

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

28
75

REVESTIMIENTO DEFINITIVO DE UN TRAMO
DEL INTERCEPTOR CENTRO PONIENTE

T E S I S
QUE PARA OBTENER
EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A
JUAN MANUEL GALAN RIZO



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

REVESTIMIENTO DEFINITIVO DE UN TRAMO DEL
INTERCEPTOR CENTRO PONIENTE

1.- ANTECEDENTES	5
2.- TRABAJOS PRELIMINARES	15
3.- FABRICACION, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO.	22
4.- PROBLEMAS ESPECIALES	87
5.- CONCLUSIONES	97

1.- ANTECEDENTES

La Ciudad de México se encuentra situada en la región sures- te de la cuenca cerrada del Valle de México, siendo sus límites: Al norte las Sierras de Pachuca y Tezontlalpan, al noreste la - Sierra de Tepotzotlan, al sureste las Sierras de Montealto y de Las Cruces, al este La Sierra Nevada, la Sierra de Río Frío y - los Llanos de Apam y al sur la Sierra del Ajusco y la Sierra de Chichinautzin que antes de formarse esta última era la salida - natural del Valle hacia Cuernavaca; después de la erupción del Xitle el Valle quedó sin salida por lo que se formó un lago que rodeaba las actuales poblaciones de Chalco, Tlahuac, Xochimilco Tlalpan, Tacubaya, Tlalnepantla, Cuautitlan, Zumpango, San Jeróni mo, Teotihuacan, Acolman y Texcoco.

En 1449, Netzanualcoyotl construyó un dique de 16 Kilómetros de longitud que se extendió desde el Cerro de la Estrella en Iz tapalapa hasta Atzacualco, pasando por el Cerro del Peñón, con esta obra se protegía a la población de las aguas procedentes - del norte de la Cuenca que eran las más caudalosas y que escu- rrian hacia el Lago de Texcoco en aquél entonces el lugar más - bajo del Valle.

Este dique separaba además la laguna de México constituida - en su totalidad de agua dulce, de las aguas salobres del Lago - de Texcoco.

Posteriormente se construyeron los diques de Tlahuac y Mexi- caltzingo que controlaban las fluviales del sur.

En época Virreinal se construyó el dique de San Cristobal --

que cerró la garganta por la cual derramaban sus aguas las lagunas de Zumpango, Xaltocan y San Cristobal al lago de Texcoco.

En 1604 y 1607 grandes inundaciones de la Ciudad de México - motivadas principalmente por los abundantes escurrimientos del Río Cuautitlán, impulsaron a la búsqueda de una solución drástica para evitarlas, consistente en abrir la Cuenca natural cerrada del Valle de México.

El Cosmógrafo Alemán Enrico Martinez fué el autor del proyecto del primer túnel en Nochistongo al noreste de la Cuenca por el cual fueron desviadas las aguas del Río Cuautitlán; este socavón de 10.5 metros cuadrados de sección y 7.0 Kilometros de longitud aproximada, se construyó en un tiempo tan breve (11 meses) que aún es una marca insuperable. El 18 de septiembre de 1608 por primera vez salieron las aguas de la Cuenca hacia el Río Tula, gracias a este socavón, que fué de tanta utilidad. La obra se malogró por celos que impidieron proveer de fondos para revestir el túnel y evitar los caídos y derrumbes que pronto lo obturaron a los pocos meses de estar funcionando; después de graves y repetidas inundaciones en 1630 se ordena al fin que el desague se haga en tajo, para sustituir el socavón por una excavación abierta, y fué hasta el año 1789 a través de 160 años de trabajos, la obra quedó terminada y dió salida permanentemente al Río Cuautitlán.

Después de las obras del socavón y más tarde del tajo de Nochistongo, no se hizo nada radical para defender a la Ciudad de México de las inundaciones, hasta que se iniciaron los trabajos del túnel de Tequisquiác y del Gran Canal del Desague, en 1856. Estas obras sufrieron una serie de interrupciones durante su e-

jecución hasta concluirse en marzo de 1900.

Además del tajo de Nochistongo y del túnel (viejo) de Tequisquiac, el Valle cuenta con otro túnel, llamado túnel nuevo de Tequisquiac, que fué construido entre 1940 y 1952. Con estas salidas la otrora Cuenca cerrada es hoy tributaria de la Cuenca del Río Tula afluente del Moctezuma, y éste del Río Pánuco, que desemboca en el Golfo de México, a la altura del Puerto de Tampico.

Todas las obras de desagüe construidas en aquellas épocas, incluyendo las red de atarjeas y colectores, el Gran Canal y los túneles de Tequisquiac, se proyectaron para trabajar por gravedad y así funcionaron originalmente, sin embargo la perforación y explotación de numerosos pozos de agua urbanos aceleró el hundimiento general del valle, merced a la consolidación de las arcillas compresibles en algunos puntos de la Ciudad como Paseo de La Reforma y Avenida Juárez, dicho hundimiento al llegar a ser mayor de 8 metros, provocando con esto serios problemas en la red produciéndose columpios y contrapendientes en los conductos que finalmente debían desaguar al gran Canal por gravedad. Este estado de la red provocó serias inundaciones en la Ciudad y obligó a las autoridades a reconstruir gran parte de ella y auxiliar el sistema de desagüe con bombeo, incrementándose notablemente los costos de operación y mantenimiento del sistema.

Hasta esta fecha para desalojar las aguas negras pluviales se contaba con:

El Canal del Desagüe, que drena por bombeo la zona baja de la

Ciudad situado en terrenos del antiguo lago, en su origen año 1900, fué construido para un gasto de 5 metros cúbicos por segundo, en los primeros 20 Kilómetros y 17.5 en los restantes y ha trabajado en ocasiones con gastos máximos hasta de 130 metros cúbicos por segundo, mediante la construcción y sobreelevación de bordos marginales.

El Río de Churubusco que funciona como estructura auxiliar drenando la parte sur de la Ciudad y conduciendo los escurrimientos al lago de Texcoco, donde son regularizados y posteriormente encauzados al Gran Canal, aguas abajo en el Kilómetro 17

Desde el año 1954, la entonces Dirección General de Obras Hidráulicas del Departamento Del Distrito Federal, inició los estudios del Plan General de Desague del Valle de México, para dar una solución definitiva y reemplazar el antiguo Canal del Desague, por una estructura suficientemente profunda que no fuera afectada por el hundimiento.

En 1960 se puso en operación el Interceptor del Poniente con 4 metros de diámetro y 0.0005 de pendiente; este Interceptor se inicia en la Avenida San Jerónimo, siguiendo un trazo sensiblemente paralelo al Anillo Periférico, hasta llegar al Vaso de Cristo en las cercanías de Ciudad Satélite.

En dicho Vaso se inicia el Emisor Poniente que recorre la zona de Puente De Vigas, Tlalnepantla, Barrientos, Cuautitlán, Teoloyucan y desfoga en el Lago de Zumpango. En este sitio se mantiene una regularización de las aguas para desalojarlas del valle por medio de los túneles de Tequisquiac hasta el Río Moctezuma, o bien por el tajo de Nochistongo, hacia la Presa Re---

quena.

En 1965, después de estudiar diferentes alternativas, en el proyecto aprobado se contemplaba un sistema de dos Interceptores Profundos y un Emisor Central, que con el Interceptor y Emisor del Poniente, pudiesen drenar la Cuenca por gravedad y evitar los riesgos de las inundaciones.

Los estudios preliminares de Mecánica de Suelos se iniciaron en 1966, y el trazo de los Interceptores Profundos y el Emisor Central quedaron de la siguiente manera:

El Interceptor Central que consta de 25 Kilómetros de túnel de sección circular con 5 metros de diámetro terminado a una profundidad media de 30 metros y una pendiente de 0.0005, desalojará 90 metros cúbicos por segundo; su trazo se inicia en la confluencia de la calle Tres Cruces con Tasqueña, y continúa -- hacia el norte bajo las calles de Centenario, Calzada Coyoacan, Doctor Vertíz, Cuahutemoc, Bucareli, Rosales, Guerrero, Insurgentes Norte, Avenida de los 100 metros hasta las inmediaciones de Tenayuca en el Estado de México.

Este Interceptor está construido y en plena operación a partir de la lumbrera 9 (Insurgentes Norte y Strauss) hasta la lumbrera 0 del Emisor Central en Tenayuca; actualmente (1983) se continúa con su construcción llevando ésta hasta la lumbrera 6 (Avenida Cuahutemoc y Doctor Velazco) en Revestimiento Definitivo. En la Avenida 5 y Río de Churubusco de la colonia 201, se inicia el Interceptor Oriente, con una longitud de 27 kilómetro y diámetro de 5 metros para un desalojo de 110 metros cúbicos por segundo y una profundidad media de 20 metros; prosigue por debajo de las calles de Azucar y Francisco del Paso y Troncoso

hasta el cruce de la calzada Zaragoza cambia de dirección hacia el Poniente por esta misma calzada hasta la Avenida Eduardo Molina y continúa hacia el norte hasta el Río de los Remedios gira hacia el poniente hasta encontrarse con el Interceptor Central; dentro de este Interceptor se considera la Obra de Toma del Gran Canal construida a la altura de la calle 157, para poder derivar hasta 100 metros cúbicos por segundo; esta estructura se construyó de la siguiente manera: saliendo del Gran Canal el agua pasa por un túnel rectangular de 6.50 por 4.50 metros, hasta llegar a la lumbrera 8A, de 6 metros de diámetro, en donde hay una caída de 11.60 metros, sigue por un túnel de 5 metros de diámetro hasta la lumbrera 8B y ahí se une mediante un túnel con varias curvas, con el Interceptor Oriente.

El Emisor Central, conducto de 6.50 metros de diámetro terminado y longitud de 50 kilómetros, con profundidad media de 120 metros una pendiente geométrica de 0.00193, para un desalojo de 220 metros cúbicos por segundo; se inicia en el cruce de los dos Interceptores mencionados, continúa por las poblaciones: -- Santa Cecilia, Barrientos, Lago de Guadalupe, Tepetzotlán, Coyotepec, Melchor Ocampo y termina en Río del Salto cerca de la población de Tepejé del Río en el estado de Hidalgo, consta de 50 kilómetros que aunados a los 18 de los Interceptores Central y Oriente totalizan los 68 kilómetros realizados en la primera etapa.

Algunas obras complementarias que se construyeron son:

A) En el Interceptor Oriente se construyó la Obra de toma que se menciona anteriormente y que sirve para aliviar el Gran Canal del Desague.

B) En el Interceptor Central, se aceptó el Colector del Río -- Consulado, mediante una caja de captación con varias compuertas reguladoras y un cajón excavado a cielo abierto que conduce las aguas a una lumbrera para unir las a las del Interceptor Central por medio de un túnel.

Se captó el colector 11, con un sistema semejante al Río Consulado.

Capatación Colector 15, consta de una caja de cuatro compuertas rectas y un cajón similar a los anteriores, una lumbrera y un túnel de conexión para unir las aguas a las del Interceptor Central.

Esta estructura fué diseñada para manejar 25 metros cúbicos de aguas de lluvia y 5 metros cúbicos de aguas de desechos y lo más importante es que se pensó que el tramo del colector 15, entre esta lumbrera derivadora y el Gran Canal, va a trabajar - en épocas de máxima avenida en contrapendiente, para poder derivar un gasto máximo de 30 metros cúbicos por segundo que aunado a los 30 metros cúbicos que trae del poniente suman 60 metros cúbicos por segundo que es la capacidad máxima total que esta estructura aportará al Interceptor Central es decir el 60% de la capacidad de éste.

Más adelante, se hizo la captación del Río de los Remedios, cuya función es manejar las excedencias que han causado importantes inundaciones en otros años, en las colonias: Progreso Nacional y otras aledañas.

Entre la lumbrera 13 y la lumbrera 0 del Emisor Central el Interceptor capta las aguas del Río Tlalnepantla, mediante una estructura hidráulica similar a la anterior. Este Río fué captado además en la lumbrera 2 del Interceptor Centro Poniente.

C) En el Emisor Central. La zona de transición de los Interceptores y el Emisor Central, cuya sección transversal de proyecto variable es para el Interceptor Oriente de 116.50 metros, y para el Interceptor Central de 110.26 metros de los cuales 95.00 metros son comunes.

En el Portal de Salida está una estructura de descarga con obra derivadora, localizada sobre el Río del Salto, cerca de la población de Tula Hidalgo.

Toda esta estructura se estudió en un modelo hidráulico y se vió que los 200 metros cúbicos por segundo se manejarían satisfactoriamente, así como se podría contar con 60 metros cúbicos por segundo para el distrito de Riego número 03, que es otra de las funciones socioeconómicas para la que fué diseñado el Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México.

Por lo que atañe a las funciones que desempeña el Emisor Central y los Interceptores Profundos son los siguientes:

El Emisor Central tiene la finalidad de conducir los escurrimientos generados en la Ciudad hasta su descarga en el Río del Salto, su capacidad es de 200 metros cúbicos por segundo.

Interceptor Oriente, su objeto será captar el volumen del Canal Nacional y beneficiará principalmente a la zona de Tlahuac y Xochimilco. Actualmente alivian su descarga al Gran Canal del Desague.

El Interceptor Centro Poniente auxiliará en la conducción de su volumen al Interceptor Central, reduciendo su área de captación, proveniente de los colectores que se encuentran en sus partes altas. También captará otros volúmenes provenientes del Río de los Remedios y del Emisor Central.

El Interceptor Oriente Sur captará parte del flujo del canal de Garay, que conduce las aguas del Sur Oriente de la Ciudad.

El Interceptor Centro Centro interconectará los Interceptores Central y Oriente, con el fin de manejar una mayor distribución de los volúmenes de dichas estructuras hidráulicas, para mejor eficiencia del conjunto.

Los trabajos de la segunda etapa se reiniciarán a partir del 4 de octubre de 1977, con la continuación de la excavación del Interceptor Central y nuevos Interceptores que comprenden la ejecución de 68.8 kilómetros de túnel, distribuidos en los siguientes Interceptores:

INTERCEPTOR	DIAMETRO TERMINADO	LONGITUD	PROFUNDIDAD	LUMB
Central	4 y 5 metros	14.0 km	30 metros	9
Oriente	5 metros	15.6 km	30 metros	8
Centro Poniente	4 metros	21.2 km	35 metros	12
Oriente Sur	3.5 metros	14.0 km	15 metros	7
Centro Centro	4 metros	4.0 km	30 metros	2
	T O T A L	68.8 km		

En la construcción de esta etapa se debe destacar como influyen las formaciones geológicas del Valle de México en los procedimientos de construcción; un ejemplo dará idea de las dificultades técnicas que fué necesario vencer. De acuerdo con la clasificación del Valle, se divide en tres zonas denominadas de Lomas, de transición y del Lago.

El Interceptor Centro Poniente está alojado en la zona de -- Transición y también en la de Lomas; la primera constituida ---

principalmente por suelos areno-limosos y limo-arenosos, y la segunda, por andesitas y tobas; esto permite excavar con el procedimiento convencional por medios mecánicos en el frente y rezagadoras, equipo de vía, locomotoras y plataformas con botes - para el acarreo interior y manteado por medio de malacates y torres.

Pero en el caso del Interceptor Central, donde se presentan suelos blandos de la zona del Lago, se ha tenido que recurrir a procedimientos especializados como el uso de Escudo de frente - abierto, auxiliado con aire comprimido para la estabilización - del frente y revestimiento primario (soporte), a base de dovelas de concreto reforzado.

Con este procedimiento se construyó el tramo 10-9 en la primera etapa; en la actualidad en la segunda etapa, también se usó en el tramo de las lumbreras 9 a 6 mediante presión de 0.9 kilogramos por centímetro cuadrado.

Para percatarse del funcionamiento de los sistemas de desalajo, ante la magnitud de las precipitaciones pluviales en la temporada de lluvia, en los sistemas de desalajo de las aguas, se tiene los siguientes datos:

SISTEMAS	ESTIAJE	LLUVIAS	CAPACIDAD
Drenaje Profundo	8.36 M3/seg	21 M3/seg	200 M3/seg
Río Churubusco	8.15 "	12 "	100 "
Gran Canal	28.00 "	32 "	175 "

2.- TRABAJOS PRELIMINARES

Para planear los estudios previos del Intreceptor Centro Poniente en la disciplina topográfica, se emplearon planos fotogramétricos del área metropolitana a escala de 1:2000, con curvas de nivel cada 2 metros, teniendo como apoyo la triangulación catastral del Distrito Federal.

