

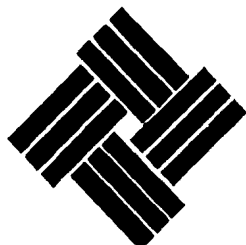
881215

4
24

UNIVERSIDAD ANAHUAC

ESCUELA DE INGENIERIA

CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO



ANÁLISIS Y DISEÑO DE LUMBRERAS

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL
PRESENTA

RAFAEL EUGENIO BARRAGAN DEGOLLADO

MEXICO, D. F.

1988

FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 está 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.

INDICE

	<u>Página</u>
INTRODUCCION.	1
CAPITULO I. GENERALIDADES	3
CAPITULO II. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS MAS COMUNES EN LUMBRERAS	16
CAPITULO III. ANALISIS Y DISEÑO DE LUMBRERAS	35
CONCLUSIONES.	106
BIBLIOGRAFIA.	108

INTRODUCCION

Durante el proceso de excavación de un túnel, se genera gran cantidad de material producto de la misma; el cual debe ser desalojado del frente de ataque. Para lograr esto rápida y eficientemente, se deben de realizar una serie de excavaciones verticales (generalmente de sección circular), que se distribuyen a lo largo del trazo del túnel según los requerimientos constructivos o de proyecto.

Estas excavaciones reciben el nombre de lumbreras; las cuales también se utilizan entre otras cosas para proporcionar el acceso del personal y del equipo al túnel, así como para realizar un cambio de dirección o para la unión de dos o más túneles que se encuentran a diferentes profundidades.

Actualmente se utilizan por lo general dos tipos de procedimientos constructivos para llevar a cabo la construcción de las lumbreras en el Sistema de Drenaje Profundo, uno de estos se utiliza para suelos firmes (lumbrera convencional) y el otro para suelos arcillosos (lumbrera flotada).

En este trabajo se expondrá el uso de las lumbreras, su clasificación y procedimientos constructivos (hasta aquí se podrán conocer los elementos esenciales que constituyen a las lumbreras, así como las diferencias que -

existen entre una lumbrera flotada y una convencional); así como el análisis y diseño de los elementos que conforman a ambos tipos de lumbreras; los resultados de estos análisis se presentan en una serie de planos que corresponden a los dos tipos de lumbreras que se manejan a lo largo de este trabajo.

CAPITULO I
GENERALIDADES

1.1 Antecedentes.

1.2 Clasificación de las lumbreras.

1.2.1 Por el tipo de suelo.

1.2.2 Por su procedimiento constructivo.

1.2.3 Por su funcionamiento.

1.2.4 Por su tipo de ademe.

CAPITULO I

GENERALIDADES

L.1 Antecedentes.

La Gran Tenochtitlán fué fundada por los Aztecas sobre un islote que emergía unos cuantos centímetros de las aguas del Lago de Texcoco y debido a las características geográficas y climatológicas de la cuenca, se iniciaron los ancestrales problemas de inundaciones y abastecimiento de agua en esta ciudad.

En la época colonial las soluciones seguían siendo provisionales y lógicamente los problemas se agravaban constantemente. En 1900 se terminó el primer sistema de drenaje del Valle de México que consistió en el Gran Canal del Desagüe y el primer Túnel de Tequixquiac. Estas obras fueron proyectadas para una población esperada de medio millón de habitantes y para una capacidad de $17 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Debido al aumento de la población, fué necesario incrementar la capacidad del Gran Canal, sin embargo, era necesario dar una solución que erradicara el problema de drenaje y esta fué el Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México.

Este esta constituido por una gran cantidad de obras civiles, como son; cajas de conexión o regulación, plantas de bombeo, túneles y lumbreras entre otras, siendo las más comunes las dos últimas.

Las lumbreras son excavaciones verticales generalmente de sección circular, sus diámetros varían entre los 6 y 12 m, siendo las más comunes las de 9 m, debido a que la longitud del "Escudo" (que sirve para excavar los túneles) tiene una longitud de aproximadamente 8.m.

Algunas de las funciones más importantes de las lumbreras, entre otras, son la introducción de la maquinaria de excavación, la extracción del material producto de la misma, el acceso a los túneles, la eliminación de sólidos del caudal por medio de rejillas colocadas en el interior de la misma, la regulación del caudal por medio de compuertas, facilitar la unión de dos túneles o para cambiar la dirección de estos, etc.

En este trabajo nos enfocaremos al estudio de la Lumbrera 4 del Proyecto Prolongación Sur del Interceptor Central y la Lumbrera 2 del Proyecto Colector Semiprofundo Canal Nacional, la primera construida por el Método de Flotación (Técnica Estrella) y la segunda por el Método Tradicional (Lumbrera Convencional).

La Lumbrera 4 se localiza en la esquina que conforman la Av. Doctor José María Vertiz y la Av. Obrero Mundial (Fig. 1), y la Lumbrera 2 se encuentra en la Av. Río Churubusco y la Clz. de la Viga (Fig. 2).

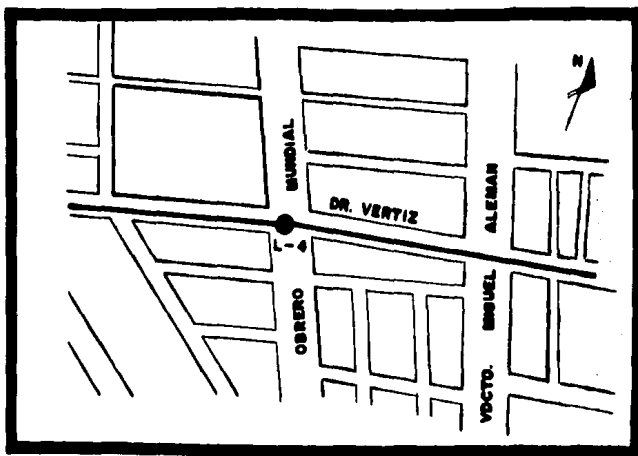


FIGURA 1

Lumbrera 4 del Interceptor Central

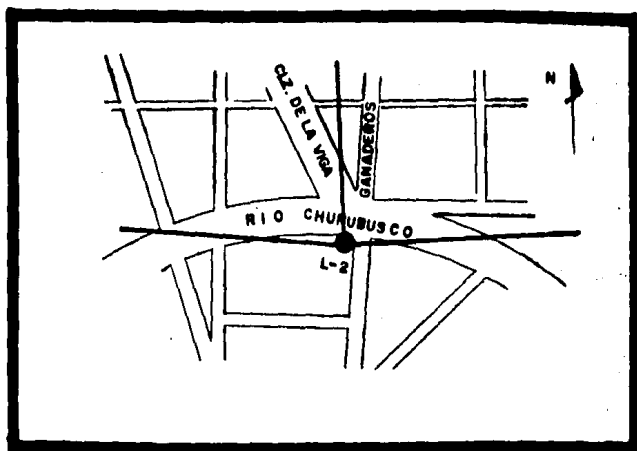


FIGURA 2

Lumbra 2 del Canal Nacional

1.2 Clasificación de las lumbreras.

Hay varios factores que determinan un tipo u otro de lumbreras, estos pueden ser, el tipo de suelo, procedimientos constructivos, funcionamiento y tipo de ademe; to dos estos factores serán explicados a continuación.

1.2.1 Por el tipo de suelo.

Dependiendo de las características de resistencia del subsuelo se determina si la lumbrera será excavada en un material blando o firme.

Las lumbreras excavadas en suelos blandos tienen como problema fundamental durante el proceso de excavación la estabilidad de las paredes y también la falla de fondo; por esta razón el tipo de suelo es un factor importante que determina el procedimiento constructivo más adecuado para llevar a feliz término la construcción de la lumbrera; también el tipo de terreno determina el revestimiento primario (ademe) que se requiere durante el proceso de excavación.

1.2.2 Por su procedimiento constructivo.

Hay varios tipos de procedimientos constructivos, sin embargo los más comunes son los llamados "Método de Flotación" y "Método Tradicional o Convencional"; ambos serán explicados e ilustrados en el siguiente capítulo.

1.2.3 Por su funcionamiento.

A las lumbreras que proporcionan el acceso a los túneles, la introducción de la maquinaria de excavación y

la extracción del material excavado, se les conoce con el nombre de "Lumbreras Constructivas". Si la lumbrera tiene como función la eliminación de sólidos del caudal, se le da el nombre de "Lumbrera de Rejillas o de Limpieza"; las lumbreras encargadas de la regulación del caudal se les conoce como "Lumbreras de Control"; si la función de la lumbrera es elevar el agua por medio de bombas, recibirán el nombre de "Cárcamos de Bombeo". Todas las lumbreras pueden ser o no constructivas dependiendo de las necesidades de proyecto, es decir, que una lumbrera de rejillas, de control o un cárcamo de bombeo pueden desempeñar o no las funciones de una lumbrera constructiva.

1.2.4 For su tipo de ademe.

Esta clasificación depende principalmente del tipo de suelo, y del procedimiento constructivo. Esto es, si la lumbrera es construida por el Método de Flotación, el ademe será lodo bentonítico, sin embargo, si la lumbrera es construida por el Método Tradicional, el ademe o revestimiento primario podrá ser a base de marcos metálicos o dovelas; estas últimas pueden ser metálicas o de concreto.

Un marco metálico está constituido generalmente por cuatro segmentos de círculo, los cuales al unirse forman una circunferencia. Este tipo de revestimiento primario comunmente se fabrica con perfiles IPR los cuales tienen en sus extremos unas placas soldadas con dos huecos que permiten el paso a tornillos que servirán para sujetar un segmento con otro hasta formar el marco circular (Fig.

3).

El alma del perfil tiene unos huecos uniformemente distribuidos en los cuales se colocarán los atiesadores que se conectan de un marco a otro y que sirven para disminuir la longitud libre de pandeo y obtener así perfiles más económicos (Fig. 4).

Los marcos metálicos son muy utilizados por su facilidad de fabricación e instalación y por su bajo costo. La separación mínima entre marcos suele ser 80 cm; si las características del terreno requieren de una separación menor, será más conveniente utilizar dovelas como revestimiento primario.

En México el diámetro de los escudos utilizados es de 4.15, 3.25 y 2.35 m. El revestimiento primario en túneles excavados con escudo es por lo general de dovelas por lo que éstas deben tener un arco de circunferencia tal que al unir un cierto número de ellas se obtenga un anillo con alguno de los diámetros antes mencionados. Como consecuencia el uso de las dovelas en lumbreras estará restringido por el diámetro de la misma. Para diámetros mayores es posible fabricar dovelas con el arco de círculo necesario para ajustar el cierre del anillo, sin embargo hay que tomar en cuenta la necesidad de fabricar los moldes (cimbra metálica) lo cual incrementa los costos.

Las dovelas vistas en planta son de sección rectangular teniendo en sus lados largos dos o más preparaciones para sujetarse lateralmente con otras dovelas, y en

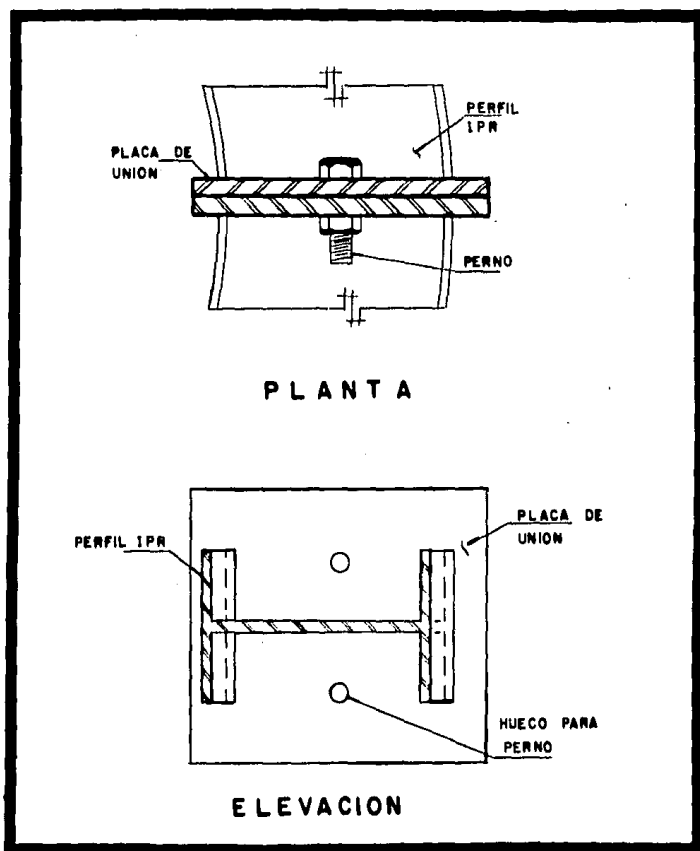


FIGURA 3

Unión de Marcos Metálicos

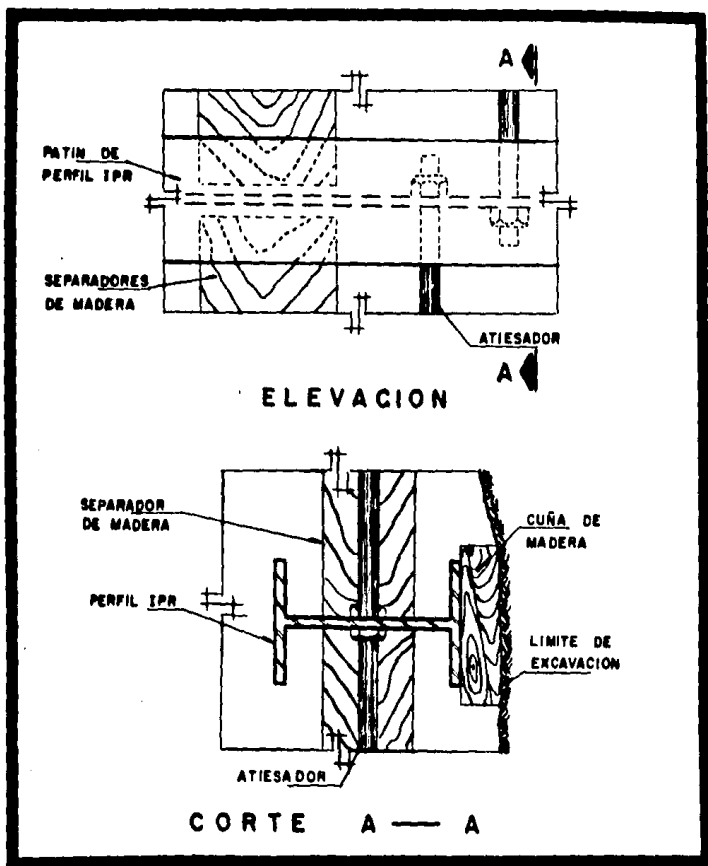


FIGURA 4

Pernos atiesadores

sus lados cortos una o dos preparaciones para sujetarse de frente. Vistas en elevación, las dovelas tienen un cierto arco de círculo, de tal forma que se forme un anillo al ir uniendolas.

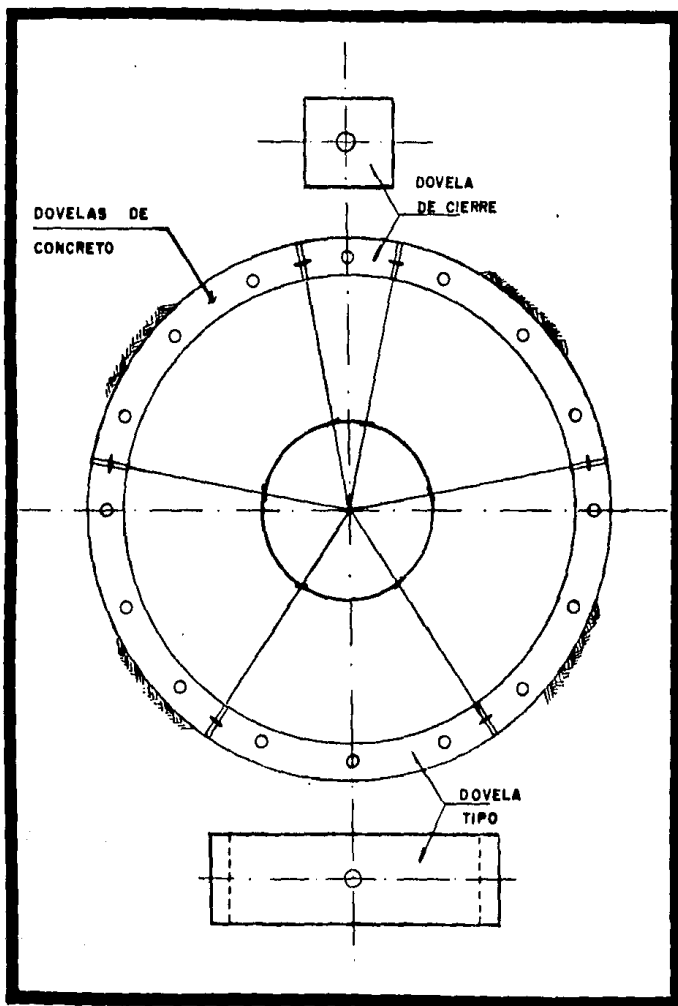


FIGURA 5

Dovelas de concreto

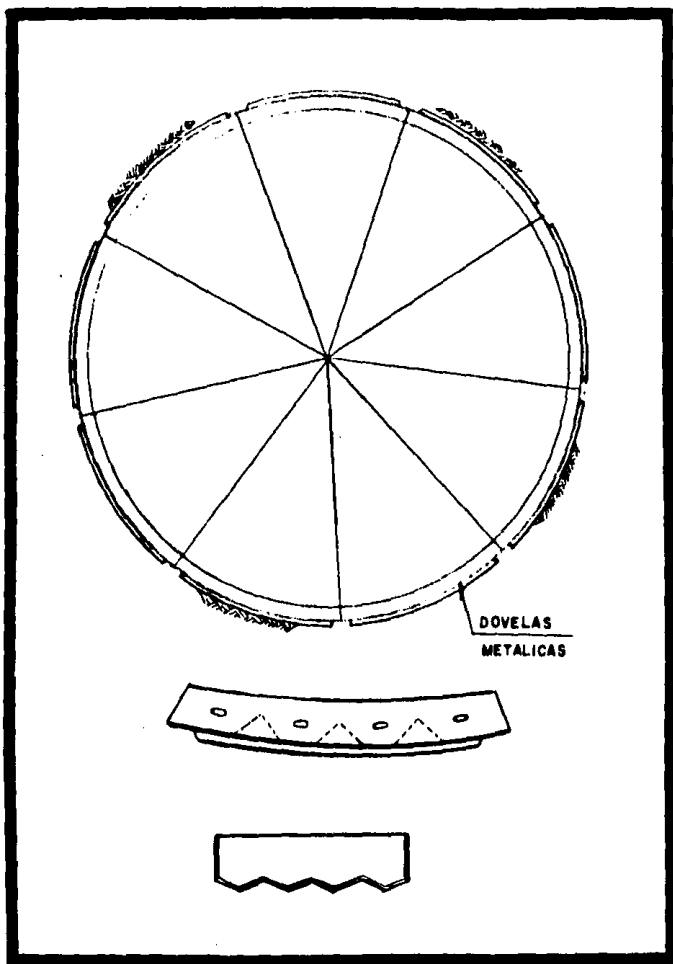


FIGURA 6

Dovelas metálicas

CAPITULO II

PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS MAS COMUNES EN LUMBRERAS

2.1 Método Tradicional.

2.2 Técnica Estrella.

CAPITULO II

PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS MAS COMUNES EN LUMBRERAS

2.1 Método Tradicional.

La construcción de la lumbrera se inicia excavando una zanja perimetral de 50 cm de ancho y 2.5 m de profundidad, donde se alojara el faldón del brocal; el alerón, estará constituido por una losa perimetral de 2.5 m de ancho y 50 cm de espesor (fig. 7).

Posteriormente se efectuará al centro de la lumbrera una perforación de 30.5 cm (12") de diámetro hasta una profundidad de 2 m abajo de la máxima de proyecto. Esta se ademarará con una tubería de lámina engargolada tipo "INNES" de 20.3 cm (8") de diámetro, que deberá estar perforada en toda su longitud a excepción de los 5 m superiores. Después se procederá a colocar un filtro de arena bien graduada, y se instalará una bomba sumergible. El bombeo se deberá iniciar 24 horas antes de que se comience la excavación del núcleo de la lumbrera (fig. 8).

