



10
2ej.
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
‘ ‘ A R A G O N ’ ’

**ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE LOS TUNELES
GEMELOS DE ARTEAGA Y SALAZAR DE LA CARRETERA
MEXICO - TOLUCA**

T E S I S

Que para obtener el título de:
INGENIERO CIVIL

P r e s e n t a :

CARMEN HERRERA MARTINEZ

México, D. F., Noviembre 1987



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.

P R O L O G O

La teoría del análisis y diseño estructural de túneles ha sido poco difundida en el ámbito ingenieril en nuestro país, de ahí la inquietud tanto de ingenieros como de estudiantes por explorar dicho campo.

El desarrollo de dicha teoría en cuanto se refiere a suelos blandos está en auge, principalmente con la construcción de obras de tal importancia como el metropolitano de la ciudad de México, el drenaje profundo etc. en los cuales el uso es distinto.

Ahora con el proyecto de construcción de la Carretera-México-Toluca, se está llevando a cabo la construcción de túneles carreteros, dentro de los cuales se encuentran los túneles gemelos de Arteaga y Salazar que conformarán dicha vía, esto es debido a la necesidad que se presenta, y en la cual es necesaria su aplicación para salvar obstáculos y ésta es una solución óptima.

Con el fin de contribuir un poco me he dado a la tarea de recopilar información de la teoría mencionada, la cual se ha aplicado en el proyecto tratado y resumido en este trabajo.

Me es grato mencionar el agradecimiento al M.I. Claudio C. Merrifield Castro por la paciencia que ha tenido a bien - dedicar en la revisión de este trabajo, así como, a los ing - nieros asignados como Jurado que colaboraron con sus sugere - ncias y observaciones en la revisión del mismo.

A la planta docente por su dedicación en la tarea de -- formar profesionistas.

A mis compañeros de generación, de los que me quedan re - cuerdos gratos durante el tiempo en que convivimos, y con al - gunos de los cuales llegamos a entablar una sincera amistad, como es el caso del Ing. Eusebio Aguirre Hernández.

A mis amigos, compañeros de trabajo, al Ing. Luis Apan- go López por su valiosa ayuda prestada en cuanto a tiempos - que fueron definitivos para la elaboración de este trabajo.

Y con mucho cariño a mi Madre, la Sra. Socorro Martínez- Vda. de Herrera que con sus consejos, que me han servido de- estímulo he podido sobreponerme.

A mis Hermanos que tanto con su ayuda moral como econó- mica me ha sido posible no interrumpir mis estudios.

I N D I C E

	pág
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	
<u>RECOPIACION DE DATOS</u>	2
I.1. CARACTERISTICAS FISICAS EXISTENTES	2
I.2. ALTERNATIVAS DE SOLUCION	2
I.3. ELEMENTOS DE APOYO PARA EL PROYECTO GEOMETRICO	4
a) Objetivos Generales	
b) Restricciones y Requerimientos	
c) Características Operacionales	
I.4. ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LOS TUNELES GEMELOS	6
a) Consideraciones Generales	
b) Definición del Procedimiento Constructivo	
c) Descripción del Modelo de Análisis	
CAPITULO II	
<u>PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO</u>	9
II.1. CONSTRUCCION DE LOS PORTALES ORIENTE Y PONIENTE	10
II.1.1. OBSERVACIONES GENERALES	10
II.1.2. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	15
a) Colocación de anclas	
b) Excavación y ademado de la sección que alojará la trabe de borde	
c) Construcción de la trabe de borde	
II.2. EXCAVACION DE LA SECCION	22
II.3. EXTRACCION DE LA REZAGA	23
II.4. COLOCACION DEL REVESTIMIENTO PRIMARIO	24

	pág.
II.5. CONSTRUCCIÓN DEL REVESTIMIENTO DEFINITIVO	27
II.6. RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	29
CAPITULO III	
<u>ANALISIS</u>	32
III.1. CONDICIONES DE CARGA	32
III.2. DATOS NECESARIOS PARA LA COMPUTADORA	34
a) Datos para obtener el modelo de análisis	
b) Tabla que especifica las coordenadas de los nudos	
c) Se establece una tabla de incidencias de los miembros	
d) Se obtiene una tabla con las propiedades geométricas de los miembros	
e) Cargas en la estructura.	
III.3. LISTADOS DE RESULTADOS DEL ANALISIS PROPORCIONADOS POR LA COMPUTADORA	58
III.4. DIAGRAMAS DE ELEMENTOS MECANICOS	70
CAPITULO IV	
<u>DISEÑO</u>	73
IV.1. SECCION SIMPLEMENTE ARMADA	74
IV.2. SECCION DOBLEMENTE ARMADA	86
IV.3. MENSULAS EN EXTREMOS DE VIGAS	107
IV.4. OBTENCION DE LA ECUACION DEL PORCENTAJE DE AREA DE ACERO UTILIZADA	114
IV.5. ELECCION DE LOS ELEMENTOS MECANICOS PARA EL DISEÑO	118
IV.6. DISEÑO DE LA CLAVE (Junta 19)	120
IV.7. DISEÑO UNION LOSA-MURO (AL PAÑO)	124
IV.8. DISEÑO DE MUROS	132

	pág
IV.9. REVISION POR FLEXION DEL ACERO DE LOS MUROS (QUE SE CORRE A LA GUARNICION)	140
IV.10. DISEÑO DE LA LOSA	141
IV.11. DISEÑO DE LA UNION LOZA-ZAPATA COMO MENSULA	145
CAPITULO V . <u>ALTERNATIVAS DE SOLUCION</u>	148
CONCLUSIONES	158
REFERENCIAS	160

I N T R O D U C C I O N

Con la creación del nuevo proyecto de la carretera - México-Toluca, tramo: La Venta-Puente Conafrut, se pretende mejorar el sistema carretero entre el Distrito Federal y la Ciudad de Toluca, México.

La actual carretera que hace la comunicación entre - estas dos ciudades, presenta serias deficiencias en la zona que comprende La Marquesa-Puente Conafrut, debido a que dicha vía se construyó para las necesidades de tránsito propias de la época, motivo por el cual, es necesario un cambio radical de las características geométricas y físicas de éste.

Entre los problemas considerados como vitales, podemos mencionar el alineamiento horizontal, el cual debido al exceso de curvas con alto grado de curvatura no permite una circulación cómoda y segura para los usuarios. Asimismo, -- aunado al problema anterior y al incremento demográfico en - ambas ciudades, exige una carretera con una geometría óptima para proporcionar una mayor capacidad vehicular y así satisfacer las necesidades presentes y prevenir al máximo los posibles problemas que pudieran darse a futuro.

De ahí la importancia económica, política y social - que tiene dicho proyecto a realizarse en fechas próximas.

CAPÍTULO I

RECOPIACION DE DATOS

I.1. CARACTERISTICAS FISICAS EXISTENTES

El terreno natural existente es arcilloso, con una -
vegetación boscosa que en su mayoría son árboles coníferos.