El progreso técnico de los métodos de construcción íntimamente ligados a los nuevos conocimientos sobre Mécanica de Suelos ha suministrado preocupación para mejorar las bases de control, trazado y replanteo de túneles tanto de métodos como de instrumental requerido y organización del desarrollo de los trabajos en la superficie y en la excavación subterránea sin interferencias e impedimentos a otras actividades propias de la construcción de túneles.

En la exploración primero y después en la construcción de una obra de la magnitud del Sistema de Drenaje Profundo, interviene la ciencia Geológica con la mayoría de sus disciplinas.

Una vez concebida por parte del Ingeniero la idea fundamental y las magnas directivas de la obra, es necesario movilizar para el buen éxito de los trabajos, la totalidad de los conocimientos tectónicos, estratigráficos, hidrológicos, sismológicos y geotécnicos al alcance de la Geología. Ello se hace como parte rigurosa de la planeación general, así como para resolver -- problemas de detalle una vez que la obra avanza. Pero aún así no está uno a salvo de sorpresas y descubrimientos, accidentes

y penosas demoras, pues éstas son normales en el curso del desarrollo de una obra gigantesca como fué la primera etapa del Sistema de Drenaje Profundo y como es ésta segunda etapa, y cuando está todo dicho y hecho resalta la gran verdad, una cosa es el augurio con su proyección de la realidad y otra es la ruda realidad, especialmente cuando se trata de túneles en rocas volcánicas fracturadas debajo del nivel freático.

La construcción del Interceptor Centro Poniente se concibió excavándolo a una profundidad promedio de 35 metros con el fin de situarlo abajo de lo que se conoció en la Cuenca como la capa dura del estrato bajo de arcillas lacustres. Así quedaría dicho Interceptor emplazado en la parte superior del estrato inferior de arcillas lacustres. Esto se hacía deliberadamente, pues el estrato ya había pasado por la fase de consolidación y asentamientos inducidos por la extracción de agua de los acuíferos subyacentes. Así se concluye que el túnel ya no sufriría consecuencias graves de futuros hundimientos de la Ciudad, ahora ya confinados principalmente al estrato superior de arcillas lacustres.

En base a las características geométricas del Interceptor -- Centro Poniente, a las propiedades mecánicas de los materiales y las recomendaciones emanadas por el estudio geológico así como las mediciones de cargas y deformaciones realizadas IN SITU, se procedió al diseño del soporte temporal del túnel formado -- principalmente por:

- A) Marcos metálicos con sección I perfil Rectangular de 8" por 5 1/4"
- B) Concreto Lanzado .

La excavación del túnel para desalojar las aguas negras y -- pluviales de la zona urbana de la Ciudad de México en su segunda etapa, (Interceptor Centro Poniente), se lleva a cabo en una longitud de 21.2 kilómetros y a una profundidad promedio de 35 metros a través de los cuales se van encontrando los más diversos materiales en cuanto a su origen y resistencia, los factores que más influyen en el proyecto de los sistemas constructivos son fundamentalmente las condiciones geológicas de los sitios por donde atraviesa así como sus dimensiones.

En las zonas donde se encontraron rocas se llevó a cabo un proceso constructivo de acuerdo a las siguientes operaciones:

- 1.- Excavación
- 2.- Ademado provisional
- 3.- Rezaga
- 4.- Protección con ademe provisional, sellado, drenaje y ventilación del túnel.

Las lumbreras se utilizan para realizar la excavación del túnel por varios frentes de ataque. Estas se excavaron empleando diferentes procedimientos constructivos tanto en suelos como en rocas.

El volumen total de la obra, aunado a las características de los materiales por excavar, dió lugar a problemas en cuanto a la selección y obtención del personal, del equipo y de los materiales; planeación, programación y control.

Dadas las diferentes calidades del material encontrado, desde roca sólida con poco fisuramiento hasta suelos limosos y arenas sueltas, la combinación de las operaciones en el túneleo va

rió de acuerdo a las necesidades constructivas, a las herramientas de trabajo, al equipo y a los medios de rezaga.

El tipo de excavación que se utilizó en el túnel del Interceptor Centro Poniente, fué a media sección con rompedoras neumáticas, para prevenir un posible desprendimiento debido a las características del terreno..

Se efectúa la excavación a media sección abriendo inicialmente la mitad superior del túnel, haciendo un banco de material y colocando ademe provisional de marcos metálicos ó concreto lanzado en esta sección, posteriormente unos metros atrás (aproximadamente 5 metros), se excava la mitad inferior colocando las viguetas de apoyo del marco ó ademando con concreto lanzado así se excava o banquea el material de la sección superior y al mismo tiempo se excava y rezaga una parte de la sección inferior.

La Rastra (viguetas de sección I Perfil Rectangular de 8" por 5 1/4"), además de servir como apoyo a los marcos en la media sección superior de la excavación, se utiliza como una trabe para soportarlos al momento de excavar la media sección inferior, esta trabe queda apoyada en el terreno de la media sección superior y su otro extremo en los últimos marcos completos del túnel tal como lo indica la figura 1.

La rezaga se extrae del túnel fundamentalmente en tres operaciones:

- 1.- Carga del material en el frente, posterior a la excavación
- 2.- Transporte del material del frente a la lumbrera.
- 3.- Manteo o elevación del material del fondo de la lumbrera a la superficie.

EXCAVACION A MEDIA SECCION

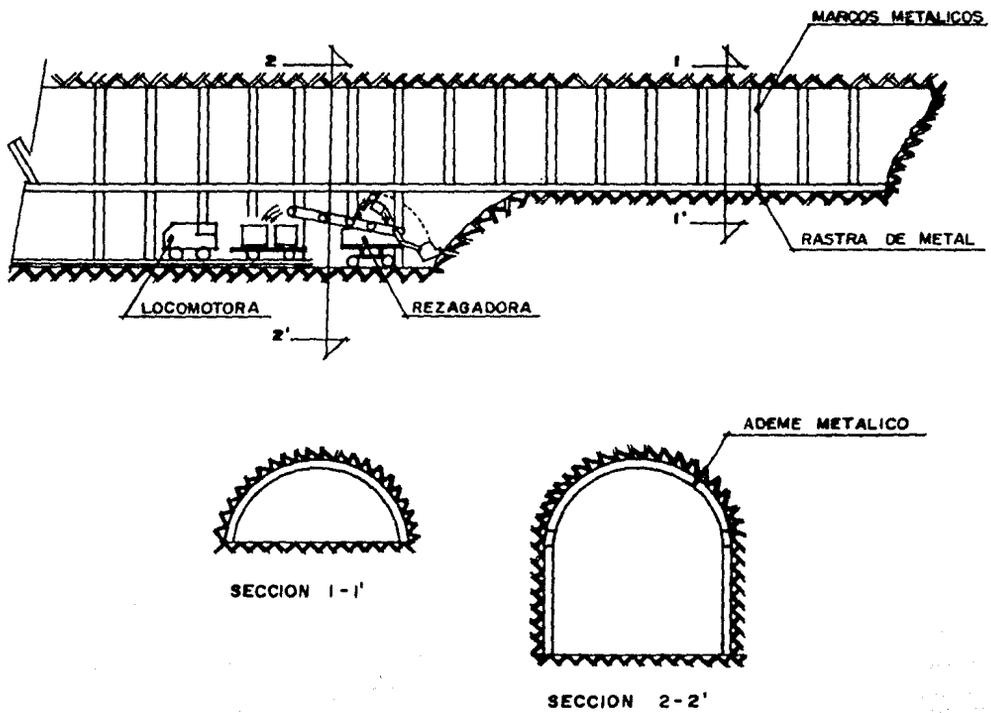


FIG. No. 1

La carga del material en el frente de excavación se efectuó principalmente con rezagadoras neumáticas marca EIMCO, con un cucharón que descarga en una tolva y de allí por medio de una banda son llenados los botes.

La rezagadora usa para su tránsito un tramo corto de vía, la vía definitiva va colocada por el centro a lo largo del túnel y por ella llega la locomotora hasta el frente, llevando un tren de botes para rezaga de 1,3 metros cúbicos de capacidad montados sobre plataformas (2 en cada plataforma). A una distancia aproximada de 200 metros atrás del frente de excavación, se lleva un cambio californiano en el cual se cambian los botes llenos por botes vacíos para llevar éstos al frente; una vez llenos se transportan a la lumbrera donde son manteados por medio de un malacate de doble tambor, se acciona de tal forma que cuando un bote sube lleno, el otro baja vacío al mismo tiempo, mientras uno hace la descarga en lo alto de la torre el otro queda colocado sobre la plataforma.

La ventilación en el túnel se llevó a cabo por medio de ventiladores eléctricos de 36" de diámetro colocados a cada 450 metros y un tubo de ventilación del mismo diámetro que se lleva aproximadamente 20 metros atrás del frente de excavación para evitar intemperización del material y posibles desprendimientos.

Como actividad simultánea a la rezaga se encuentra la ademazado del frente de excavación; este consiste en el retiro de todo el material inestable, con objeto de evitar desprendimientos de materiales flojos en el momento de estar trabajando en el ademado, una vez efectuada la excavación y retirada la rezaga

se efectúa el ademado del frente con la colocación de marcos -- metálicos y retaque de madera ó bien por concreto lanzado. El objeto de este ademe es garantizar la estabilidad del túnel entre el momento de la excavación y el colado del Revestimiento Definitivo.

3.- FABRICACION, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO

CARACTERISTICAS DE CONCRETO PARA REVESTIMIENTO

El concreto para el revestimiento de los túneles, además de cumplir con los requisitos de resistencia estructural, durabilidad, estabilidad volumétrica y baja permeabilidad necesita tener una trabajabilidad adecuada a las condiciones de manejo, -- transporte y colocación en su posición final, por otra parte, - desde el punto de vista hidráulico es fundamental obtener una superficie terminada lisa, por lo que las mezclas utilizadas deben permitir dicho acabado.

Dado que el concreto estará en contacto con aguas negras es necesario mejorar su resistencia al ataque de los sulfatos utilizando cementos con bajo contenido de aluminato tricálcico .

La resistencia de proyecto es de 250 kilogramos por centímetro cuadrado pero en la realidad se han obtenido de 270 a 320 kilogramos por centímetro cuadrado.

La sección revestida presenta espesores mínimos del orden de 30 centímetros con excepto en zonas de concreto lanzado donde presenta espesores hasta de 20 centímetros.

El tamaño máximo del agregado se condiciona por los espesores reducidos. así como por el transporte del concreto en su etapa final utilizando una bomba de pistón y una tubería rígida de 15.24 centímetros de diámetro interior; dicho tamaño se limitó a 19 milímetros (3/4").

Para establecer los revenimientos más adecuados se considera la pérdida de fluidez motivada por el transporte del concreto, -

altura de caída a través de la lumbrera, distancia de acarreo en el interior del túnel y la longitud de la línea de bombeo; para compensar dicha pérdida, el revenimiento medido en la Planta de Concreto se especificó de 14 ± 2 centímetros, excepcionalmente es necesario acudir a revenimientos máximos de 18 centímetros.

La base para verificación de calidad del concreto es la resistencia a compresión simple de seis cilindros estándar, fabricados de acuerdo a las normas establecidas y ensayados tres a la edad de siete días y tres a la edad de veintiocho días, el resultado de compresión de una muestra es el promedio de tres cilindros -- compañeros, probados a la edad mencioanda.

Para especificar la resistencia del concreto utilizado en el revestimiento final del túnel se aceptó:

Una probabilidad máxima del 10% de que una muestra individual presente una resistencia inferior a la del proyecto f'c.

Una probabilidad del 2% de que una muestra individual tenga una resistencia inferior a 0.86 f'c.

Para satisfacer los requisitos anteriores, la resistencia promedio requerida se calculó considerando un coeficiente de variación de partida del 15%, lo que da lugar a un factor de sobrediseño de 1.24 respecto a la resistencia de provectoro.

El nivel de resistencia del concreto producido se considera satisfactorio si se cumplen simultáneamente los siguientes requisitos:

El promedio de resistencia de todos los conjuntos de tres ensayos consecutivos es igual o mayor a f'c.

Ningún resultado individual de resistencia es menor a 0.73f'c

ADITIVOS.- El empleo de aditivos para el concreto del revesti--- miento, está encaminado básicamente a mantener el grado de plasticidad de las mezclas de manera de garantizar su colocación, - consolidación y acabado.

Para compensar la pérdida de plasticidad durante el transporte se usa un aditivo reductor de agua (DISPERCON), que permite - especificar mayores revenimientos de partida en la planta dosifi cadora, sin detrimento de la resistencia y otras propiedades deseables del concreto.

En función del tiempo de descimbrado, se consideró convenient- ~~e~~ limitar el porcentaje de aditivos fluidizantes a un máximo de 0.35%.

AGREGADOS PETREOS.- A los agregados se les define como elemen tos inertes (grava y arena), los cuales mezclados con los elemen tos activos (agua y cemento), en cantidades apropiadas forman el concreto.

El papel fundamental de la arena y grava es el formar el esque leto del concreto, ocupando gran parte del vólumen del producto final, por tal razón, debe procurarse que sus propiedades, apar te de que cumplan con los requisitos de calidad, permitan ser em pleados en forma mayoritaria.

Debido a la gran variedad de características, a los agregados se les puede clasificar, ya se por su naturaleza, por su forma - de obtención, tamaño, textura, forma, peso, etc.

Por su naturaleza se pueden considerar partiendo del origen - del material que los forma, ya sean rocas ígneas, sedimentarias ó metamórficas.

Por su forma de obtención pueden ser naturales o artificiales o una mezcla de ambos, llamándoseles mixtos. Los naturales son los que provienen como su nombre lo indica, de depósitos naturales, o sea que no requieren que se reduzca el tamaño de sus partículas. Siendo los artificiales los que se obtienen de canteras o formaciones rocosas y requieren una fragmentación apropiada de su tamaño.

Por su tamaño se pueden dividir en gravas y arenas, siendo -- las gravas las partículas que son retenidas en la malla número 4 por lo tanto las arenas son las partículas que pasan dicha malla

Por su forma, pueden ser redondeadas, irregulares, lajeadas, angulares y alargadas.

Por su textura pueden ser vítreos, lisos, granulares, ásperos cristalinos-porosos y finalmente por su peso pueden ser ligeros, normales o densos.

ESPECIFICACIONES

ARENA.- Es el nombre con que se le designa al agregado fino en donde el tamaño de las partículas está comprendido entre 4.75 milímetros y 0.074 milímetros. La arena para fabricación del concreto, mortero e inyección podrá ser de mina, arena de trituración ó una combinación de ambas. El agregado procedente de las minas, podrá ser roca andesítica con granos subredondeados (de mina) ó granos angulares (triturados).

Cuando sea requerido, la arena podrá ser lavada para eliminar las partículas suaves así como el exceso de polvo cuyo tamaño sea menor de 0.074 milímetros (malla 200). Será necesario hacer un

criado de la arena en el sitio de producción para garantizar - así la granulometría por las especificaciones, el cribado deberá ser de tal manera que cualquier partícula tenga varias oportunidades de pasar la malla, si es menor de tamaño que la abertura - de la misma. En caso de usar mallas vibratorias, el efecto debe- rá ser tal que garantice que las partículas rueden sobre la ma- lla y no golpeen sobre la misma. El cribado se podrá realizar -- tanto en estado húmedo como en seco. Asimismo en bancos que lo - requieran será necesario eliminar las partículas suaves por me-- dio de lavado o agitación.

El almacenamiento de los materiales ya tratados, deberá hacer se de tal forma que garantice la uniformidad en cuanto a granulo metría lo que se logrará evitando que las partículas se deslicen y evitando la segregación de los materiales.

GRANULOMETRIA.- El agregado fino deberá estar constituido por partículas sanas y deberá ser del tamaño que se indica en la si- guiente tabla:

MALLA	PORCENTAJE EN PESO QUE PASA LA MALLA:
3/8 (9.51 mm)	100%
No. 4 (4.76 mm)	95 a 100%
No 8 (2.38 mm)	80 a 100%
No 16 (1.19 mm)	50 a 85%
No 30 (0.595 mm)	25 a 60%
No 50 (0.297 mm)	5 a 30%
No100 (0.149 mm)	0 a 5%

Los porcentajes señalados se podrán obtener en la dosificadora, por lo que la granulometría en el banco podrá ser distinta y agregar las partículas necesarias para obtener los porcentajes especificados. El módulo de finura de la arena estará comprendido entre 2.3 y 3.3, se podrán hacer ajustes en la planta dosificadora para mantener el módulo de finura dentro de variaciones de 0.2 del valor de diseño de la mezcla.