La excavación se deberá realizar por intervalos con un avance máximo de 1.50 m en cada uno, debiéndose colocar marcos metálicos a la separación especificada. Estos deberán ser acañados con madera entre el terreno y el marco; también se deben de colocar tensores de varilla (atiesadores) y separadores de madera entre marcos (fig. 9).

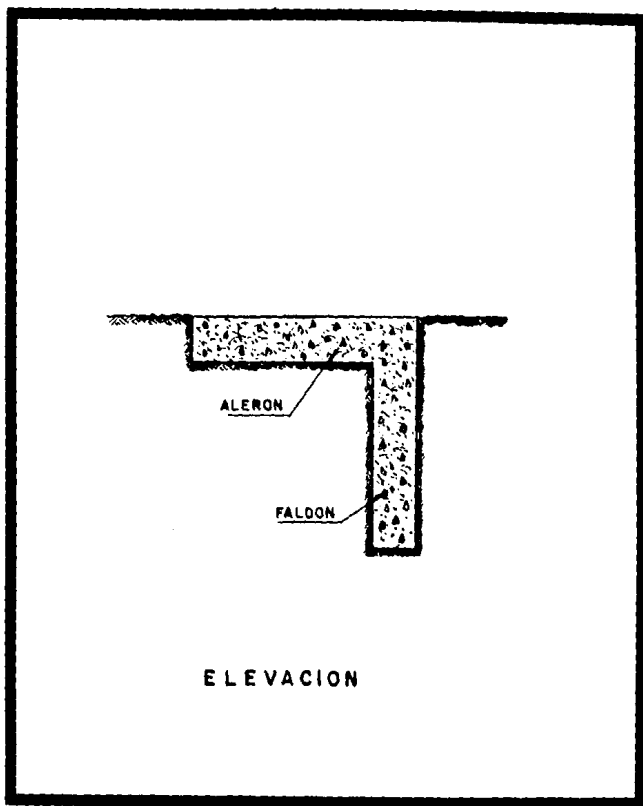
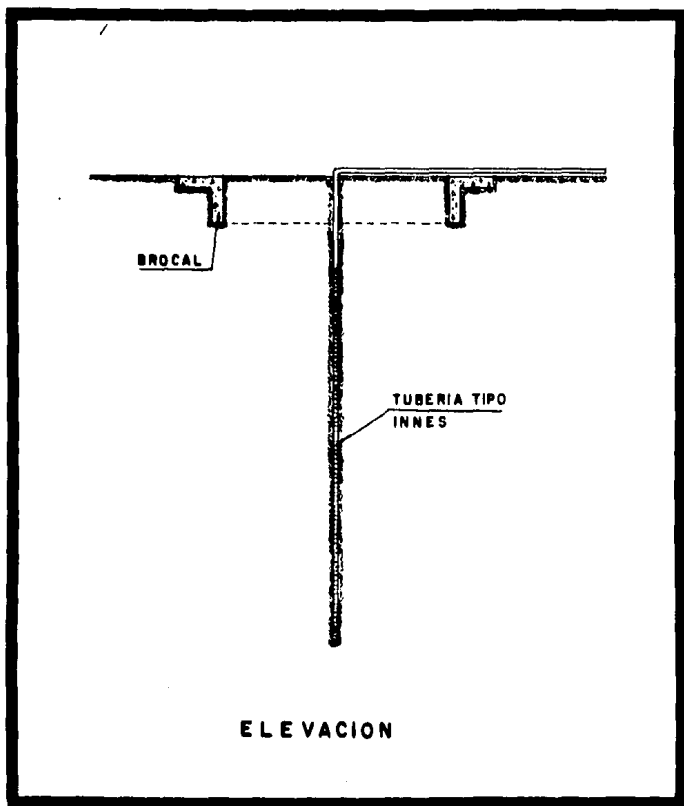


FIGURA 7

Brocal



ELEVACION

FIGURA 8

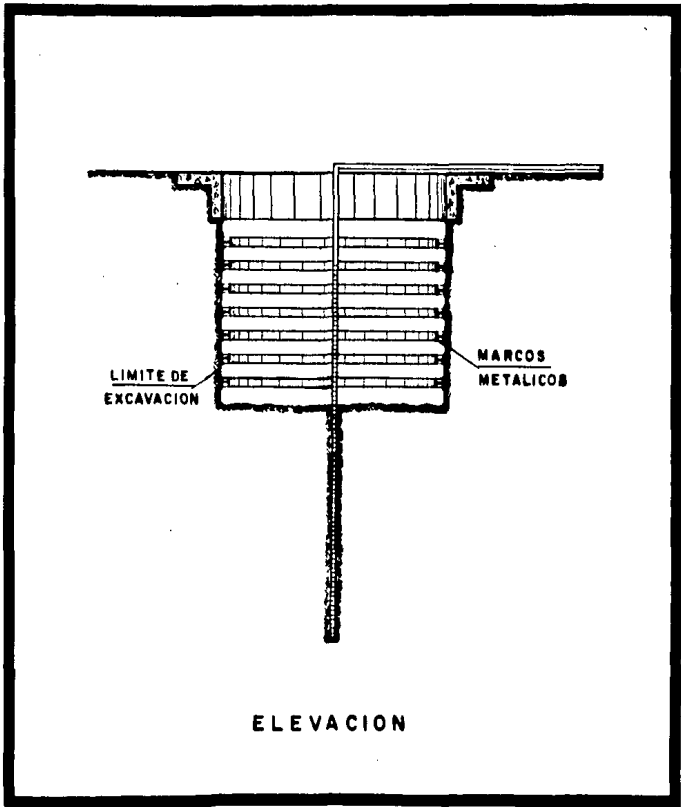


FIGURA 9

Se continua con la excavación del núcleo central (mientras, el sistema de bombeo sigue operando), hasta llegar a la profundidad de proyecto, colocando el revestimiento primario (marcos metálicos), tal como se indicó en el párrafo anterior (fig. 10).

Si se llegan a presentar pequeños flujos de agua dentro de la lumbrera, estos deberán ser encausados al centro de la misma para extraerse por medio de la bomba. En caso de que en los muros de la excavación se presenten desconchamientos locales, deberá aplicarse una capa de concreto lanzado de 2.5 cm (1") de espesor.

Una vez alcanzada la profundidad de proyecto, se procede a colocar una plantilla de concreto pobre ($f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$), de 10 cm de espesor en todo el fondo de la excavación.

Después de colocar el acero de refuerzo se procede a colar la losa de fondo y revestimiento definitivo (muro de la lumbrera); este último deberá quedar integrado con los marcos metálicos. El colado del muro de la lumbrera deberá hacerse en forma ascendente, debiendo dejar las preparaciones necesarias para la unión túnel-lumbrera (fig. 11).

El muro de la lumbrera deberá ser unido estructuralmente con el brocal; una vez hecho esto, se podrá suspender el sistema de bombeo (fig. 12).

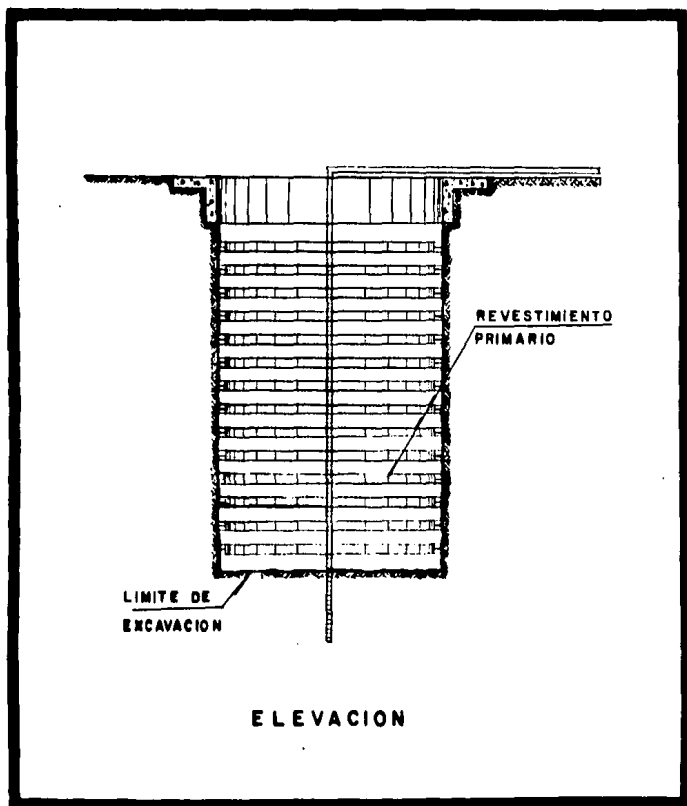


FIGURA 10

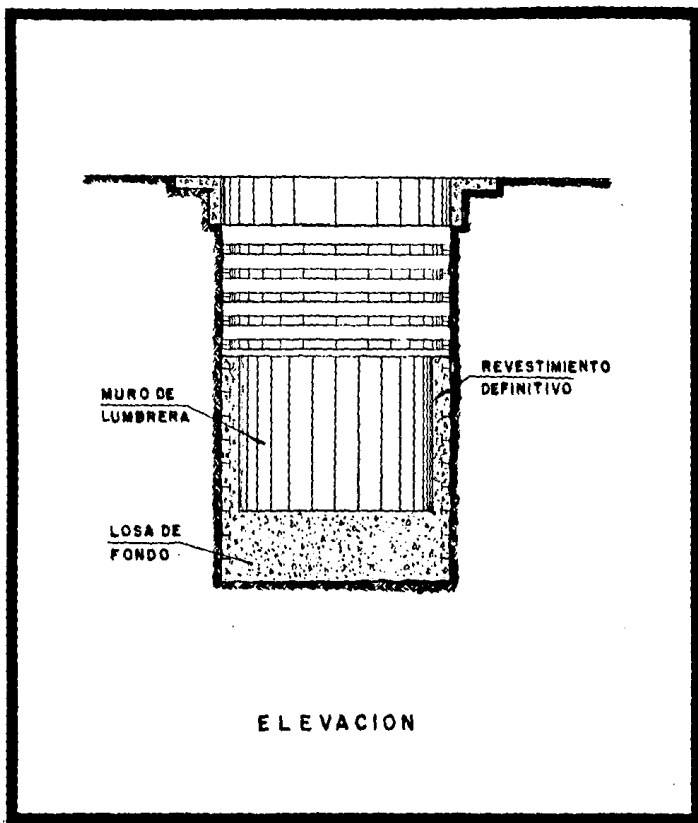


FIGURA 11

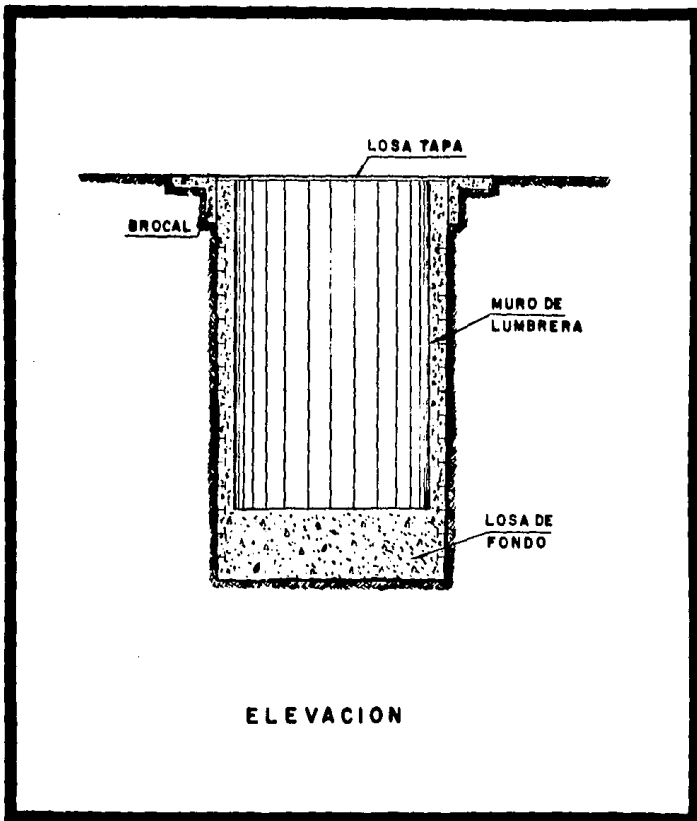


FIGURA 12

2.2 Técnica Estrella.

Antes de entrar en materia, es necesario hablar de los elementos más importantes que conforman a una lumbrera flotada que no son comunes con los de la lumbrera convencional.

El más importante es el llamado tanque de flotación, el cual se encuentra bajo la losa de fondo. Su función principal es hacer que la lumbrera flote o descienda en el lodo bentonítico por medio de la inyección o extracción de aire al interior del mismo.

Otro elemento importante en este tipo de lumbreras son las llamadas viguetas de sujeción (perfiles IPR), las cuales se distribuyen uniformemente y en forma radial sobre el alerón del brocal; su función es la de proporcionar un apoyo a la lumbrera durante el proceso de construcción. Sin embargo para proporcionar dicho apoyo, es necesario que tanto en el paño exterior del muro de la lumbrera y del tanque de flotación, se hagan unas preparaciones (huecos distribuidos uniformemente sobre el perímetro e igualmente que las viguetas) en las cuales se introducirá un extremo de la vigueta (fig. 13 a).

Al igual que en el método tradicional, se hacen las excavaciones necesarias para alojar el faldón y el alerón del brocal; simultáneamente, se hará una excavación de menor diámetro que la anterior. Esta tendrá 2 m de profundidad y 30 cm de ancho y alojará el faldón del brocal interior; el alerón estará constituido por una losa perimetral de 30 cm de espesor y 2 m de ancho (fig. 13 b).

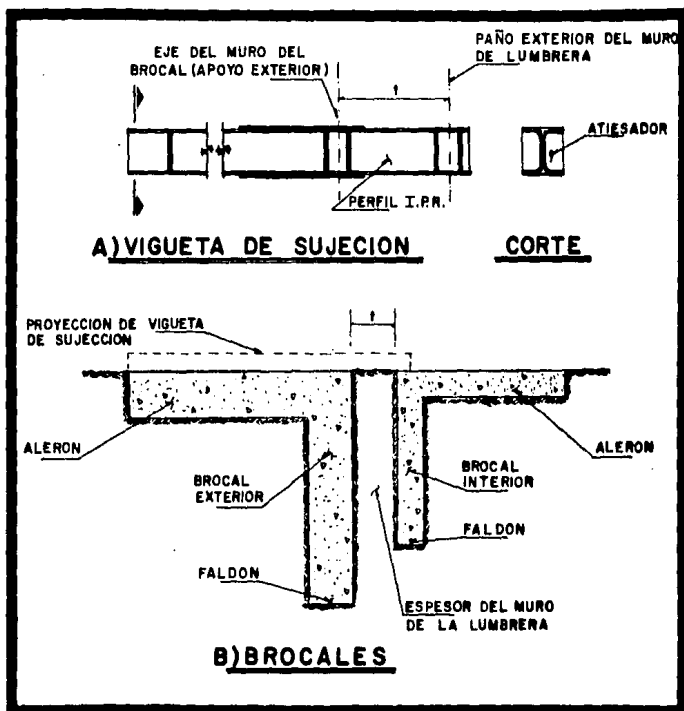


FIGURA 13

En el área comprendida entre los dos anillos del brocal, se efectuarán 14 perforaciones de 18" de diámetro uniformemente distribuidas, hasta la profundidad requerida (fig. 14).

Se excavará el terreno en los tramos comprendidos entre las perforaciones realizadas y hasta la profundidad de estas. La excavación se llevará a cabo con una almeja hidráulica guiada, sustituyendo el material extraído por lodo bentonítico y manteniendo el nivel de éste a una profundidad no mayor a 2 m con respecto al nivel superior del brocal (fig. 15).

Posteriormente se demolerá el brocal interior y se excavará el núcleo central de la lumbrera hasta la profundidad de proyecto (fig. 16).

Una vez excavado el núcleo central, se colocará el tanque de flotación en su posición inicial, apoyándose en las viguetas de sujeción colocadas durante la excavación del núcleo central sobre el alerón del brocal exterior.

Sobre el tanque de flotación se colará la losa de fondo así como el primer tramo del muro de la lumbrera; en éste, deberán realizarse las preparaciones necesarias para los huecos donde se colocarán las viguetas de sujeción una vez que la lumbrera haya descendido.

Para nivelar la lumbrera durante su descenso, se colocarán cuatro malacates apoyados en el brocal exterior. Se procederá a extraer el aire del tanque de flotación para sumergir parte de la estructura, hasta el nivel de

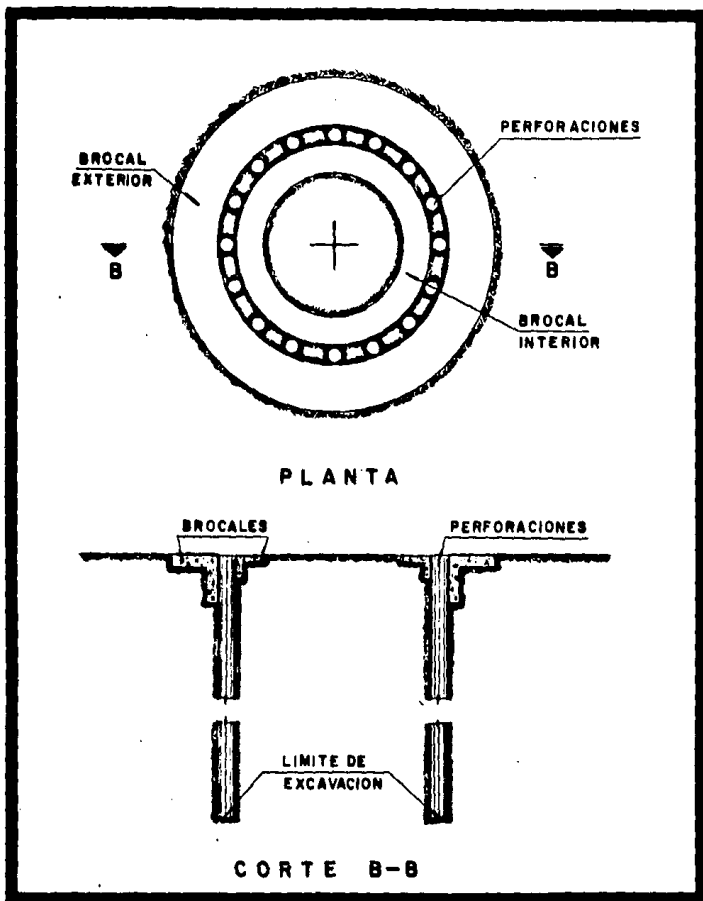


FIGURA 14

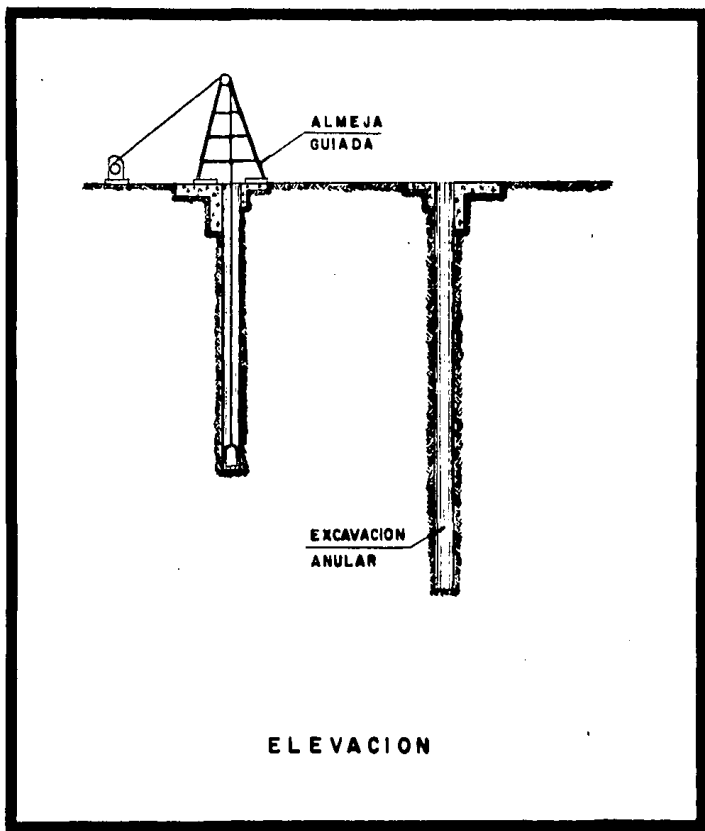


FIGURA 15

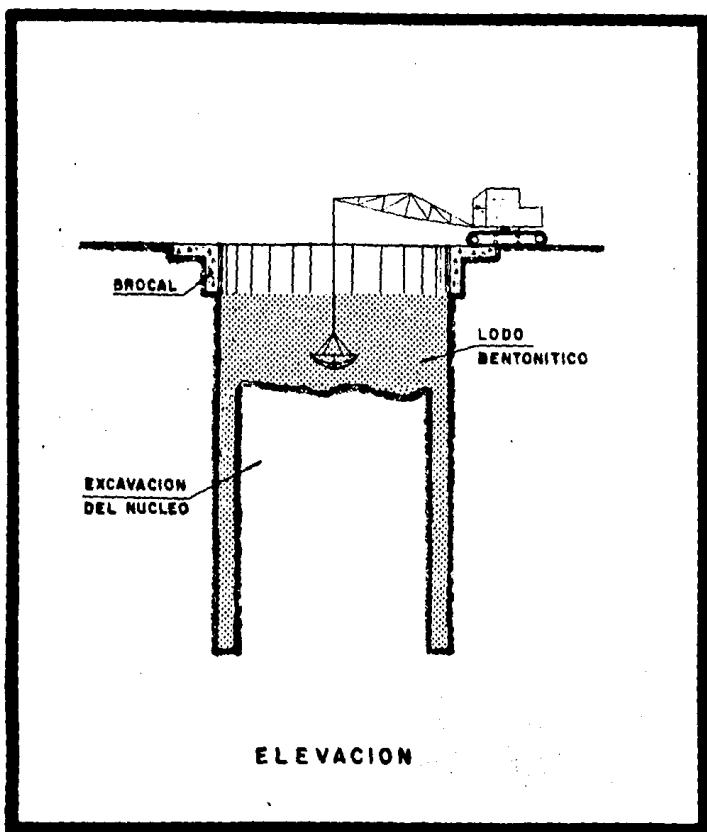


FIGURA 16

las preparaciones hechas en el muro de la lumbrera, apoyándose la estructura nuevamente en las viguetas de sujeción (fig. 17).