El suelo está muy accidentado debido a que es una zo
na montañosa, en la zona suburbana tenemos que el terreno es
arenoso y accidentado ya que existen minas de arena que han-
sido explotadas dentro de la línea del nuevo proyecto.

Parte del proyecto se integra a la vialidad urbana -
existente, como es la prolongación Reforma del entronque San
ta Fe al Puente Conafrut.

I.2. ALTERNATIVAS DE SOLUCION

La información general de la alternativa propuesta.

El planteamiento de solución que se propone es la -
construcción de una nueva carretera que brinde seguridad y -
comodidad para el usuario, así como que tenga la capacidad -
de dar la continuidad vehicular necesaria a futuro. Con es-
to se logrará que la conexión de la ciudad de México y la --

N

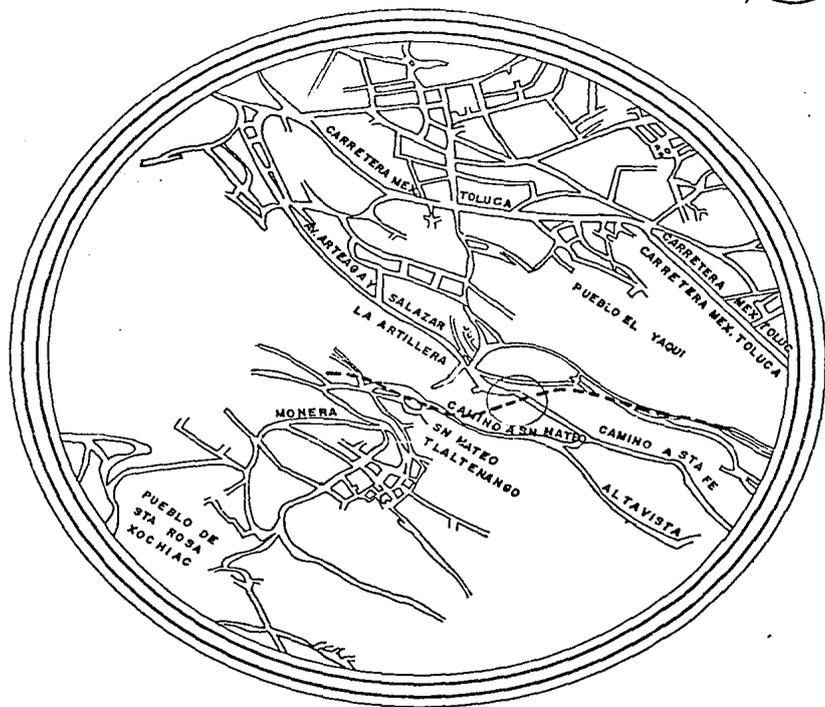
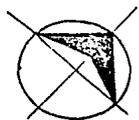


FIGURA I

CROQUIS DE LOCALIZACION

Ciudad de Toluca se haga en menor tiempo ya que contará con tres carriles en cada sentido y con la construcción de los túneles gemelos de Arteaga y Salazar entre los kilómetros 14 + 685.836 y 14+613.291 (Ver Fig. 1). Para hacer más recta la vía con las características geométricas óptimas que nos dé una mayor fluidez del tránsito y así lograr los objetivos propuestos.

I.3. ELEMENTOS DE APOYO PARA EL PROYECTO GEOMETRICO

a) OBJETIVOS GENERALES

El principal objetivo del proyecto es lograr que mediante la construcción de la nueva carretera se dé una mayor continuidad del flujo vehicular entre la ciudad de México y la ciudad de Toluca, así como a los poblados cercanos.

Se trató que este nuevo proyecto contenga la solución geométrica óptima para la operación más funcional y satisfactoria a la demanda vehicular, así como la incorporación al sistema carretero nacional y al sistema vial principal de la ciudad, del tramo que se encuentra dentro de la zona urbana.

B) RESTRICCIONES Y REQUERIMIENTOS

Se proyectó dando las restricciones y requerimientos mínimos necesarios como son:

Ancho y altura suficientes en los túneles para permitir el paso libre vertical y horizontal de los vehículos pesados.

Mayor y mejor visibilidad en curvas verticales y horizontales, sobre anchos necesarios de acuerdo al grado de curvatura, sobre elevaciones máximas de acuerdo al grado de curvatura, señalamiento informativo, restrictivo y preventivo, tanto para peatones como para conductores.

c) CARACTERISTICAS OPERACIONALES

El proyecto asegura que la vialidad se ajustará a la demanda de tránsito a futuro logrando funcionalidad, seguridad y consistencia de operación.

Las intersecciones a desnivel se solucionaron tomando en cuenta la jerarquía de las incorporaciones que participan.

Se contará con retornos en las zonas que así lo requerán con el fin de garantizar un mejor funcionamiento vial.

El nuevo tramo: La Venta-Conafrut, tendrá conexión con los poblados aledaños a ésta, como La Venta, La Cañada, San Mateo Tlaltenango, Las Tinajas, Cruz Manca, Cruz de Palo, Santa Fe, etc.

I.4. ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LOS TUNELES GEMELOS

a) CONSIDERACIONES GENERALES

La definición de la sección fue gobernada por tres - aspectos fundamentales:

1. Las restricciones ancho y altura de vehículos ne cesaria y sus instalaciones.
2. La estabilidad de la sección durante la construc ci ón, ya que existe un lapso más o menos largo - entre la excavación de la sección y el colado -- del revestimiento definitivo y
3. El comportamiento de la estructura ante las car- gas que le transmite el terreno a largo plazo.

b) DEFINICION DEL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

El procedimiento constructivo fue definido usando el criterio del "Nuevo Método Austríaco de Construcción de Túne les (N.A.T.M.) el cual consiste básicamente en utilizar un - revestimiento primario a base de concreto lanzado reforzado- con mallas de acero, colocado inmediatamente después de exca vado cada tramo de túnel y posteriormente se realiza el re-- vestimiento definitivo. Dicha práctica se realiza con el -- fin de facilitar el proceso constructivo de los túneles, ya- que se diseña el primer revestimiento para que sea simple y- fácil de ejecutar, evitándose al máximo la interferencia con

las actividades de excavación del frente y rezaga del material excavado.

El revestimiento primario tiene por objeto sustituir el confinamiento y apoyo que proporcionaba el suelo excavado, evitándose el aflojamiento del suelo perimetral.

El vestimiento definitivo formará junto con el primario y el suelo perimetral, una estructura que deberá ser capaz de soportar las cargas que con el tiempo actúan sobre dicho conjunto.

c) DESCRIPCION DEL MODELO DE ANALISIS

Para valuar las cargas que actúan en el túnel se investigaron diferentes métodos, encontrándose que para las características del suelo y las propiedades de la sección del túnel, el método más adecuado era el de Terzaghi. Las cargas verticales sobre el túnel estimadas mediante este método para las distintas condiciones de diseño, varían de 13.5 a 16.0 ton/m², obteniéndose las cargas mayores en las zonas donde el suelo sobre la clave tenía mayor espesor y muy poca o ninguna cohesión.