REQUISITOS DE CALIDAD.- Antes de entrar a la dosificadora, el material consistirá en fragmentos de roca duros, densos y limpios, deberá contener menos del 10% en peso de material menor de la malla 200, menos del 1% de partículas friables o quebradizas. menos del 1% en peso de partículas livianas. El agregado fino deberá pasar la prueba de calorimetría para impurezas orgánicas, deberá tener una pérdida menor del 10% en peso en la prueba de sanidad del sulfato de sodio. El peso específico (muestra seca) deberá ser mayor o igual a 2.3 .

MUESTREO Y PRUEBAS.- Antes de aprovechar un banco, se deberán hacer las pruebas señaladas, muestreando los materiales de acuerdo a la norma ASTM D-75, quedando a juicio de la supervisión de la obra la aceptación o rechazo de cada banco.

El contratista deberá hacer correcciones a la planta dosificadora para controlar la granulometría y el contenido de agua natural del agregado fino del lugar, con objeto de dosificar en forma correcta a la mezcla del concreto a emplear.

En el Revestimiento del Interceptor Centro Poniente se usó arena procedente de las minas: La Guadalupana (natural) y Totolapa (Triturada), cuyas características físicas son.

PRUEBAS FISICAS	LIMITES		M I N A S	
	ESPECIFICACION		LA GUADALUPANA	TOTOLAPA
DENSIDAD	2.3 mínimo		2.37	2.38
% ABSORCION	6 máximo		5.10	4.80
PESO VOLUMETRICO SUELTO Kg/M3			1,460	1,304
PESO VOLUMETRICO COMPACTO Kg/M3	1,120 mínimo		1,554	1,529
PERDIDA POR LAVADO	5 máximo		8.09	6.68
ARCILLA %	3 máximo		1.00	1.50
MATERIA ORGANICA				
COLOR ASTM	0		0	0

COMPOSICION GRANULOMETRICA:

MALLA	% RETENIDOS		M I N A S			
	mínimo	máximo	LA GUADALUPANA		TOTOLAPA	
			retenido	acumulado	retenido	acumulado
No. 4	0	5	0	0	2	2
No 8	0	20	21	21	10	12
No 16	15	20	30	51	19	31
No 30	40	75	20	71	17	48
No 50	70	90	15	86	19	67
No 100	90	100	9	95	19	86
NO 200	-	-	3	98	10	96
CHAROLA	100	100	2	100	4	100
MODULO DE FINURA				3.24		2.46

GRAVAS.- Es el nombre con que se le denomina al agregado grueso cuyo tamaño queda comprendido entre 19.05 milímetros y 4.76 milímetros, podrá ser grava natural o triturada, o una mezcla de las dos. Se podrá utilizar agregado procedente de minas o de -- bancos, que sean aprobados previamente por la Supervisión.

Cuando se requiera la grava podrá ser mejorada en sus características físicas, ya sea por medio de lavado, triturado, cribado o eliminación de partículas suaves o livianas. Se hará cribado de la grava para garantizar la granulometría requerida.

La trituración del agregado podrá efectuarse con una trituradora primaria, empleando una quebradora de quijadas, a continuación una trituradora secundaria con una trituradora de cono y en caso necesario se empleará una trituración terciaria de otro tipo. El cribado deberá ser realizado de una manera tal que -- cualquier partícula tenga varias oportunidades de pasar por la malla, si es de menor tamaño que la abertura de alambres de la misma. En caso de utilizar mallas vibratorias, el efecto debe -- ser de tal manera que las partículas rueden sobre la malla y -- no golpeen sobre la misma. El cribado de los materiales podrá -- hacerse tanto en seco como en húmedo.

El almacenamiento de los materiales ya tratados, deberá ha-- cerse de manera que garantice la uniformidad en cuanto a granu-- lometría, lo cual se logra evitando que las partículas se desli-- cen y segreguen.

GRANULOMETRIA.- El agregado grueso deberá estar constituido por partículas sanas del tamaño que señala la siguiente tabla:

MALLA	PORCENTAJE QUE PASA POR LA MALLA
3/4" (19.05 mm)	90 a 100%
3/8" (9.51 mm)	40 a 60%
No. 4 (4.75 mm)	10 a 30%

Estos porcentajes deberán obtenerse en la dosificadora por lo que la granulometría en el banco podrá ser distinta y agregar las partículas necesarias para obtener los porcentajes requeridos de roca, duros, densos y limpios.

REQUISITOS DE CALIDAD.- La grava deberá contener menos de 0.25% en peso de partículas friables, menos del 5% en peso de partículas suaves, menos del 1% de partículas menores de la malla -- 200. menos del 1% de partículas de carbono v lignito, el peso volumétrico compacto deberá ser mayor de 1,120 kilogramos por metro cúbico, el agregado grueso deberá tener una pérdida menor a 12% en peso en la prueba de sanidad con sulfato de sodio, así como una pérdida menor del 50% en peso en la prueba de abrasión El agregado grueso deberá estar exento de materiales que reaccionen con los alcalis del cemento. El peso específico (para muestra seca), deberá ser mayor o igual a 2.3, permitiéndose una absorción máxima de 6%.

La grava utilizada en el Revestimiento del Interceptor Centro Poniente fué de la mina Solmanco (natural) y de la Lumbrera 4 -- del Emisor Central (triturada), siendo sus características las siguientes:

PRUEBAS FISICAS	LIMITES	BANCOS	
		SOLMANCO	LUMBRERA 4
DENSIDAD	2.3 mínimo	2.4	2.43
% DE ABSORCION	6 máximo	4.2	3.0
PESO VOLUMETRICO SUELTO Kg/M3		1,312	1,210
PESO VOLUMETRICO COMPACTO Kg/M3	1,120 mínimo	1,431	1,343
PARTICULAS MENO- RES A LA MALLA 200	1.5 máximo	8.4	0.17
ARENA (%)	5 máximo	6	1
GRAVA (%)		94	99

COMPOSICION GRANULOMETRICA:

MALLA	BANCOS					
	LIMITE		SOLMANCO		LUMBRERA 4	
	Mínimo	Máximo	retenido	acumulado	retenido	acumulado
2"						
1 1/2"						
1"	0	10	6	6	0	0
3/4"			13	19	1	1
1/2"	40	75	23	42	25	26
3/8"			19	61	28	54
No. 4	90	100	33	94	45	99
CHAROLA			6	100	1	100
MODULO DE FINURA				6.8		6.54

No se efectuó un estudio a más bancos pues los analizados garantizan la cantidad de material necesario para la terminación del revestimiento y además se tienen distancias de acarreo del orden de 20 kilómetros, lo cual representa una seguridad en el suministro en la planta.

AGUA DE MEZCLADO.- En todo el tramo del Interceptor Centro - Poniente, se ha estado utilizando agua directamente de la red municipal, en el tramo de lumbrera 1 a lumbrera 2, se analizó el agua proveniente de filtraciones pero se descartó por estar contaminada con aceites y lechada producto de la limpieza de los carros Morán.

El contenido de agua y el revenimiento están íntimamente ligados. La cantidad de agua se determina en una mezcla en función del tamaño máximo del agregado y del revenimiento. Por otra parte la cantidad de agua afecta las cualidades del concreto como son: durabilidad, resistencia a la compresión, etc..

El revenimiento debe ser especificado en el lugar de colocación del concreto, recomendándose de 12 a 14 centímetros, el exceso de revenimiento, en lugar de ser benéfico provoca muchos problemas, ya que un concreto con revenimiento mayor de 18 centímetros tiende a la segregación y al sangrado del agua y los finos, provocando tapones de agregado grueso.

Las concretos con agregados triturados y mezclas pobres se segregan a revenimientos mayores de 15 centímetros.

CONTENIDO DE CEMENTO.- Aunque siguen los principios usados para el concreto convencional, el concreto bombeable debido al cuidado que se debe tener con el revenimiento y a mayores relaciones de agregados finos con respecto al grueso, requiere un aumento en la cantidad de cemento con el concreto colocado por otros medios. Cuando se determina el contenido de cemento para concreto normal o ligero es necesario diseñar las mezclas para resistencias mayores y de esta manera prever las fallas en las pruebas controladas dentro de los límites permisibles que marquen las especificaciones en cada caso.

El concreto bombeable exige una mayor uniformidad en su manufactura por lo tanto se facilita la obtención de menores porcentajes de fallas y economías debidas al mejor control.

El empleo de cantidades extras como única solución, es antieconómica y de poco criterio, es más económico corregir cualquier deficiencia en la granulometría de los agregados.

FABRICACION DEL CEMENTO.- Según la norma oficial de calidad D.G.N. C-1 1968, define al cemento Portland como un cementante hidráulico, por que fragua y endurece en presencia del agua, mediante la reacción química llamada 'hidratación', en la que se combina el cemento y el agua para formar una masa sólida.

Las materias primas que se emplean en la fabricación del cemento portland son:

Carbón, margas, arcillas, pizarras, tobas y yeso. asimismo se emplea también según el tipo de cemento de que se trate, materiales férricos y silicosos.

Estos deben contener proporciones adecuadas de: óxidos cálcicos de silicio, de aluminio y fierro. La materia prima debidamente seleccionada se pulveriza y se dosifica de tal forma que la mezcla tenga la composición química deseada.

Los procesos generales para la fabricación del cemento son: por vía seca y por vía húmeda. Por la primera los materiales se pulverizan y se dosifican en seco y por la segunda los materiales forman una lechada con agua; en ambos casos a la mezcla resultante se le llama 'crudo', la que se lleva a unos molinos tubulares donde se preparan y espera para llevarse aun horno para su calcinación, siendo ésta una etapa básica en su proceso, por que es aquí donde se suceden las reacciones que van a formar -- los compuestos del cemento.

El horno es un cilindro colocado ligeramente inclinado (4%) el cual gira lentamente recibiendo por la parte superior el crudo en cantidades controladas, donde se calienta hasta 700 grados centígrados y lo va arrojando hacia el extremo inferior, -- donde se encuentra la fuente de calor formada por un quemador -- de gas natural o de petróleo negro combustible, alcanzando una temperatura del orden de 1500 grados centígrados. Aquí el material sufre una semifusión que forma conglomerados mas o menos -- esféricos de 0.5 a 4.0 centímetros de diámetro llamándose a este conjunto 'CLINKER'. Este pasa por un enfriador de aire para posteriormente llevarlo a un almacenamiento.

La siguiente etapa, es la molienda del clinker, cuando este se reduce a polvo, se vuelve muy sensible a la humedad y su fraguado es muy rápido, para controlarlo, es necesario agregarle -

yeso en un máximo del 5% en peso, que se dosifica y se muele -- junto con aquél, hasta reducirlos a polvo muy fino.

Los compuestos básicos del cemento portland son:

SILICATO TRICALCICO	(C ₃ S)
SILICATO DICALCICO	(C ₂ S)
ALUMINATO TRICALCICO	(C ₃ A)
FERRO ALUMINATO TETRACALCICO	(C ₄ AF)

El silicato tricálcico produce la resistencia a las primeras edades aproximadamente a los 28 días.

El silicato dicálcico proporciona la resistencia a edades -- avanzadas, posteriores a los 28 días.

El aluminato tricálcico genera mucho calor en la hidratación mayor que una cantidad igual que los otros compuestos. Es el -- responsable de los cambios volumétricos de la formación de grietas y del ataque de los sulfatos.

El ferroaluminato tetracálcico tiene poca influencia en las resistencias .

Estos compuestos forman aproximadamente el 90% en peso de -- todo el cemento, el 10% restante lo forma el yeso que se agrega al clinker, la cal libre debido a insuficiencias en la calcinación, el óxido de magnesio que aparece en cantidades pequeñas -- en la materia, como carbonato de magnesio, el sodio, el potasio el titanio, el fósforo y el manganeso, éstos cinco últimos in-- terviene en pequeñas cantidades, siendo los más importantes de éstos el sodio y el potasio, los cuales en forma de óxidos cons

tituyen los álcalis del cemento.

TIPOS DE CEMENTO.- Los tipos de cemento que se fabrican en Méxi-
con son los siguientes:

TIPO I NORMAL.

Se caracteriza por la alta generación de calor de hidrata-
ción y altas resistencias, es de uso general en la construc-
ción donde no se expone al ataque de los sulfatos.

TIPO II MODIFICADO.

Se caracteriza por su generación moderada de calor de hidra-
tación y su resistencia al ataque de los sulfatos, se usa en --
las obras hidráulicas, concretos masivos y en las obras de cli-
mas cálidos. Este es el tipo de cemento que se usó en el Reves-
timiento del Interceptor Centro Poniente.

TIPO III RAPIDA RESISTENCIA ALTA.

Se caracteriza por el desarrollo más alto de las resisten-
cias mecánicas a edades tempranas, por su generación de mayor -
calor de hidratación y su polvo es más fino, se usa donde se re-
quiere descimbrar pronto y aumentar la producción.

En los climas fríos, en inyecciones donde no se expone al a-
taque de los sulfatos y el calor de hidratación no es importante

TIPO IV BAJO CALOR.

Se caracteriza por la menor generación de calor de hidrata--

ción y a menor velocidad, tiene buena resistencia a los sulfatos, es adecuado para la construcción en grandes espesores (presas) para las obras sujetas a climas cálidos y donde es importante un bajo calor de hidratación.

TIPO V DE ALTA RESISTENCIA A LOS SULFATOS.

Se caracteriza por su alta resistencia a los sulfatos, generación moderada de calor, se usa especialmente en construcciones expuestas al severo ataque de los sulfatos, como son las obras sanitarias.

Cuando el cemento y el agua entran en contacto, se inicia una reacción química exotérmica que determina el paulatino endurecimiento de la mezcla llamada 'fraguado'; en el cemento portland se pueden considerar tres tipos de fraguado:

- a) **Fraguado normal.**- Es el que presenta el cemento cuando se amasa con una cantidad de agua dada por la consistencia, en el que la mezcla pierde apreciablemente su plasticidad, tornándose difícilmente manejable, tal estado corresponde al fraguado inicial de la mezcla, al continuar el endurecimiento normal de la mezcla se presenta un nuevo estado en el que la consistencia ha alcanzado un valor muy apreciable, denominándosele 'fraguado final' y se determina al igual que el fraguado inicial por medio de las aguas VICAT o de GILLMORE

- b) **Fraguado rápido.**- En el cemento se presenta por la carencia de yeso en la molienda del clinker.

c) Fraguado falso.- Al elaborar el concreto accionando el cemento y el agua, el material parece tomar consistencia y endurecerse prematuramente, este falso fraguado se puede romper revolviendo la mezcla un tiempo adicional. En el falso fraguado no hay desprendimiento de calor, lo que diferencia del fraguado rápido. Este falso fraguado se presenta por lo general, debido a la deshidratación del yeso bajo la elevada temperatura que produce la fricción en el interior de los molinos tubulares donde el clinker y el yeso se muelen conjuntamente para producir el cemento.

ESPECIFICACIONES.-

Requisitos químicos.- En la elaboración del concreto que vaya a estar expuesto al contacto con las aguas negras conducidas en el sistema de desagüe deberá usarse cemento portland que sea resistente a los sulfatos. El cemento utilizado en este sistema para ser aceptado deberá cumplir con los siguientes requisitos químicos, según el método final DGN C-131.:

CONCEPTO	REQUISITOS
OXIDO DE MAGNESIO (MgO)	4.00% máximo
ANHIDRIDO SULFURICO (SO_3)	2.00% máximo
PERDIDA POR CALCINACION	3.00% máximo
RESIDUO INSOLUBLE	0.75% máximo
ALUMINATO TRICALCICO ($3 CaO \cdot Al_2O_3$)	5.00% máximo
ALUMINOFERRITA TETRACALCICO MAS DOS VECES EL ALUMINATO TRICALCICO ($4 CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$) + 2 ($3CaO \cdot Al_2O_3$) ó SOLUCION COLIDA ($4 CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ + 2 ($CaO \cdot Fe_2O_3$))	20.00% máximo
SILICATO TRICALCICO ($3 CaO \cdot SiO_2$)	40.00% máximo

ALCALIS TOTALES SOLUBLES EN HCl EXPRESADOS

EN Na_2O 0.60% máximo

En la elaboración de otros concretos que no sean expuestos al contacto del agua del sistema y que no estén definitivamente expuestos al ataque de los sulfatos, se podrá emplear cemento portland tipo I, II y III cuyo contenido de álcalis totales solubles en HCl expresados como Na_2O no sea mayor de 0.60% .