El ciclo de sujeción-colado-inmersión se repetirá hasta terminar el colado total de los muros de la lumbrera. Durante el proceso de construcción el efecto de flotación se controlará mediante un lastre; éste es agua almacenada en el interior de la lumbrera (fig. 18).

Una vez terminada la construcción del muro, se deberá efectuar la unión estructural del brocal y las paredes de la lumbrera.

En el área comprendida entre el terreno y el muro, se inyectará un mortero el cual desplazará a la bentonita. Posteriormente se extraerá el lastre (agua) del interior de la lumbrera y se podrá iniciar la construcción del túnel (fig. 19).

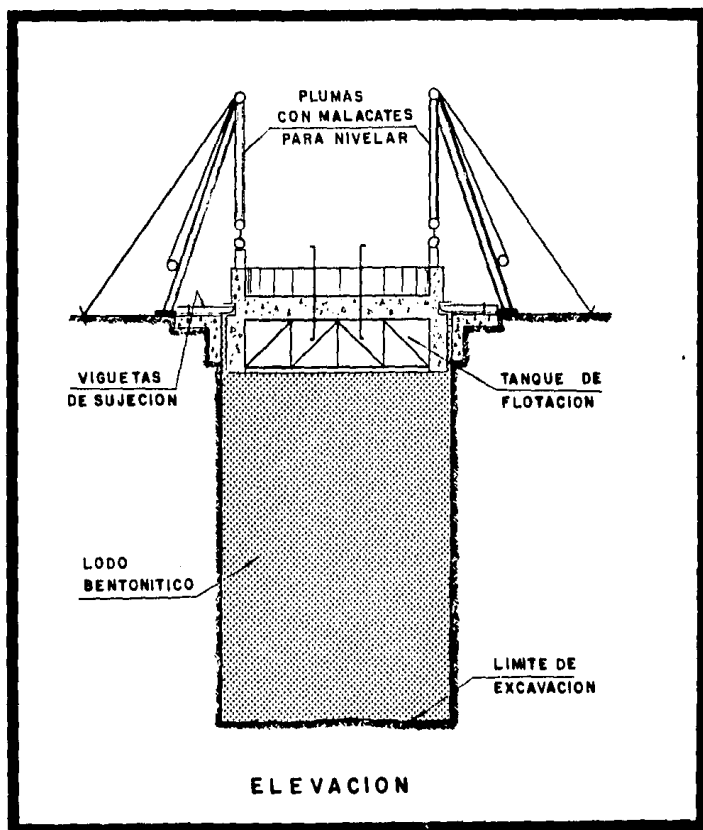


FIGURA 17

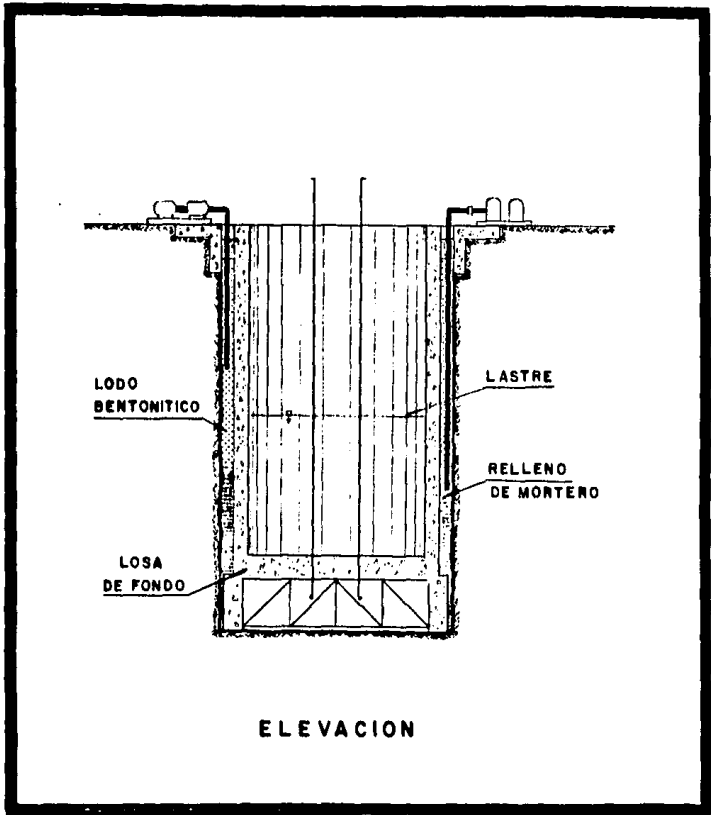


FIGURA 18

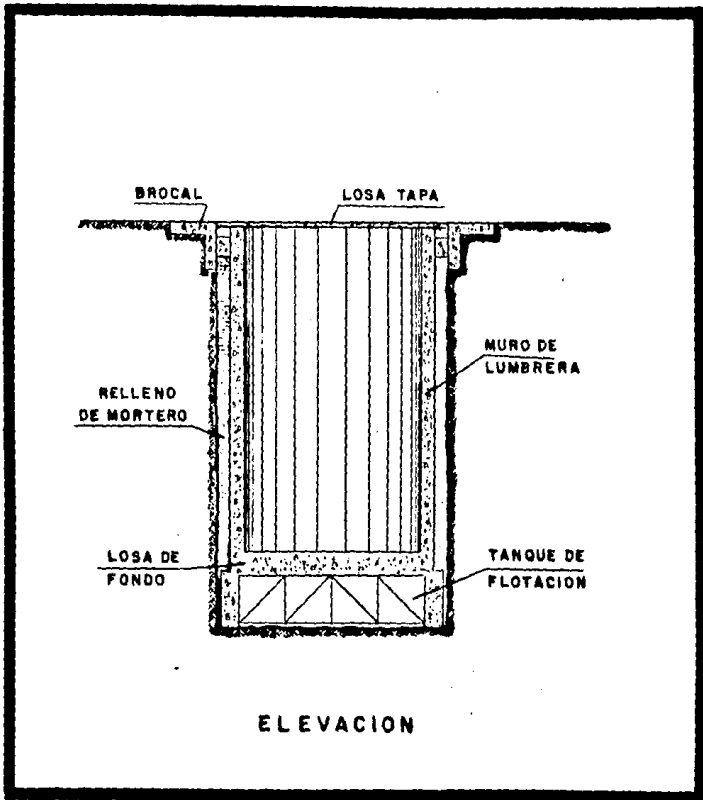


FIGURA 19

CAPITULO III

ANALISIS Y DISEÑO DE LUMBRERAS

- 3.1 Parámetros de diseño.
- 3.2 Análisis y diseño del Revestimiento Primario.
- 3.3 Análisis y diseño de la Losa de Fondo.
- 3.4 Análisis y diseño del Revestimiento Definitivo.
- 3.5 Análisis y diseño de la Losa Tapu.

CAPITULO III

ANALISIS Y DISEÑO DE LUMBRERAS

3.1 Parámetros de diseño.

Los estudios geotécnicos tienen como propósito conocer las propiedades del material en donde se efectuará la construcción de la lumbrera. Estos, se utilizan para determinar el tipo de soporte (ademe) que se requerirá para mantener a la lumbrera estable durante la etapa de excavación y construcción así como a lo largo de la vida útil de la misma.

La evaluación de las propiedades del subsuelo, requiere de técnicas y procedimientos muy variados, dependiendo del material de que se trate y de la formación geológica en que se encuentre.

De los estudios realizados por el departamento de mecánica de suelos, se desprenden los siguientes parámetros de diseño:

Para la Lumbrera 4 del proyecto Prolongación Sur del Interceptor Central, la cual será construida por el Método de Flotación.

- Diámetro interior	9.00	m
- Diámetro de excavación	11.20	m
- Espesor de muros	0.60	m

- Espesor del relleno muro-suelo	0.60 m
- Espesor de la losa de fondo	2.00 m
- Espesor de la losa tapa	0.20 m
- Espesor del tanque de flotación	3.00 m
- Profundidad interior	27.00 m
- Profundidad de excavación	33.00 m
- Dimensiones del brocal;	
Alerón	0.60 x 2.50 m
Faldón	0.60 x 2.50 m
- Peso volumétrico del concreto	2.3 T/m ³
- Peso volumétrico del mortero	1.80 T/m ³
- Peso volumétrico del material	1.80 T/m ³
- Subpresión	47.63 T/m ²
- Velocidad de onda sísmica	242.00 m/s

En la figura 20, se muestra gráficamente la magnitud de la presión radial total para diferentes profundidades.

Para la Lunbrera 2 del proyecto Colector Semiprofundo Canal Nacional y de Chalco, la cual será construida por el Método Tradicional, se tienen los siguientes parámetros de diseño.

- Diámetro interior	9.00 m
- Diámetro de excavación	10.60 m
- Espesor del revestimiento con marcos ahogados	0.80 m
- Espesor de la losa tapa	0.20 m
- Espesor de la losa de fondo	2.00 m
- Profundidad interior	19.97 m
- Profundidad de excavación	21.97 m

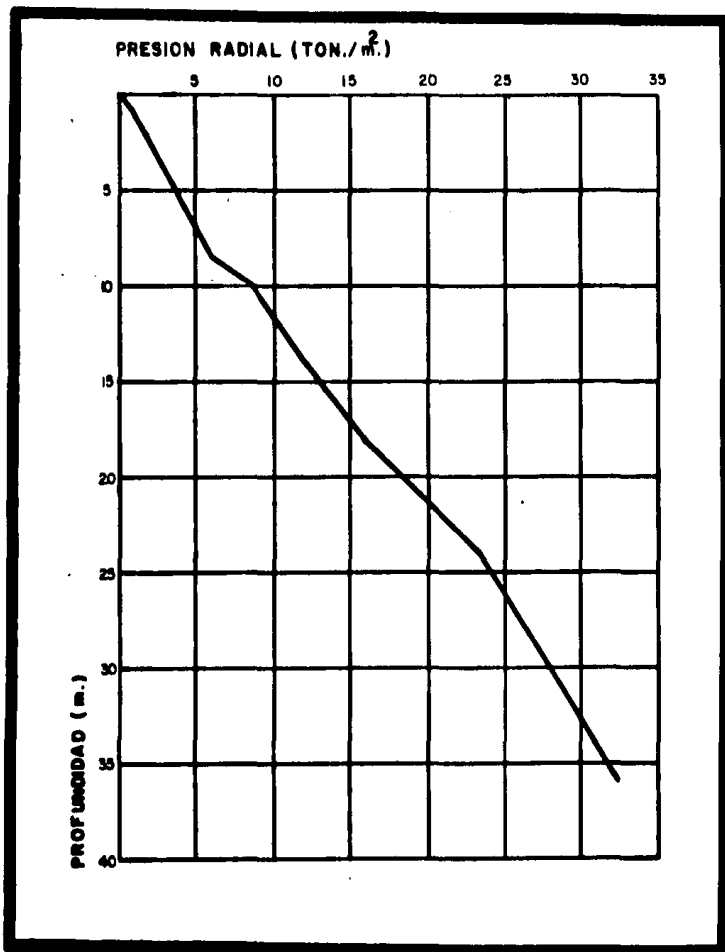


FIGURA 20

Presión radial para la Lumbera 4 del I. C.

- Brocal:		
	Alerón	0.50 x 2.50 m
	Faldón	0.50 x 2.50 m
-	Peso volumétrico del concreto	2.30 T/m ³
-	Peso del material excavado	2100.00 Ton
-	Subpresión	13.00 T/m ²
-	Velocidad de onda sísmica	329.00 m/s

En la figura 21, se muestra gráficamente la magnitud de la presión radial efectiva y total para diferentes profundidades.

3.2 Análisis y diseño del Revestimiento Primario.

En la Lumbreira 4 del Interceptor Central el lodo bentónico hace las funciones del revestimiento primario o ademe, por lo tanto no requiere de ningún análisis. No es así para la Lumbreira 2 del Canal Nacional, pues en este caso, el revestimiento primario es a base de Marcos Metálicos y estos, sí requieren de un análisis y diseño adecuados.

Los marcos metálicos están sujetos a compresión pura, sin embargo por razones de seguridad, se considera que existe una excentricidad accidental, la cual provoca un momento sobre estos, por esta razón los marcos estarán sujetos a flexocompresión.

Nuestro objetivo será determinar la fuerza de compresión que resiste un perfil y compararla con la fuerza de compresión actuante.

La fórmula para diseño de elementos a flexocompre-

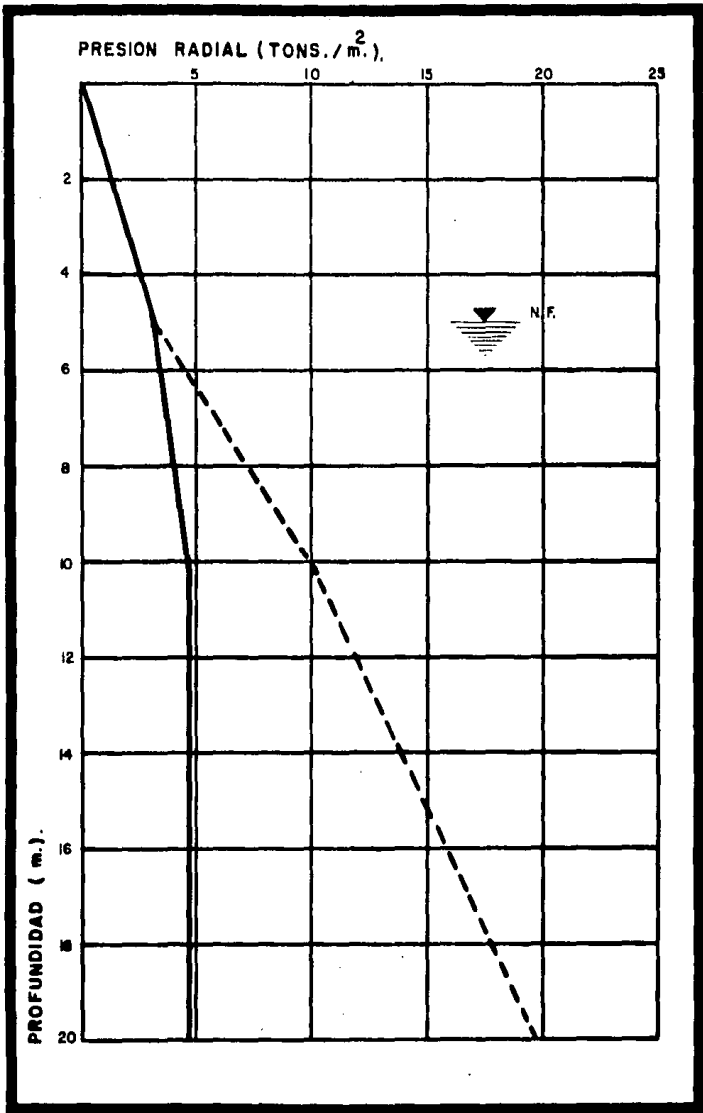


FIGURA 21

sión es la siguiente:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_m f_b}{\left(1 - \frac{f_a}{F \cdot e}\right) F_b} \leq 1 \quad (3.2.1)$$

Como se mencionó anteriormente, el elemento estará sujeto a una excentricidad accidental, la cual está definida por:

$$e_a = 0.05 h$$

y el momento flexionante que provoca es:

$$M = C e_a = 0.05 h C$$

donde "C" es la fuerza de compresión actuante, ésta esta determinada por:

$$C = A f_a$$

siendo "f_a" el esfuerzo actuante a compresión y "A" el área del elemento; por lo tanto:

$$M = 0.05 h A f_a \quad (3.2.2)$$

Ahora bien, el esfuerzo actuante a flexión está dado por:

$$f_b = \frac{M}{S}$$

donde "S" es el módulo de sección del perfil; si sustituimos el valor de 3.2.2 en la última expresión tendremos que:

$$f_b = \frac{0.05 h A f_a}{S} \quad (3.2.3)$$

Sustituyendo la expresión anterior en la 3.2.1, tomando un valor conservador de $C_m = 1$ y haciendo trabajar al elemento a su máxima capacidad, la ecuación 3.2.1 nos queda:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{0.05 h A fa}{\left(1 - \frac{fa}{F'e}\right) F_b S} = 1$$

haciendo las operaciones algebraicas necesarias y ordenando terminos, la expresion anterior nos queda:

$$fa^2 - \left[\left(1 + \frac{0.05 h A Fa}{S F_b}\right) F'e + Fa \right] fa + F'e Fa = 0$$

Los valores que tomara "fa" seran:

$$fa = \frac{b}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 - c} \quad (3.2.4)$$

donde

$$b = \left(1 + \frac{0.05 h A Fa}{S F_b}\right) F'e + Fa \quad (3.2.5)$$

y

$$c = F'e Fa \quad (3.2.6)$$

Para obtener los valores de "fa", antes es necesario conocer los de F'e, Fa, Fb y las propiedades geometricas de la seccion.

El valor de "F'e" esta dado por:

$$F'e = \frac{12 \pi^2 E}{23 \left(\frac{K L_g}{r}\right)^2}$$

donde "K L_g/r" es la relacion de esbeltez y "E" es el modulo de elasticidad (E = 2,039 Ton/cm²). "K" es el factor de longitud efectiva (K = 1⁽¹⁾), "L_g" es la longitud de arriostramiento y "r" el radio de giro minimo de la seccion.

Por lo tanto:

(1) Compendio del Manual AHMSA.

$$F'e = \frac{10,480}{\left(\frac{K Lg}{r}\right)^2}$$

El esfuerzo permisible a compresión "Fa" se obtiene mediante:

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{\left(\frac{K Lg}{r}\right)^2}{2 Cc^2}\right] F_y}{P.S.}$$

donde

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \pi^2 E}{F_y}}$$

y

$$P.S. = \frac{5}{3} + \frac{3 \frac{K Lg}{r}}{8 Cc} - \frac{\left(\frac{K Lg}{r}\right)^3}{8 Cc^3}$$

para acero A-36, $F_y = 2.53 \text{ Ton/cm}^2$ y por lo tanto $Cc = 126$, entonces:

$$F_a = \frac{\left[31,752 - \left(\frac{K Lg}{r}\right)^2\right] \frac{F_y}{31,752}}{\frac{5}{3} + \frac{3 \frac{K Lg}{r}}{8 Cc} - \frac{\left(\frac{K Lg}{r}\right)^3}{8 Cc^3}}$$

$$F_a = \frac{\left[31,752 - \left(\frac{K Lg}{r}\right)^2\right] 1,275.12}{26,671,680 + \left[15,876 - \left(\frac{K Lg}{r}\right)^2\right] \frac{K Lg}{r}}$$

Hay muchos factores que afectan el cálculo del esfuerzo permisible a flexión "Fb", uno de los más importantes es la longitud de arriostamiento, ya que esta puede llegar a determinar si una sección es compacta, semicom-

pacta o no compacta; en la Tabla 1, se dan las longitudes máximas de arriostramiento para que un perfil sea una sección compacta y su "Fb" esté determinado por:

$$Fb = 0.66 Fy$$

Una vez conocidos los valores de los esfuerzos $F'e$, Fa , Fb y las características de la sección (propuesta), podemos sustituirlos en las ecuaciones 3.2.5 y 3.2.6 y después los valores de estos en la ecuación 3.2.4, de ahí se obtendrán los valores de "fa".