Se discretizó a la sección del túnel en dovelas y mediante el empleo de la computadora se analizó a la estructura bajo la acción de las cargas mencionadas sumando la del peso propio del túnel.

Dicho análisis se realizó para dos condiciones de carga, considerando en cada una de ellas la interacción suelo-estructura, idealizando al suelo como un conjunto de barras verticales y horizontales que rodean a la estructura y con una rigidez a la compresión igual a la del suelo perimetral. Las dimensiones de dichas barras se definieron mediante las siguientes expresiones:

$$\frac{E_b \cdot A_b}{L} = K_v \cdot A_s \text{ ----- (1) Ref. 5}$$

$$\frac{E_b \cdot A_b}{L} = K_h \cdot A_s \text{ ----- (2) Ref.5}$$

en donde:

E_b = Módulo de elasticidad de la barra que simula al suelo.

A_b = Area de la barra que simula al suelo.

L = Longitud de la barra que simula al suelo.

K_v, K_h = Módulos de reacción de subgrado vertical y horizontal del suelo, respectivamente.

A_s = Area del suelo simulado por cada barra.

CAPÍTULO II

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

A continuación se describen los lineamientos para la excavación y construcción de las secciones en túnel, cuya -- ubicación se muestra en la Fig. 2. Las características geométricas de estos túneles se indican en la Fig. 3.

El proceso de excavación, colocación de la estructura de soporte provisional y construcción del revestimiento definitivo se realizará de acuerdo con la siguiente secuencia:

- II.1. Construcción de los portales, oriente y poniente.
- II.2. Excavación de la sección.
- II.3. Extracción de la rezaga.
- II.4. Colocación del revestimiento primario.
- II.5. Construcción del revestimiento definitivo.

La descripción de las actividades mencionadas se exponen a continuación.

II.1. CONSTRUCCION DE LOS PORTALES ORIENTE Y PONIENTE

Antes de iniciar la excavación de los túneles deberán construirse los emportalamientos poniente y oriente a base de anclas y trabes de borde, con objeto de lograr una mayor estabilidad en el terreno al inicio y al final de la excavación del túnel. La localización de los portales antes citados se indica en la Fig. 4.

II.1.1. OBSERVACIONES GENERALES

1. En caso de construirse primero el portal poniente, será condición necesaria haber concluido previamente la construcción del terraplén adyacente a éste.

2. Si se pretende construir inicialmente el portal-oriente, se deberá descubrir la pared del terreno en que se construirá dicho emportalamiento, para lo cual será necesario realizar cortes desde el nivel de terreno natural hasta alcanzar el nivel de desplante de la plantilla subyacente a la losa de piso de los túneles. Esta excavación se efectuará entre taludes 0.5:1. (horizontal a vertical). Adicionalmente en la masa de terreno ubicada entre los túneles (Fig. 5). Deberá realizarse un rasero de 6.00 m. de profundidad, medidas a partir del terreno natural.

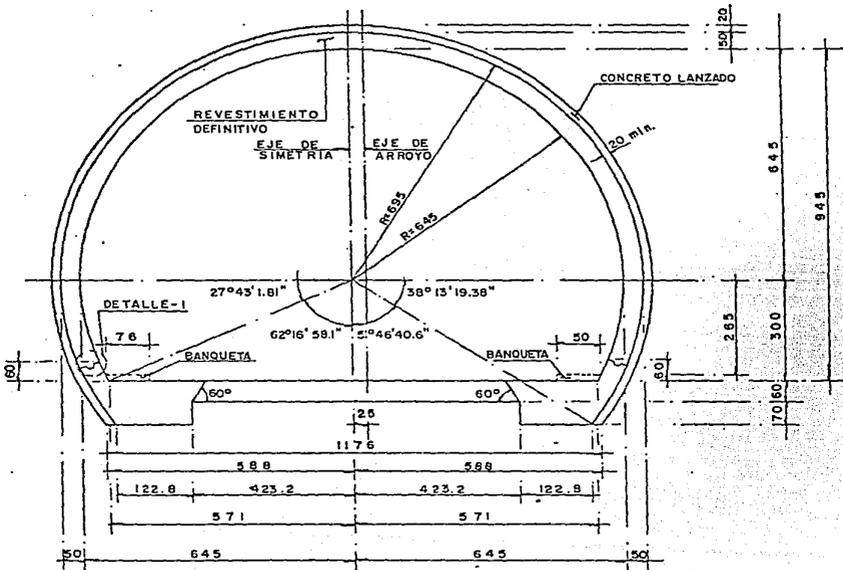
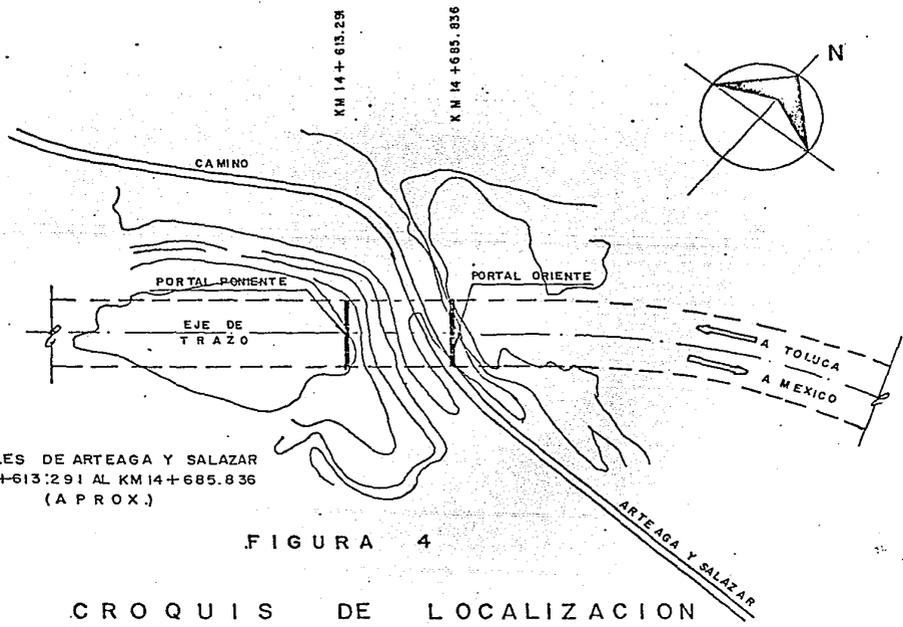


FIGURA - 3
CORTE (DIMENSIONAL)



TUNELES DE ARTEAGA Y SALAZAR
 KM 14+613.291 AL KM 14+685.836
 (A PROX.)