REQUISITOS FISICOS.- El cemento utilizado deberá satisfacer los siguientes requisitos para que pueda ser aceptado:

C O N C E P T O	REQUISITOS
Finura como superficie específica en Blaine	3,000 cm ² mínimo
Sanidad en autoclave	0.80 % máxima
Tiempo de fraguado Gillmore	
Inicial	1.0 hrs. mínimo
Final	10.0 hrs. máximo
Resistencia a la compresión	
A los 7 días	165 Kg/cm ² mínimo
A los 28 días	250 Kg/cm ² mínimo
Fraguado falso, penetraciones	
2, 3 6 4	25 mm mínimo

El manejo del cemento se efectúa a granel por lo cual se provee del equipo necesario para su transporte, descarga y almacenamiento en la obra consistente en:

Seie tractocamiones con pipa, con una capacidad de 23 toneladas cada uno, su descarga se hace mediante aire comprimido a Si los de almacenamiento con capacidad de 30 y 90 toneladas; con -

este sistema de almacenamiento se garantiza poco desperdicio y se aseguran las cualidades del cemento hasta el momento de su utilización.

FABRICACION DEL CONCRETO.- El concreto es una mezcla de cemento agregados inertes (grava, arena) y agua, esta mezcla endurece - después de cierto tiempo de mezclado. Los elementos que componen el concreto se dividen en dos grupos: Activos e inertes, -- siendo los activos el agua y el cemento de cuya cuenta corre la reacción química por medio de la cual esa mezcla llamada lechada se endurece hasta alcanzar un estado general, de gran s^olidez. Los elementos inertes son la grava y arena, cuyo papel fundamental es formar el esqueleto del concreto.

El concreto es elaborado por medio de plantas ORU, cuya producción por hora es de 15 y 30 metros cúbicos.

ESPECIFICACIONES:

COMPOSICION.- El concreto estará compuesto de cemento portland tipo II modificado, agregado grueso, arena, agua y aditivos como se especifique, todo debe estar perfectamente mezclado y con la consistencia necesaria.

TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO.- El tamaño máximo del agregado, será menor a $1/5$ de la dimensión más angosta del elemento estructural para el cual se utilizará el concreto y menos de $3/4$ de la distancia entre varillas del armado del elemento.

El Departamento del Distrito Federal especificará en cada caso el tamaño máximo del agregado en función de la facilidad de colocación y bombeo del concreto.

CONSISTENCIA.- La cantidad de agua usada en el concreto se regulará para así poder asegurar un concreto de la consistencia apropiada y para ajustar por cualquier variación el contenido de humedad o graduación de los agregados al penetrar en la mezcladora; no se permitirá la adición de agua para compensar el endurecimiento del concreto antes de ser colocado. Se requerirá uniformidad en el concreto de revoltura a revoltura.

REVENIMIENTO.- El revenimiento del concreto una vez depositado, pero antes de haber sido consolidado, no excederá de 14 centímetros. Se efectuará la prueba de revenimiento en el sitio de descarga del concreto antes de ser colocado y consolidado. Esta se ejecutará cada 20 metros cúbicos de concreto.

CONTENIDO DE AIRE.- El concreto deberá contener aire atrapado sin utilizar un aditivo inclusor de aire, o bien incluir aire con aditivo según lo fije el Departamento Del Distrito Federal. La cantidad de aire incluido deberá estar comprendida entre los siguientes límites.

TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO	SIN INCLUSOR	CON INCLUSOR
3/4 "	3 a 1 %	6 a 1 %

REQUISITOS DEL AGUA.- El agua en la fabricación del concreto, - deberá estar limpia de sedimentos, materia orgánica, sales o impurezas, principalmente las siguientes: ácido acético, carbónico, clorhídrico, fluorhídrico, ácido nítrico, tánico, cloruro de calcio, potasio, sodio, amonio, cobre, hierro, magnesio, mercurio, zinc, nitrato de amonio, sulfato de amonio, glucosa y glicerina.

Se elaborarán dos especímenes comparativos de mortero o concreto, ambas mezclas serán idénticas excepto en la procedencia del agua. En la mezcla se usará agua de la fuente de abastecimiento en estudio.

Se considerará aceptable cuando sus especímenes de mortero ó concreto tengan a los 7 y a los 28 días resistencias a la compresión del 90% de las correspondientes a los especímenes elaborados con la mezcla testigo. Se les deberán realizar análisis físico químicos en el agua que se utilice en el concreto, para determinar la dureza de la misma (contenido de sales) y su alcalinidad (determinación del PH), así como color, olor, sedimentación, turbiedad y conductividad específica.

DOSIFICACION.- La base para medir el concreto será el metro cúbico al descargar la revolvedora. El volumen del concreto fresco se medirá por el peso de cada revoltura dividido por el peso volumétrico real determinado en el laboratorio.

El peso de cada revoltura se podrá determinar por la suma del peso de cada material componente de la mezcla. Las cantidades de cemento, agregados y agua serán pesados en forma indepen

diente para cada revoltura de concreto, en tanto que la cantidad de agua será determinada por su volumen. Se usarán tolvas independientes para pesar el cemento, las que estarán provistas con el equipo necesario para ayudar a que la descarga sea completa. La planta dosificadora y la revolvedora deberán estar lo más cerca posible entre sí, el equipo para transportar los materiales dosificados estará construido y operado de tal forma que no existan pérdidas o contaminación de los materiales. El equipo para manejar el cemento portland en la planta dosificadora estará construido y operado de tal forma que se evite el polvo durante la medición, transporte y descarga.

EQUIPO.- El equipo de pesado y medidor se ajustará a los siguientes requisitos:

Cada unidad pesadora deberá tener una carátula visible con indicador sin resortes que marque la carga de la báscula en cualquier paso de la operación de pesado, desde cero hasta la capacidad total de la báscula. Las barras de la báscula deberán estar interconectadas de tal manera que no pueda iniciarse la operación de pesado de una nueva revoltura hasta que la tolva de pesado esté totalmente descargada de la pesada anterior y la báscula esté en equilibrio.

El equipo será capaz de ajustarse fácilmente para compensar el peso variable por cualquier contenido de humedad de los agregados o por cualquier cambio en las proporciones de la mezcla.

El mecanismo de operación en el aparato medidor de agua, no deberá tener escurrimiento cuando las válvulas estén cerradas.

Se construirá de tal manera que el agua sea descargada rápidamente y libre al interior de la olla revolvedora.

MEZCLADO.- El equipo y los métodos para mezclar el concreto serán los que produzcan uniformidad en la consistencia, en los contenidos de cemento y agua y en la graduación de principio a fin de cada revoltura en el momento de descargarse. Se proveerá del equipo necesario para el mezclado y la colocación del concreto para evitar en lo posible las juntas frías.

El tiempo de revoltura contará desde el instante en que todos los materiales hayan sido descargados en la olla revolvedora. La tolerancia en revenimiento especificado es de 2 centímetros más ó menos, se considerará el mismo revenimiento en una revoltura cuando el lapso entre el inicio y el final de la descarga sea menor de 15 minutos, en caso necesario se volverá a efectuar la prueba de revenimiento para comprobar la consistencia de la mezcla.

El lapso máximo entre el instante de mezclar todos los materiales de una revoltura y el momento de la descarga será de dos horas.

DESCARGA DE LA REVOLTURA

La revolvedora debe ser capaz de descargar con facilidad el concreto del revenimiento menor solicitado, la segregación del agregado grueso que comunmente resulta cuando el concreto se descarga de la mayoría de las plantas, deberá evitarse por medio de bandas de tal manera que el concreto se deposite en el recipiente que lo reciba.

TEMPERATURA DE MEZCLADO

La elaboración del concreto deberá efectuarse con el agua de la mezcla a una temperatura igual ó menor a 20 grados centígrados. El cemento y los agregados tendrán una temperatura inferior a los 30 grados centígrados. La temperatura al colocar el concreto deberá estar comprendida entre 27 y 5 grados centígrados. Se deberá usar de preferencia cimbra metálica y el descimbrado se llevará a cabo después de ocho horas y antes de veinticuatro horas.

PLANTAS DE CONCRETO

Las plantas dosificadoras que se emplean para la elaboración del concreto en el Interceptor Centro Poniente son de fabricación Italiana marca ORU, cuya capacidad de producción horaria es de 15 y 30 metros cúbicos de concreto respectivamente; la planta de 15 metros cúbicos por hora es de operación semiautomática y la de 30 metros cúbicos por hora es completamente automática. Para la instalación de las plantas dosificadoras en cualquier lumbrera es necesario hacer la siguiente secuela:

- 1) Realizar un levantamiento topográfico de las instalaciones existentes en la lumbrera.
- 2) Estudiar la localización óptima de las plantas dosificadoras.
- 3) Realizar las demoliciones de las instalaciones que interfieren, escombrar el patio, nivelar y cubrir el patio con concreto pobre,
- 4) Excavación y colado de las cimentaciones.

- 5) Captación y tendido de las líneas de energía eléctrica.
- 6) Construcción de cisterna para almacenamiento de agua.
- 7) Captación y tendido de líneas de suministro de agua.

En la lumbrera es necesario determinar el sitio adecuado de las tuberías de bajada del concreto, en función de los servicios existentes y del lugar que ocuparán las dosificadoras en la superficie y la estación de carga en el túnel. Además se deberán eliminar las instalaciones innecesarias que puedan estorbar. La operación de las plantas se lleva a cabo con el siguiente personal:

Un operador

Dos ayudantes (uno en cada brazo recogedor).

Dos ayudantes en la banda de descarga.

Las partes principales de la planta son:

BRAZOS RECOGEDORES.- Funcionan a base de cangilones y se tiene uno para la grava y otro para la arena.

TOLVA DE AGREGADOS.- En este sitio se almacenan los agregados y el cemento para ser llevados por medio de una banda hasta la olla revolvedora, en ésta planta se tienen dos básculas independientes una para el pesado de los agregados y otra para el pesado del cemento.

SILOS PARA CEMENTO.- Cada planta tiene dos silos para almacenamiento de cemento, este es llevado por medio de un tornillo sin fin hasta la tolva de pesaje del cemento y de ahí pasa por la banda junto con los agregados hasta la olla revolvedora para hacer la mezcla correspondiente.

DEPOSITO PARA AGUA.- Este introduce por medio de una bomba el agua dosificada para el concreto en cuestión.

DEPOSITO DE ADITIVOS.- En un principio el aditivo se aplicaba de manera manual con una medida checada y autorizada por la Supervisión para una correcta dosificación, posteriormente se -- instalaron dos depósitos para aditivos los cuales alimentan éste por medio de una bomba en una dosificación exacta a la olla revolvedora.

OLLA REVOLVEDORA.- Tiene una capacidad de un metro cúbico de revoltura, mezcla el concreto por medio de un sinfín que tiene una lámina helicoidal y seis paletas. Una vez que se ha mezclado lo suficiente la olla descarga directamente a una banda transportadora y ésta a su vez lleva el concreto hasta la boca de la lumbrera para depositarlo en el tubo de descarga de 10 pulgadas de diámetro.

En la figura No. 2 se muestra una planta para la producción de concreto.

PLANTA DE CONCRETO

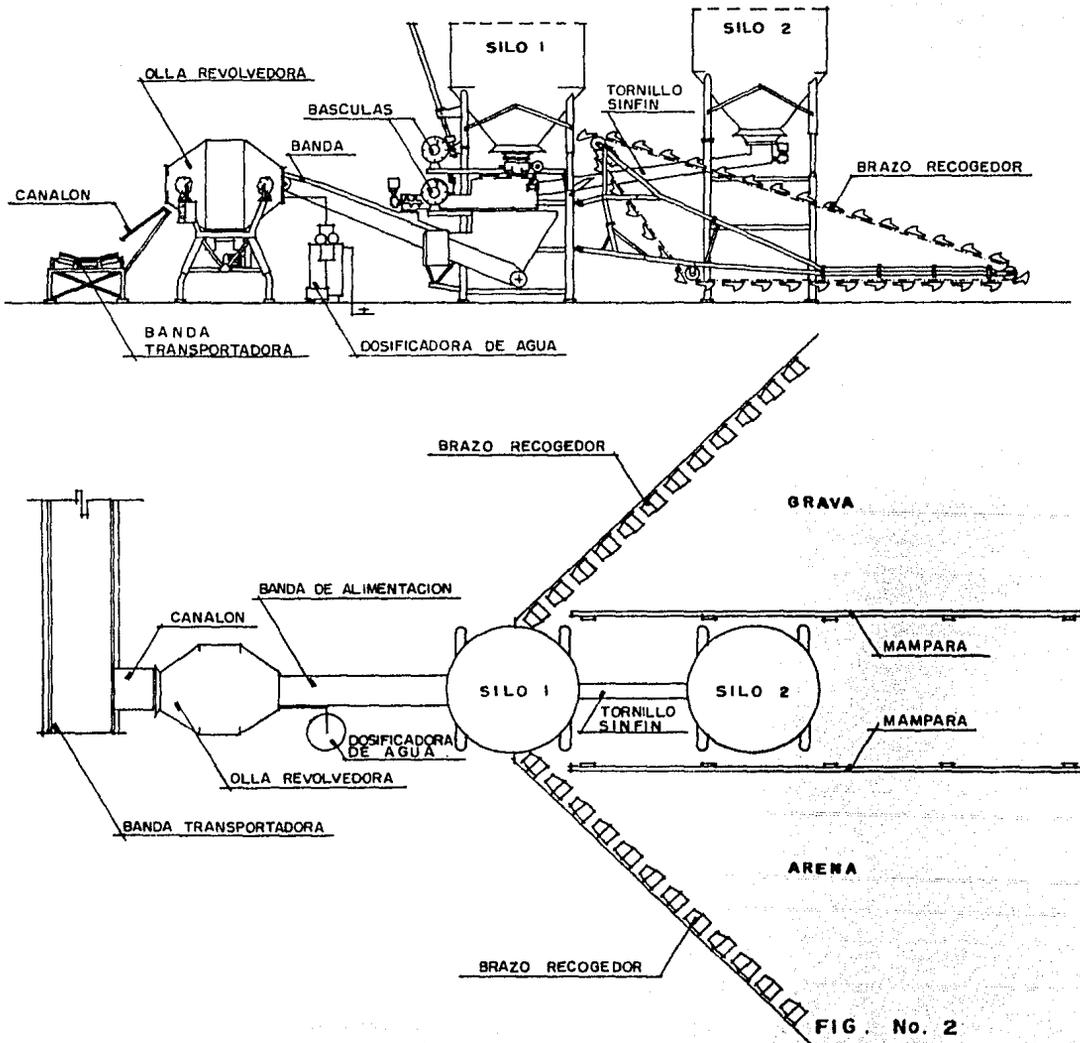


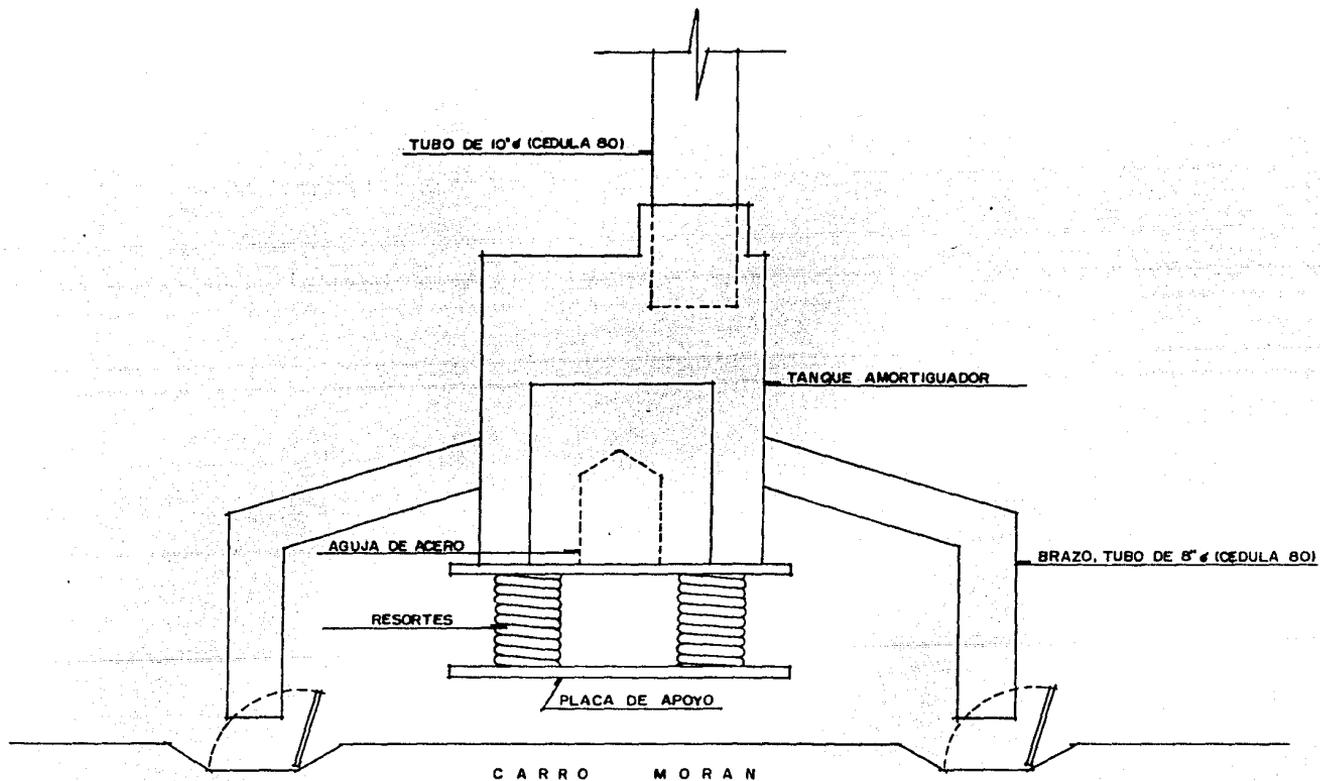
FIG. No. 2

VACIADO DEL CONCRETO

El concreto es conducido hasta la boca de la lumbrera por medio de bandas transportadoras, las cuales descargan en las tuberías verticales utilizadas para bajar el concreto; generalmente se instalan dos tuberías cédula 80, de 8 ó 10 pulgadas de diámetro, con el fin de que si una no funciona eficientemente se cuenta con la otra para continuar trabajando; éstas tuberías bajan a lo largo de la lumbrera y al final de la misma desembocan en recipientes de tipo tambor llamados 'Tanque Amortiguador'. Este tanque es un depósito de aproximadamente 0.60 metros de diámetro y 1.10 metros de alto, sentado sobre dos resortes, cuya función es disipar la energía adquirida por el concreto durante su caída, dentro del tanque y exactamente abajo de la tubería hay una aguja de acero de 10 centímetros de sección circular y 30 centímetros de alto terminada en punta y revestida con soldadura antiabrasiva esta aguja produce turbulencias en el concreto y ayuda a amortiguar al que viene cayendo; además éste tanque tiene dos salidas que alimentan a los brazos para el llenado de los carros agitadores. En la figura No. 3 se muestra un tanque amortiguador.