Para obtener la fuerza de compresión resistente "Cr" únicamente sustituiremos el valor menor de "fa" en:

$$Cr = fa A$$

Para obtener la fuerza de compresión actuante "Ca", es necesario proponer la separación entre marcos "b" (generalmente de 80 a 120 cm), conocer el valor de la presión radial (figuras 20 ó 21) y el peralte del perfil "h";

$$Ca = P b r_m$$

siendo

$$r_m = \frac{D_{exc.} - h}{2}$$

donde; $D_{exc.}$ es el diámetro de la excavación (fig. 22).

Por último se comparan ambas fuerzas de compresión, teniéndose que cumplir la siguiente relación:

$$Cr > Ca$$

Los cálculos que a continuación se presentan, son únicamente para la Lumbrera 2 de Semiprofundo Canal Nacional, la cual tiene un diámetro de excavación de 10.60 m

PERFIL I P R	PESO	LONG. MAX. DE ARRIOSTRAMIENTO
	Kg/m	Cms
6" x 4" 152 x 102 mm	12.7	126
	17.9	95
8" x 4" 203 x 102 mm	23.8	84
	14.9	126
8" x 5 1/4" 203 x 133 mm	19.4	129
	22.4	129
10" x 4" 254 x 102 mm	25.3	167
	29.8	167
10" x 5 3/4" 254 x 146 mm	17.1	115
	22.4	129
12" x 4" 305 x 102 mm	25.3	129
	28.3	129
12" x 6 1/2" 305 x 165 mm	31.3	184
	37.3	184
12" x 8" 305 x 203 mm	43.2	186
	20.9	105
12" x 6 1/2" 305 x 165 mm	24.6	122
	28.3	124
12" x 8" 305 x 203 mm	32.8	124
	40.3	208
12" x 8" 305 x 203 mm	46.2	210
	53.7	211
12" x 8" 305 x 203 mm	59.6	257
	67.1	258
12" x 8" 305 x 203 mm	74.5	259

TABLA 1

Longitud máxima de arriostramiento.

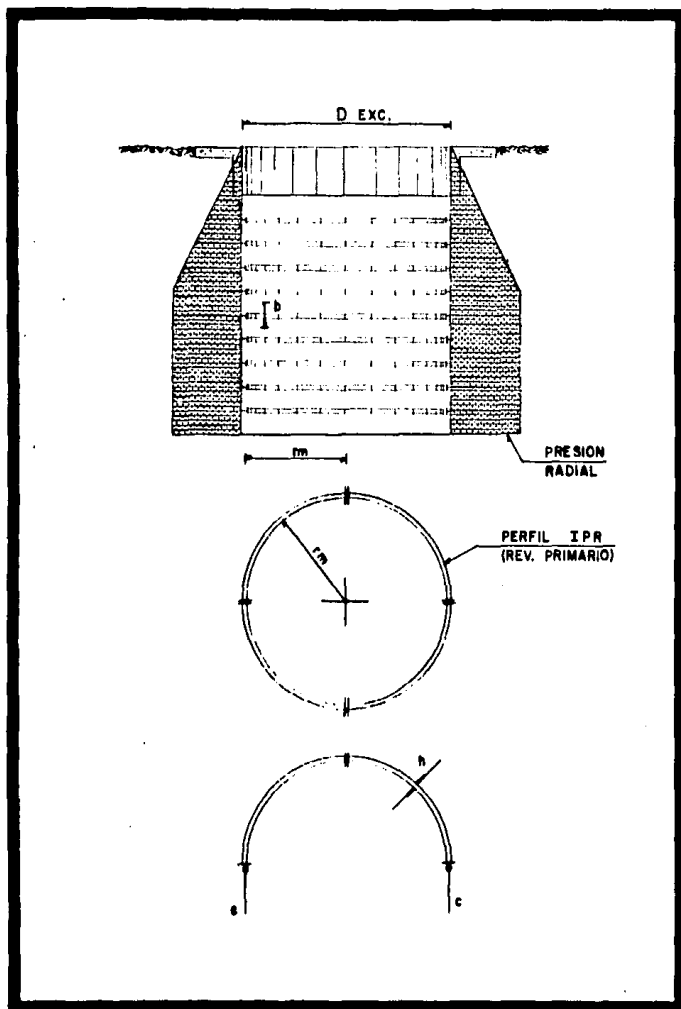


FIGURA 22

y una profundidad aproximada de 22 m.

Se propone una IPR de 203 x 133 - 25.3 Kg/m.

Características de la sección;

$$\begin{aligned}A &= 32.26 \text{ cm}^2 \\d &= 20.30 \text{ cm} \\bf &= 13.30 \text{ cm} \\tf &= 7.80 \text{ cm} \\tw &= 5.80 \text{ cm} \\d/Af &= 1.96 \text{ cm}^{-1}\end{aligned}$$

En el eje X

$$\begin{aligned}I_{xx} &= 2348.00 \text{ cm}^4 \\S_{xx} &= 231.00 \text{ cm}^3 \\r_{xx} &= 8.53 \text{ cm}\end{aligned}$$

En el eje Y

$$\begin{aligned}I_{yy} &= 279.70 \text{ cm}^4 \\S_{yy} &= 42.00 \text{ cm}^3 \\r_{yy} &= 2.94 \text{ cm}\end{aligned}$$

Además, se colocarán atiesadores a cada 100 cm, la separación entre marcos será también de 100 cm.

Obtención de F'e, Fa y Fb:

$$F'e = \frac{10,480}{\left(\frac{K L_g}{r}\right)^2}$$

$$F'e = \frac{10,480}{\left(\frac{100}{2.94}\right)^2}$$

$$F'e = 9.06 \text{ Ton/cm}^2$$

y una profundidad aproximada de 22 m.

Se propone una IPR de 203 x 133 - 25.3 Kg/m.

Características de la sección:

$$\begin{aligned}A &= 32.26 \text{ cm}^2 \\d &= 20.30 \text{ cm} \\bf &= 13.30 \text{ cm} \\tf &= 7.80 \text{ cm} \\tw &= 5.80 \text{ cm} \\d/\Delta f &= 1.96 \text{ cm}^{-1}\end{aligned}$$

En el eje X

$$\begin{aligned}I_{xx} &= 2348.00 \text{ cm}^4 \\S_{xx} &= 231.00 \text{ cm}^3 \\r_{xx} &= 8.53 \text{ cm}\end{aligned}$$

En el eje Y

$$\begin{aligned}I_{yy} &= 279.70 \text{ cm}^4 \\S_{yy} &= 42.00 \text{ cm}^3 \\r_{yy} &= 2.94 \text{ cm}\end{aligned}$$

Además, se colocarán atiesadores a cada 100 cm, la separación entre marcos será también de 100 cm.

Obtención de F'e, Fa y Fb:

$$F'e = \frac{10,480}{\left(\frac{K L_g}{r}\right)^2}$$

$$F'e = \frac{10,480}{\left(\frac{100}{2.94}\right)^2}$$

$$F'e = 9.06 \text{ Ton/cm}^2$$

$$F_a = \frac{\left[31,752 - \left(\frac{K L_g}{r} \right)^2 \right] 1,275.12}{26,671,680 + \left[15,876 - \left(\frac{K L_g}{r} \right)^2 \right] \frac{K L_g}{r}}$$

$$F_a = \frac{\left[31,752 - \left(\frac{100}{2.94} \right)^2 \right] 1,275.12}{26,671,680 + \left[15,876 - \left(\frac{100}{2.94} \right)^2 \right] \frac{100}{2.94}}$$

$$F_a = 1.44 \text{ Ton/cm}^2$$

$$F_b = 0.66 F_y$$

$$F_b = 0.66(2.53)$$

$$F_b = 1.67 \text{ Ton/cm}^2$$

Obtención de las constantes "b" y "c".

$$b = \left(1 + \frac{0.05 h A F_a}{S F_b} \right) F'e + F_a$$

$$b = \left(1 + \frac{0.05(20.30)(32.26)(1.44)}{42(1.67)} \right) 9.06 + 1.44$$

$$b = 16.59$$

$$\frac{b}{2} = 8.29$$

$$c = F'e F_a$$

$$c = (9.06) 1.44$$

$$c = 13.04$$

Cálculo de "fa" y "Cr".

$$f_a = \frac{b}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{b}{2} \right)^2 - c}$$

$$f_a = 8.29 \pm \sqrt{8.29^2 - 13.04}$$

$$f_{a(+)} = 15.75 \text{ Ton/cm}^2$$

$$f_{a(-)} = 0.83 \text{ Ton/cm}^2$$

$$\begin{aligned} Cr &= fa A \\ Cr &= 0.83(32.26) \\ Cr &= 26.71 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Obtención de "Ca".

$$\begin{aligned} rm &= \frac{Dexc. - h}{2} \\ rm &= \frac{10.60 - 0.203}{2} \\ rm &= 5.20 \text{ m} \end{aligned}$$

de la figura 21, para una profundidad de 22 m, la presión radial efectiva "P" es de $4.9 \times 10^{-4} \text{ Ton/cm}^2$, entonces:

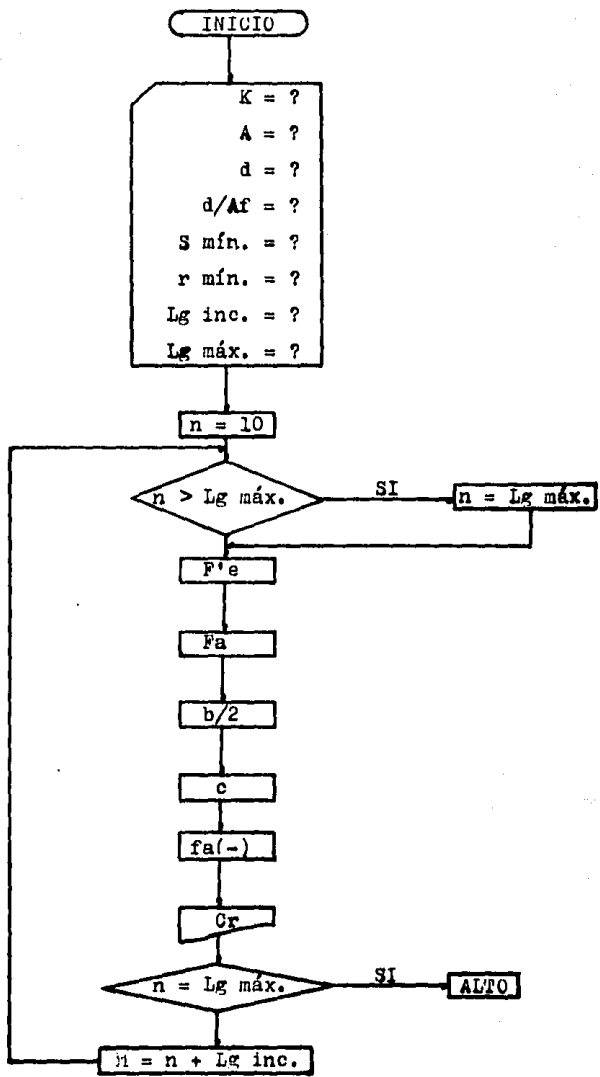
$$\begin{aligned} Ca &= P b rm \\ Ca &= 4.9 \times 10^{-4} (520)(100) \\ Ca &= 25.48 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Concluyendo:

$$Ca < Cr$$

por lo tanto la sección propuesta es buena.

Las figuras 23 a 30 se efectuaron con el objeto de simplificar el análisis y diseño de marcos metálicos; éstas se realizaron en base a la teoría antes expuesta y con ayuda de un programa (para la HP 41 C), el cual obtiene la fuerza de compresión que resiste un perfil IPR para diferentes longitudes de arriostamiento. Se debe aclarar que el programa que a continuación se muestra, sólo es válido para longitudes de arriostamiento menores o iguales a las dadas en la Tabla 1.



01 LBL MARCO	30 1000	59 +
02 K=?	31 /	60 /
03 PROMPT	32 ST+ 06	61 STO 10
04 STO 00	33 CF 00	62 RCL 01
05 A=? cm ²	34 LBL 00	63 *
06 PROMPT	35 RCL 06	64 RCL 02
07 STO 01	36 INT	65 *
08 d=? cm	37 RCL 00	66 0.05
09 PROMPT	38 *	67 *
10 STO 02	39 RCL 05	68 RCL 04
11 d/Af=? cm ⁻¹	40 /	69 /
12 PROMPT	41 X ²	70 1.67
13 STO 03	42 STO 08	71 /
14 S=? cm ³	43 1/X	72 1
15 PROMPT	44 10480	73 +
16 STO 04	45 *	74 RCL 09
17 R=? cm	46 STO 09	75 *
18 PROMPT	47 31752	76 RCL 10
19 STO 05	48 RCL 08	77 +
20 10	49 -	78 2
21 STO 06	50 1275.12	79 /
22 LG=?	51 *	80 STO 11
23 PROMPT	52 15876	81 RCL 09
24 100000	53 RCL 08	82 RCL 10
25 /	54 -	83 *
26 ST+ 06	55 RCL 08	84 CHS
27 LG MAX=? cm	56 SQRT	85 RCL 11
28 PROMPT	57 *	86 X ²
29 STO 07	58 26671680	87 +

88 SQRT	98 ARCL X	108 ISG 06
89 CHS	99 AVIEW	109 GTO 00
90 RCL 11	100 PSE	110 RCL 07
91 +	101 RCL 12	111 STO 06
92 RCL 01	102 CR=	112 SF 00
93 *	103 ARCL X	113 GTO 00
94 STO 12	104 AVIEW	114 LBL 01
95 RCL 06	105 PSE	115 CF 00
96 INT	106 FS? 00	116 STOP
97 LG=	107 GTO 01	117 END.

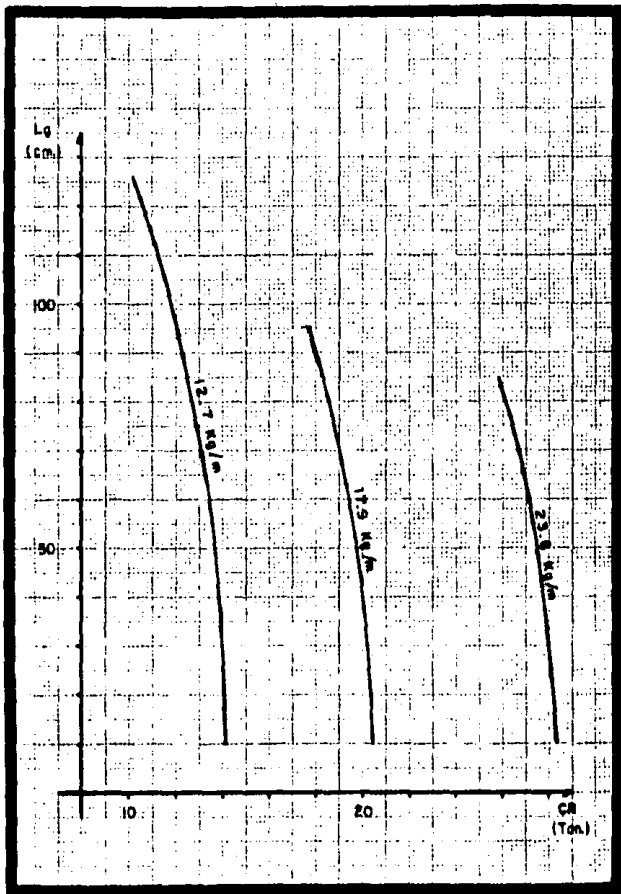


FIGURA 23

IPR 152 x 102 (6" x 4")

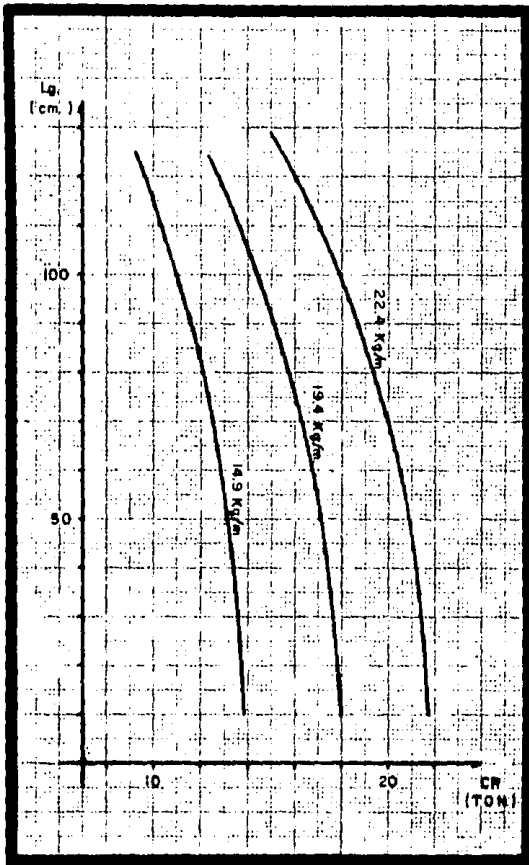


FIGURA 24

IPR 203 x 102 (8" x 4")

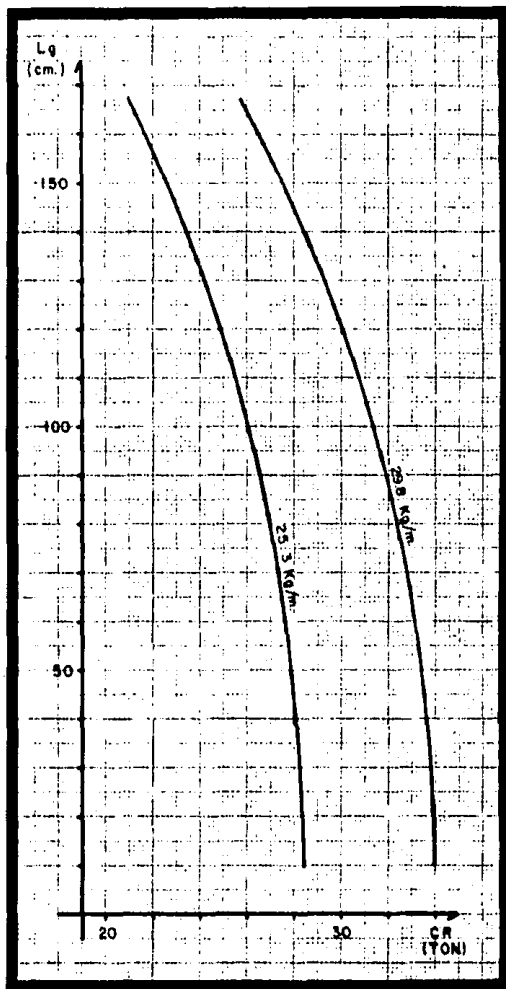


FIGURA 25

IPR 203 x 133 (8" x 5.25")