FIGURA 4

CROQUIS DE LOCALIZACION

13

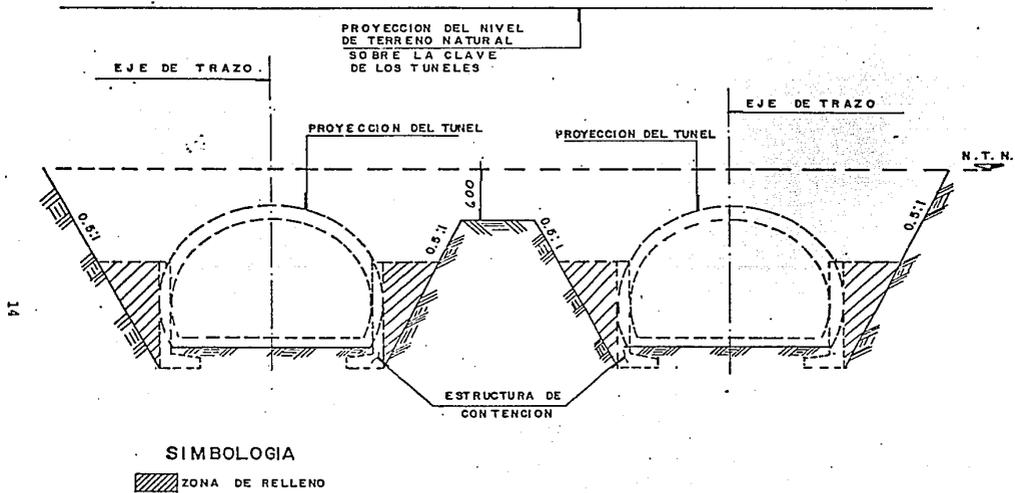


FIGURA - 5

P O R T A L · O R I E N T E

II.1.2. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

El proceso constructivo de los emportalamientos comprenderá las etapas citadas a continuación:

- a) Colocación de anclas.
- b) Excavación y ademado de la sección que alojará la trabe de borde.
- c) Construcción de la trabe de borde.

La descripción de cada una de estas etapas se indica a continuación.

a). COLOCACION DE ANCLAS

De manera previa a la excavación para la construcción de la trabe de borde se deberán realizar siete perforaciones de 2" de diámetro localizadas sobre el perímetro exterior de la trabe de borde a 40 cm del sitio en donde ésta última quedará alojada. Las perforaciones se efectuarán con un ángulo de 20° con respecto a la horizontal, con la distribución indicada en la Fig. 6 y con una profundidad de 4.00 m.

Una vez realizada la perforación, se colocará una ancla en cada una de ellas, la cual estará constituida por una varilla de 1" de diámetro ($f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$); posteriormente se procederá a inyectar esta zona con una lechada de agua-cemento en una proporción de dos partes de cemento por una de agua y a una presión de 2.0 Kg/cm^2 .

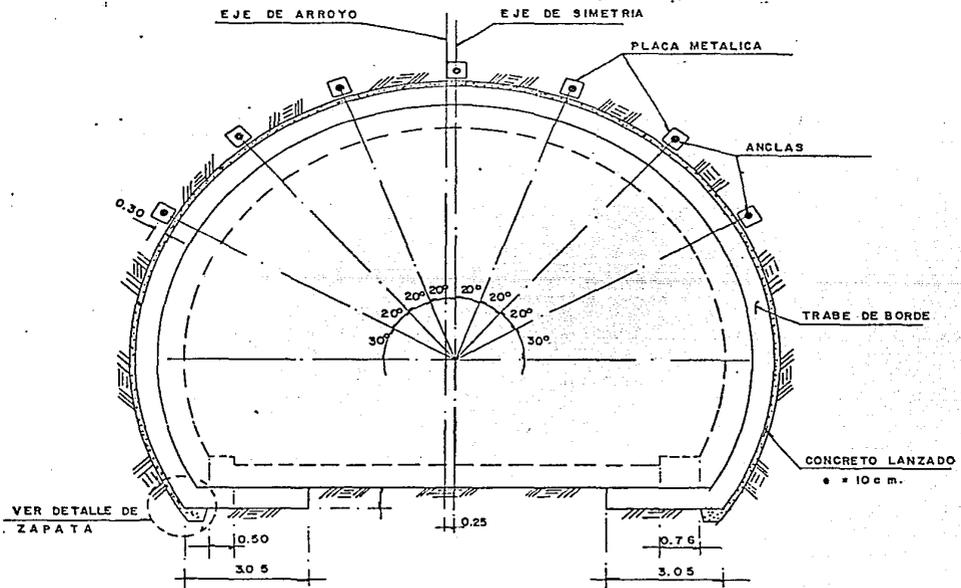


FIGURA 6

DI STRIBUCION DE ANCLAS

Cuando el ancla haya quedado fijada al terreno, se colocará una placa metálica en la punta de las varillas para posteriormente fijarlas a ésta por medio de una tuerca o soldadura.

b). EXCAVACION Y ADEMADO DE LA SECCION QUE ALOJARA
LA TRABE DE BORDE

Después de ubicada el área de la sección del túnel en la pared del terreno y colocadas las anclas, se procederá a iniciar la excavación de la sección que alojará la trabe de borde, para lo cual se dividirá el área transversal en 6 zonas, según se indica en la Fig. 7. La excavación se realizará con una longitud total de 1.50m, debiendo dejar en el frente de excavación un talud 0.25:1 (horizontal a vertical) Fig. 8. El ataque del frente se hará con máquina tipo "Alpine", "Wesfallia" o similar.

Una vez descubierta en cada una de las zonas, el área perimetral en donde se alojará la trabe de borde, se procederá de inmediato a colocar una primera capa de concreto lanzado de 5.0 cm. de espesor.

Concluido lo anterior se colocará una malla electrosoldada del tipo 6" x 6" - 4/4. La longitud de esta malla deberá contar con 30 cm. adicionales, con el fin de hacer el traslape y el amarre con las mallas de las zonas adyacentes.

Por último se colocará una segunda capa de concreto-

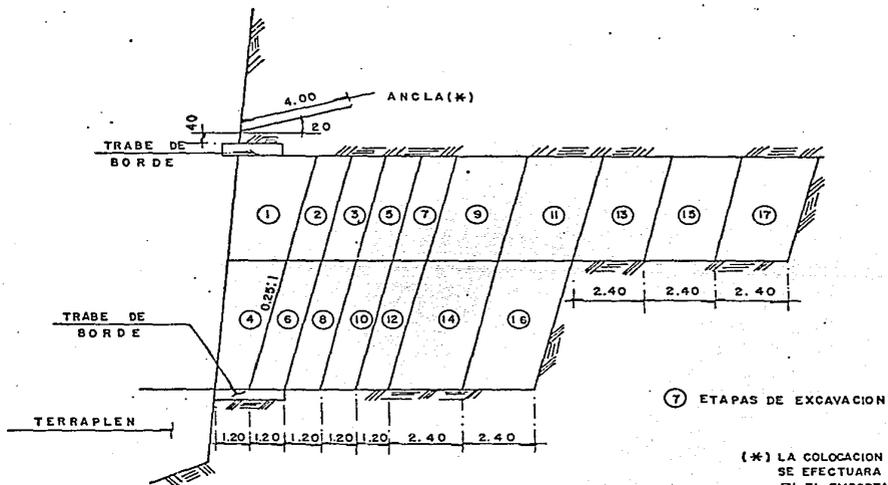


FIGURA.- 8

(*) LA COLOCACION DE ANCLAS SE EFECTUARA SOLAMENTE EN EL EMPORTALAMIENTO ATRAVES DEL CUAL SE INICIARA LA EXCAVACION DEL TUNEL.