Para garantizar que la bajada del concreto opere eficientemente se debe tener especial cuidado en los siguientes puntos:

- 1) El tubo vertical debe estar bien alineado, es decir garantizar su verticalidad, ya que las variaciones en su eje producen un desgaste rápido.



TANQUE AMORTIGUADOR

FIG. No. 3

- 2) El anclado de la tubería a la lumbrera debe ser seguro para garantizar la estabilidad del ducto.
- 3) Los segmentos en los extremos entre tramo y tramo de tubería deben ser soldados de tal manera que formen juntas circulares suaves dentro del tubo.

TRANSPORTE DEL CONCRETO

El transporte del concreto dentro del túnel se hace por medio de los carros agitadores llamados también carros Morán, éstos tienen una capacidad de 4.5 metros cúbicos cada carro y son llevados al frente de descarga formando un convoy de dos carros Morán y una locomotora de 15 toneladas.

Para descargar los carros Morán, son accionados por motorreductores eléctricos ó neumáticos; los carros pueden trabajar -- por su diseño separados ó acoplados, están montados sobre dos trucks en tandem de cuatro ruedas embaladas, de 14 pulgadas de diámetro y 36 pulgadas de galibo. La mayor parte de estos carros no son nuevos, por lo que es necesario hacer una revisión exhaustiva en sus partes principales como son: Motorreductores sistemas de transmisión, rodillos, pistas de rodamiento 'trucks' revisando los baleros y tazas de cada rueda, así como el estado de éstas. En la figura No. 4 se muestra un carro Morán.

Descripción de sus partes principales: La parte principal de estos carros la forma el cilindro donde se deposita el concreto para ser transportado al frente de colado; en el interior de este cilindro y soldada a lo largo se encuentra una espiral de lámina que sirve como medio de descarga al girar en sentido

CARRO MORAN

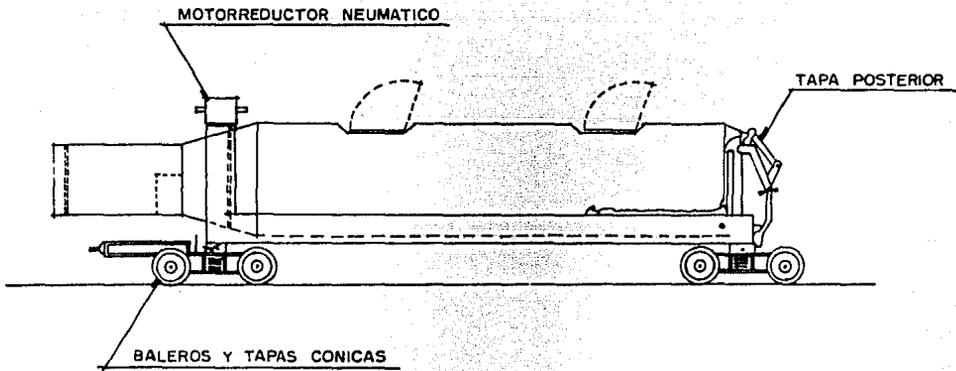


FIG. No. 4

contrario a las manecillas del reloj, cuando se requiere agitar se opera en sentido contrario.

En los extremos del cilindro se encuentran dos pistas circulares de 5 pulgadas de ancho, soldadas en la periferia, éstas están soportadas por dos juegos de rodillos embalados y fijos a la estructura de soporte, sobre los cuales gira el cilindro.

El tipo de rodillo es liso al frente y bridado en la parte trasera, para evitar que se deslice. Los rodillos son de 8 pulgadas de diámetro por 5 pulgadas de ancho. La estructura de soporte del cilindro es de forma rectangular la cual descansa sobre los juegos de trucks en tandem de cuatro ruedas cada uno.

Cada carro cuenta con dos puertas de llenado, instaladas a lo largo del cilindro y son operadas manualmente; el peso del carro vacío es aproximadamente de 6 toneladas.

OPERACION.- Los carros son el medio de transporte del concreto y a la vez funcionan como agitadores cuando es necesario. Los movimientos del cilindro los dan los Motorreductores, pueden girar en ambos sentidos; los motorreductores eléctricos son accionados por cajas de control de tres pasos y los neumáticos por medio de pasos múltiples.

Primero se comprobará que todos los carros estén en condiciones de trabajar, inspeccionando el funcionamiento de los motorreductores y sistemas de enganche. Después de verificar todos los detalles, se coloca el primer carro bajo la estación de carga y se solicita el concreto por medio del sistema de comunicación. El carro agitador se debe llenar hasta unos 10 centíme---

tros abajo de las puertas, terminando el llenado se corre el carro para llenar el siguiente, mientras tanto se cierran las --- puertas del primer carro y se lavan sus derrames, una vez que se tiene lleno el convoy y se tiene trayecto libre se manda al frente y se repite el ciclo con el siguiente convoy, y así sucesivamente.

MANTENIMIENTO.- El lavado interior de los carros es de gran importancia y debe hacerse de ser posible después de cada viaje ó cada dos viajes máximo, el lavado exterior se debe hacer cada vez que se ha terminado de llenar y cerrar cada carro, a fin de quitar los derrames de concreto que a la larga ocasionarán problemas en los rodillos, coronas, cerraduras de puerta etc., todo esto se realiza en la zona de lavado, se deberá lavar con -- cuidado el exterior para evitar mojar los motorreductores eléctricos y las cajas de control.

Para su lubricación el carro agitador cuenta con graseras en las siguientes partes:

En las ruedas de los trucks

En los rodillos de apoyo de las estructuras.

En los rodillos de apoyo de las pistas.

En el balero de la puerta posterior.

SISTEMA DE VIA.- El transporte del concreto en el interior del túnel es sumamente importante por lo cual hay que tener las debidas precauciones, ya que cuando más grandes sean las distancias por recorrer, mayores serán las posibilidades de descarriamiento u otros accidentes que redundan en la productividad --

del sistema; para disminuir estos riesgos y poder transitar a velocidades convenientes, es necesario un sistema de vía en perfectas condiciones.

En el Interceptor Centro Poniente se usa el tipo convencional de vía simple con espuelas y tránsito en ambas direcciones, manteniendo un convoy esperando en la espuela.

Es necesario contar con un cambio móvil próximo al frente de colado para poder moverlo en el menor tiempo posible conforme avanza el revestimiento, este tipo de cambio se conoce con el nombre de Cambio California, debe tener una longitud aproximada de 40 metros.

El cambio California con dos vías, que colocadas y soldadas a unas viguetas forman una estructura; este cambio va colocado sobre la vía central; para salvar el desnivel existente entre los rieles de la vía central y los del cambio, es necesario colocar un juego de agujas en cada extremo del cambio. Para su movimiento el cambio cuenta con un sistema de gatos hidráulicos, los cuales sirven para levantarlo, una vez efectuada esta operación se procede a colocar el sistema de ruedas con el que cuenta para facilitar su movimiento, una vez colocado en su nueva posición es necesario calzarlo con madera en sus partes laterales que quedan sin apoyo.

Dependiendo de la longitud existente entre la zona de carga y el frente de colado se verá la necesidad de colocar uno ó más cambios fijos además del cambio California el cual se lleva a proximadamente a 200 metros atrás del frente de colado.

Para tener un tránsito fluido y lograr un rápido avance en el

revestimiento del tramo, se requieren varios trenes en operación simultánea, por lo que es necesario sincronizar el movimiento de las unidades de transporte, esto se logra haciendo uso de teléfonos de túnel coordinados por una consola en superficie y una señal de semáforos en cada cambio auxiliados por telefonistas en cada cambio quienes controlan la circulación de los trenes.

La capacidad de vía del sistema depende de:

- 1.- La capacidad de los carros.
- 2.- Número de carros en el tren.
- 3.- Número de trenes en el sistema.
- 4.- Tiempo de ciclo.

El tiempo de ciclo depende mucho de la velocidad del tren sin embargo, los tiempos de carga y descarga son factores importantes; en general las velocidades máximas se determinan por el estado de la vía. el grado de congestionamiento en una determinada sección. un análisis detallado del equipo y condiciones de operación y seguridad obligan a limitar la velocidad a 20 kilómetros por hora.

COLOCACION DEL CONCRETO.- Una vez que se tiene el concreto en la zona de carga se vacía en los carros agitadores y se manda al frente de colocación, donde es bombeado.

El bombeo del concreto es una operación de transporte que se hace a través de una tubería de 6 pulgadas de diámetro de cédula 40, desde la bomba impulsora hasta la cimbra ó forma, en donde es importante el control y la calidad; así como la consistencia del concreto.

Uno de los aspectos importantes en el bombeo del concreto es el cuidar todo lo que se refiere a la tubería, logrando una buena operación si ésta se encuentra en buenas condiciones, es decir la pared interior de la tubería debe estar limpia, los tubos que se encuentren en mal estado como son: Agujerados, con abolladuras, con la pared muy delgada; se deben eliminar.

Con el objeto de tener la mejor resistencia en la línea, ésta debe tener los menos cambios de dirección posibles.

La capacidad de las diferentes bombas hace tener cuidado en anclar toda la tubería desde la conexión con la bomba hasta la zona por colar; este troquelamiento es recomendable principalmente en los codos ó cambios de dirección, dado que el cambio de dirección suele dar lugar a empujes y efectos de impacto. Los codos son accesorios indispensables en todo bombeo de concreto para los cambios de dirección que se presenten, pero es en éstas piezas donde se presentan comúnmente los problemas de obstrucción por la mayor resistencia al movimiento, originando más desgaste.

CONCRETO.- El concreto como se sabe, es la mezcla de cantidades predeterminadas de cemento porttland, agua, agregados y aditivos las tres propiedades fundamentales del concreto se pueden considerar: manejabilidad. resistencia y durabilidad.

MANEJABILIDAD.- Esta propiedad se ve afectada por la granulometría, tamaño y proporciones de los agregados, por la cantidad de cemento, por la presencia de aditivos así como por la consisten-

cia de la mezcla. la manejabilidad se considera que es la propiedad que determina su capacidad para ser colocado y consolidado - apropiadamente y darle acabado sin segregación dañina: incluye - conceptos tales como moldeable, cohesivo y compactable.

RESISTENCIA.- Es una propiedad muy importante del concreto, con materiales y en condiciones precisas, la resistencia del concreto se determina por la cantidad de agua utilizada por cantidad unitaria de cemento. El contenido neto de agua excluye el agua - de absorción de agregados. Las diferencias de resistencias para para una relación de agua-cemento determinada, puede ser el resultado de cambios en el tamaño máximo de los agregados, textura superficial, forma, resistencia y dureza de las partículas del - agregado; diferencias en tipo de cemento y fuentes de suministro contenido de aire y el uso de aditivos que afectan el proceso de hidratación ó el desarrollo de propiedades cementantes.

DURABILIDAD.- El concreto debe tener la propiedad de soportar -- las exposiciones que pueden privarlo de su capacidad de servicio (congelación y deshielo, humedad, secado, calentamiento y enfriamiento, sustancias químicas, agentes anticongelantes y otros semejantes).

También puede considerarse la resistencia como una propiedad interesante, definida con simplicidad, es el grado de humedad de la mezcla de concreto, se mide en términos de revenimiento (mientras más húmeda es la mezcla, su revenimiento será mayor) y afecta la facilidad con que debe fluir el concreto para su colocación.

El ensaye de revenimiento, es el más común y el más fácil de efectuar por su sencillez y por que se puede llevar a cabo tanto en el laboratorio como el campo. Las especificaciones más comunes para la manejabilidad, están basadas en el revenimiento, éste ensaye consiste en la compactación de una muestra de concreto, dentro de un cono truncado, con sus bases huecas y apoyado en su base mayor sobre un piso horizontal y firme; una vez compactado el concreto éste se enrasa en la parte superior y por medio de dos asas pegadas a la pared del cono, se quita el molde con un jalón firme, moderado y hacia arriba, la masa de concreto una vez libre tratará de deformarse y por consiguiente su altura más ó menos según sea su fluidez tenderá a bajar; la diferencia entre la altura del molde y la final de la mezcla fresca se denomina 'altura de revenimiento' y se expresa en centímetros. Durante el ensaye se analiza la mezcla con el fin de comprobar que tiene suficientes finos, gravas y pasta.

La resistencia a la compresión es la más importante en el diseño estructural y la más sencilla de evaluar, la resistencia a la compresión depende notablemente de la relación agua-cemento en peso. La resistencia de diseño por mucho tiempo se ha fijado como aquella que potencialmente logra alcanzar a los 28 días de edad, tiempo en el cual se desarrolla gran parte de esta resistencia y que a edades posteriores tiende a estabilizarse.

SEGREGACION DEL CONCRETO.- Se puede definir como la segregación de los constituyentes de una mezcla heterogénea, en el caso del concreto la causa principal de la segregación es la diferencia -

de tamaños de las partículas y las diferencias de los pesos específicos. Existen dos formas de segregación, en la primera las -- partículas gruesas tienden a separarse del resto, debido a las -- tendencias de éstas partículas a recorrer mayores distancias. La segunda forma de segregación ocurre principalmente en mezclas húmedas y se manifiesta por la segregación de la lechada del resto de la mezcla.

SANGRADO.- Es una forma de segregación en la que una parte del -- agua de la mezcla tiende a elevarse a la superficie del concreto fresco ó aún no colado. Esto se debe a la imposibilidad de los -- constituyentes sólidos de la mezcla a retener toda el agua del -- mezclado al ser colocado el concreto.

ADITIVOS.- Frecuentemente las cualidades del concreto se pueden obtener económicamente con una dosificación adecuada de las mezclas y empleando los ingredientes apropiados, sin embargo, pueden existir ocasiones en que esto no es posible y la solución radica en el empleo de aditivos, los aditivos no se deben considerar como sustituto de las buenas prácticas para fabricar concreto. Por otra parte la eficiencia de estos materiales depende de factores tales como: tipo de cemento, cantidad de ingredientes, proporciones de la mezcla, forma de los agregados, granulometría, consistencia, tiempo de mezclado, temperatura ambiente, -- etc. Los aditivos son productos que se añaden al concreto para proporcionarle ciertas ventajas, entre los aditivos podemos enunciar los siguientes:

Puzolanas.

Dispersantes.

Acelerantes.

Inclusores de aire.

Reductores de agua.

Estabilizadores de volumen.