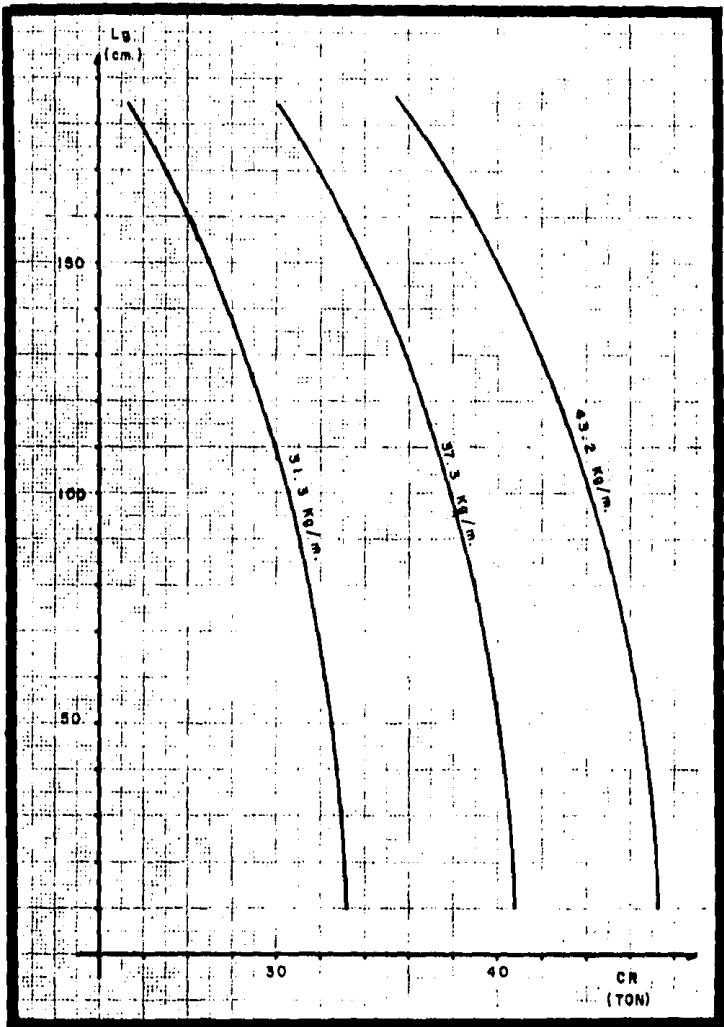


FIGURA 26

IPR 254 x 146 (10 x 5.75")

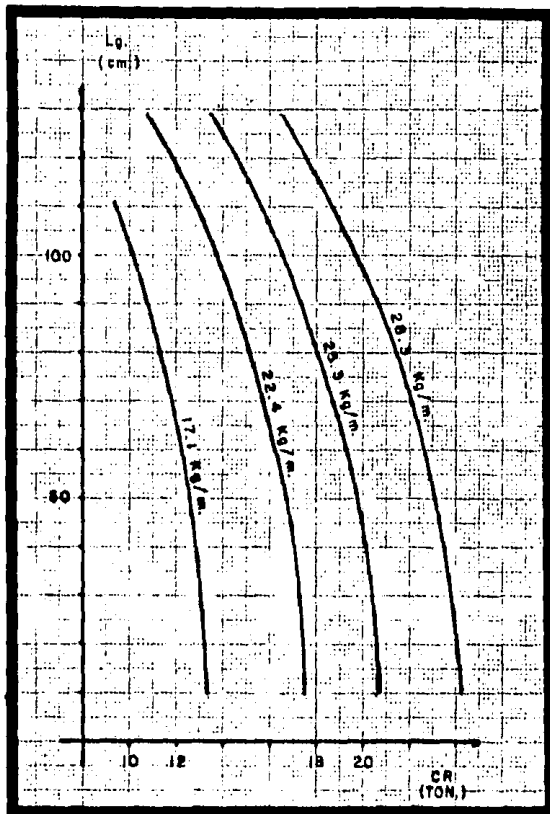


FIGURA 27

IPR 254 x 102 (10" x 4")

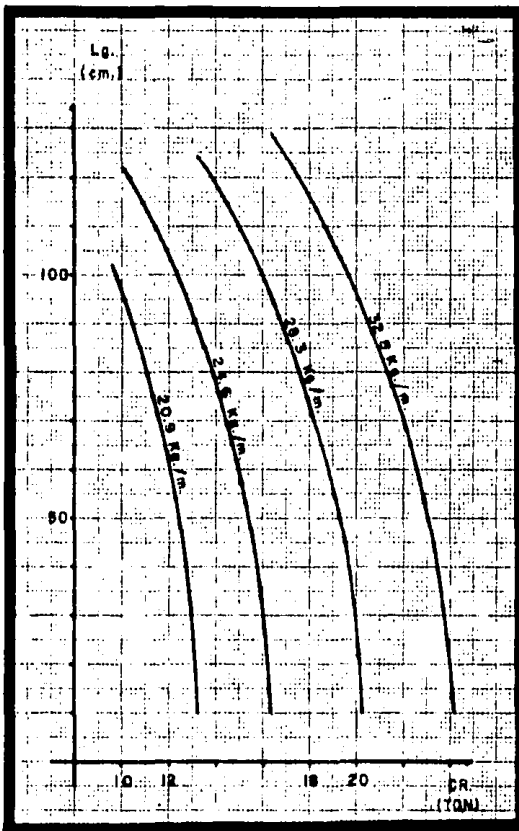


FIGURA 28

IPR 305 x 102 (12" x 4")

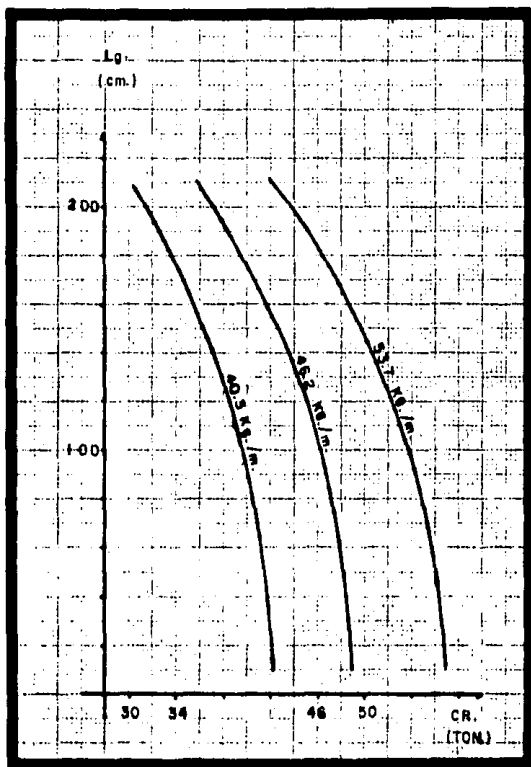


FIGURA 29

IPR 305 x 165 (12" x 6.5")

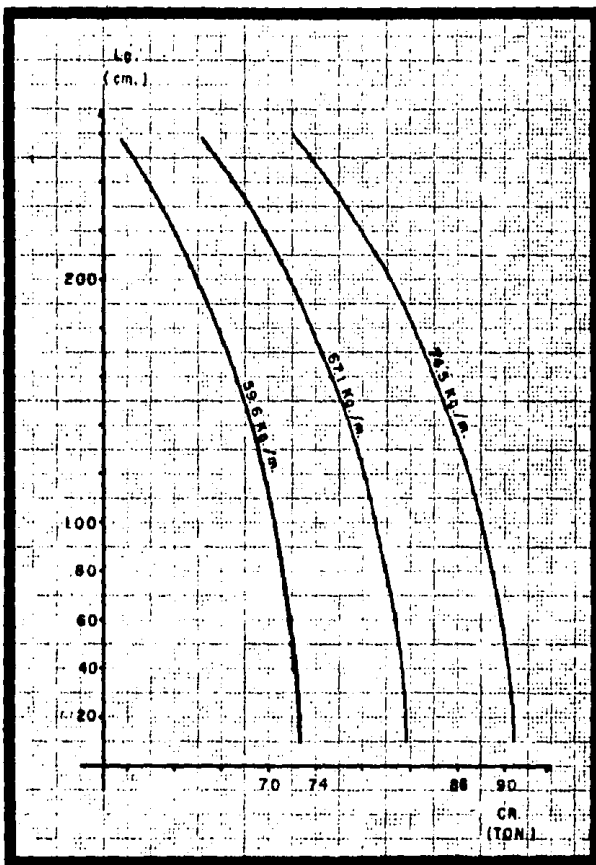


FIGURA 30

IPR 305 x 203 (12" x 8")

La fuerza de compresión actuante se calculó de 25.43 Ton; como resultado del análisis del marco, se llegó a la conclusión de que una IPR 203 x 133 - 25.3 Kg/m con atiesadores a cada 100 cm soportaba perfectamente la fuerza de compresión actuante. Sin embargo, haciendo uso de la figura 25, se puede observar que la misma sección con atiesadores a cada 110 cm resiste una fuerza de compresión de 25.5 Ton aproximadamente; este valor, es más cercano al de la fuerza de compresión actuante, por lo tanto, esta última solución es mejor que la primera.

3.3 Análisis y diseño de la Losa de Fondo.

La losa de fondo de una lumbrera es una placa de sección circular la cual está sujeta a dos tipos de momentos flexionantes, uno radial y el otro tangencial. El primero actúa a lo largo del perímetro de la circunferencia (fig. 31 b) y el segundo sobre la sección diametral de la placa (fig. 31 c).

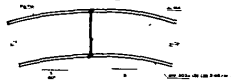
Si analizamos las condiciones de apoyo bajo las que se encuentra la losa de fondo, no podríamos afirmar que está simplemente apoyada sobre los muros de la lumbrera, pero tampoco podríamos decir que está apoyada en estos; por esta razón el análisis de la losa se realiza para las dos condiciones y en su diseño se toma un promedio entre ambas.

Para el análisis de la losa se utilizan las fórmulas siguientes, ⁽²⁾

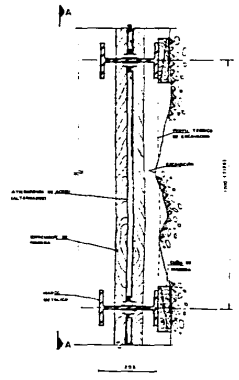
(2) Tablas para el cálculo de placas y vigas pared, Richard Bares; pag. 427 y 435.

NOTAS GENERALES

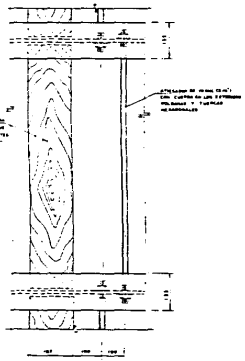
- 1.- APLICACION DE LA NORMA
- 2.- TAMAÑO DE LAS BARRAS DE ARMADO QUE SE UTILICEN ESTARÁN DADOS EN DETALLE DE MARCO METÁLICO para los REQUISITOS ESTABLECIDOS EN LA NORMA.
- 3.- LAS BARRAS DE ARMADO DEBEN SER DE ACERO DE ALTA RESISTENCIA Y DEBEN SER DE TIPO BARRA DE BARRAS DE ACERO DE ALTA RESISTENCIA.
- 4.- LAS BARRAS DE ARMADO DEBEN SER DE ACERO DE ALTA RESISTENCIA Y DEBEN SER DE TIPO BARRA DE BARRAS DE ACERO DE ALTA RESISTENCIA.
- 5.- EL ESPESOR DE UN MÓDULO DE UN MÓDULO DEBEN SER DE ACERO DE ALTA RESISTENCIA Y DEBEN SER DE TIPO BARRA DE BARRAS DE ACERO DE ALTA RESISTENCIA.



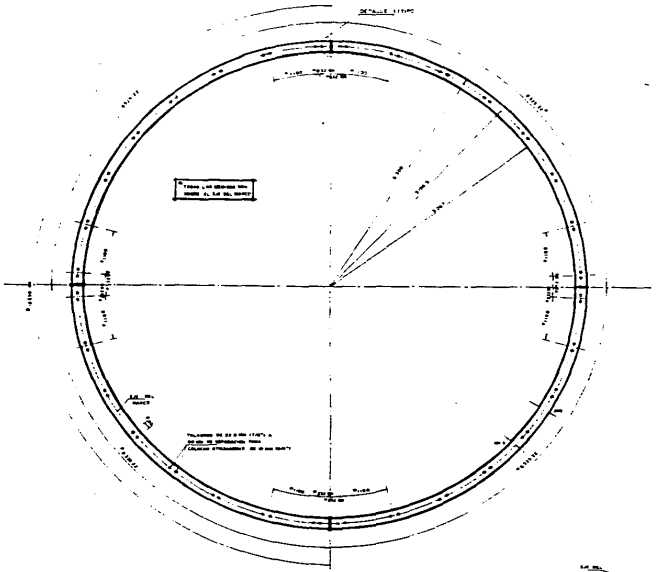
DETALLE DE EMPASTE



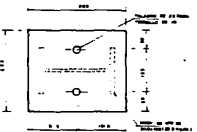
DETALLE DE ATIESADORES



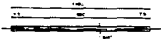
VISTA A-A



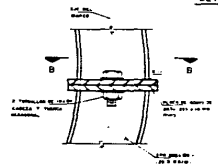
MARCO METÁLICO



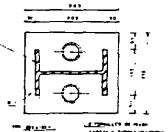
PLACA PL-1



ATIESADOR TIPO



DETALLE 1 TIPO



CORTE B-B

	UNIVERSIDAD ANAHUAC	
	ESCUELA DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL		
SEMIPROFUNDO		L.2-1
CANAL ADICIONAL CON CHALCO		TITULO
LUMBRERA 2		ALUMNO
MARCO METÁLICO		ALUMNO
DE JORGE A. SEPULCRE		DISEÑADO POR

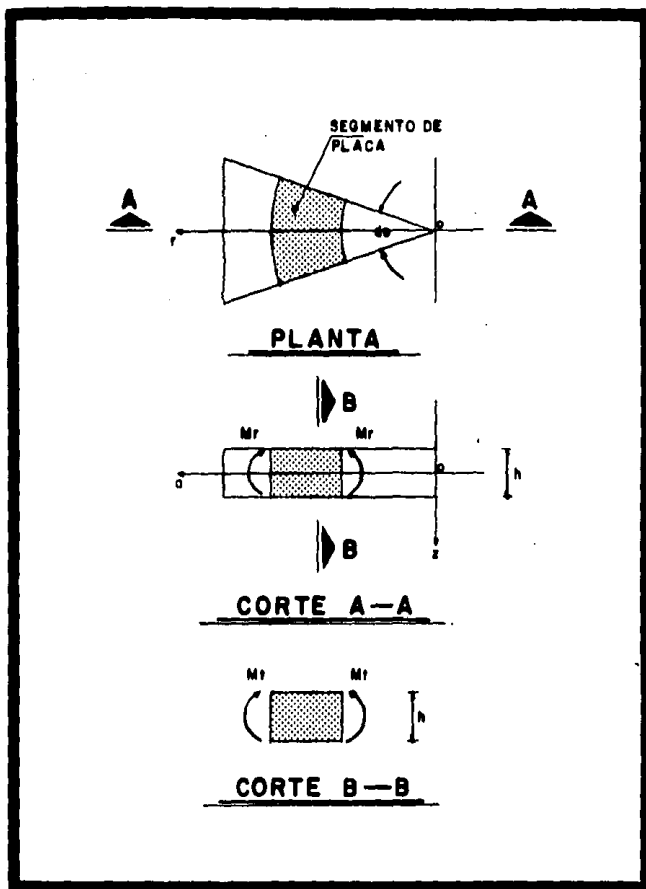


FIGURA 31

Momento Radial y Tangencial

Para una losa circular perimetralmente apoyada (fig. 32 a), el momento radial está dado por:

$$M_r = \frac{q a^2}{16} (3 + \mu) (1 - \rho^2)$$

y el momento tangencial por:

$$M_t = \frac{q a^2}{16} [3 + \mu - (1 + 3\mu) \rho^2]$$

Para una losa circular perimetralmente empotrada (fig. 32 b), el momento radial se determina mediante:

$$M_r = \frac{q a^2}{16} [(1 + \mu) - (3 + \mu) \rho^2]$$

y el momento tangencial por medio de:

$$M_t = \frac{q a^2}{16} [(1 + \mu) - (1 + 3\mu) \rho^2]$$

donde: $\rho = \frac{r}{a}$; distancial relativa del punto estudiado siendo: q , la carga sobre la placa; μ , el módulo de Poisson; a , el radio de la placa y r , la distancia al punto donde se quiere conocer el momento.

En base a las ecuaciones anteriores, se efectuó un programa (para la HP 41 C), el cual muestra los valores de M_r y M_t para las dos condiciones de apoyo así como sus promedios.

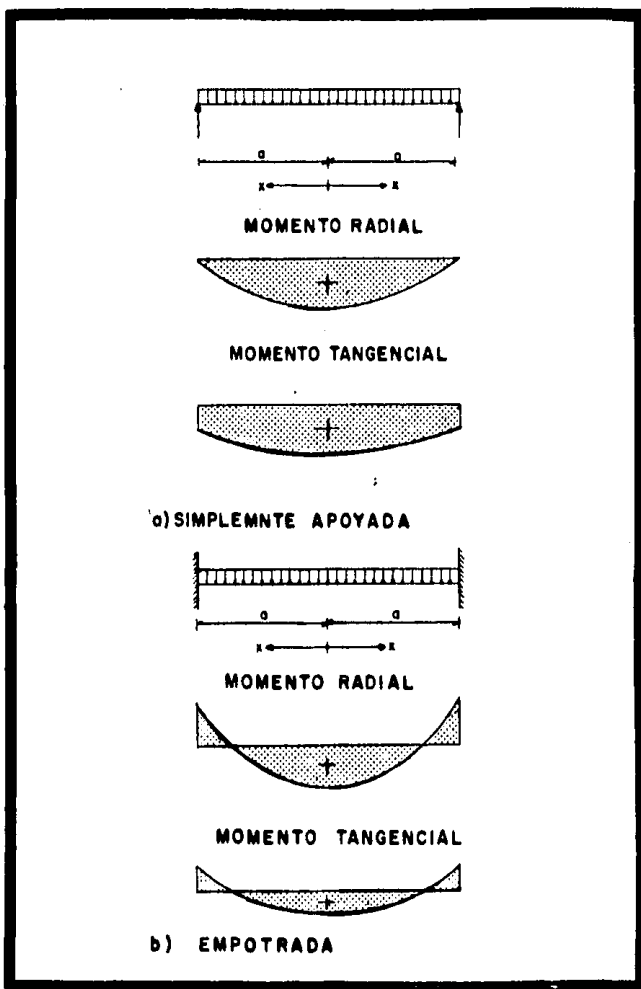
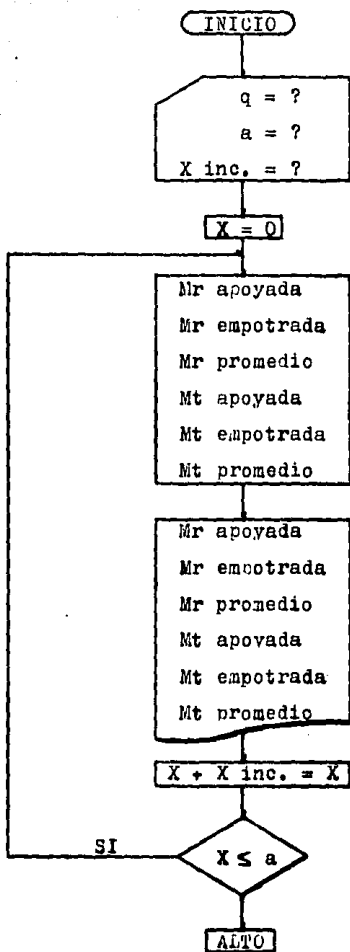


FIGURA 32



01 LBL MRMT	30 3.18	59 STO 06
02 Q=?	31 *	60 MT a=
03 PROMPT	32 RCL 01	61 XEQ 01
04 a=?	33 *	62 1.18
05 PROMPT	34 STO 05	63 1.54
06 STO 00	35 MR a⇒	64 RCL 04
07 X^2	36 XEQ 01	65 *
08 *	37 1.18	66 -
09 16	38 RCL 04	67 RCL 01
10 /	39 3.18	68 *
11 STO 01	40 *	69 MT e=
12 R INC=? M	41 -	70 XEQ 01
13 PROMPT	42 RCL 01	71 RCL 06
14 STO 02	43 *	72 +
15 0	44 MR e=	73 2
16 STO 03	45 XEQ 01	74 /
17 LBL 00	46 RCL 05	75 MT P=
18 FIX 2	47 +	76 XEQ 01
19 RCL 03	48 2	77 RCL 02
20 X=	49 /	78 ST+ 03
21 XEQ 01	50 MR P=	79 RCL 03
22 RCL 00	51 XEQ 01	80 RCL 00
23 FIX 0	52 3.18	81 X>Y?
24 /	53 1.54	82 GTO 00
25 X^2	54 RCL 04	83 RCL 00
26 STO 04	55 *	84 STO 03
27 CHS	56 -	85 FS? 00
28 1	57 RCL 01	86 GTO 02
29 +	58 *	87 SF 00

88 GTO 00	92 STOP	96 CLX
89 LBL 01	93 RTN	97 FIX 2
90 ARCL X	94 LBL 02	98 STOP
91 AVIEW	95 CF 00	99 END

Para obtener la carga "q" que actúa sobre la losa, será necesario conocer el peso de la lumbrera; los cálculos que a continuación se realizan, son para la Lumbrera 4 del Interceptor Central.

