por metro lineal.

INTEGRACIOS DEL COSTO PARA INYECCION DE CONTACTO

I.- MANO DE OBRA	$ 23,698.67 /m.
II.- MATERIALES	$ 290,028.11 /m.
III.- MAQUINARIA Y EQUIPO	$ 47,129.63 /m.
	$ 360,856.41 /m.

I.- MANO DE OBRA

1.- Elaboración lodo bentonítico	$ 18,647.06 /tno.
2.- Elaboración y dosificación de la mezcla	9,067.31/tno.
3.- Operación de cada equipo de traspaleo	$ 18,115.66/tno.
4.- Perforación de barrenos	$ 6,389.67/tno.
5.- Colocación y retiro de boquillas	$ 7,377.44/tno.
6.- Colocación de la lechada en cada barreno	$ 3,761.44 /tno.
7.- Calafateo entre anillos	$ 7,737.44/tno.
	$ 71,096.02/tno.

$$\text{Costo} = \frac{\$\ 71{,}096.02/\text{tno}}{3\ \text{m/tno.}} = \$\ 23{,}698.67/\ \text{m.}$$

COSTO TOTAL MANO DE OBRA $ 23,698.67/ m.

II.- MATERIALES

1.- Tubería para conducción de lechada y agua $ 1,798.42/m.

2.- Instalaciones en equipos de traspaleos (cada-300 m) $ 991.50/m.

3.- Tubería y conexiones para la línea de inyección-de retorno (oraña) $ 1,517.35/m.

4.- Araña de inyección 284.26/m.

5.- Boquillas y conexiones para inyección (2 barr/m)

Concepto	Unidad	Costo	Cantidad	Importe
Niple 1 1/4" Ø x 1.50 m.	pza	1,785	2	$ 3,570.00
Válvula macho 1 1/4" Ø	pza	5,872	2	$ 11,744.00
				$ 15,314 /m.

$$\text{Costo} = \frac{\$\ 15,314\ /m.}{5\ \text{usos}} = \$\ 3,062.0\ /m.$$

6.- Consumos de material por metro lineal de túnel.

Concepto	Unidad	Costo	Cantidad	Importe
Cemento	kg.	135.00	1,800	243,000.00
Arena silica	M^3	3,500.00	0.48	1,680.00
Bentonita	Kg.	18.08	180	3,254.4
				$ 247,934.40/m.

7.- Material de consumo para calafateo por metro lineal $ 28,400 /m.

8.- Aditamento de perforación para barrenación $ 6,040 /m.

TOTAL COSTO MATERIALES $ 290,028.11/m.

III.- MAQUINARIA Y EQUIPO

A.- En superficie.

1.- Equipo para elaboración del lado bentonítico	$ 7,911.14/hr
2.- Equipo para preparación de mezcla e inyección hacia el túnel y cernido de arena:	
a.- Agitador vertical	$ 1,539.38/hr.
b.- Bomba moyno 3L-10	$ 1,632.92
c.- Vibrador neumático	$ 539.73
d.- Compresor	$ 2,763.43/hr
	$ 6,475.46/hr.

B.- En el túnel.

1.- Equipo de inyección en el interior del túnel y traspaleos	
a.- Agitador J-7 para lechada	$ 1,057.44/hr
b.- Bomba moyno para inyección	$ 3,265.84
2.- Equipo para perforación de barrenos.	
a.- Perforadora de pierna	$ 576.72
b.- Compresor 600 pcm.	$ 2,763.43.
	$ 7,663.43/hr.

Costo= $ 14,138.89/hr x 10h/tno. = $ 47,129.63/m.

TOTAL COSTO MAQUINARIA Y EQUIPO = $ 47,129.63/m.

III.4.2.- INTEGRACION DEL PRECIO UNITARIO PARA CONSTRUCCION DEL TUNEL CON TUNELEADORA DE PLUMA

I.-	MANO DE OBRA	$ 182,376.93 /m.
II.-	MATERIALES	$ 915,832.41 / m.
III.-	MAQUINARIA Y EQUIPO	$ 637,252.61 / m.
	COSTO DIRECTO TOTAL =	$ 1'735,460.95/ML.