Las puzolanas están hechas de ceniza volante, vidrio volcánico, tierras diatomáceas, algunas pizarras y arcillas activas, -- son usadas en concretos masivos; con agregados reactivos para mejorar la calidad del concreto; en elementos sujetos al ataque de los sulfatos y donde los cambios volumétricos se deben reducir.

La base de acción de los dispersantes es la siguiente: separa la aglomeración de las partículas pequeñas que existen en el concreto, ya que la buena calidad de un concreto se ve influida por la finura del cemento y por la adecuada cantidad de materiales -- finos.

ACELERANTES.- Estos productos están elaborados con cloruro de sodio, cloruro de calcio, algunos carbonatos, silicatos e hidróxidos; es usado en la prefabricación y donde se desea aumentar la producción, excepto en los concretos reforzados.

RETARDANTES.- Están elaborados con liznosulfonatos, almidones, -- hidroxilcarbóxico, etc.. Son usados en colados de concreto en climas cálidos, inyecciones de lechadas y en general en obras -- donde se requiere prolongar el fraguado para asegurar colados monolíticos (sin juntas de fraguado).

INCLUSORES DE AIRE.- Están elaborados de resina Vinsol, darex, - grasas, aceites, etc., las características de este aditivo son: insoluble en agua, reacciona frente a las arenas; aumenta la manejabilidad y plasticidad, reduce la segregación y el sangrado, aumenta notablemente la durabilidad, es usado en todos los concretos expuestos al ataque severo de la intemperie, principalmente de congelación y deshielo, para aumentar la manejabilidad en donde no es recomendable aumentar el agua.

Por último la experiencia ha observado que los aditivos no se deben emplear en los siguientes casos:

- 1) Cuando la calidad deseada en el concreto se logra económicamente mediante las prácticas adecuadas.
- 2) Cuando el aditivo cause daños a edades posteriores a los elementos del concreto.
- 3) Cuando el aditivo anula uno ó varios de los efectos de otro de mayor importancia ó del tipo de cemento del concreto; por ejemplo: un impermeabilizante integral con un acelerante, el acelerante produce microfisuras que aumentan la permeabilidad aún en presencia del impermeabilizante.

CIMBRA Y EQUIPO.- En el colado del revestimiento Definitivo del Interceptor Centro Poniente se ha seguido el sistema de colado continuo, se lleva a cabo con una cimbra telescópica, con un diámetro para túnel terminado de 4.00 metros; esta cimbra está constituida de 7 secciones ó módulos, cada uno de los cuales tiene una longitud de 6.10 metros, como los módulos están ligados entre si nos da una longitud total de 42.70 metros. Como podemos observar en la figura No. 5, cada módulo está compuesto de tres ani-

SECCION DE CIMBRA TELESCOPICA

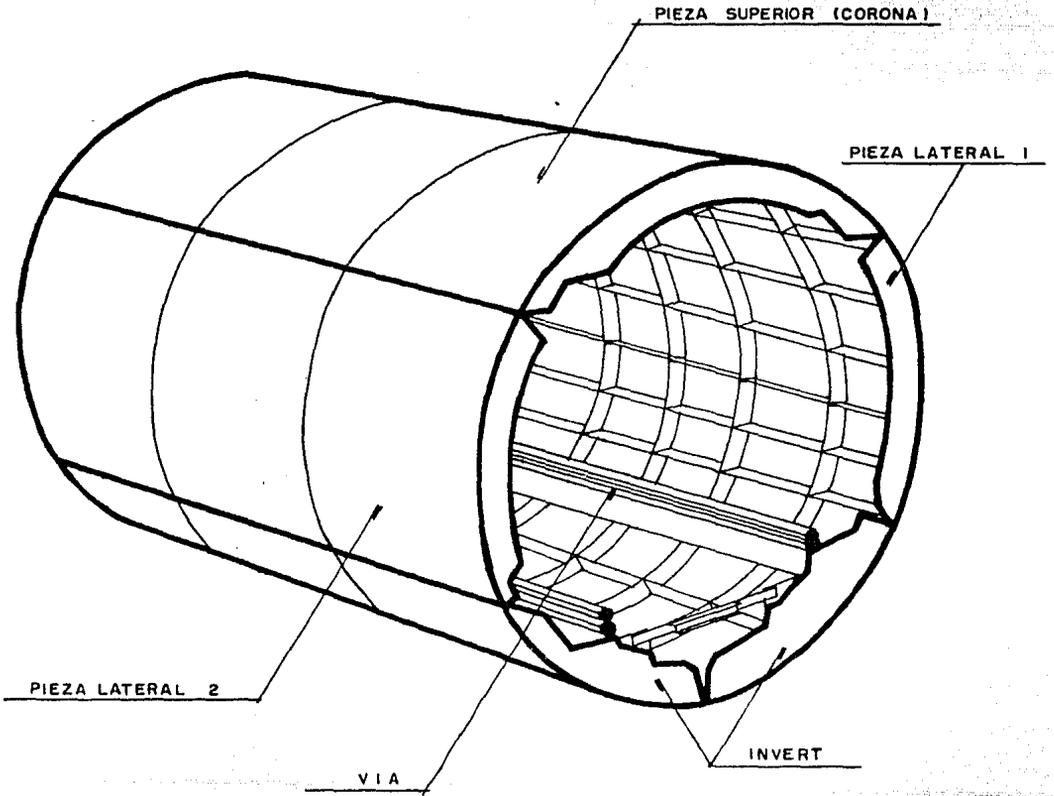
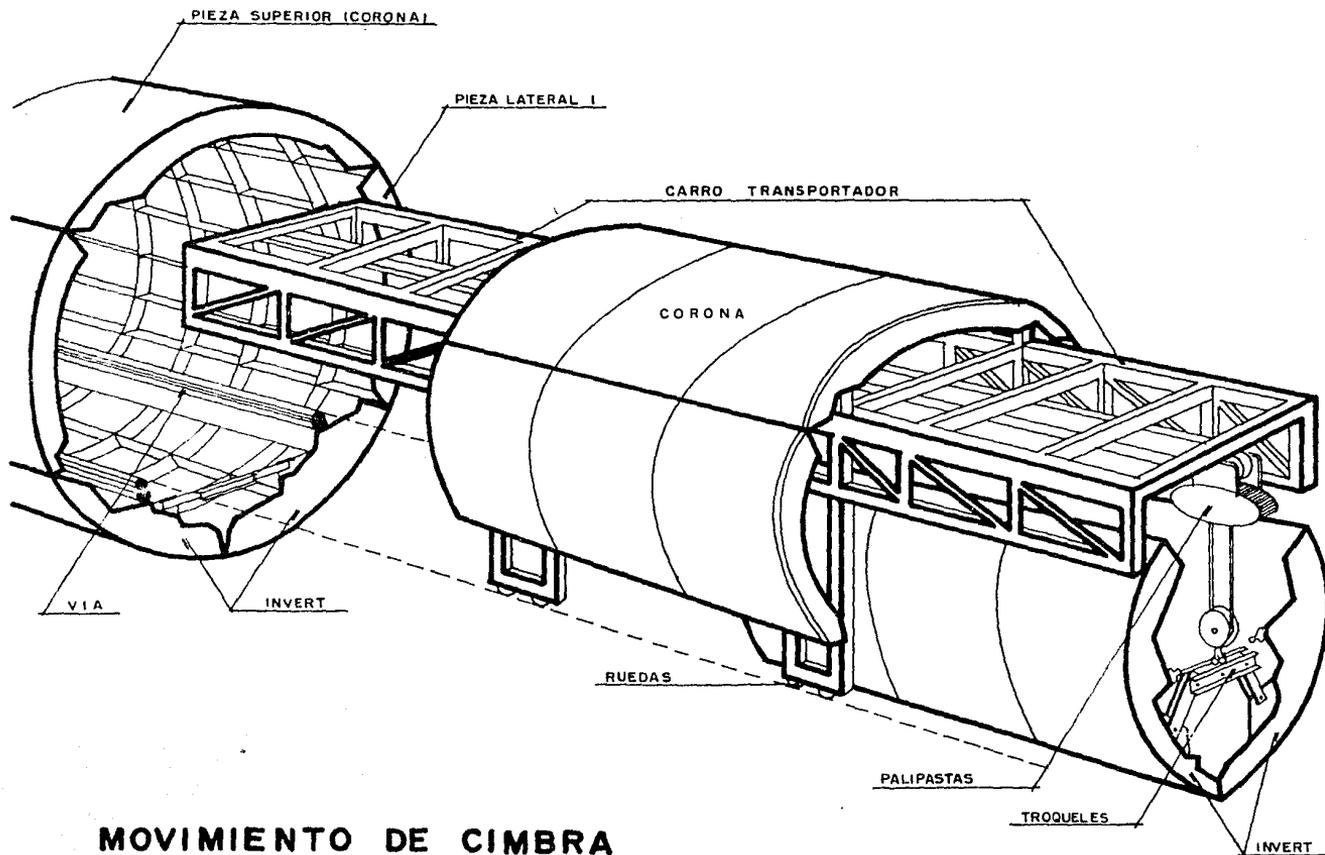


FIG. No. 5

llos y cada anillo por cinco paneles, dos inferiores denominados 'Invert' articulados entre si por lo que pueden plegarse mediante el giro del troquel (tijera) que los une, operación que se efectúa por la acción de polipastos eléctricos que corren a lo largo de la armadura superior del carro transportador; los otros tres paneles, dos laterales llamados 'Laterales' y uno superior llamado 'Corona', estos paneles también están articulados entre sí.

Cuando se va a transportar un módulo de la cimbra después de haber sido descimbrado se hacen descansar las piezas laterales y la corona sobre el carro transportador, esta operación se hace bajando los cuatro gatos hidráulicos que se encuentran en cada una de las columnas del carro, el Invert levantado y cerrado por medio de polipastos es transportado en la posición que indica la figura No. 6, listo para transportarse.

El carro transportador es una armadura doblemente volada con respecto a sus soportes, está provista de ruedas y se desplaza sobre la vía soldada al invert, mediante la acción del mando eléctrico el cual hace funcionar un sistema de engranes y cadenas para hacer girar las ruedas. Bajo cada soporte están dispuestas dos ruedas en serie, cuando las formas se instalan los gatos operados por un mando hidráulico levantan las viguetas; el carro cuenta con otros cuatro gatos dispuestos lateralmente los cuales permiten abrir en sentido lateral a la cimbra, así pues el sistema de gatos del carro ajusta los paneles que constituyen la forma a la geometría del proyecto, los gatos laterales están articulados en ambos extremos a fin de que puedan actuar tanto en sentido radial como longitudinal.



MOVIMIENTO DE CIMBRA

FIG. No. 6

El descimbrado e instalación de cada uno de los módulos se efectuará ocho horas después de haber sido llenado y se describe a continuación.

El carro transportador se coloca sobre el módulo a descimbrar y mediante la acción de los polipastos eléctricos es levantado - el invert adicional de la cimbra el cual se pliega y se corre -- hasta quedar colocado dentro del carro transportador, posteriormente se desconectan las piezas laterales. Por medio de los gatos hidráulicos se contraen las laterales y se baja la corona para permitir que el conjunto pase a través de la forma logrando - el efecto teléscopico. El carro avanza hacia el frente de la cimbra para proceder en forma inversa, el carro transportador se sitúa simétricamente con respecto al último módulo, el invert plegado se corre por medio de los polipastos y se coloca en donde - será la siguiente sección, éste es detenido por los polipastos eléctricos mientras se instalan los soportes ó 'piernas'. El invert cuenta con ductos dotados de tubos roscados que operados a mano pueden subir ó bajar para lograr que sus perforaciones coincidan con las de las piernas y así poder introducir un perno entre ambas. Evidentemente es necesario controlar con tránsito y nivel la posición del invert respecto al módulo precedente.

Una vez que el invert ha sido nivelado, el carro transportador avanza para instalar la forma, operación que se efectúa mediante la acción de los gatos verticales y laterales mencionados anteriormente, las formas se conectan entre sí con tornillos y tuercas, en sus planos de contacto y también con las formas del módulo precedente.

Haciendo un análisis de la colocación del concreto en el tramo de lumbrera 7 Interceptor Centro Poniente (producción) y el frente de colocación situado en lumbrera 5 Interceptor Centro Poniente a 2,300 metros de distancia.

PRODUCCION:

Equipo instalado:

2 dosificadoras Oru con capacidad de 1.00 m^3 /revoltura cada una

TIEMPOS:

Alimentación a las ollas	0.5 minutos
Mezclado	1.5 minutos
Descarga a la banda (0.5 minutos cada una)	1.0 minutos
	<hr/>
	3.0 minutos

Capacidad de producción por día:

$$\frac{2.00 \text{ m}^3 \times 60 \text{ minutos} \times 24 \text{ horas}}{3.0 \text{ minutos} \times 1.00 \text{ hora} \times 1 \text{ día}} = 960 \text{ m}^3 / \text{ día}$$

Por hora

$$\frac{960}{24} = 40 \text{ m}^3 / \text{ hora}$$

Considerando un factor de eficiencia de 85%

$$\text{Producción por día} = 960 \times 0.85 = 816 \text{ m}^3$$

$$\text{Producción por hora} = 40 \times 0.85 = 34 \text{ m}^3$$

ANALISIS DE CICLOS CON 5 TRENES Y DOS CAMBIOS

ACTIVIDAD	TIEMPOS
Carga carros Morán (8 m ³)	12 minutos
Maniobras y cerrado carros	2 minutos
Zona de carga a cambio 1	6 minutos
Espera en cambio 1	6 minutos
Cambio 1 a cambio 2 (lumbera 6)	6 minutos
Espera en cambio 2	6 minutos
Cambio 2 a cambio california	8 minutos
Maniobras en cambio California y espera	3 minutos
Cambio California a frente de colado	3 minutos
Conexiones y descarga	12 minutos
Frente de colado a cambio California	3 minutos
Cambio california a cambio 2	6 minutos
Cambio 2 a cambio 1	5 minutos
Cambio 1 a zona de carga	5 minutos
Lavado carros Morán y acomodo para carga	5 minutos
TOTAL CICLO POR TREN	88 minutos

Cada 24 horas se necesitan 40 minutos para cambiar instalaciones en el frente de colado.

CAPACIDAD DE COLOCACION

Por día:

$$\frac{8.00 \text{ m}^3 \times 5 \text{ trenes} \times (24.00 - 0.77 \text{ horas})}{1.47 \text{ horas}} =$$

$$= 634.83 \text{ m}^3/\text{día}$$

Por hora:

$$\frac{634.83}{24} = 26.45 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Considerando un factor de eficiencia de 85%

$$\text{Colocación diaria} = 634.83 \times 0.85 = 539.61 \text{ m}^3$$

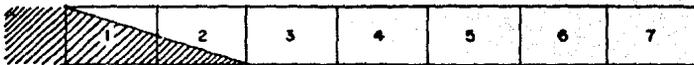
$$\text{Colocación horaria} = 26.45 \times 0.85 = 22.48 \text{ m}^3$$

$$\text{Rendimiento promedio en la sección} = 10.50 \text{ m}^3/\text{metro lineal}$$

considerando :11.50 m³/metro lineal en Sección Marcos y9.50 m³/metro lineal en Sección Concreto Lanzado

$$\text{Avance diario esperado} = 539.61 / 10.50 = 51.40 \text{ metros lineales.}$$

ANALISIS DE MOVIMIENTO DE LA CIMBRA.



Posición de los módulos en un arranque de colado

Para llenar el módulo 1 se necesitan 10.50×6.10 metros = 64.05 metros cúbicos en un tiempo de $64.05 / 22.48 = 2.85$ horas.

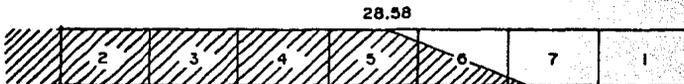
Este módulo 1 se podrá descimbrar 8 horas después cuando el concreto avanzó: $8.00 / 2.85 = 2.81$ módulos adelante es decir está :

$$\frac{(2.85 + 8.00) \times 22.48}{10.50} = 23.23 \text{ metros}$$



El tiempo de traslado de un módulo incluyendo limpieza es de 2.5 horas. Al terminar de colocar el módulo 1 el concreto está:

$$\frac{(2.85 + 8.00 + 2.50) \times 22.48}{10.50} = 28.58 \text{ metros}$$

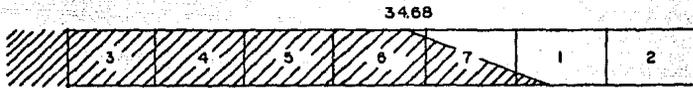


Tiempo transcurrido desde el inicio: 13.35 horas

El módulo 2 se llenó a las $2.85 \times 2 = 5.70$ horas, más 8 horas de fraguado, se puede descimbrar a las 13.70 horas de iniciado - el colado, el tiempo utilizado será de 3.0 horas.