Peso del brocal exterior:

$$W1 = 2.3 \left[\frac{\pi}{4} (16.4^2 - 11.2^2) + \frac{\pi}{4} (12.4^2 - 11.2^2) 1.9 \right]$$

$$W1 = 253 \text{ Ton.}$$

Peso de los muros:

$$W2 = 2.3 \left[\frac{\pi}{4} (10.2^2 - 9.0^2) 27 \right]$$

$$W2 = 1124 \text{ Ton.}$$

Peso del relleno de mortero:

$$W3 = 1.8 \left[\frac{\pi}{4} (11.2^2 - 10.2^2) 33 \right]$$

$$W3 = 999 \text{ Ton.}$$

Peso de la losa de fondo:

$$W4 = 2.3 \left[\frac{\pi}{4} (10.2^2) 2 \right]$$

$$W4 = 376 \text{ Ton.}$$

El peso total de la lumbrera vacía es de:

$$WT = W1 + W2 + W3 + W4$$

$$WT = 253 + 1124 + 999 + 376$$

$$WT = 2752 \text{ Ton.}$$

El área de la losa de fondo es:

$$A = \frac{\pi (9.00)^2}{4}$$

$$A = 63.62 \text{ m}^2$$

y la presión provocada por el suelo sobre la losa será:

$$q = \frac{WT}{A} + \text{Subpresión}$$

$$q = \frac{2752}{63.62} + 47.63$$

$$q = -90.89 \text{ Ton/m}^2$$

El Módulo de Poisson para el concreto se tomará de:

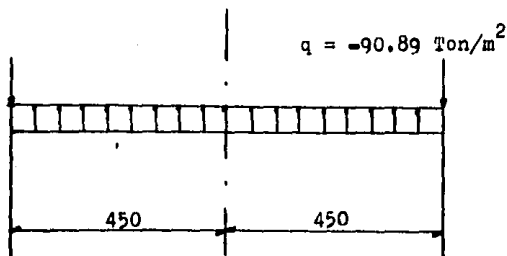
$$\mu = 0.18$$

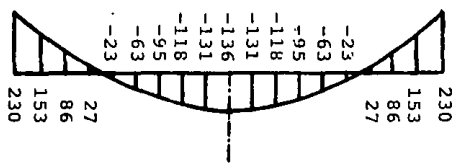
y el radio de la placa es de:

$$a = 4.50 \text{ m}$$

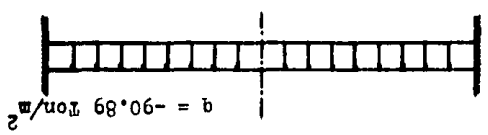
Sustituyendo valores en las ecuaciones correspondientes tendremos:

Considerando la losa simplemente apoyada:

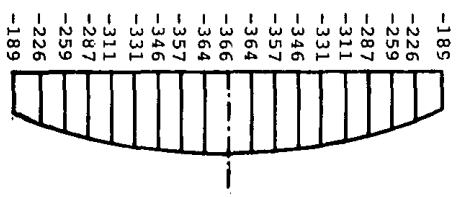




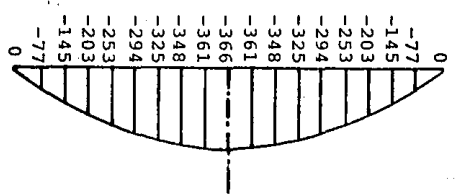
Momento Radial



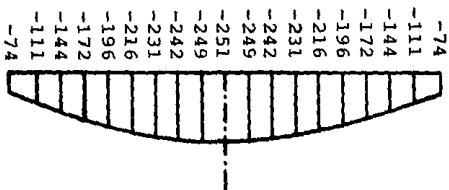
Considerando la losa empotrada:



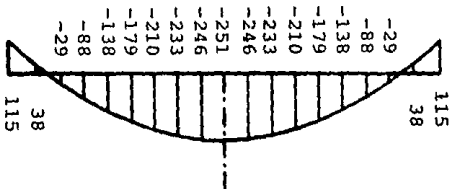
Momento Tangencial



Momento Radial

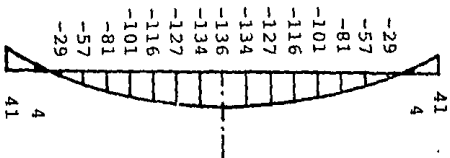


Momento Tangencial



Momento Radial

Promedios



Momento Tangencial

Armado de la losa de fondo;

Acero por flexión

$$M \text{ máx.} = 251 \text{ Ton-m}$$

$$\frac{M}{b d^2} = \frac{251 \times 10^5}{100(195)^2} = 6.60$$

entonces;

$$p = 0.0026 = p \text{ mín.}$$

$$A_s = p b d$$

$$A_s = 0.0026(100)(195)$$

$$A_s = 50.7 \text{ cm}^2, \text{ se propone: \#8 a 10.}$$

Acero por temperatura

$$A_s = \frac{450 x}{f_y(x + 100)} 100$$

$$A_s = \frac{450(200)}{4,200(200 + 100)} 100$$

$$A_s = 7.2 \text{ cm}^2$$

por estar en contacto con aguas negras;

$$A_s = 2(7.2)$$

$$A_s = 14.4 \text{ cm}^2, \text{ se propone: \#6 a 20 (fig. 33).}$$

En la figura 34, se presenta una gráfica con la cual se pueden encontrar los valores de los Momentos Radial y Tangencial promedio en cualquier punto de la losa para una cierta relación " ρ ".

Con el objeto de ejemplificar el uso de la gráfica, se analizará la losa de fondo de la Lumbrera 2 del Canal Nacional por medio de ésta.

Para una carga $q = -32.85 \text{ Ton/m}^2$ y para una relación;

$$\rho = 0 \text{ tenemos } K_r = K_t = -10,900$$

$\rho = 1$ tenemos $K_r = 5,000$ y $K_t = -3,200$
 sustituyendo valores en las ecuaciones correspondientes
 se obtiene:

$$(+)\text{Mr máx.} + \text{Mt máx} = 12.5 \times 10^{-6} (-32.85)(4.5)^2 (-10900)$$

$$(+)\text{Mr máx.} = \text{Mt máx} \pm 91 \text{ Ton-m}$$

$$(-)\text{Mr máx.} = 12.5 \times 10^{-6} (-32.85)(4.5)^2 (5,000)$$

$$(-)\text{Mr máx.} \pm -42 \text{ Ton-m}$$

$$(+)\text{Mt máx.} = 12.5 \times 10^{-6} (-32.85)(4.5)^2 (-3,200)$$

$$(+)\text{Mt máx.} \pm 27 \text{ Ton-m}$$

El armado de la losa de fondo será;

$$M \text{ max.} = 91 \times 10^5 \text{ Kg-cm}$$

$$\frac{M}{b d^2} = \frac{91 \times 10^5}{100(185)^2} = 2.66$$

entonces;

$$p = 0.0026 = p \text{ mín.}$$

$$A_s = 0.0026(100)(185)$$

$$A_s = 48.1 \text{ cm}^2, \text{ se propone: } \#8 \text{ a } 10.$$

Acero por temperatura

$$A_s = \frac{450(185)}{4,200(100 + 185)} 100$$

$$A_s = 7 \text{ cm}^2$$

por estar el elemento en contacto con aguas negras;

$$A_s = 2(7)$$

$$A_s = 14 \text{ cm}^2, \text{ se propone: } \#6 \text{ a } 20.$$

Por lo tanto el armado de la losa es igual al mostrado en la figura 33.

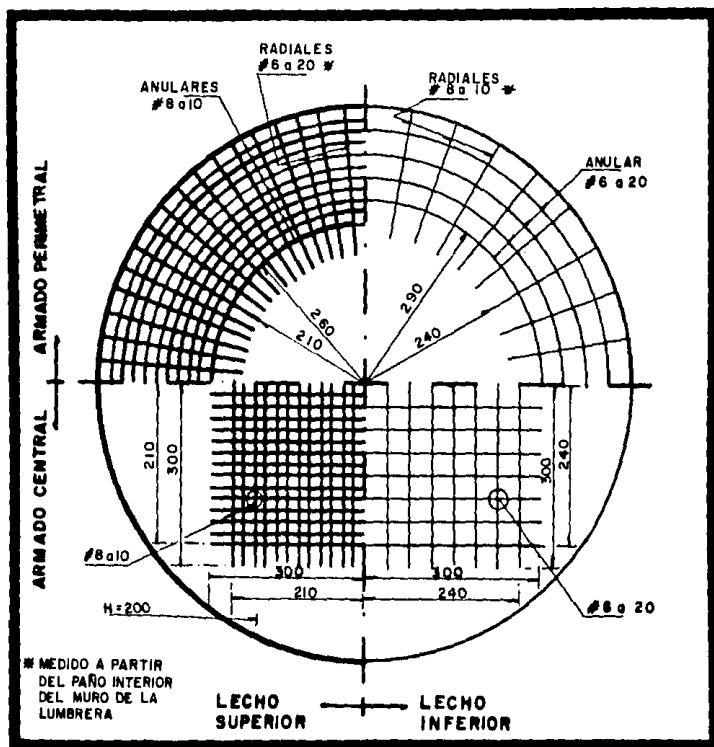


FIGURA 33

Armado de la losa de fondo.

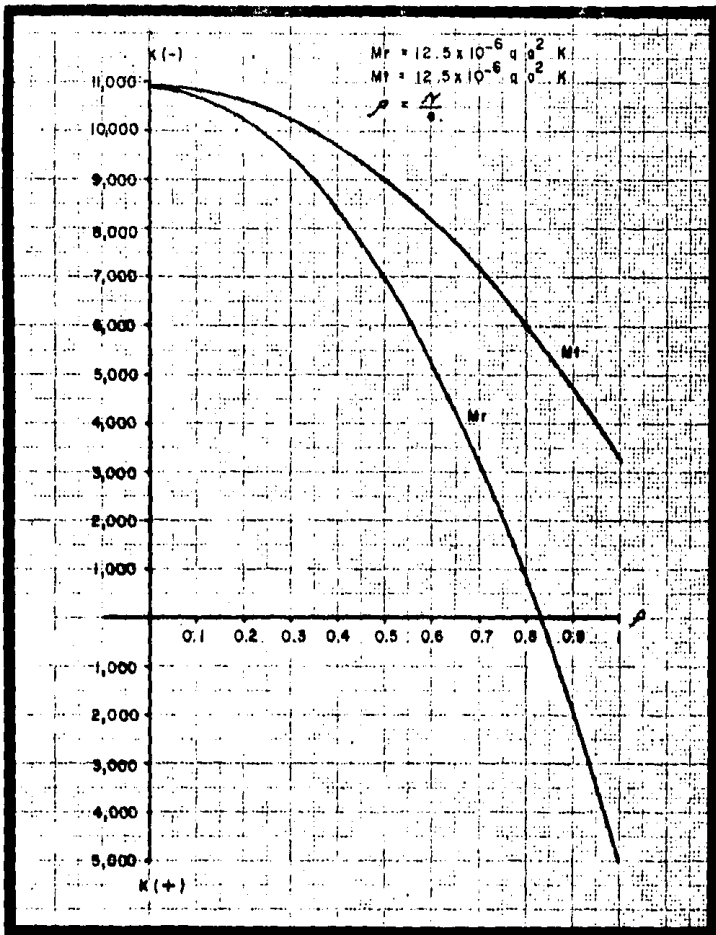


FIGURA 34

Momento Radial y Tangencial promedio.

3.4 Análisis y diseño del Revestimiento Definitivo.

Los espesores del revestimiento definitivo o muros de la lumbrera varían dependiendo del peso que se requiera para compensar la descarga que sufre el terreno; sin embargo y por lo general, este fluctúa entre los 50 a 80 cm.

Como la presión que ejerce el terreno alrededor del muro es uniforme, éste estará sujeto a compresión pura y por lo tanto el concreto la deberá absorber, por lo tanto el armado en forma de anillo se diseñará únicamente por temperatura; también se deberá revisar el espesor de los muros de la lumbrera, esto para ver si soportan la fuerza de compresión a la cual estarán sujetos (fig. 35); para esto es necesario conocer la presión radial que actúa sobre el muro (fig. 20 ó 21) y con ésta obtener la fuerza de compresión a la cual está sujeto el muro, este valor se compara con el esfuerzo permisible del concreto a compresión y lógicamente el primero debe ser menor que el último.

Para obtener el refuerzo longitudinal del muro de la lumbrera, primero es necesario proponer un armado y posteriormente se procede a calcular el momento resistente que tendrá la lumbrera con éste; después se calcula el momento que actúa sobre la lumbrera provocado por el sismo, naturalmente el primero deberá ser mayor que el último.

Para valuar el momento resistente de la lumbrera es necesario encontrar el punto donde la sección es balanceada, es decir, que la fuerza de compresión del concreto y la de tensión del acero que existen al generarse las on

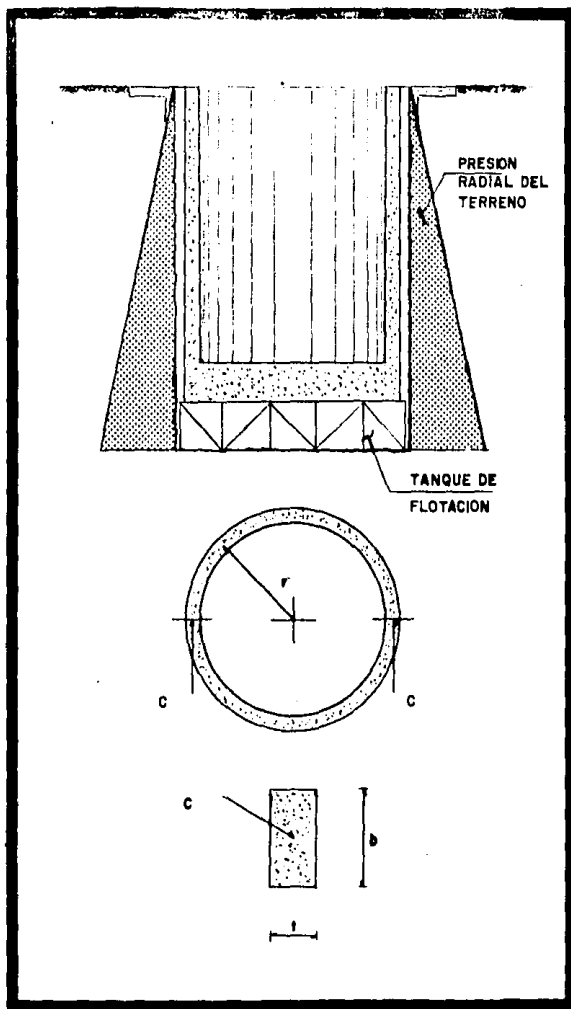


FIGURA 35

das sísmicas se igualen.

Basados en la figura 36, se puede determinar la expresión para obtener el área en compresión; la cual es:

$$A_c = \frac{\pi \alpha^0}{180} (R \text{ ext.}^2 - R \text{ int.}^2) \quad (3.4.1)$$

Ahora bien, la fuerza de compresión será:

$$C = A_c f''c \quad (3.4.2)$$

si sustituimos la expresión 3.4.1 en 3.4.2, tendremos:

$$C = \frac{\pi \alpha^0 f''c}{180} (R \text{ ext.}^2 - R \text{ int.}^2) \quad (3.4.3)$$

Para obtener el área en tensión (despreciaremos la que pueda tomar el concreto), se supone que el acero se localiza a la mitad del espesor del muro y que se encuentra en paquetes de dos varillas, así pues, el área en tensión estará dada por:

$$A_t = \frac{\pi R \text{ med. as}}{45 \text{ Sep.}} (180 - \alpha^0) \quad (3.4.4)$$

la fuerza de compresión será:

$$T = A_s f_y \quad (3.4.5)$$

sustituyendo 3.4.4 en 3.4.5 tendremos que:

$$T = \frac{\pi R \text{ med. } f_y \text{ as}}{45 \text{ Sep.}} (180 - \alpha^0) \quad (3.4.6)$$

Observando las expresiones 3.4.3 y 3.4.6, nos podremos dar cuenta que todos sus términos son constantes a excepción del ángulo " α " por lo que podemos concluir que depende del valor de éste, determinar el punto donde la sección es balanceada. Igualando las expresiones 3.4.3 y 3.4.6 y despejando el ángulo " α ", tendremos:

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

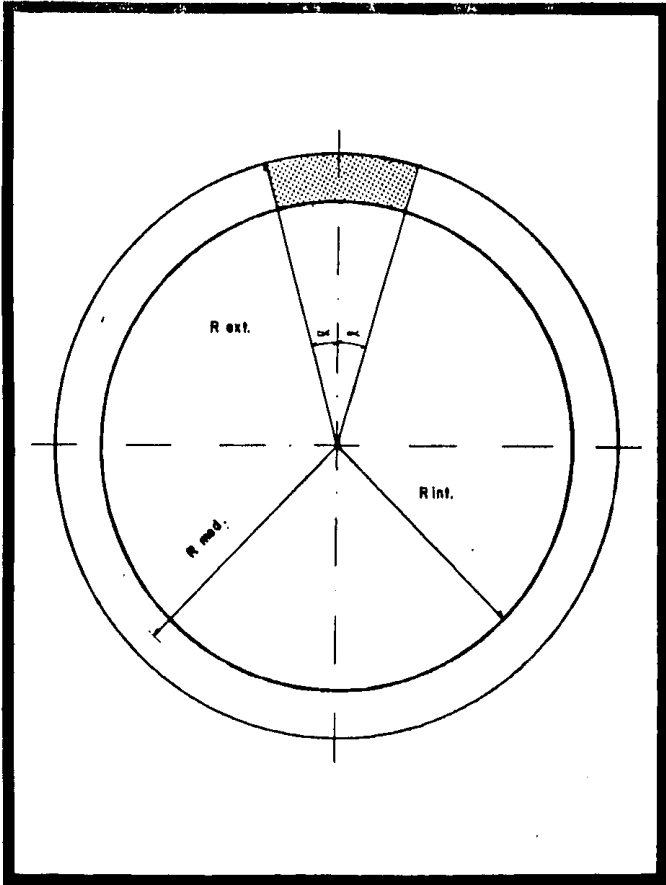


FIGURA 36

$$\alpha = \frac{720 \text{ as fy R med.}}{\text{Sep. (R ext.}^2 - \text{R int.}^2) f''c + 4 \text{ R med. fy as}}$$

Una vez conocido el valor de " α ", podemos obtener el de la tensión o compresión, aplicando el valor del ángulo a cualquiera de las expresiones 3.4.3 ó 3.4.6.

Finalmente para obtener el Momento Resistente, es necesario conocer el punto de aplicación de las cargas.

El centro de gravedad del área a compresión está dado por (fig. 37 a):

$$\bar{y}_c = \frac{120 \text{ Sen} \alpha^0 (\text{R ext.}^3 - \text{R int.}^3)}{\alpha^0 (\text{R ext.}^2 - \text{R int.}^2)}$$

y el punto donde está aplicada la fuerza de tensión se localiza por medio de (fig. 37 b):

$$\bar{y}_t = \frac{180 \text{ R med. Sen } (180 - \alpha)}{\pi (180 - \alpha)}$$

El momento resistente de la lumbrera será:

$$M_r = C J_d = T J_d$$

donde; $J_d = \bar{y}_c + \bar{y}_t$

Para calcular el momento actuante sobre la lumbrera se utiliza la expresión desarrollada por el Dr. Emilio Rosenblueth D. para tal efecto.

$$M_a = \frac{0.4 g E I}{v^2}$$

donde; "g" es la aceleración de la gravedad, "E" es el módulo de elasticidad del concreto, "I" es el momento de inercia y "v" es la velocidad de onda sísmica.