ANEXO - 1

SECCION CON TUNELEADORA DE PLUMA

Radio = 4.72 mt

$\alpha = 180^\circ + 2\,(15^\circ) = 210^\circ$

Area círculo $= \pi r^2 \left(\frac{210}{360}\right)$

$= \pi\,(4.72)^2 \left(\frac{210}{360}\right) = 40.83\ m^2$

$2\beta = 90^\circ - 15^\circ = 75^\circ$

$\therefore \beta = 37.5^\circ$

$\tan\beta = \frac{e}{r} \Rightarrow e = r.\ \tan\beta.$

$e = 4.77 \tan 37.5^\circ$

$e = 3.66$

Area triángulos $= \frac{3.66 \times 4}{2} \times 4 = 29.98\ m^2$

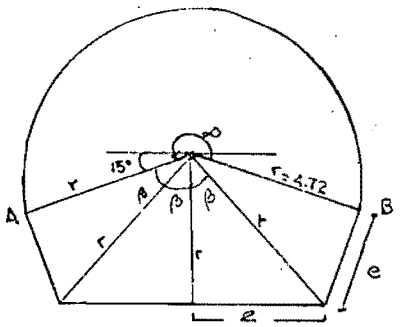
Area total = 40.83 + 29.28 $\Rightarrow$ Area sección = 70.10 M^2

Perímetro $= 2\pi r \times \frac{210}{360}$

$= 2\pi(4.72) \times \frac{210}{360} + 2\,(3.66)$

$= 17.80 + 7.32$

Perímetro = 24.62 m.



ANEXO 2

CALCULO DE VENTILACION

1.- $Qv = QP + QM.$

QV = Gastos del ventilador

QP = Gasto requerido por personal = 53 pcm.

QM = Gasto requerido por maquinaria = 70 pcm.

3 volteos de 120 HP c/u.

$QM = 3 \times 120 \times 70 = 25200$ pcm.

$QP = 53 \times 50$ personas $= 2.650$ pcm.

QV= 27,850 pcm.

QV= 13.14 m^3/seg.

2.- Diámetro $d = 0.25 \sqrt{QV}$

$d = 0.25 \sqrt{13.14}$

$d = 0.90$ m = 36"

3.- Distancia entre ventiladores.

$$DV = \frac{P}{p}$$

$$P = \frac{75 \times N \times HP.}{QV \times p.}$$

N = eficiencia = 0.75

p = 1.20 km/ m^2 peso volumétrico del-aire.

HP = 20 HP potencia ventilador.

$$= \frac{75 \times 0.75 \times 20}{13.14 \times 1.20} = 71.34 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$p = \frac{K' V^2}{d^2}$$

K' = 0.00054 coef. de fricción

V = Velocidad del aire = 20 m/s

d = 0.90 m.