Al terminar el movimiento del módulo 2 el concreto estará en:

$$\frac{(13.70 + 2.50) \times 22.48}{10.50} = 34.68 \text{ metros}$$



Tiempo transcurrido = 16.20 horas

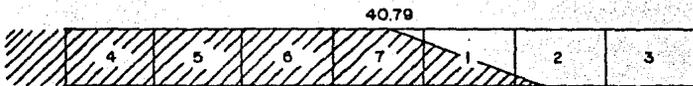
El módulo 3 se llenó a las $2.85 \times 3 = 8.55$ horas

+ 8.00 horas fraguando

16.55 horas

el tiempo utilizado en su movimiento es de 3.00 horas y al terminarlo el concreto estará en:

$$\frac{(16.55 + 2.50) \times 22.48}{10.50} = 40.79 \text{ metros}$$



Tiempo transcurrido = 19.05 horas

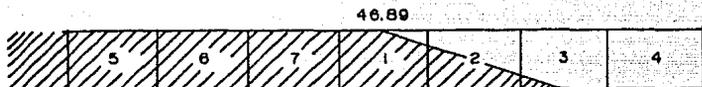
El módulo 4 se llenó a las $2.85 \times 4 = 11.40$ horas

+ 8.00 horas fraguando

19.40 horas

El tiempo utilizado en su movimiento será de 3.00 horas y la posición del concreto será:

$$\frac{(19.50 + 2.50) \times 22.48}{10.50} = 46.89 \text{ metros}$$



Tiempo transcurrido desde el inicio del colado = 21.90 horas

Como se puede notar el tiempo promedio para mover cada módulo es de 3.00 horas y siempre se tendrá más de un módulo vacío.

De este análisis se deduce que con 5 corridas de 8 metros cúbicos cada una es suficiente por colocación.

VACIADO DEL CONCRETO

- 1.- Sistemas tradicionales.- Cuando no se contaba todavía con -- plantas dosificadoras para la elaboración del concreto para el revestimiento definitivo del túnel, fué necesario efec---tuar colados primarios en la etapa de excavación, como en cañados, drenes y pisos. Para ello el concreto fué elaborado:
 - En superficie.- Con revolvedoras manuales, bajado con botes (bachas), con descarga en el fondo, transportado en vagone--tas (carros mineros), descargado y colocado manualmente ó con bandas transportadoras.
 - En el interior del túnel.- Con revolvedoras manuales diesel ó eléctricas bajando previamente por los botes de manteo

los agregados (grava y arena), así como el cemento, transportados hasta el lugar de fabricación en vagonetas, ya fabricado el concreto fué colocado manualmente ó por medio de bandas transportadoras.

2.- Bombeo.- El bombeo del concreto es un procedimiento de colocación siendo una de sus ventajas la rapidez, en México es el sistema más rápido y productivo, con el que se han vaciado grandes volúmenes de concreto en una sola jornada de trabajo. Con bombas de gran capacidad se puede vaciar una olla de concreto premezclado de 5 metros cúbicos en 4 minutos, -- las bombas más lentas requerirían aproximadamente media hora para vaciar el mismo volumen.

El bombeo del concreto es útil cuando se va a colar un volumen superior a los 60 metros cúbicos, tarea que se lleva a cabo en un tiempo de 2 ó 3 horas, es particularmente económico más allá del segundo piso, resulta extremadamente útil a medida que aumenta la altura de un edificio, en la actualidad existen bombas en nuestro país que pueden bombear hasta 80 metros de altura

Las bombas de impulsión hidráulica han estado evolucionando grandemente, incluso cambiando de manera radical su diseño estructural, hasta llegar a la construcción de bombas que transportan el concreto a distancias de 500 metros en sentido horizontal y 100 metros en sentido vertical. Lográndose con ello una colocación horaria de 80 metros cúbicos aproximadamente, dependiendo del diámetro y tipo de tubería así como los cambios de dirección

de ésta.

Aunado al desarrollo de la máquina en sí., el diseño de los - accesorios ha seguido el desarrollo necesario para resolver los diferentes problemas que se presentan en la práctica en los diversos tipos de obra; contando hasta la fecha con elementos que dada su ligereza y utilidad práctica, hacen que las instalaciones y movimientos de las líneas de conducción se realicen con -- una rapidez favorable al sistema lo que redunda en un beneficio en los costos del bombeo.

Existen accesorios especiales como las válvulas de paso, las que se colocan en la línea de conducción para evitar que el concreto regrese cuando es necesario desconectar la línea por reemplazo de alguno de los elementos anteriores a un tramo vertical, codos de diferentes radios y desarrollos para cambios de dirección, mangueras para facilitar el espacio del concreto en el -- área requerida etc..

Todos los accesorios han sido diseñados teniendo en cuenta la facilidad y rapidez que requiere el manejo de los mismos, ya que son elementos que constantemente se cambian de posición, para -- que la bomba pueda ser utilizada en diferentes lugares de la - obra.

El empleo del sistema de bombeo para la colocación del concreto en la construcción, ofrece innumerables ventajas, como en los lugares donde el espacio de trabajo es reducido ó cuando el libre acceso al lugar de colocación no es permitido debido a diferentes obstáculos, la bomba se puede situar a la distancia conveniente y la línea de conducción puede colocarse en forma horizon

tal, vertical ó inclinada, sorteando dichos obstáculos sin reducir el rendimiento del sistema.

Una de las ventajas del bombeo directamente en el lugar del colado, es que se evita toda clase de andamiaje, asimismo se mantiene una limpieza completa en la cimbra. Otras de sus ventajas son la facilidad y rapidez de instalación tanto de la línea de conducción como de la bomba.

En el revestimiento del Interceptor Centro Poniente se usó -- primordialmente una bomba de impulsión hidráulica marca SCHWING

Las bombas de concreto SCHWING , son bombas óleo-hidráulicas de émbolos bi-cilíndricos.

Los conductos de presión y absorción en la caja de correderas con conducciones sin cambios de sección y libres de torsiones, garantizan un transporte sin perturbación gracias al sistema de lavado en circuito cerrado; están las correderas casi libres de servicio. Los cilindros de transporte se lavan con agua sin presión y están comunicados entre sí por la caja de lavado.

La bomba de concreto trabaja con un motor eléctrico y cuenta con bombas hidráulicas reguladoras de potencia.

Están diseñadas lo mismo para un trabajo continuo en obras de gran envergadura como para actividades volantes.

El concreto que se encuentra en la tolva de carga es aspirado desde los émbolos de transporte a los cilindros de transporte y desde éstos es empujado a la tubería de distribución. Los dos -- pistones trabajan con movimientos contrarios, es decir mientras un émbolo retrocede aspirando el concreto de la tolva llenando -- el cilindro con concreto, el émbolo avanzando empuja el concreto

hacia la tubería, las dos placas de las correderas están diseñadas de tal forma que el émbolo aspirando está comunicado con la tolva y aislado de la tubería de transporte, el accionamiento de los émbolos se efectúa por medio de cilindros hidráulicos.

DATOS TECNICOS.

Capacidad	80 m ³ /hora
Distancia máxima de bombeo	300 metros
Altura máxima de bombeo	80 metros
Volumen de la tolva	600 litros

Esta bomba ha sido diseñada para manejar mezclas de concreto normales sin necesidad de recurrir a diseños especiales. Sin embargo, el operador debe utilizar su criterio y revisar las mezclas de los carros agitadores, tanto en su correcto mezclado como en su revenimiento. En algunos casos los primeros metros cúbicos de material pueden ser ricos en agregados dependiendo de las condiciones de la mezcla, este material no deberá colocarse en la bomba especialmente durante el llenado inicial de las tuberías. Una vez que la tubería se ha llenado y el flujo es normal podrá manejarse el material con un revenimiento menor.

La mayoría de las obstrucciones ó taponamientos en las líneas del sistema, se deben a las siguientes causas:

- a) La falta de la lubricación aportada por la lechada.
- b) La incorrecta dosificación de las mezclas.
- c) El mezclado incorrecto.
- d) Revenimiento inadecuado.
- e) Tubería y mangueras sucias.

f) Exceso de agua en la tolva y líneas de conducción al empezar el bombeo.

Cabe aclarar que humedecer la tolva y los tubos así como las mangueras, es una buena práctica pero deben eliminarse los excedentes antes de empezar a trabajar.

El concreto al ser depositado en la parte superior de la cimbra y del frente de colado, desliza por las paredes hasta el piso del túnel formándose un talud siguiendo el ángulo de reposo.

El concreto llena los huecos existentes entre las paredes de la cimbra y las del túnel, es necesario vibrarlo lo que se hace por medio de vibradores de inmersión; como la parte inferior presenta dificultades para su vibrado, es necesario auxiliarse con vibradores de pared ó de contacto, los que se colocan en la parte inferior de la cimbra. Generalmente se trabaja con 6 vibradores de inmersión y 6 de contacto, todos ellos son neumáticos.

Para tener un funcionamiento satisfactorio de los equipos accionados por aire comprimido, es necesario efectuar un estudio de los gastos de los equipos e instalaciones existentes.

Se tienen los siguientes equipos accionados por medio de aire comprimido:

EQUIPO	GASTO EN pies ³ /minuto
Carro Morán	200
Vibradores de Inmersión	60
Vibradores de contacto	60
Máquinas rompedoras	70

RECIPIENTES DE AIRE.- Los recipientes son elementos esenciales en la mayoría de las instalaciones de aire comprimido y sus funciones son:

- a) Almacenar aire comprimido para satisfacer las demandas excepcionales momentáneas.
- b) Permitir la precipitación de la humedad y su drenaje.
- c) En las líneas muy largas, al instalarlos cerca del frente ó en lugares de gran demanda, evitarán fuertes caídas de presión durante los consumos máximos de corta duración.

Todo recipiente debe tener los siguientes aditamentos:

- 1.- Válvula de seguridad.
- 2.- Manómetro.
- 3.- Válvula de drenaje.
- 4.- Registro para mantenimiento

Al instalar un tanque ó recipiente de aire es necesario saber el tamaño conveniente, éste depende del volumen que deben generar los compresores .

De la siguiente tabla se puede obtener el tamaño de los recipientes dependiendo del gasto necesario en el sistema y de la capacidad de los compresores.

DIAMETRO EN PULGADAS	LONGITUD EN PIES	CAPACIDAD DE LOS COMPRESORES PIES ³ /min	VOLUMEN PIES ³
14	4	45	4.5
18	6	110	11.0
24	6	190	19.0
30	7	340	34.0
36	10	960	96.0
48	12	2,115	151.0
54	14	3,120	223.0
60	16	4,400	314.0
66	18	6,000	328.0

El recipiente que se debe instalar en el patio de compresores para el gasto del sistema que es aproximadamente de 3,700 pies cúbicos por minuto, se obtiene de la tabla anterior y su volumen debe ser de 314 pies cúbicos. En igual forma se debe instalar otro recipiente en el frente de colado de preferencia sobre la plataforma móvil.

Respecto a los compresores que se deben instalar para satisfacer la demanda de gasto de aire comprimido para el sistema -- aproximadamente 3,700 pies cúbicos por minuto y puesto que los compresores no trabajan al 100% de su capacidad especificada -- por los fabricantes, en el campo se ha medido la eficiencia y de los datos obtenidos se obtienen un 80% de ésta; por lo tanto -- será necesario instalar los siguientes compresores:

$$\frac{3,700}{0.80} = 4,625 \text{ pies}^3/\text{minuto}$$

Por lo que será necesario instalar:

Compresores de 1,200 pies³/minuto cuatro 4,800 pies³/minuto

VIBRADO.- Existen varios tipos de vibradores, los cuales sirven para la consolidación, entre estos podemos mencionar los siguientes:

- a) Vibradores de Inmersión, estos se introducen directamente en el concreto.
- b) Vibradores de cimbra ó de contacto, estos se sujetan a la cimbra por medio de tornillos, no tienen contacto directo con el concreto.
- c) Reglas, discos vibratorios.
- d) Pisones de superficie.
- e) Pisones y sacudidores diversos.

De todos estos vibradores, los que se utilizaron en la obra son los dos primeros.

Los vibradores son mecanismos cuyo objetivo es facilitar el acomodo y compactación del concreto en la cimbra, las vibraciones originadas por ellos dentro del concreto, dan lugar a la expulsión de las burbujas de aire, las que son retenidas en el concreto al caer éste en la cimbra, otra de las características del vibrado es la de rellenar los huecos que puedan existir.

Las ventajas del concreto vibrado en general son: reduce los costos puesto que hace más fácil su colocación y requiere menor contenido de cemento, aumenta su peso volumétrico, aumenta su impermeabilidad, homogeneidad, adquiere mayor resistencia, mejor adherencia en armaduras y en las juntas del concreto, mayor durabilidad etc..

El vibrado por inmersión es el método más usual, debido al contacto directo que tiene con el concreto, origina una rápida y efectiva consolidación de éste.

En el vibrado del concreto dependiendo del tipo de vibrador y del método de vibrado, se emplean frecuencias que normalmente están comprendidas entre 3,000 a 18,000 vibraciones por minuto, bajo la acción de estas vibraciones la masa de concreto es sometida a un estado de gran fluidez. Esto se explica por que la fricción interna (estática), que existe en estado de reposo entre las partículas del concreto, prácticamente es eliminada, debido a que las partículas bajo la influencia del vibrado son puestas en movimiento.

Puesto que la estática cesa siendo suplantada por la fricción dinámica, la masa de concreto pasa temporalmente a un estado de fluidez semejante al líquido. Así bajo la influencia de la gravedad tiene lugar un reasentamiento y compactación el concreto, las partículas sueltas pueden durante el movimiento encontrar la posición que deja el mínimo espacio hueco. En cuanto se interrumpe el vibrado se cierran las partículas, el concreto alcanza ya inmediatamente después del vibrado, un alto grado de consistencia.

La superficie libre del concreto pasa de estar solo amontona-

da y mate a ser compactada y brillante, como se ha dicho el aire encerrado en el concreto se desprende en forma de burbujas, la resedimentación del concreto empieza alrededor de la punta de la aguja del vibrador y continúa luego hacia afuera y arriba de la masa. El efecto de la vibración se hace finalmente visible en la superficie libre del concreto y ésta llega a ser compacta, tersa y brillante.

Cuando el concreto es vibrado un tiempo demasiado largo (sobrevibrado), aparece un exceso de material fino en la superficie libre del concreto.

El vibrado permite una consolidación satisfactoria en caso de un concreto de revenimiento bajo, sólo en casos de una consistencia muy grande, el concreto se hace tan difícil de compactar que incluso el vibrado por aguja resulta insuficiente.

Los vibradores de cimbra ó de contacto son útiles en zonas -- normalmente congestionadas por acero de refuerzo donde el concreto puede colocarse directamente pero debe fluir a otra posición ó donde el vibrador de inmersión no puede introducirse. En el uso de éstos vibradores es importante evitar la excesiva vibración en un lugar determinado.

En el revestimiento de túneles, los vibradores de cimbra se emplearán sólo para movimientos laterales y de asentamiento y -- consolidación de la bóveda del concreto y no para movimientos -- longitudinales.

Los vibradores pueden ser accionados de la siguiente manera:

- a) Motores eléctricos
- b) Motores de combustión
- c) Motores neumáticos.

En el revestimiento del Interceptor Centro Poniente se usaron los neumáticos, siendo su marca de fabricación 'Vibroflux' de la casa Vibro-verken de nacionalidad Sueca.

El peso de éstos vibradores es reducido, lo que los hace fácilmente manejables, incluso en espacios estrechos y limitados. Los vibradores de inmersión son muy seguros en su funcionamiento ya que sólo tienen dos partes móviles, una lámina y un rotor productor de vibraciones, el tubo y las dos piezas son de acero de alta aleación especialmente escogido para proporcionar una larga duración.

4.- PROBLEMAS ESPECIALES.

En esta obra se tuvieron que realizar una serie de estudios para la solución de los diferentes problemas de Ingeniería que se presentaron, estos estudios fueron: topográficos, geológicos, hidráulicos, estructurales, etc.. Con los estudios topográficos se logró determinar un corte longitudinal de orientación, la nivelación de clave y de piso del túnel excavado, las secciones transversales y el control de eje con una precisión tal que las conexiones, se puede decir, que fueron casi perfectas. Así mismo por medio de los demás estudios se estimaron las posibles aportaciones de agua a lo largo del túnel y en zonas donde se localizaron contactos y fallas geológicas, permitiendo esto estudiar la ubicación y capacidad de las galerías de bombeo, así como las dimensiones de los drenes de conducción; se obtuvo el diseño de torres e instalaciones de ademe, de cimentaciones de máquinas, de cimbras, etc..