SECUENCIA DE EXCAVACION EN TUNEL

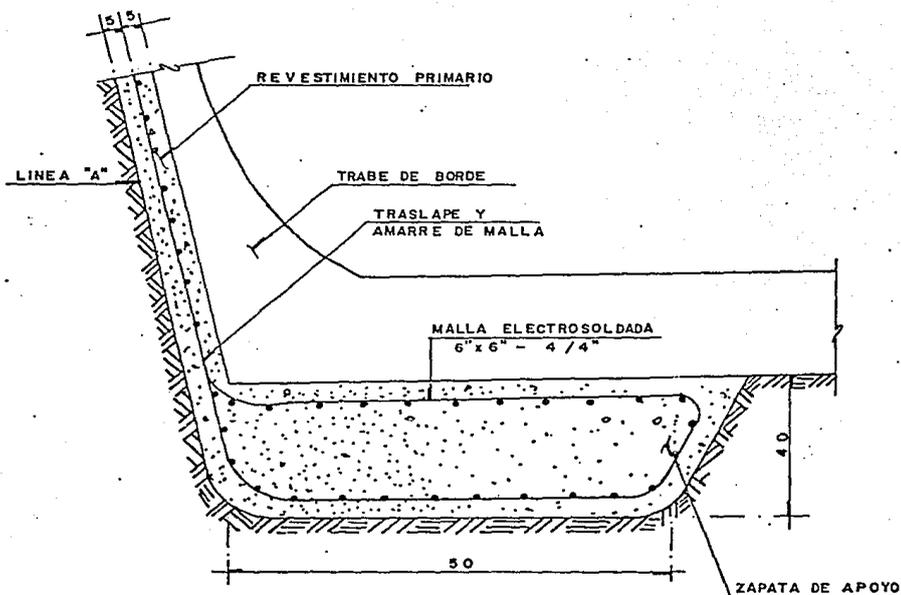


FIGURA — 9

DETALLE DE REVESTIMIENTO PRIMARIO
Y DE ZAPATA

lanzado de 5 cm. de espesor, quedando de esta manera constituido el ademado de la sección.

Adicionalmente se deberá tener en cuenta que cuando se excave la zona inferior se harán las zanjas para la construcción de las zapatas de apoyo. (Ver Fig. 9).

Las dimensiones de las zanjas será de 0.50 m. de ancho con una profundidad de 0.40 m, medidos a partir del nivel de desplante de la zapata de apoyo de la trabe de borde, tal como se indica en la figura mencionada anteriormente. - Asimismo las mallas de refuerzo del ademado, deberán prolongarse hasta las zanjas para constituir el refuerzo de dichas zapatas, las cuales no deberán construirse con el concreto - producto del rebote del lanzado ni apoyarse sobre suelo suel to.

c). CONSTRUCCION DE LA TRABE DE BORDE

Colocado el ademe provisional de la sección, se iniciará de inmediato la construcción de las zapatas de apoyo de la trabe de borde, para lo cual se realizará una sobre excavación; esta excavación tendrá un ancho de 3.05 m y una -- profundidad de 0.60 m medidos a partir del desplante de la - losa de piso. (Ver Fig. 6).

Posteriormente se colocará una plantilla de concreto pobre de 10 cm. de espesor. Seis horas después se procederá

a armar y colar las zapatas de apoyo dejando en ellas, las preparaciones necesarias para efectuar la liga con el armado del arco de la trabe de borde.

Concluido lo anterior, se colocará el armado de la trabe y se procederá al colado de la misma mediante concreto lanzado.

Notas Importantes

1. De manera previa a la construcción de los emporalamientos, se deberán efectuar trabajos de "amacize" en los taludes naturales adyacentes, con el fin de derribar todos los fragmentos rocosos o porciones de terreno susceptibles de desprenderse durante la construcción.

2. Si la excavación del túnel inicia por el portal poniente no será necesario colocar anclas en el portal oriente o viceversa.

II.2. EXCAVACION DE LA SECCION

Una vez construidos el portal oriente o poniente se podrá iniciar la excavación del túnel por etapas, para lo cual se dividirá el área transversal en 6 zonas, según se indica en la Fig. 7. La excavación de estas etapas se realizará siguiendo la secuencia indicada en la Fig. 8, tomando en cuenta que en los primeros 6.00 m. de longitud del túnel las

etapas de excavación serán de 1.20 m. de avance debiendo man tener un banco cuya longitud máxima será de 3.60 m.

Concluida la excavación de los 6.00 m. iniciales, - las etapas posteriores podrán ser de 2.40 m. de avance, llevando un banco máximo de 7.20 m. de longitud.

El talud del frente de la excavación será de 0.25:1- horizontal a vertical y el ataque del frente se hará con má- quina tipo "Alpine", "Westfallia" o similar.

Descubierto cada tramo de 1.20 ó 2.40 m. de longitud según sea el caso, se deberá colocar inmediatamente el reves timiento primario, el cual se describe en párrafos posteriores.

La excavación en cada etapa deberá realizarse hasta la línea "A", (Ver Fig. 7).

II.3. EXTRACCION DE LA REZAGA

Conforme se vaya atacando el frente de la excavación, el material de rezaga se irá depositando en camiones, ya sea directamente a través de un cargador frontal, o bien, mediante una tolva, las que transportarán el material hasta los tiraderos.

II.4. COLOCACION DEL REVESTIMIENTO PRIMARIO

El revestimiento temporal del túnel estará constituido por una capa de concreto lanzado de 20 cm. de espesor reforzado con dos mallas electrosoldadas del tipo 6" x 6" - - 4/4; el proceso de colocación de este revestimiento será el siguiente:

1a. ETAPA

Una vez descubierta el área perimetral del túnel, en cada una de las zonas de excavación, se procederá a colocar una primera capa de concreto lanzado de 5.0 cm. de espesor.

2a. ETAPA

Concluido el lanzamiento de la primera capa se colocará una malla electrosoldada del tipo 6" x 6" - 4/4. La longitud de esta malla deberá contar con 30 cm. adicionales, con el fin de hacer el traslape y amarre con las mallas de las zonas adyacentes.

3a. ETAPA

A continuación se lanzará una segunda capa de concreto de 10 cm. de espesor.

4a. ETAPA

Realizado el lanzado de la segunda capa, se colocará otra malla del tipo indicado en la segunda etapa, debiendo dejarse 30 cm. de longitud adicionales para el traslape.

5a. ETAPA

Por último se colocará una tercera capa de concreto lanzado de 5 cm. de espesor, quedando de esta manera constituido el revestimiento primario.