$$p = 0.00054 \frac{(20)^2}{(0.90)^2} = 0.260 \text{ mm/m.}$$

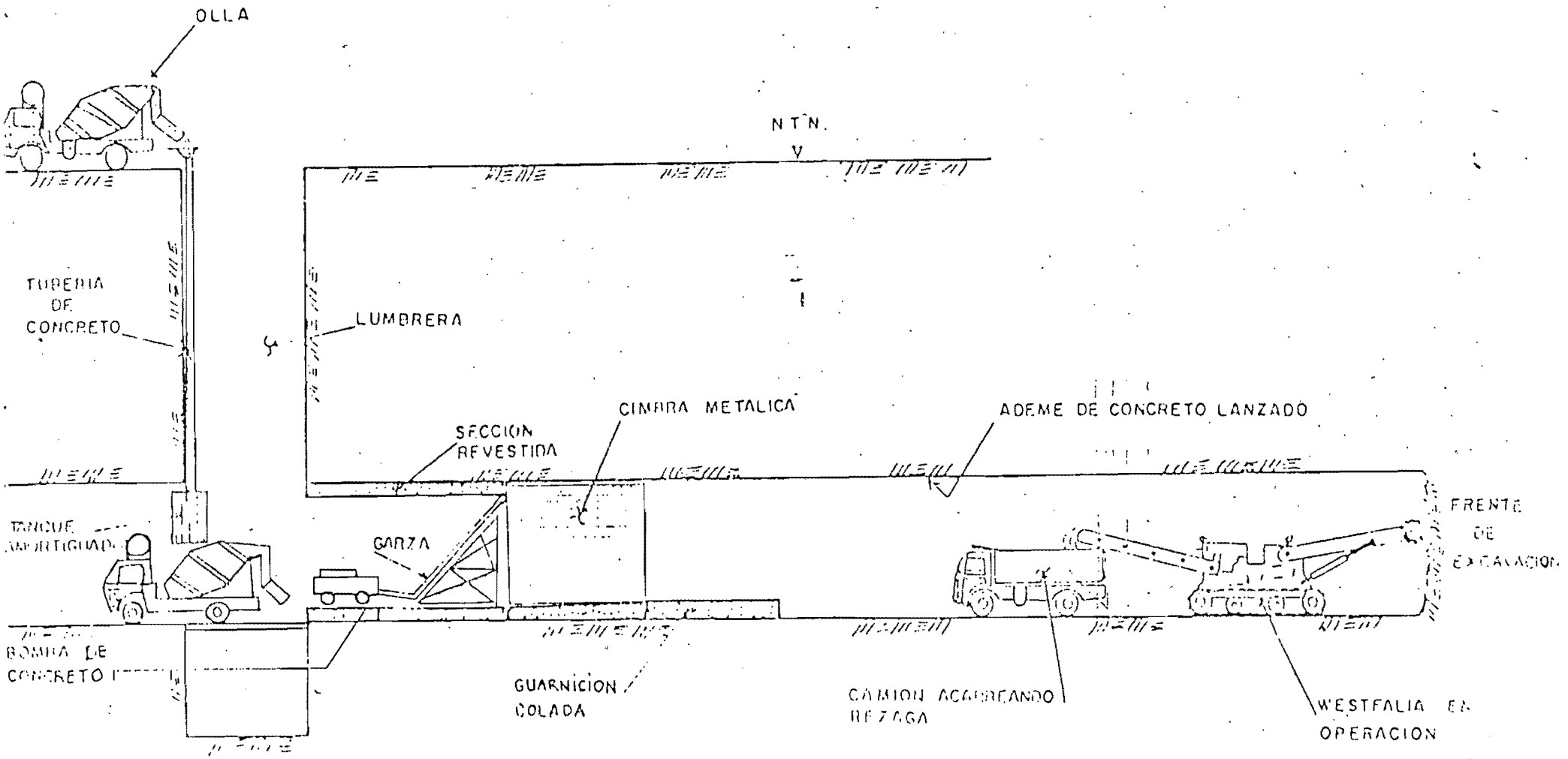
$$DV = \frac{71.34 \text{ mm/H20}}{0.260 \text{ mm/m}} = 274 \text{ mt.}$$