Así mismo por medio de una adecuada planeación se logró la programación de los recursos, análisis de los procedimientos de construcción idóneos y sus ciclos de producción.

El control periódico permitió idear nuevos procedimientos de construcción y realizar así una dinámica con ajustes en el programa general, pero siempre tendiente a la optimización y a la deducción del programa de recursos (compras, financiamientos, equipo, personal, etc.).

Una vez terminada la etapa de excavación se iniciaron los estudios y preparativos del revestimiento definitivo, para ello --

hubo necesidad de realizar varios trabajos como fueron:

- a) Localización de bancos de agregados, estudio y cotización de las plantas apropiadas para la obtención de los materiales para la fabricación del concreto.
- b) Estudio de las plantas de dosificación y fabricación adecuadas.
- c) Forma económica del transporte del cemento de las fábricas a las plantas dosificadoras.
- d) Métodos económicos y eficientes de construcción y decisiones sobre equipo por adquirir.
- e) Se ordenaron los diseños adecuados para la construcción de la cimbra para el revestimiento.
- f) Se coordinó con las autoridades del Distrito Federal y con sus asesores todos los asuntos referentes a especificaciones y proyectos.

INFORMACION GENERAL DEL TUNEL

DATOS:

Diámetro del túnel ya revestido	4.00 metros
Sección transversal terminada	Circular
Perímetro de la sección terminada	12.57 metros
Promedio del espesor de la pared	0.40 metros
Volumen de concreto por metro lineal	10.50 metros ³
Volumen de concreto por M.L. con mermas	11.50 metros ³

CURVAS:

- Horizontal Por medio de deflexiones entre los módulos de la cimbra
- Vertical No se consideraron.

CONCRETO:

- Condiciones del agregado . . . Triturado y de mina
- Tamaño máximo del agregado . . 3/4 pulgada (19 milímetros)
- Método de colado Bombeo
- Método de vibrado Interno y externo.
- Tiempo para descimbrar 8.00 horas.

El método utilizado para el colado de concreto fue:

Colado continuo a sección completa del túnel ó sea 360°

HABILITACION INICIAL DEL TRAMO.- Los topografos deberán correr niveles y líneas a lo largo del eje del túnel, marcando los marcos que rebasen la mínima línea del claro y toda la roca que se proyecte más allá de la línea mínima de excavación.

Los marcos que estorben deberán ser corregidos ó quitados, -- los promontorios de excavación removidos, el retaque y los separadores removidos, arreglados ó repuestos para conformar los requerimientos de las especificaciones.

No se necesita equipo especial para esta operación y puede -- ser efectuada con el mismo equipo utilizado en la excavación del túnel, éstas operaciones se deben efectuar con mucho cuidado, sobre todo en partes donde el material ha sufrido intemperización

y por lo tanto se encuentra cargando sobre los marcos que sirven de ademe.

EL PISO.- Los requerimientos de especificación para la limpieza del piso incluyen más que cualquier otro paso del procedimiento de recubrimiento. Esto es debido a las grandes diferencias entre las especificaciones en el tipo de limpieza requerida en el túnel. Cuando las especificaciones no requieran limpieza de la roca descubierta, la limpieza del piso se puede combinar con el colado de plantillas que elimina la operación separada de limpieza del piso.

Sin embargo, en el presente caso es necesaria la limpieza inicial, mediante la remoción del material suelto que es pernicioso a la zona de asiento de la nivelación.

El arreglo del piso del túnel es muy necesario para llevar a cabo el revestimiento definitivo del túnel, por errores ó cambios en la topografía se ha tenido algunas zonas, que bajar el piso hasta 0.50 metros el cual se dejó en la etapa de excavación los rendimientos del trabajo varían dependiendo del tipo de material.

Es de suma importancia anclar los marcos, encadenarlos y colocar una guarnición cuando éstos se encuentren en su lugar definitivo, para así proceder a bajar el piso al nivel de proyecto, el cual queda en muchas ocasiones más bajo que el nivel sobre el que se encuentran desplantados los marcos del ademe metálico.

Al ir dando el nivel de piso y limpiando es conveniente colocar una plantilla de concreto pobre de 15 centímetros de espesor

esta plantilla se coloca con el fin de proporcionar el soporte necesario a las cargas ejercidas por el equipo utilizado para el revestimiento.

Las ventajas de la plantilla son:

- a) Debido a la naturaleza del terreno, se requiere un piso para sostener grandes cargas concentradas que producen los soportes de la cimbra. Se debe procurar previamente al colado de la plantilla, mantener la limpieza del equipo, cimbra telescópica, plataforma del tren de colado, vagonetas para rezaga y concreto, durante todo el revestimiento lo que redundará en el progreso del colado.
- b) La cota correcta de la plantilla permite la elevación rápida y continua de la cimbra.
- c) La colocación ó arreglo de la vía sobre este piso, dará lugar a un sistema de entrevía y alineación correcta con mucha más precisión, beneficiando de esta manera la velocidad y mayor rendimiento durante las operaciones de colado.

COLOCACION DE LA VIA DEFINITIVA.- El sistema de vía se encuentra compuesto por tramos rectos de un solo carril, cambios fijos y cambios móviles. Primeramente se analizan los tramos rectos; la vía que se usó para la excavación, se encontró bastante deteriorada y compuesta por tramos de riel de diferentes medidas; fué necesario levantar toda ésta, seleccionar los rieles de acuerdo a sus tamaños y aquellos que se encontraban en condiciones de seguir trabajando, desechando los rieles menores de 56 libras, tramos cortos, vencidos, curvas, etc.. Al colocar la vía definitiva

primeramente se colocarán todos los rieles de una misma medida, hasta agotarlos, en seguida todos los de otra medida diferente y así sucesivamente, al unir dos tramos de riel de una misma medida no se tiene ningún problema, siempre y cuando se usen las -- planchuelas y tornillería adecuadas; en la unión de dos tramos de diferente medida es necesario colocar una placa en la parte inferior del riel menor para nivelar la parte superior, pues estos topes son los causantes principales de los descarrilamientos

Una vez colocada la vía se alinea con el eje del túnel y se nivela.

CAMBIOS FIJOS.- Para el libramiento de los trenes fué necesario construir los cambios fijos, con las dimensiones y aditamentos adecuados para que el equipo con que se cuenta para el transporte del concreto funcionara correctamente en éstos, la dimensión de un cambio está en función del número de carros agitadores, vagonetas y locomotoras, siendo las siguientes:

CONCEPTO	LONGITUD	No. DE UNIDADES
Vagoneta de rezaga	2.74 metros	1
Carros transportadores	7.70 metros	3
Locomotora	5.18 metros	1
Plataforma	10.67 metros	1

La longitud total será :

$$2.74 + 3 (7.70) + 5.18 + 10.67 = 39.69 \text{ metros.}$$

Como en algunas ocasiones un tren tendrá que llevar alguna --
unidad adicional, el cambio fijo cuenta con un tramo recto de --
50.00 metros y el tramo ocupado por el juego de agujas es de --
9.00 metros cada uno, contandose por lo tanto con una longitud
total de 68.00 metros.

La separación entre los carriles depende del ancho de las uni-
dades, pero se les dió una separación entre centros de vías de -
2.50 metros, lo cual permite que libren los trenes en este sitio

Es necesario contar con un cambio móvil próximo al frente de
colado para irse moviendo en el menor tiempo posible conforme --
avanza el colado, este tipo de cambio se conoce con el nombre de
'cambio California', cuya longitud debe ser la misma que la de -
los cambios fijos.

La capacidad de vía del sistema depende de:

- 1) Capacidad de los carros.
- 2) Número de carros en el tren
- 3) Número de trenes en el sistema.
- 4) Tiempo de ciclo.

El tiempo de ciclo depende de la velocidad del tren, sin em--
bargo, los tiempos de carga y descarga son factores importantes;
en general las velocidades máximas se determinan por el estado -
de la vía, el grado de congestionamiento en una determinada sec-
ción. Con el equipo que se tenía en la obra se podían esperar ve
locidades desde 32 kilómetros por hora cargados y hasta 48 kiló-
metros por hora vacíos, sin embargo, un análisis detallado del -
equipo y condiciones de operación y seguridad obligaron a limi--

tar la velocidad a 20 kilómetros por hora.

Por otra parte, debido a las condiciones topográficas del piso fué necesario colocar una cama de balasto nivelada para el tendido de la vía y continuamente verificar y corregir el ancho de la misma, y el alineamiento tanto horizontal como vertical.

Otro factor que obligo a dar este mantenimiento fué que los camoios de vía se efectuaban manualmente; en el túnel se estandarizó la entrevía a 91.4 centímetros (36 pulgadas).

El problema más común que se presenta, es el descarrilamiento de los carros agitadores y las locomotoras, éstos descarrilamientos ocasionan demoras, desde luego que no todos los trenes se descarrilan, sin embargo, cuando ésto sucede la demora es enorme. Las causas notables de un descarrilamiento son:

- a) Sapos inapropiados y muy trabajados.
- b) Rodado de los carros defectuoso, algunas ruedas tienen desgastes fuera del límite.
- c) Limpieza adecuada en la zona, a fin de mantener libres de concreto, agregados y rezaga la vía.

FUERZA DE TRACCION DISPONIBLE.- La capacidad de arrastre de las locomotoras depende primordialmente de la potencia que es capaz de desarrollar el motor con que se encuentra equipada. La combinación de engranes que se utiliza para ejecutar un trabajo determinado, la velocidad y la fuerza disponible para ejecutarlo. Estas combinaciones se extienden desde las bajas velocidades y gran potencia, hasta las altas velocidades y potencias reducidas

Por lo tanto para ejecutar cierta cantidad de trabajo, la má-

quina suministrará lo que se llama potencia de trabajo.

FUERZA DE TRACCION MAXIMA UTILIZABLE.- La limitación básica a la fuerza de tracción ó tiro, es el peso de la máquina misma, ninguna locomotora puede ejercer una fuerza de tracción superior al peso que desacansa sobre sus ruedas motrices. Podemos decir que la tracción es la capacidad de las ruedas para adherirse a la superficie de la vía, y se expresa mediante un coeficiente el cual varía según las condiciones de la misma.

COEFICIENTES DE TRACCION EFECTIVAS PARA LOCOMOTORAS

CONDICIONES DE LA VIA	RUEDAS DE ACERO TEMPLADO		RUEDAS DE ACERO FORJADO	
	SIN ARENA	CON ARENA	SIN ARENA	CON ARENA
	Grasosa-húmeda	0.15	0.25	0.15
Con humedad ambiente	0.18	0.22	0.18	0.22
Mojada y limpia	0.20	0.25	0.25	0.31
Limpia y seca	0.20	0.25 a 0.30	-	0.31 a 0.37
Valores óptimos	-	0.38 a 0.42	-	0.47 a 0.52

FUERZA DE TRACCION NECESARIA.- Es la fuerza de tracción que debe desarrollar una máquina para realizar un trabajo y queda determinada por los siguientes factores:

- 1) Resistencia al rodamiento.- Es la fuerza que opone la superficie de rodamiento al giro de las ruedas, los factores más

importantes son:

- a) Fricción interna (baleros, bujes, desajustes, zapatas de frenos, etc.).
- b) Anchos de entrevía (galibos estrechos).
- c) Flexión de las ruedas (deformación).
- d) Penetración en la superficie.

2) Resistencia a la aceleración.- La aceleración es el incremento de la velocidad de un vehículo en movimiento, por medio de la aplicación del exceso de la potencia del motor. La resistencia a la aceleración es la fuerza que se opone a la misma.

3) Resistencia en pendiente.- Es la medida de la fuerza que debe vencer una máquina en pendientes desfavorables, (cuesta arriba) y la Ayuda en pendientes es la medida de la fuerza que favorece el movimiento de una máquina en pendientes favorables (cuesta abajo).

5.- CONCLUSIONES.

Desde que el hombre colonizó la cuenca de México hará 30 mil años ha presenciado erupciones volcánicas e inundaciones, por -- ser éstas las catástrofes naturales del lugar. Las erupciones -- habrán forzado al hombre a cambiar de morada cada 3 a 5 siglos -- pues con esta frecuencia suelen ocurrir dichas catástrofes.

Cuando el hombre comenzó a construir ciudades en las partes centrales de la cuenca, hará mil años, tuvo que enfrentarse al problema de cimentar pirámides, templos y palacios, los cuales se hundían en las arcillas lacustres cuando no eran apoyados so bre pilotes.

Además, la misma naturaleza poco consolidada de los suelos -- en las planicies, hacía que éstas respondieran con extraordinaria excitación a los grandes sismos que se repetían cada 30 a -- 50 años, derrumbando las construcciones inadaptadas a resistir estos movimientos.

Los tiempos modernos, con la creación de una urbe gigantesca han sumado a estos peligros naturales dos nuevos riesgos: hundi miento de grandes superficies urbanas a consecuencia de la ex-- tracción de agua potable del subsuelo y dificultad en la evacua ción de los crecientes volúmenes de aguas negras al exterior de la cuenca.

Por consiguiente y con el fin de asegurar la supervivencia -- de la ciudad desde tiempos de los aztecas, además de desarro--- llar el arte de cimentar y construir edificios, se construyeron grandes obras de defensa contra las inundaciones, como el alba-

rradón de Netzahualcoyotl; posteriormente las obras de desague - de Nochistongo y Tequisquiác y en la actualidad el Sistema de -- Drenaje Profundo. Esta última obra resuelve en definitiva el pro- blema de inundaciones.

Distinto a la mayoría de los casos de grandes obras, ésta se emprendió con urgencia. Se atacó cuando la ciudad de México ya - había crecido hasta tal grado, que las aguas negras amenazaban - desbordarse del Gran Canal en los meses de lluvia. Por consi---- guiente también existía peligro de que una lluvia extraordinaria transformara partes de la ciudad en un lago, pues la red de al-- cantarillado, desquiciada por los asentamientos desiguales, ape- nas podía manejar volúmenes normales y mucho menos excesivos.

Para construir ésta obra se tuvo que pasar por diversos pro- blemas la mayoría de tipo administrativo, ya que las soluciones que se obtenían eran seguidas por papeleos y estudios las más - veces innecesarios, retrasando con ésto el inicio de esta impor- tante obra.

Mencionando específicamente la etapa final es decir el Reves- timiento Definitivo del Interceptor Centro Poniente, cabe mencio- nar que hubo algunos tramos en que se inició el revestimiento -- estando dichos tramos totalmente rehabilitados pero en la mayor parte el revestimiento se inició sin estar terminada la rehabili- tación, reflejando este aspecto en el rendimiento, ya que fué ne- cesario detener la construcción para rehabilitar dicho tramo.

A los cruces de lumbreras se consideró conveniente dejarlos sin colar; algunas de ellas como se mencionó anteriormente alber- garon estructuras hidráulicas de captación, de Ríos ó colectores amén a estos trabajos el dejar de colar los cruces de lumbreras

tenía la finalidad de que tanto el equipo como el personal no tuvieran demoras.

Adquirir los elementos necesarios que componen el concreto, - así como fabricarlo, transportarlo y colocarlo en su posición definitiva, representó un verdadero reto debido a los programas -- exigidos por El Departamento del Distrito Federal dada la urgente necesidad de poner en servicio la obra.

El concreto así como los elementos que lo componen, se obtuvieron bajo estricta supervisión con lo que se garantizó la -- buena calidad y durabilidad de la obra.

Los problemas fundamentales que se presentaron en la obra son

- a) Falta de planeación adecuada a los problemas existentes.
- b) Continuo cambio de personal técnico de construcción.
- c) Falta de personal especializado en revestimiento de túnel.
- d) El sistema de vía en el túnel en muy mal estado, provocando continuos descarrilamientos de locomotoras y carros Morán.
- e) Cemento con alta temperatura y en ocasiones con deficiencias en su composición química.
- f) Escasez de cemento.
- g) Movimiento del personal obrero a la terminación de otro tipo de obras dentro de la ciudad.

Para evitar ó reducir los problemas es de recomendarse lo siguiente:

- a) Hacer una planificación del sistema, con el departamento de construcción y el departamento de planeación conjuntamente - para tener una producción uniforme.
- b) No iniciar el revestimiento de un tramo si no está rehabili-

tado.

- c) Tener muy buen mantenimiento de la vía para evitar al -- máximo los descarrilamientos.
- d) Tener y conservar en buenas condiciones todo el equipo utilizado como son: locomotoras, carros agitadores, compresores, tuberías de bajada del concreto, tuberías de alimentación de aire y agua, tubería de descarga del concreto etc.