La secuencia anterior se efectuará en cada uno de los tramos de avance, tan pronto como la excavación descubra el área perimetral de las zonas, teniendo en cuenta que cuando se excave la zona inferior se harán las zanjas para la construcción de las zapatas de apoyo (Ver Fig. 10). Las dimensiones de las zanjas serán de 1.20 m. de ancho con una profundidad de 0.40 m. contados a partir del nivel de desplante de la losa de piso del túnel. Asimismo, las mallas de refuerzo del túnel deberán prolongarse hasta las zanjas para constituir el refuerzo de las zapatas de apoyo. Las zapatas no deberán construirse con el concreto producto del rebote del lanzado ni apoyarse sobre el suelo suelto.

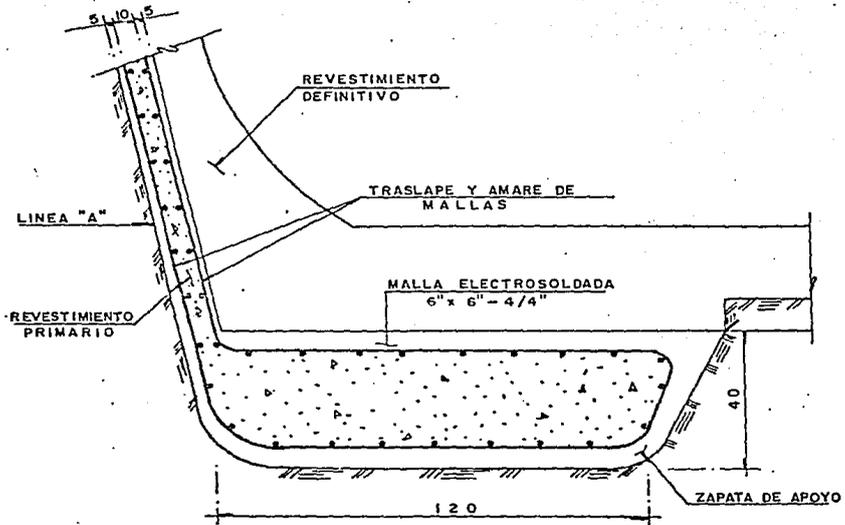


FIGURA — 10.

DETALLE DE REVESTIMIENTO PRIMARIO
Y DE ZAPATA

II.5. CONSTRUCCION DEL REVESTIMIENTO DEFINITIVO

Una vez colocado el revestimiento primario en las pa redes del túnel se iniciará el colado del revestimiento defi nitivo a base de concreto lanzado reforzado con acero.

Las guarniciones y la losa de piso se construirán me diante concreto hidráulico colado en el sitio. Los detalles del armado de este revestimiento se verán en el Capítulo IV.

La secuencia de colado del revestimiento definitivo- se indica en la Fig. 11, donde se observa que primero se co larán las guarniciones del túnel, después el arco y por últi mo la losa de piso.

El colado de la losa de piso se realizará hasta lo - último de tal manera que no se tengan interferencias con el sistema de transporte de la rezaga. Asimismo, se deberá to mar en consideración, que tanto las guarniciones como la losa de piso se desplantarán sobre una plantilla de concreto - simple de 10 cm. de espesor colada previamente.

Nota Importanté:

La excavación para la construcción de los túneles ge melos sólo podrá ser simultánea, cuando entre los frentes de excavación de uno y de otro túnel exista una distancia no me nor de 15.0 m.

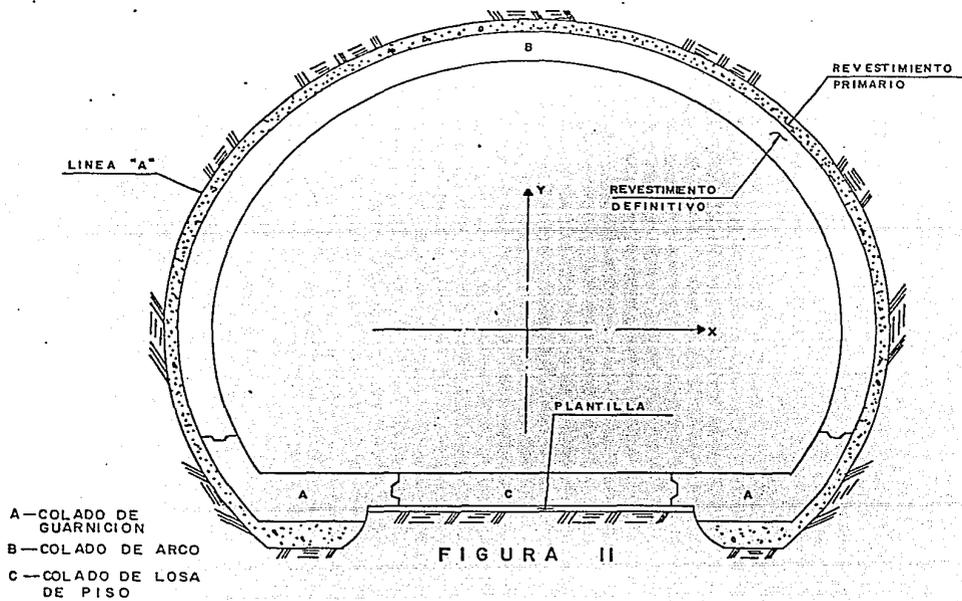
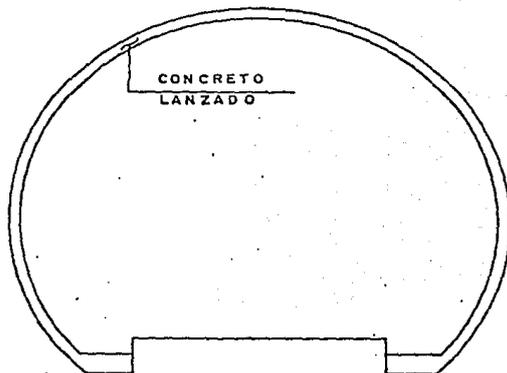


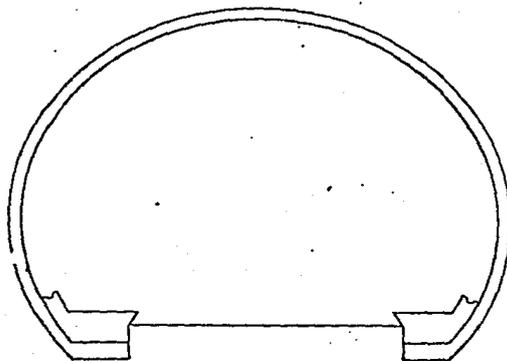
FIGURA II

SECUENCIA DEL COLADO
DEL REVESTIMIENTO DEFINITIVO

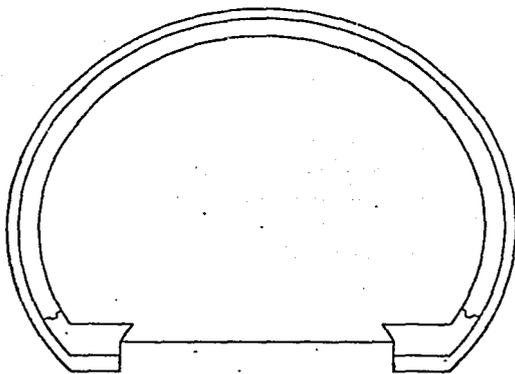
**II.6 RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
A CONTINUACION SE PRESENTA UN RESUMEN
DE LAS ETAPAS DEL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.**