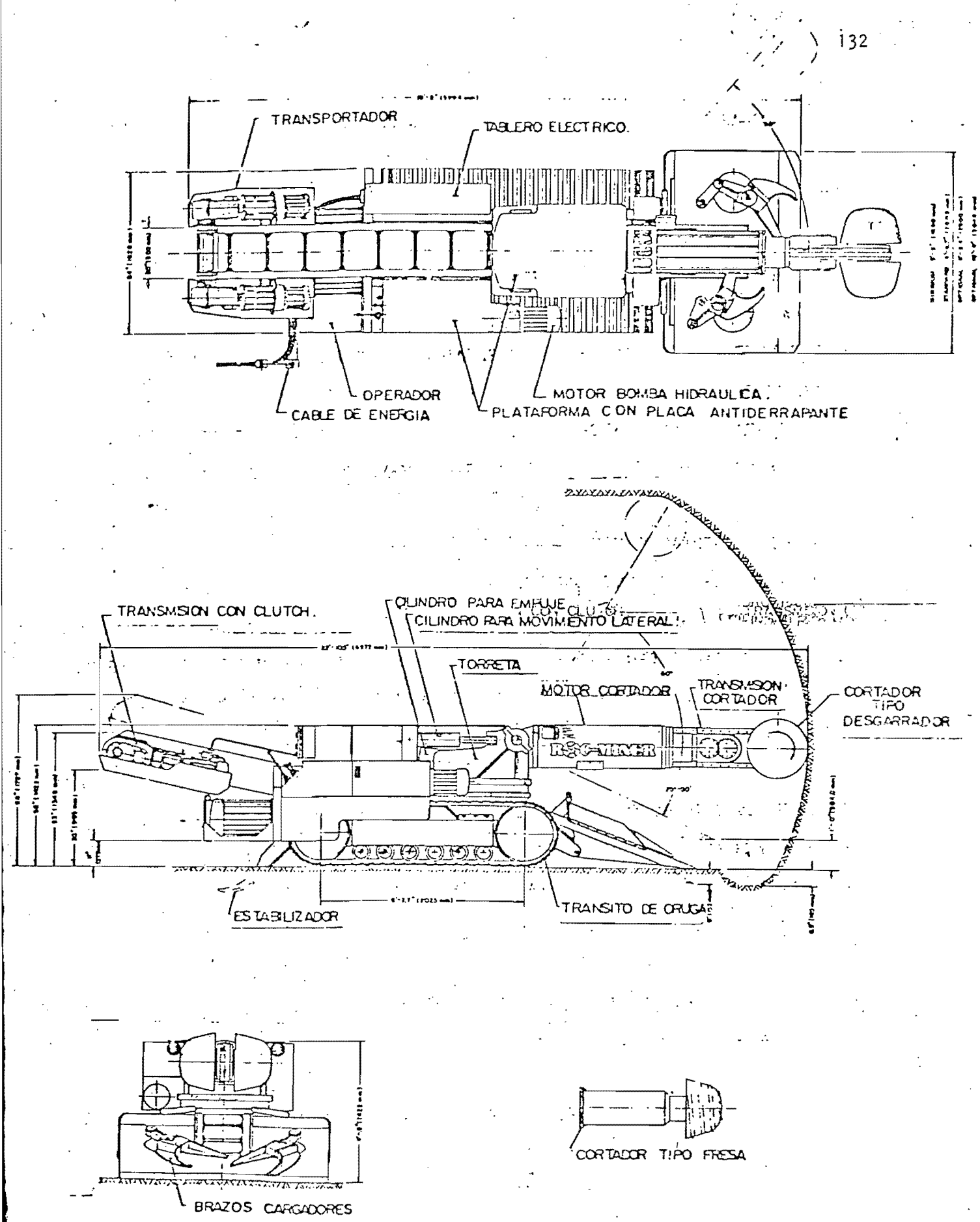
Corrección por fugas 10%

Distancia real = 274.09 = 2.47

4.- Número de ventiladores a colocar $\frac{1,100}{247} = 5$

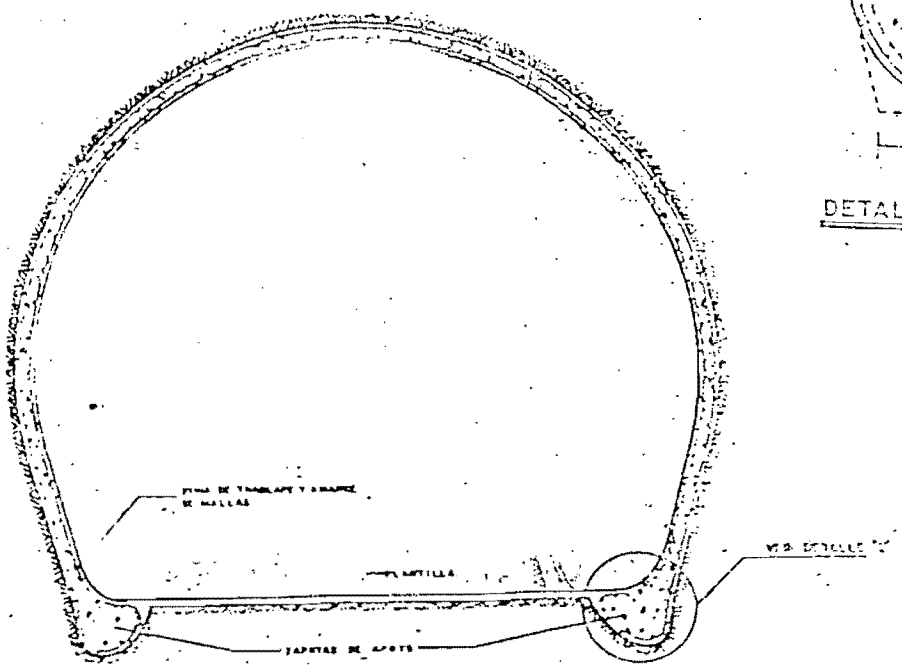
EXCAVACION Y REVESTIMIENTO SIMULTANEO

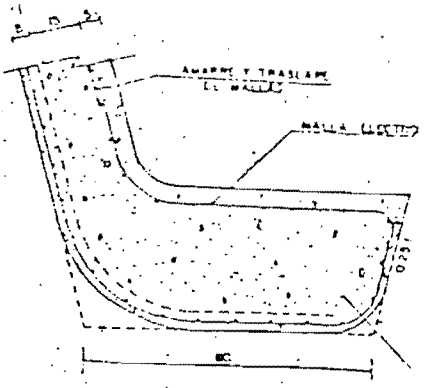



TRANSPORTADOR
TABLERO ELECTRICO.
OPERADOR
CABLE DE ENERGIA
MOTOR BOMBA HIDRAULICA.
PLATAFORMA CON PLACA ANTIDERRAPANTE
TRANSMISION CON CLUTCH.
CILINDRO PARA EMPUJE
CILINDRO PARA MOVIMIENTO LATERAL
TORRETA
MOTOR CORTADOR
TRANSMISION CORTADOR
CORTADOR TIPO DESGARRADOR
ESTABILIZADOR
TRANSITO DE ORUGAS
BRAZOS CARGADORES
CORTADOR TIPO FRESA

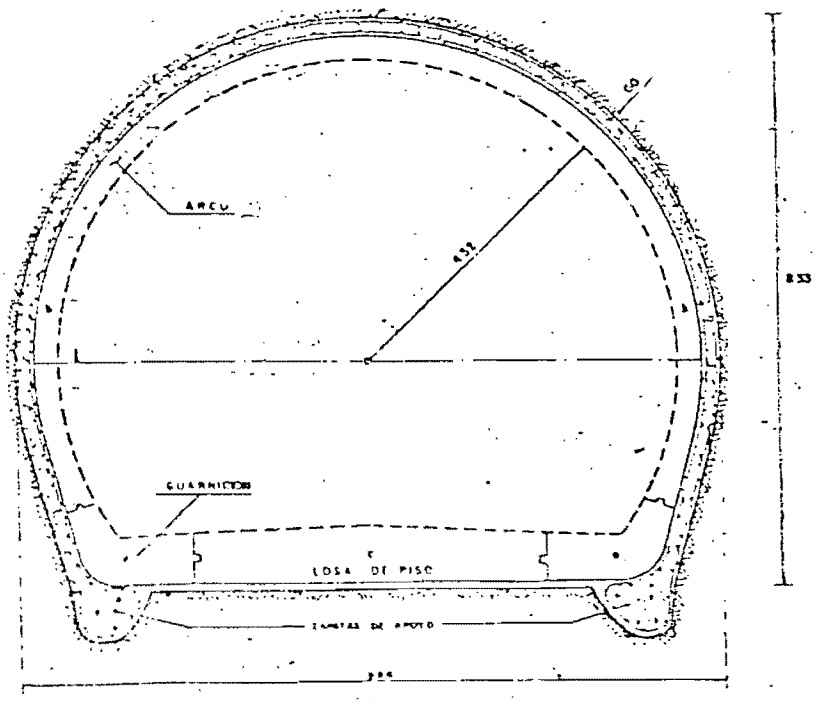
(FIG. 1)

SECCION DE TUNEL CON ADEME.





DETALLE DE ZAPATA "2"



SECCION DEL TUNEL CON REVESTIMIENTO DEFINITIVO

C O N C L U S I O N E S

IV.- CONCLUSIONES

IV.1.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS PROCEDIMIENTOS

El túnel con escudo ofrece muchas ventajas, entre las que se encuentran las siguientes:

- La excavación del túnel puede hacerse a sección completa, debido a que el escudo cubre la sección frontal del túnel resistiendo las prepresiones del terreno mientras se va construyendo el revestimiento.

- La siguiente ventaja, es consecuencia de la anterior, o sea que el revestimiento del túnel, puede realizarse en forma simultánea con la excavación.