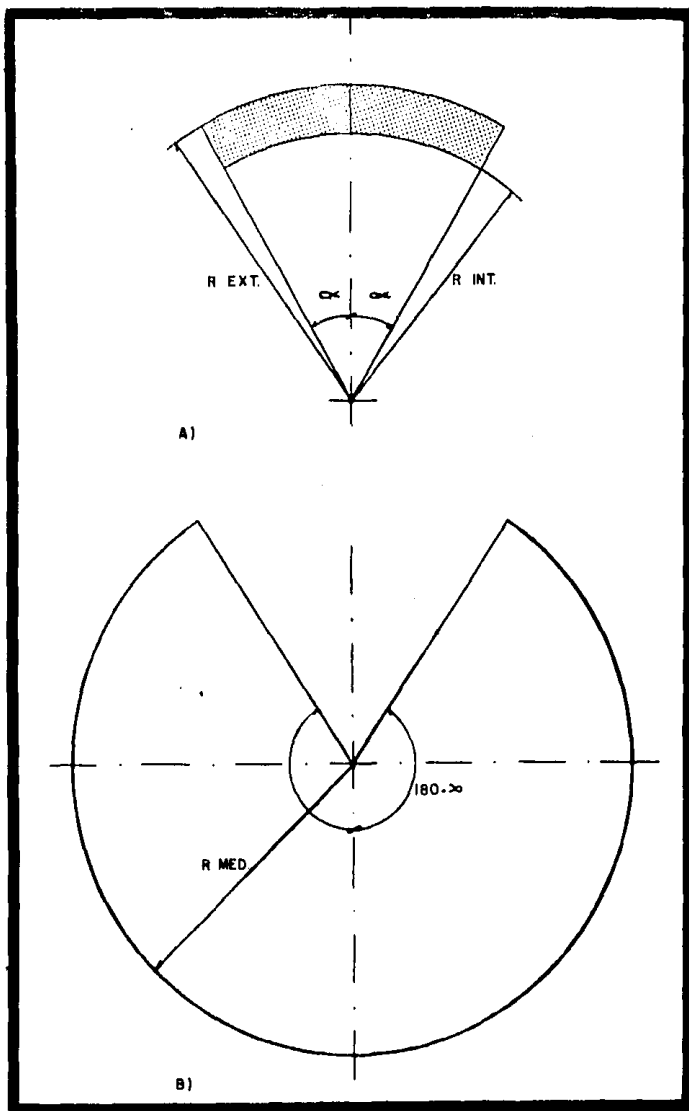


FIGURA 37

En los muros de la lumbrera, se deben dejar las preparaciones necesarias para recibir al túnel; en la periferia de estos se deberá colocar el doble del acero de refuerzo que será desplazado al momento de la demolición del muro; esto es debido a que al hacer un hueco en el muro de la lumbrera, en la periferia de estos se presentan esfuerzos adicionales los cuales son aproximadamente del doble de los que se tendrían si no existiese el hueco.

Para realizar lo antes dicho, es necesario determinar el área de acero que hay en un metro cuadrado de muro;

$$\frac{A_s}{m^2} = \left(1 + \frac{100}{Sep.} \right) as$$

Si se hace un hueco de sección circular en las paredes de un cilindro (muro de la lumbrera), éste tendrá la forma de una elipse en el plano, y su área está dada por (fig. 38):

$$A = \pi a b$$

donde:

$$a = \frac{\pi}{180} R \text{ med.} L \text{ Sen}^{-1} \frac{R \text{ ext.} T}{R \text{ med.} L}$$

$$b = R \text{ ext.} T$$

siendo: "R med.L" el radio medio de la lumbrera y "R ext.T" el radio exterior del túnel.

Para obtener el área total de acero "A^{ts}" que se colocará en la periferia del hueco aplicaremos la siguiente expresión:

$$A^{ts} = 2 A_s$$

donde:

$$A_s = A_e \frac{A_s}{m^2}$$

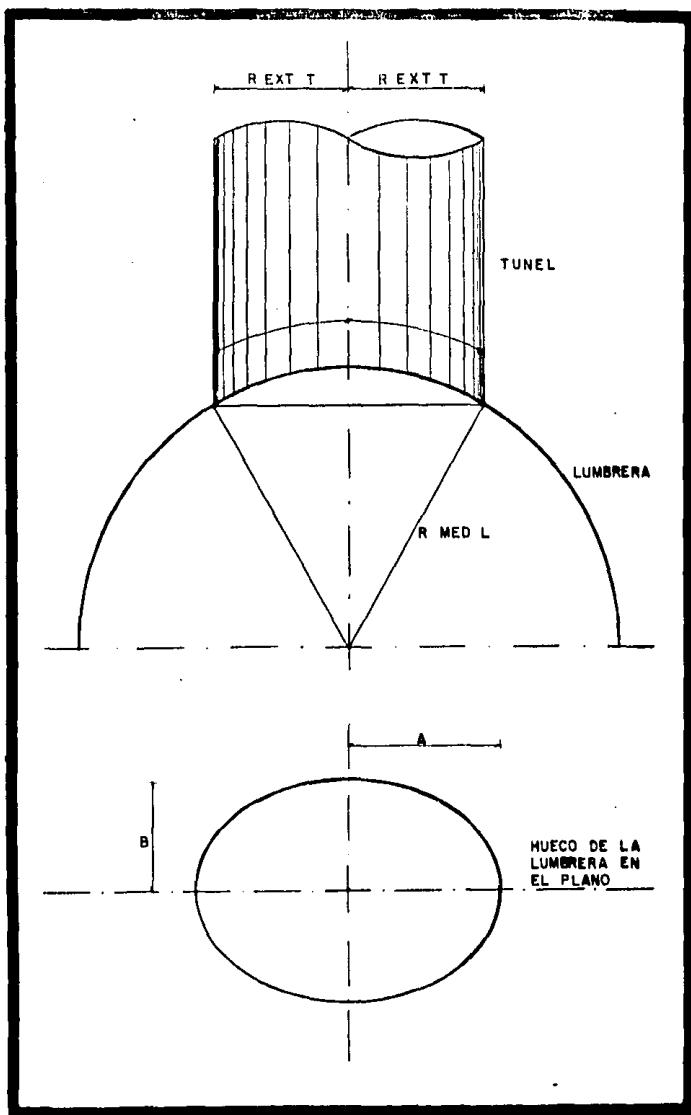


FIGURA 38

Los cálculos que a continuación se realizan son para la Lumbreira 4 del Interceptor Central.

Revisión del esfuerzo a compresión de los muros:

Para una profundidad de 33 m, la presión radial "P" es de 32.5 Ton/m^2 (fig. 20), el ancho de la sección "b" que se considera será de 1 m; y el radio medio estará dado por:

$$r = \frac{R \text{ ext.} - R \text{ int.}}{2} + R \text{ int.}$$

$$r = \frac{5.10 - 4.50}{2} + 4.50$$

$$r = 4.80 \text{ m}$$

La fuerza de compresión a la cual estará sujeto el muro será:

$$C = P r b$$

$$C = 32.50(4.80)(1.00)$$

$$C = 156 \text{ Ton}$$

El esfuerzo al que estará sujeto el muro es:

$$\nabla c = \frac{C}{b t}$$

$$\nabla c = \frac{156,000}{100(60)}$$

$$\nabla c = 26 \text{ Kg/cm}^2$$

el esfuerzo permisible del concreto a compresión (para $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$) es:

$$fc = 0.45 f'c$$

$$fc = 0.45(250)$$

$$fc = 112.50 \text{ Kg/cm}^2$$

comparando los esfuerzos, tenemos que:

$$\nabla c < fc$$

por lo tanto los muros soportan la presión del terreno.

Podríamos pensar que el espesor del muro es excesivo, sin embargo hay que aclarar que éste fué propuesto por el laboratorio de mecánica de suelos con el fin de obtener el peso suficiente para compensar la excavación.

Diseño del armado en forma de anillo:

Como se mencionó anteriormente el armado en forma de anillo, será diseñado por temperatura, debido a que los muros de la lumbrera trabajan a compresión pura; entonces:

$$a_s = \frac{450 h}{f_y(100 + h)} 100$$

$$a_s = \frac{450(60)}{4,200(160)} 100$$

$$a_s = 4 \text{ cm}^2$$

como la lumbrera estará en contacto con aguas negras:

$$A_s = 2 a_s$$

$$A_s = 8 \text{ cm}^2, \text{ se propone: \#5 a 25.}$$

Cálculo del momento actuante en la lumbrera:

Este se obtiene mediante:

$$M_a = \frac{0.4 \text{ g E I}}{v^2}$$

el módulo de elasticidad para un concreto de $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ es:

$$E = 10,000 f'c$$

$$E = 1,581,138 \text{ Ton/m}^2$$

el momento de inercia de la sección será:

$$I = \frac{(D \text{ ext.}^4 - D \text{ int.}^4)}{64}$$

$$I = \frac{(10.20^4 - 9.00^4) \pi}{64}$$

$$I = 209 \text{ m}^4$$

$$g = 9.81 \text{ m/seg}^2$$

$$v = 242 \text{ m/seg}$$

$$M_a = \frac{0.4(9.81)(1,581,138)(209)}{242^2}$$

$$M_a = 22,171.55 \text{ Ton-m}$$

Obtención del momento resistente:

Para ésto se propone un armado vertical en los muros del #6 a 15; con ésto se podrá determinar:

$$\alpha^{\circ} = \frac{720 \text{ as } f_y R \text{ med.}}{\text{Sep.}(R \text{ ext.}^2 - R \text{ int.}^2) f''c + 4 R \text{ med. } f_y \text{ as}}$$

$$\alpha^{\circ} = \frac{720(2.85)(4,200)(480)}{15(510^2 - 450^2)170 + 4(480)(4,200)(2.85)}$$

$$\alpha^{\circ} = 24.35^{\circ}$$

la fuerza de tensión y/o compresión aplicada sobre la lumbrera será:

$$C = T = \frac{\pi \alpha^{\circ} f''c}{180} (R \text{ ext.}^2 - R \text{ int.}^2)$$

$$C = T = \frac{24.35 \pi (170)}{180} (510^2 - 450^2)$$

$$C = T = 4,162.17 \text{ Ton}$$

el brazo de palanca será:

$$y_c = \frac{120(R \text{ ext.}^3 - R \text{ int.}^3) \text{ Sen } \alpha^{\circ}}{\alpha^{\circ} (R \text{ ext.}^2 - R \text{ int.}^2) \pi}$$

$$y_c = \frac{120(510^3 - 450^3) \text{ Sen } 24.35^{\circ}}{(24.35^{\circ})(510^2 - 450^2) \pi}$$

$$y_c = 4.66 \text{ m}$$

$$y_t = \frac{180 R \text{ med. Sen } (180 - \alpha^{\circ})}{(180 - \alpha)^{\pi}}$$

$$y_t = \frac{180(480) \text{ Sen } (180 - 24.35^{\circ})}{(180 - 24.35^{\circ})^{\pi}}$$

$$y_t = 0.61 \text{ m}$$

$$J_d = y_c + y_t$$

$$J_d = 4.66 + 0.61$$

$$J_d = 5.39 \text{ m}$$

el momento resistente de la lumbrera será:

$$M_r = C J_d$$

$$M_r = 4,162.17(5.39)$$

$$M_r = 22,428.44 \text{ Ton-m} > M_a$$

Obtención del acero de refuerzo en las preparaciones del muro;

El área de la preparación en el muro es:

$$A_e = \pi a b$$

$$a = \frac{\pi}{180} R \text{ med.} L \text{ Sen}^{-1} \frac{R \text{ ext.} T}{R \text{ med.} L}$$

$$a = \frac{\pi}{180} (4.80) \text{ Sen}^{-1} \frac{3.05}{4.80}$$

$$a = 3.31 \text{ m}$$

$$b = R \text{ ext.} T$$

$$b = 3.05 \text{ m}$$

$$A_e = \pi (3.31)(3.05)$$

$$A_e = 31.67 \text{ m}^2$$

el área de acero horizontal (anillos) y vertical que se cortarían por metro cuadrado al momento de la construcción del túnel es:

$$\frac{A_{sh}}{m^2} = \left(\frac{100}{Sep.h} + 1 \right) as$$

$$\frac{A_{sh}}{m^2} = \left(\frac{100}{25} + 1 \right) 1.98$$

$$\frac{A_{sh}}{m^2} = 9.9 \text{ cm}^2/m^2$$

$$\frac{A_{sv}}{m^2} = \left(\frac{100}{Sep.v} + 1 \right) as$$

$$\frac{A_{sv}}{m^2} = \left(\frac{100}{15} + 1 \right) 2.85$$

$$\frac{A_{sv}}{m^2} = 21.85 \text{ cm}^2/m^2$$

el área total de acero desplazado es:

$$A_{sh} = \frac{A_{sh}}{m^2} A_e$$

$$A_{sh} = 9.90(31.67)$$

$$A_{sh} = 313.5 \text{ cm}^2$$

$$A_{sv} = \frac{A_{sv}}{m^2} A_e$$

$$A_{sv} = 21.85(31.67)$$

$$A_{sv} = 692 \text{ cm}^2$$

el área total de acero requerida en la periferia de los huecos será:

$$A''_{sh} = 2 A_{sh}$$

$$A''_{sh} = 2(313.5)$$

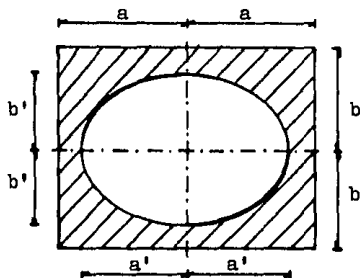
$$A''_{sh} = 627 \text{ cm}^2$$

$$A''_{sv} = 2 A_{sv}$$

$$A''_{sv} = 2(692)$$

$$A''_{sv} = 1384 \text{ cm}^2$$

El armado en la periferia de los huecos tendrá las siguientes características geométricas:



$$a' = a + 0.80$$

$$a' = 3.31 + 0.80$$

$$a' = 4.11 \text{ m}$$

$$b' = b + 1.25$$

$$b' = 3.05 + 1.25$$

$$b' = 4.30 \text{ m}$$

$$Ab = 4 a' b'$$

$$Ab = 4(4.11)(4.30)$$

$$Ab = 70.69 \text{ m}^2$$

La superficie que será reforzada es:

$$An = Ab - Ae$$

$$An = 70.69 - 31.67$$

$$An = 39 \text{ m}^2$$

El armado propuesto será:

$$A'sh = \frac{A'sh}{An}$$

$$A'sh = \frac{627}{39}$$

$$A'sh = 16.08 \text{ cm}^2, \text{ se propones \#6 a 15}$$

$$A'sv = \frac{A''sv}{Ae}$$

$$A'sv = \frac{1384}{39}$$

$$A'sv = 35.5 \text{ cm}^2, \text{ se propone: \#8 a 15}$$

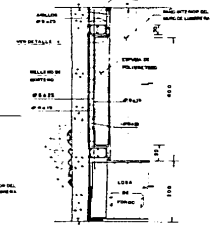
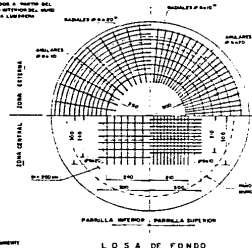
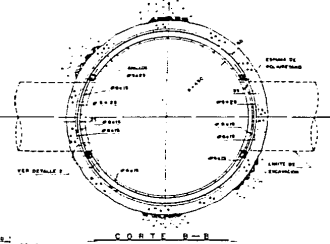
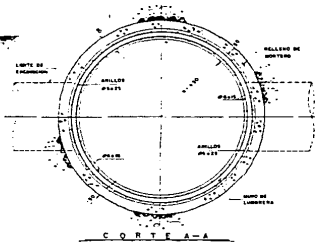
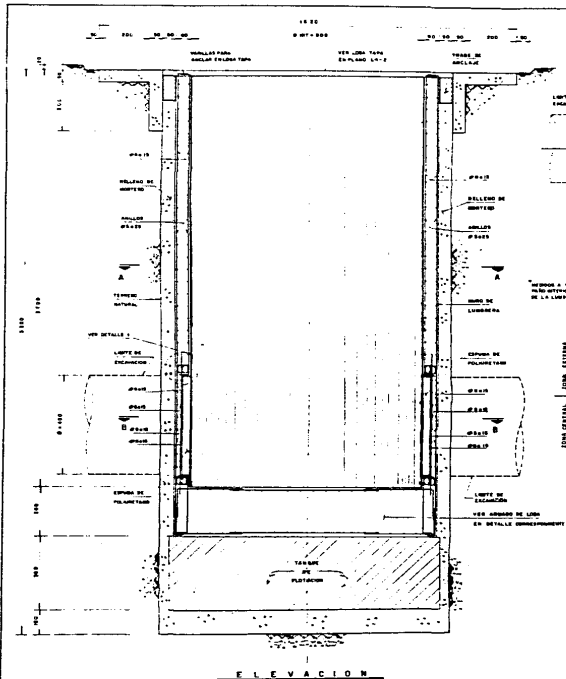
Para la Lumbreira 2 del Proyecto Canal Nacional se obtuvieron los siguientes armados:

Armado del muro en forma de anillo;	#5 a 20
Armado vertical del muro:	#6 a 20
Armados en la periferia de las preparaciones;	
$A'sh = 14.07 \text{ cm}^2$;	#6 a 15
$A'sv = 24.47 \text{ cm}^2$;	#8 a 20

3.5 Análisis y diseño de la Losa Tapa.

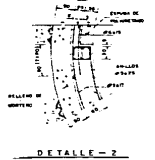
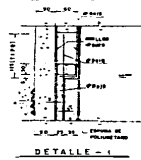
Las lumbreras que se localizan en zonas urbanas, por lo general son construidas en parques, esto con el propósito de no alterar el paisaje urbano; para esto se coloca sobre la tapa de la lumbreira una capa de material de relleno y posteriormente una capa vegetal. En el caso de que la lumbreira requiera ser construida en una calle o avenida, se colocará sobre ésta el material de relleno y posteriormente se procederá a la reconstrucción del pavimento.

El principal problema en la construcción de la losa tapa, es la elaboración de la cimbra; éste se resuelve construyendo la losa a base de precolados colocados a lo largo del diámetro de la lumbreira; estos elementos se apoyan sobre unas viguetas las cuales descansan en los muros



NOTAS GENERALES

1. INTERIOR EN DETALLE
2. UN PUNTO DE UN INTERIOR ALTERNATIVO DE UN LINDA TAPA EN UNO DE LOS LADOS DE LA SECCION
3. INTERIOR EN DETALLE
4. INTERIOR EN DETALLE
5. INTERIOR EN DETALLE
6. INTERIOR EN DETALLE
7. INTERIOR EN DETALLE
8. INTERIOR EN DETALLE
9. INTERIOR EN DETALLE
10. INTERIOR EN DETALLE
11. INTERIOR EN DETALLE
12. INTERIOR EN DETALLE
13. INTERIOR EN DETALLE
14. INTERIOR EN DETALLE
15. INTERIOR EN DETALLE
16. INTERIOR EN DETALLE
17. INTERIOR EN DETALLE
18. INTERIOR EN DETALLE
19. INTERIOR EN DETALLE
20. INTERIOR EN DETALLE
21. INTERIOR EN DETALLE
22. INTERIOR EN DETALLE
23. INTERIOR EN DETALLE
24. INTERIOR EN DETALLE
25. INTERIOR EN DETALLE
26. INTERIOR EN DETALLE
27. INTERIOR EN DETALLE
28. INTERIOR EN DETALLE
29. INTERIOR EN DETALLE
30. INTERIOR EN DETALLE
31. INTERIOR EN DETALLE
32. INTERIOR EN DETALLE
33. INTERIOR EN DETALLE
34. INTERIOR EN DETALLE
35. INTERIOR EN DETALLE
36. INTERIOR EN DETALLE
37. INTERIOR EN DETALLE
38. INTERIOR EN DETALLE
39. INTERIOR EN DETALLE
40. INTERIOR EN DETALLE
41. INTERIOR EN DETALLE
42. INTERIOR EN DETALLE
43. INTERIOR EN DETALLE
44. INTERIOR EN DETALLE
45. INTERIOR EN DETALLE
46. INTERIOR EN DETALLE
47. INTERIOR EN DETALLE
48. INTERIOR EN DETALLE
49. INTERIOR EN DETALLE
50. INTERIOR EN DETALLE
51. INTERIOR EN DETALLE
52. INTERIOR EN DETALLE
53. INTERIOR EN DETALLE
54. INTERIOR EN DETALLE
55. INTERIOR EN DETALLE
56. INTERIOR EN DETALLE
57. INTERIOR EN DETALLE
58. INTERIOR EN DETALLE
59. INTERIOR EN DETALLE
60. INTERIOR EN DETALLE
61. INTERIOR EN DETALLE
62. INTERIOR EN DETALLE
63. INTERIOR EN DETALLE
64. INTERIOR EN DETALLE
65. INTERIOR EN DETALLE
66. INTERIOR EN DETALLE
67. INTERIOR EN DETALLE
68. INTERIOR EN DETALLE
69. INTERIOR EN DETALLE
70. INTERIOR EN DETALLE
71. INTERIOR EN DETALLE
72. INTERIOR EN DETALLE
73. INTERIOR EN DETALLE
74. INTERIOR EN DETALLE
75. INTERIOR EN DETALLE
76. INTERIOR EN DETALLE
77. INTERIOR EN DETALLE
78. INTERIOR EN DETALLE
79. INTERIOR EN DETALLE
80. INTERIOR EN DETALLE
81. INTERIOR EN DETALLE
82. INTERIOR EN DETALLE
83. INTERIOR EN DETALLE
84. INTERIOR EN DETALLE
85. INTERIOR EN DETALLE
86. INTERIOR EN DETALLE
87. INTERIOR EN DETALLE
88. INTERIOR EN DETALLE
89. INTERIOR EN DETALLE
90. INTERIOR EN DETALLE
91. INTERIOR EN DETALLE
92. INTERIOR EN DETALLE
93. INTERIOR EN DETALLE
94. INTERIOR EN DETALLE
95. INTERIOR EN DETALLE
96. INTERIOR EN DETALLE
97. INTERIOR EN DETALLE
98. INTERIOR EN DETALLE
99. INTERIOR EN DETALLE
100. INTERIOR EN DETALLE



 UNIVERSIDAD DE INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
INTERCEPTOR CENTRAL	L4-1
LUBRIFICACION	14-1-1991
ING. JORGE S. BERTHIAU	ING. JORGE S. BERTHIAU

de la lumbrera.