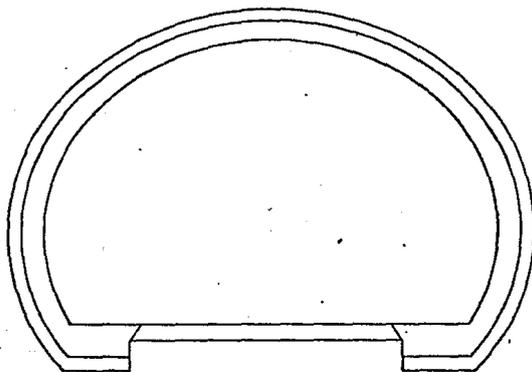
1a. ETAPA.- EXCAVAR Y REVESTIR LAS PAREDES Y EL TECHO DEL TUNEL CON CONCRETO LANZADO.



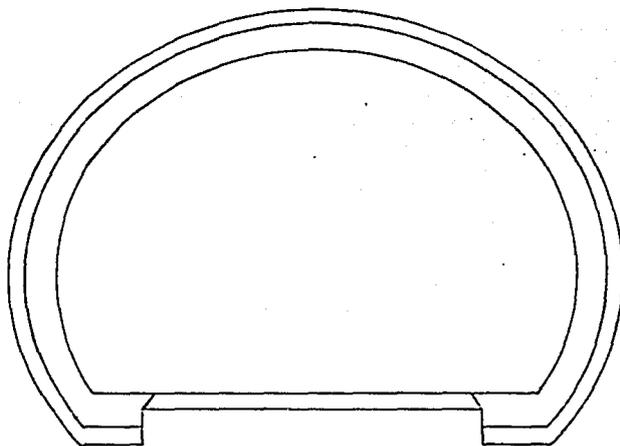
2a. ETAPA.- COLADO DE GUARNICIONES.



30. ETAPA - COLOCADO EN PAREDES Y BOVEDA DEL TUNEL DEJANDO PASO EN ELLOS PARA INYECCION FINAL.



40. ETAPA - COLADO DE LOSA DE FONDO.



5a. ETAPA = INYECTAR MORTERO Y/O LECHADA PARA LLENAR LOS HUECOS ENTRE EL CONCRETO LANZADO Y EL CONCRETO COLADO.

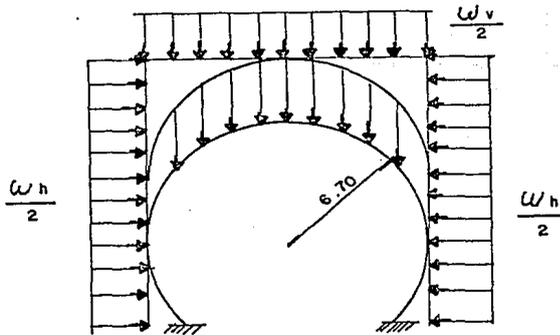
CAPÍTULO III

A N A L I S I S

III.1. CONDICIONES DE CARGA

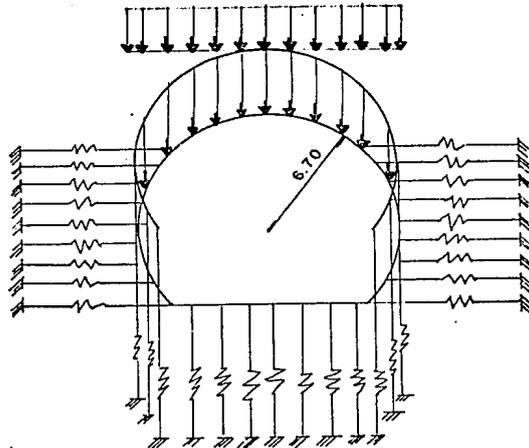
Se analizará a la estructura bajo dos condiciones:

1a. Durante la construcción sin considerar la losa de piso simulando el proceso constructivo y cargando a la estructura con el peso propio y la mitad de las cargas vertical y horizontal del suelo.



CARGAS DURANTE LA CONSTRUCCION

2a. Durante el servicio de la estructura considerando - la sección total, las cargas de peso propio y del suelo y tomando en cuenta la interacción suelo estructura.



CONDICION DEFINITIVA DE CARGA

El refuerzo se dimensionará conforme a lo establecido en las Normas Técnicas del Departamento del Distrito Federal.

Reacciones de subgrado.

Proporcionadas por mecánica de suelos.

$$K_h = 7013 \text{ T/m}^3$$

$$L_b = 250 \text{ cms.}$$

$$K_v = 3506 \text{ T/m}^3$$

$$E_h = 26365 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_v = 13150 \text{ Kg/cm}^2$$

Los análisis de los marcos se harán mediante computadora.

Se considerará concreto de $f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$ y acero de $f_y = 4000 \text{ Kg/cm}^2$.

Se analiza la interacción suelo-estructura en el caso del túnel de $\emptyset = 12.90$ m.

III.2. DATOS NECESARIOS PARA LA COMPUTADORA

a) Datos para obtener el modelo de análisis

1. La sección del túnel que consiste en:

R_i = Radio Interior

R_e = Radio Exterior

$$R_m = \frac{R_i + R_e}{2} \dots (1)$$

e_t = Espesor del túnel

e_L = Espesor de la losa

y otras dimensiones que definen a la sección.

SOLUCION

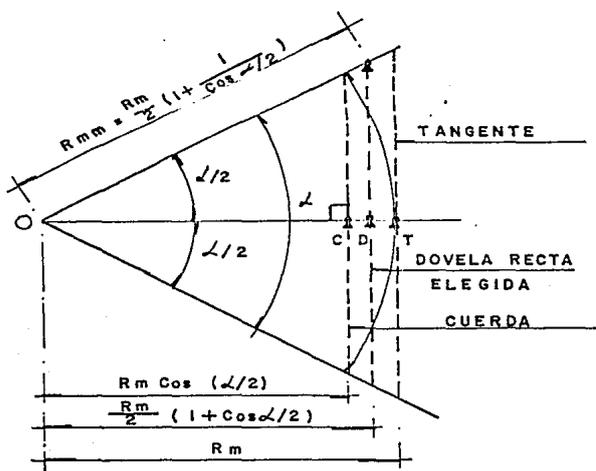
1. Hallar el R_{mm} = Radio Medio Modificado

$$R_{mm} = \frac{R_m}{2} \left(1 + \frac{1}{\cos \alpha/2} \right) \dots (2) \quad \text{Ref. 4}$$

Generalmente $\alpha = 10^\circ$

OBTENCION DE EC. (2)

Se simulará un modelo a base de dovelas rectas al eje del túnel.