- Ofrece también, un soporte constante al terreno en todas las direcciones.

- Facilita el trabjo de construcción, pues el extremo delantero o camisa donde se efectúa la excavación es sumamente reforzado dando así una protección adecuada a los trabajadores.

- Evita deformaciones excesivas en el terreno, reduciendo así los asentamientos en la superficie.

- El uso del sistema laser con tarjetas computadas que dirige al escudo elimina mucho tiempo de verificación después de cada empuje ayudándo a acelerar el ciclo.

- Por lo tanto el sistema lasser en el escudo genera otras ventajas - como son: reduce los costos, mejora la exactitud, reduce las perdidas y proporciona mayor seguridad.

- El escudo presenta una gran capacidad para adaptarse a los cambios de curvatura tanto horizontal como vertical, cuando se planea adecuadamente la utilización de las correspondientes dovelas correctivas.

- El escudo puede ser dirigido únicamente por el operador.

Otras ventajas respecto a los métos convencionales son:

- La utilización del recubrimiento primario de dovelas como definitivo
- Mayor limpieza en la realización de los trabajos.
- Mayor control en la construcción del túnel por la sistematización y mecanización con que cuentan.

DESVENTAJAS

- La excavación tiene lugar en el frente, y con relación a la seguridad es la actividad más difícil en el tuneleo con escudos, ya que el tuneleo requiere excavar a sección completa, lo que no es una tarea fácil, considerando que los escudos se utilizan en terrenos de baja re

sistencia y que se requiere estabilizar áreas que exceden los 50 m^2.

- En caso de que el proyecto necesitara una modificación en la sección, no se podría realizar, con el escudo.

- Comparado con el método convencional, requiere un personal más técnico, adecuado, que conozca el equipo a utilizar, ocasionando incrementos en el costo de mano de obra.

En cuanto a la Westfalia o tuneleadora de pluma, tenemos que presenta las siguientes ventajas esenciales:

- Su versatilidad de movimiento debido a que tiene una pluma oscilante en todas las direcciones, y en cuyo extremo se encuentra el cortador, facilita el trabajo de excavación.

- Como consecuencia de lo anterior, también se presenta otra gran ventaja, y es la de poder excavar nichos cuando se presentan en forma perpendicular.

- Otra ventaja de Westfalia es la de poder recoger el material desprendido el cual cae en una charola y unos brazos moviles lo empujan hacia la banda transportadora.

- Se puede, en caso necesario, ampliar o efectuar cambios en las secciones del proyecto.

- Con el uso de la tuneleadora, se requiere menos personal en el frente, que el utilizado con el escudo, lo que repercute en una reducción de los costos en la mano de obra.

- La excavación puede efectuarse a sección completa debido a la resistencia que presenta el suelo.

- Como el suelo a excavar es cohesivo, el revestimiento del túnel puede realizarse simultáneamente con la excavación.

- La anterior ventaja trae como consecuencia, mayores rendimientos de avance en la construcción del túnel, pudiendo así, acabar la obra en un tiempo menor

DESVENTAJAS

- Aunque la pluma tiene en el extremo un colector de polvo, es necesario una excelente ventilación, pues el polvo provocado durante el ataque es excesivo, y aún no se ha resuelto en forma satisfactoria .

- Comparado con el escudo, este procedimiento no presento mucha seguridad, para los trabajadores, ya que están expuestos a caídas por resequedad, ya que no tienen un armazón que los proteja, como ocurre con el escudo.

IV.2.- COMPARATIVO DE COSTOS

Partiendo del análisis de los tres elementos que integran el costo, como son: mano de obra, materiales y equipo, podemos determinar un estudio comparativo del costo, entre el uso de tuneleadora y el escudo de frente abierto de cada uno de estos rubros.

Con base en los datos y en los resultados obtenidos se puede llevar a cabo la comparación respectiva que se presenta en el siguiente cuadro:

COSTO POR ML.	ESCUDO	TUNELEADORA
Mano de obra	139,914,67	182,375.93
Materiales	1'392,022.22	915,832.41
Equipo	746,812.79	637.252.61
COSTO TOTAL DIRECTO/ M.L.	$ 2' 278,749.59/m.	$ 1 735,460.95/m.