Las viguetas son perfiles IPR forradas de concreto; el propósito principal de esto, es el de proteger a los perfiles de los agentes corrosivos producidos por las aguas negras.

En las zonas ajenas a los precolados, se colará una losa maciza cuyo peralte fluctúa entre los 20 a 25 cm (fig. 39).

Para poder analizar los precolados, antes es necesario conocer las cargas a las que estará sujeto (carga muerta más carga viva). El análisis del elemento se hará considerando como una viga simplemente apoyada la cual está sujeta a una carga uniformemente repartida. Con estas condiciones de carga y de apoyo, se podrán establecer los elementos mecánicos que actúan sobre éste. El diseño del elemento se hará utilizando los criterios establecidos en la teoría plástica. El análisis de las viguetas se hará únicamente por flexión.

Los calculos que a continuación se realizan son para la Lumbrera 4 del Interceptor Central.

Obtención de las cargas a las cuales estará sujeto el precolado:

Peso volunétrico del relleno:	1.60 Ton/m ³
Espesor del relleno:	0.20 m
Dimensiones del elemento:	20x50x250 cm
Peso del relleno:	0.2(1.6) = 0.30 Ton/m ²
Peso propio del precolado:	2(2.4) = 0.50 Ton/m ²
Sobrecarga:	1.50 Ton/m ²

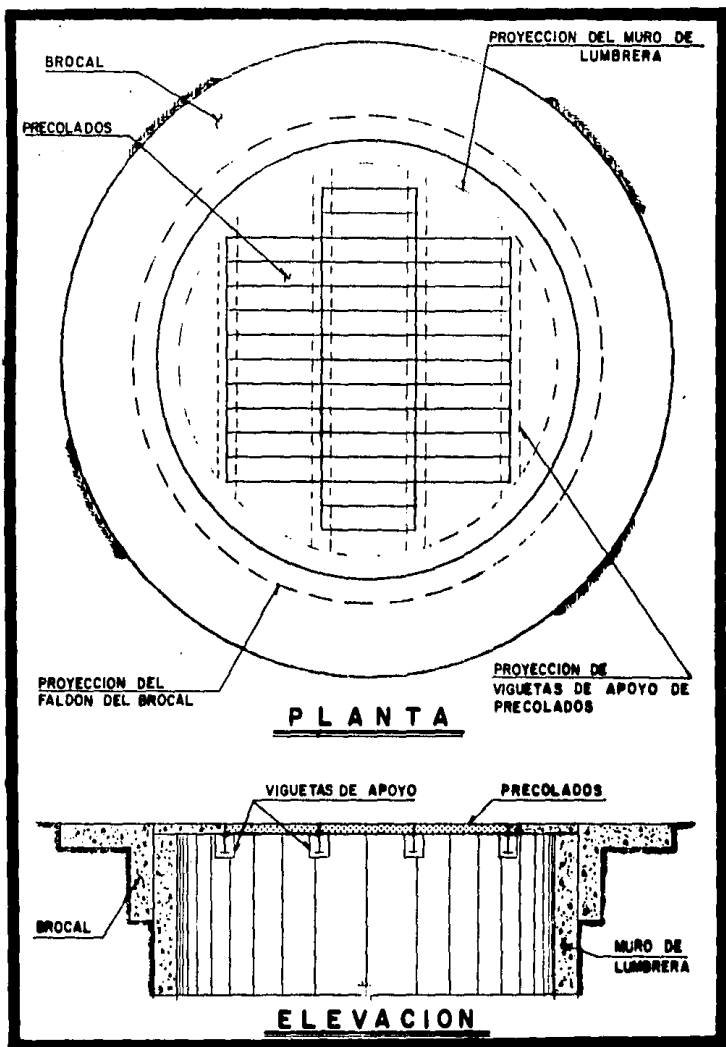
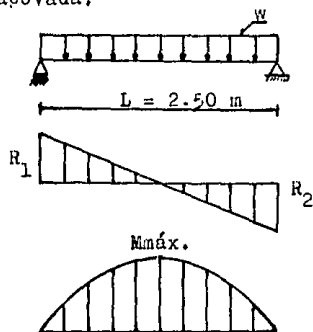


FIGURA 39

Carga total:

2.30 Ton/m²

Considerando al elemento como una viga simplemente apoyada:



$$w = 2.30(0.50)$$

$$w = 1.15 \text{ Ton/m}$$

$$R_1 = R_2 = w L/2$$

$$R_1 = R_2 = 1.15(2.50)/2$$

$$R_1 = R_2 = 1.44 \text{ Ton}$$

$$M_{máx.} = w L^2/8$$

$$M_{máx.} = 1.15(2.50)^2/8$$

$$M_{máx.} = 0.90 \text{ Ton-m}$$

$$\frac{M_R}{bd^2} = \frac{1.4(0.90 \times 10^5)}{50(17)^2}$$
$$\frac{M_R}{bd^2} = 8.70$$

de la gráfica para momentos resistentes de secciones rectangulares, (1) se obtiene:

$$p_{mín.} = 0.0035, \text{ por lo tanto:}$$

$$A_s = p b d$$

$$A_s = 0.0035(50)(17)$$

$$A_s = 3 \text{ cm}^2, \text{ se propone: } 5 \# 5.$$

El acero longitudinal del precolado será diseñado por temperatura:

$$a_s = \frac{450 h}{f_y(100 + h)} 100$$

(1) Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto (401), Fig. 3, pag. 179.

$$a_s = \frac{45,000(20)}{4,200(120)}$$

$$a_s = 1.80 \text{ cm}^2$$

como el elemento va a estar en contacto con el agua; tenemos que:

$$a_s = 2(1.80)$$

$$a_s = 3.60 \text{ cm}^2, \text{ se propone: } \#3 \text{ a } 20$$

Revisión por cortante:

$$v_{CR} = 0.25 \sqrt{f'c}$$

$$v_{CR} = 0.25 \sqrt{250}$$

$$v_{CR} = 3.95 \text{ Kg/cm}^2$$

$$V_{CR} = v_{CR} b h$$

$$V_{CR} = 3.95(50)(20)$$

$$V_{CR} = 3.95 \text{ Ton}$$

$$V_{m\acute{a}x.} = 1.44 \text{ Ton} < V_{CR}$$

Revisión de la flecha de corta duración:

La deformación máxima para una viga simplemente apoyada y que soporta una carga uniformemente distribuida es tá dada por:

$$y = \frac{5 w L^4}{384 E_c I}$$

La magnitud del momento de inercia de la sección dependerá de la comparación entre el momento máximo debido a la carga "M_{máx.}" y el momento de agrietamiento de la sección homogénea de concreto "M_{ag}". Así pues, el momen

to de agrietamiento se calcula mediante:

$$M_{ag} = \frac{f_r I_g}{y_T} \quad (\text{fórmula de la escuadría})$$

donde:

$$f_r = 2 \sqrt{f'c}$$

$$y_T = d - c$$

$$I_g = \frac{b h^3}{12}$$

$$b c^2 = 2 n A_s(d - c)$$

siendo: "f_r", el módulo de rotura del concreto; "I_g", el momento de inercia de la sección; "y_T", la distancia del eje neutro a la fibra más alejada sujeta a tensión; "c", la profundidad del eje neutro y "n", la relación de módulos de elasticidad.

Si $M_{máx.} > M_{ag}$, la deformación se calculará con:

$$y = \frac{5 w L^4}{384 E_c I_{ef}}$$

donde:

$$I_{ef} = \left(\frac{M_{ag}}{M_{máx.}} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{ag}}{M_{máx.}} \right)^3 \right] I_{ag} \leq I_g$$

$$I_{ag} = \frac{b c^3}{3} + n A_s(d - c)$$

siendo: "I_{ef}", el momento de inercia efectivo promedio •
"I_{ag}", el momento de inercia de la sección agrietada transformada.

Si $M_{máx.} < M_{ag}$, la deformación estará dada por:

$$y = \frac{5 w L^4}{384 E_c I_g}$$

por lo tanto tenemos;

$$fr = 2 \sqrt{f'c}$$

$$fr = 2 \sqrt{250}$$

$$fr = 31.62 \text{ Kg/cm}^2$$

$$I_g = \frac{b h^3}{12}$$

$$I_g = \frac{50(20)^3}{12}$$

$$I_g = 33,333 \text{ cm}^4$$

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$n = \frac{2.1 \times 10^6}{10,000 \sqrt{250}}$$

$$n \doteq 13$$

$$b c^2 = 2 n A_s (d - c)$$

$$50 c^2 = 2(13)(0.90)(17 - c)$$

$$50 c^2 + 257.40 c - 4,375.80 = 0$$

$$c = 7.13 \text{ cm}$$

$$y_T = d - c$$

$$y_T = 17 - 7.13$$

$$y_T = 9.87 \text{ cm}$$

$$mag = \frac{fr I_g}{y_T}$$

$$mag = \frac{31.62(33,333)}{9.87}$$

$$mag = 1.07 \text{ Ton-m}$$

Comparando el valor de los momentos;

$$M_{n\acute{a}x.} < mag$$

por lo tanto la flecha de corta duración será:

$$y = \frac{5 w L^4}{384 E_c I_g}$$

$$y = \frac{5(11.5)(250)^4}{384(153,114)(33,333)}$$

$$y = 0.11 \text{ cm}$$

Revisión de la flecha de larga duración:

Esta se obtiene mediante:

$$y' = (2 - 1.2 \frac{A's}{A_s})y + y$$

los precolados se acostumbra armar en un solo lecho, por lo tanto $A's = 0$ y la ecuación anterior será:

$$y' = 3 y$$

$$y' = 3(0.11)$$

$$y' = 0.33 \text{ cm}$$

La deformación permisible está dada por:

$$y_p = \frac{L}{240} + 0.5 \quad (1)$$

$$y_p = \frac{250}{240} + 0.5$$

$$y_p = 1.54 \text{ cm} > y'$$

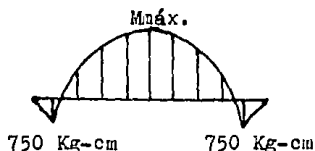
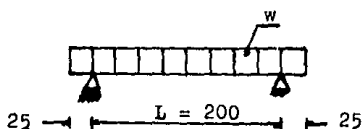
Para poder maniobrar con los precolados, es necesario colocar en éstos unas asas. Al izar los elementos, en las zonas cercanas a las asas se generan tensiones en el lecho superior. Por lo que es necesario colocar acero de refuerzo para tomar la tensión.

(1) Reglamento de Seguridad y Servicio para las Estructuras. Art. 207-1, pag. 4.

La carga debida al peso propio del elemento será:

$$w = 0.20(0.50)(2.4)$$

$$w = 2.4 \text{ Kg/cm}$$



$$M_{máx.} = 11250 \text{ Kg-cm}$$

$$\frac{M_R}{b d^2} = \frac{1.4(750)}{50(15)^2}$$

$$\frac{M_R}{b d^2} = 0.1$$

por lo tanto:

$$p = 0.0035$$

$$A_s = p b d$$

$$A_s = 0.0035(50)(15)$$

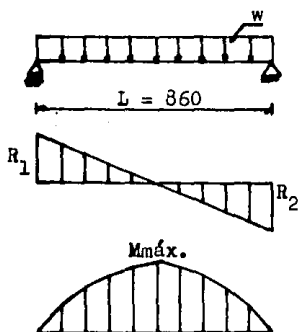
$$A_s = 2.62 \text{ cm}^2, \text{ se propone: } 1 \# 6.$$

La carga a la cual estarán sujetas las viguetas en las que se apoyan los precolados será:

Peso volumétrico del relleno:	1.60 Ton/m ³
Espesor del relleno:	0.20 m
Peso del relleno:	0.30 Ton/m ²
Peso de precolados:	0.50 Ton/m ²
Sobrecarga:	1.50 Ton/m ²

Carra total; 2.30 Ton/m²
 Longitud de la vigueta; 8.60 m

Considerando a la vigueta simplemente apoyada:



$$w = 2.3 A_{\text{tributaria}}$$

$$w = 2.3(2.5)$$

$$w = 5.75 \text{ Ton/m}$$

$$R_1 = R_2 = w L/2$$

$$R_1 = R_2 = 5.75(8.60)/2$$

$$R_1 = R_2 = 24.75 \text{ Ton}$$

$$M_{\text{máx.}} = w L^2/8$$

$$M_{\text{máx.}} = 5.75(8.60)^2/8$$

$$M_{\text{máx.}} = 53.16 \text{ Ton-m}$$

Las viguetas son perfiles IPR de acero estructural A-36; por lo tanto:

$$F_y = 2,530 \text{ Kg/cm}^2$$

el esfuerzo permisible del acero es:

$$F_b = 0.6 F_y$$

$$F_b = 0.6(2,530)$$

$$F_b = 1,518 \text{ Kg/cm}^2$$

si consideramos el esfuerzo actuante igual al permisible ($f_b = F_b$), tendremos:

$$f_b = \frac{M}{S}$$

$$S = \frac{M}{f_b}$$

$$S = \frac{53.16 \times 10^5}{1518}$$

$$S = 3,502 \text{ cm}^3$$

del manual AHMSA se selecciona un perfil IPR con las siguientes características:

IPR 457 x 298 mm - 170 Kg/m

(18" x 11 $\frac{3}{4}$ ")

S = 3,606 > 3502 cm³

Revisión del esfuerzo en los apoyos de las viguetas:

Las viguetas se apoyan libremente sobre los muros de la lumbrera, por esta razón, se generan esfuerzos de compresión en los apoyos; se debe determinar la magnitud de dichos esfuerzos y compararlos con el esfuerzo permisible del concreto a compresión, estos es:

$$f_c < F_c$$

donde;

$$f_c = 0.45 f'_c$$

y

$$F_c = \frac{P}{A}$$

siendo: "f_c", el esfuerzo permisible del concreto a compresión; "F_c", el esfuerzo de compresión actuante, "P", la reacción en el apoyo y "A", el área de apoyo.

El ancho de la viga es de 30 cm y su longitud de apoyo sobre el muro de la lumbrera será de la misma magnitud, por lo tanto:

A = ancho de la viga x long. de apoyo

$$A = 30 \times 30$$

$$A = 900 \text{ cm}^2$$

$$P = R_1 = R_2$$

$$P = 24.75 \text{ Ton}$$

$$F_c = \frac{P}{A}$$

$$F_c = \frac{24,750}{900}$$

$$F_c = 27.50 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_c = 0.45 f'c$$

$$f_c = 0.45(250)$$

$$f_c = 112.50 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_c > F_c$$

En la figura 39 se puede observar que las viguetas de los extremos tienen una longitud menor que las centrales, por lo tanto el perfil requerido es de menores dimensiones. Siguiendo la secuela de cálculo para el diseño de las viguetas centrales y para un claro de 5 m, se requiere un perfil de las siguientes características;

$$\text{IPR } 406 \times 178 \text{ mm} - 67.1 \text{ Kg/m}$$
$$16'' \times 7''$$

$$S = 1,186 > 1,183 \text{ cm}^3$$

En las zonas ajenas a los precolados se colará una losa maciza, la cual debido a sus dimensiones se analizará una franja unitaria considerándola como una viga simplemente apoyada. La carga a la cual estará sujeta será la misma a la cual están sujetos los precolados.

$$w = 2.30 A_{\text{tributario}}$$

$$w = 2.30(1)$$

$$w = 2.30 \text{ Ton/m}$$

$$M_{\text{máx.}} = \frac{w L^2}{8}$$

$$M_{\text{máx.}} = \frac{2.30(2)^2}{8}$$

$$M_{\text{máx.}} = 1.15 \text{ Ton-m}$$

$$\frac{M_R}{b d^2} = \frac{1.4(1.15 \times 10^5)}{100(17)^2}$$

$$\frac{M_R}{b d^2} = 5.57$$

por lo tanto:

$$p = 0.0035$$

$$A_s = p b d$$

$$A_s = 0.0035(100)(17)$$

$$A_s = 5.95 \text{ cm}^2, \text{ se propone: \#4 a 20}$$

CONCLUSIONES

Debido al crecimiento desmedido de la ciudad de México, se han generado ininidad de problemas, provocados por la demanda de servicios básicos de sus habitantes; la solución a estos problemas se ha visto afectada por el aspecto económico; por esta razón es difícil realizar las obras que permitan proveer soluciones a largo plazo. Es por ello que la construcción del Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México representa la solución a un problema actual; como lo es la incapacidad del Gran Canal del Desagüe para desalojar las aguas negras y pluviales de la ciudad.

Parte del subsuelo donde se encuentra la ciudad de México es de origen lacustre, por lo tanto el material predominante es un limo arcilloso, el cual es muy compresible. Esto reocresenta un problema desde el punto de vista constructivo, ya que en este tipo de material y para excavaciones profundas (como las que se reuieren para las lumbreras) se presentan dos problemas fundamentales; como son: la falla de fondo y la estabilidad de las paredes.

Estos dos problemas se resuelven compensando la excavación con lodo bentonítico, en estas condiciones, la construcción de la lumbrera del fondo hacia la superficie sería muy difícil de realizar. La Constructora Estrella, ideó una forma de realizar la construcción de la lumbrera

bajo estas condiciones; la cual básicamente consiste en controlar la flotación o inmersión de la lumbrera por medio de un tanque, colocado en la base de la misma. Tanto la flotación como la inmersión se controlan mediante la inyección o extracción de aire al interior del tanque.

Otro aspecto importante en este tipo de construcción es que al no ser necesario el abatimiento del nivel freático, las condiciones naturales del subsuelo arcilloso no son alteradas en absoluto. A la particularidad de no disminuir la cantidad de agua del subsuelo, se suma la de que prácticamente toda la construcción se realiza en la superficie donde el control de calidad, ciertamente, puede llevarse a cabo en forma óptima y además, se incrementa la seguridad del personal.

Cabe aclarar que este tipo de construcción es cien por ciento mexicano; y ha ocasionado que muchos técnicos extranjeros se interesen en él para adecuarlo a las condiciones locales que se presentan en sus países.

BIBLIOGRAFIA

- Memorias de las obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal, tomo III.
- American Institute of Steel Construction. "Manual of Steel Construction". 8^a Ed.
- Altos Hornos de México, S.A. "Construcción de Acero (compendio del Manual AHMSA).
- Timoshenko, S. P., Woinowski-Kriger, S.; "Theory of Plates and Shells". McGraw-Hill.
- Bares, R., "Tabla para el Cálculo de Placas y Vigas Pared". Gustavo Gili, S.A., 2^a Ed. ampliada.
- Instituto de Ingeniería, "Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto" (401).
- Ing. Moreno F., "Los Túneles en Suelos Blandos en el Valle de México", (folleto).
- Cravioto, Jorge, Villareal, A., Constructora Estrella S.A., "Recent Experience in the Construction of Tunnels and Shafts in the City of Mexico", (folleto).

- González Cuevas, Robles F. V., Casillas G. de L.,
Díaz de Cossío.; "Aspectos Fundamentales del Con-
creto Reforzado" Ed. Limusa.