En el cuadro anterior podemos observar que el costo deemano de obra es mayor en la tuneleadora que en el escudo, cuya diferencia representa un porcentaje del 13.0% mayor, lo cual viene a repercutir en los costos totales para la ejecución de la obra. Dicha diferencia se debe principalmente a que en la tuneleadora, se utiliza más personal para realizar las actividades.

En cuanto a los materiales, la diferencia en costos que presenta el escudo es aún mayor en porcentaje, sobre la tuneleadora con respecto al rubro anterior, y que lógicamente viene a repercutir aún más en la determinación del costo total de la obra. Esta diferencia radica prin -

cipalmente en los materiales empleados para la construcción del revestimiento del túnel ya que la fabricación o adquisición y colocación de dovelas es mucho más costosa que el revestimiento de concreto utilizado con la tuneleadora.

El costo de la maquinaria y equipo calculado por metro lineal no representa una diferencia muy significativa, pero tiene gran influencia en dicha comparación. El uso de la tuneleadora demanda más equipo y maquinaria que con el escudo, pero este último es más sofisticado y por lo tanto de un precio mayor.

Como consecuencia de lo anterior, se determina que el costo por metro lineal para la construcción de este tramo de túnel, es inferior con el uso de la tuneleadora de pluma, reflejando un beneficio económico para la empresa.

Ahora si tenemos en cuenta el factor tiempo:

Duración de la obra con escudo:

$$T = \frac{1{,}100 \text{ m}}{4.8 \text{ m/día}} = 229 \text{ días}$$

$$\frac{229 \text{ días}}{25 \text{ días/mes}} = 9.16 \text{ meses}$$

Duración obra con tuneleadora.

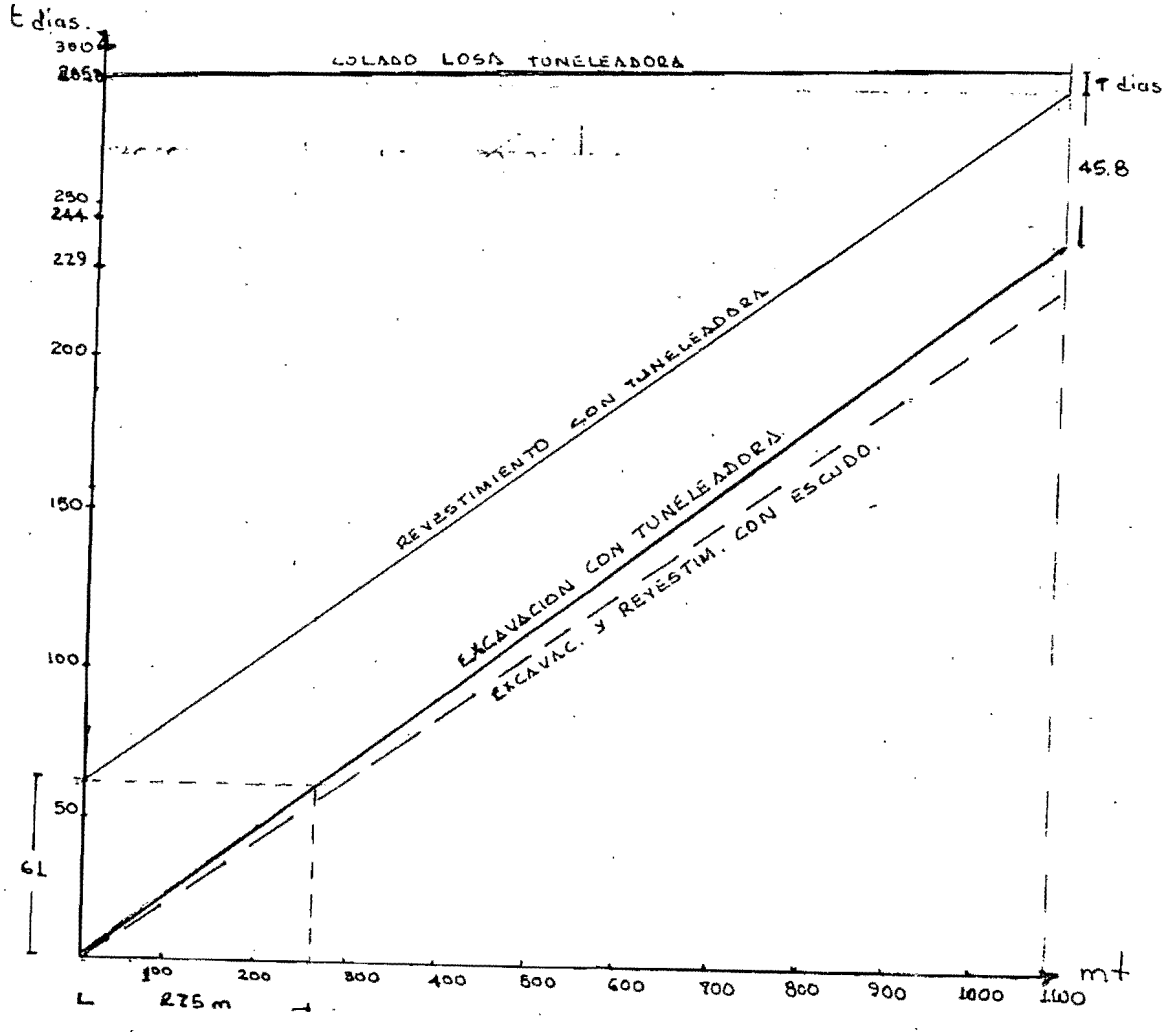
Excavación y ademe $T = \frac{1100 \text{ m}}{4.50 \text{ m/día}} = 244$ días

Revestimiento $T = \frac{275m(dif)}{6\ m/día} = 45.8$ días

Colado losa (1 semana) = 7 días

= 296.83 días

$T = \frac{296.83\ días}{25\ días/mes.} = 11.87$ meses



Suponiendo que existen indirectos por 30% del costo directo de cada mes:

Costo /mes escudo = 2'278,749.59/m $\times$ $4.\frac{80\ m}{día}$ $\times$ $\frac{25\ días}{mes}$ = \$ 273'449,950.7/mes

Costo/mes tuneleadora = 1'735,460.95 $\times$ $4.5\frac{m}{día}$ $\times$ $25\ \frac{días}{mes}$ = \$ 195'239,356.80/m.

Costo Escudo: (273'449,950.7 + 273'449,950.7 $\times$ 0.30) $\times$ 9.16

Costo total con escudo $\doteq$ \$ 3256'242,012.0

Costo tuneleadora = (195'239,356.80 + 195'239,356.80 $\times$ 0.30) 11.87

COSTO TOTAL = \$ 3012'738,514.00

De lo anterior se determina que el costo total, incluyendo el factor tiempo es menor con la tuneleadora que con el escudo.

IV.3.- CONCLUSION FINAL

Si tenemos en cuenta unicamente el factor económico a través de los costos analizados anteriormente, o sea a precios constantes, se concluye que la utilización de la tuneleadora de pluma es más factible para la construcción del proyecto. Sin embargo, debemos tener en cuenta otros factores como son: el tiempo de ejecución de la obra y la seguridad que representan cada uno de estos equipos.

En cuanto al tiempo, resulta más beneficioso, el escudo ya que la obra referida se desarrollará en 9.1 meses aproximadamente y en cambio con el uso de la tuneleadora la misma obra se desarrollará en 11.87 meses. Esto trae como consecuencia un incremento en los costos de tuneleadora, ya que en dicho período de tiempo el precio de los materiales y mano de obra, así como la renta de los equipos, estarán en constante aumento ocasionado por la situación económica actual que atraviesa el país.

Otro aspecto importante a tener en cuenta en la determinación de la viabilidad de uno u otro equipo, y sobre el cual debemos hacer hincapié, es en el alto índice de seguridad que proporciona el método de excavación con escudo, ya que es superior al que proporcionan otros métodos. El número de accidentes de trabajo es reducido y lo que es más importante la mayoría de ellos son leves.

Por lo tanto la utilización de uno u otro equipo, depende del aspec

to que más interese a la compañía constructora, ya sean costos, tiempo o seguridad de la obra.

Para finalizar y teniendo en cuenta exclusivamente el aspecto económico analizado a precios constantes, se recomienda el uso de tuneleadora de pluma para la construcción de este tramo del metro.