F I G U R A 1

EXPLICACION:

Con el " R_m " se traza, a partir del origen "o", una curva, que forma parte del eje del túnel, limitada por dos juntas.

La posición de las juntas está definida por el ángulo \angle y R_m .

Como se suponen dovelas rectas y el eje es una curva, la dovela recta a elegir estaría ubicada entre los límites de la cuerda del eje del túnel y la tangente al mismo. Se toma el promedio de la distancia entre la cuerda y la tangente.

En la figura está exagerada la curvatura para poder -- apreciar lo dicho anteriormente.

La secuencia matemática es la siguiente:

a) Distancia \overline{OC}

$$\overline{OC} = R_m \cos \alpha/2 \dots \quad 2.1$$

b) Promedio de las distancias entre la tangente y la cuerda

$$\overline{OD} = \frac{\overline{OC} + \overline{OT}}{2}$$

$$\overline{OD} = \frac{R_m \cos \alpha/2 + R_m}{2}$$

$$\overline{OD} = \frac{R_m}{2} (1 + \cos \alpha/2) \dots \quad 2.2$$

c) El radio medio modificado por la hipótesis, será:

$$\cos \alpha/2 = \frac{\overline{OD}}{\overline{OD}_1}$$

$$\overline{OD}_1 = \frac{\overline{OD}}{\cos \alpha/2}$$

Sustituyendo 2.2

$$\overline{OD}_1 = \frac{\frac{R_m}{2} (1 + \cos \alpha/2)}{\cos \alpha/2}$$

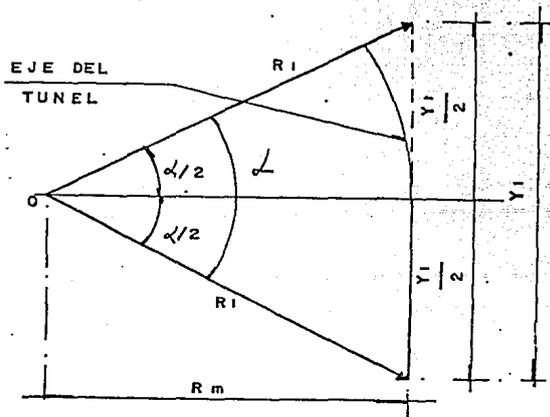
$$\overline{OD}_1 = \frac{R_m}{2} \left(1 + \frac{1}{\cos \alpha/2} \right) = R_{mm} \dots (2)$$

2. Encontrar el punto de intersección del eje de la losa inferior con la dovela.

Para ubicar el punto de intersección es necesario, describir la ubicación de las juntas de las dovelas rectas su-
puestas.

De la clave, se elige la primera junta a $\alpha/2$ hacia la derecha del eje "y". Después, cada dovela está definida por el ángulo α . Este ángulo generalmente es de 10° . El lado izquierdo del túnel, por simetría es similar a lo anteriormente expuesto.

Si el túnel tiene una pared recta, ésta se inicia al terminar el semicírculo del túnel. En ese punto existe una zona recta y una zona curva delimitada por $+\alpha/2$ y $-\alpha/2$. El eje de la dovela recta en ese punto es la continuación del eje del túnel en la pared recta. (Ver Fig. 2)



F I G U R A 2

$$R_1 = \frac{R_m}{\cos 5^\circ} \quad \dots \text{ 2.3 Ref. 4}$$

$$\frac{Y_1}{2} = \sqrt{R_1^2 - R_m^2} \quad \dots \text{ 2.4 Ref. 4}$$

En este caso particular no es necesario encontrar el punto de intersección.

Estando definida la posición de las dovelas y conociendo "y" = distancia del eje "x" al eje de la losa inferior, se puede conocer el ángulo β , el cual nos servirá para definir los límites de la dovela que intercepta al eje de la losa inferior.

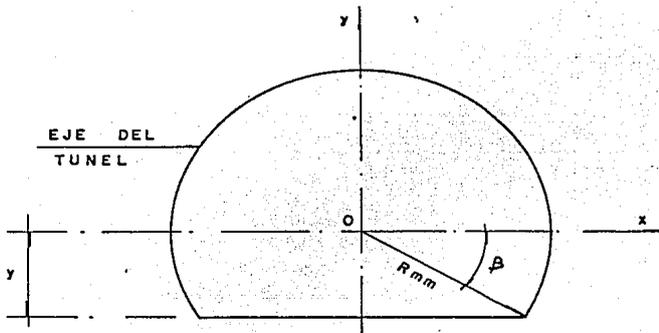


FIGURA 3

$$\text{Sen } \beta = \frac{y}{R_{mm}}$$

$$\beta = \text{Sen}^{-1} \left(\frac{y}{R_{mm}} \right)$$

2.5 Ref. 4

β estará en el intervalo de 10° que define a una dove
 1a. Por ejemplo $35^\circ < \beta < 45^\circ$, es decir, $\alpha < \beta < (\alpha + 10^\circ)$.
 (El origen de los grados. Está tomado con respecto a "x").

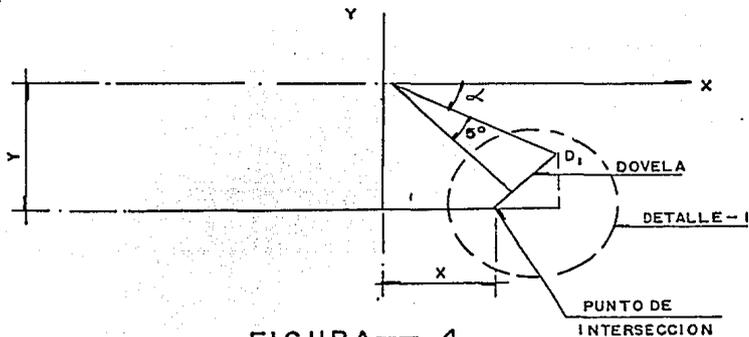
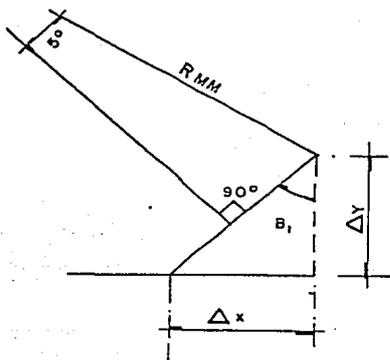


FIGURA — 4



DETALLE - I

En la figura 4, se observa el punto de intersección en
tre la dovela y el eje de la losa inferior.

Se traza una perpendicular a la dovela. La perpendicular está definida por un ángulo igual a $(\alpha + 5^\circ) = \beta_1$

Se busca " Δy "

$$\Delta y = y - R_{mm} \text{ Sen } \alpha \dots \quad 2.6$$

$$\Delta x = \Delta y \text{ Tg } \beta_1 \dots \quad 2.7$$

Sustituyendo 2.6 en 2.7

$$\Delta x = (y - R_{mm} \text{ Sen } \alpha) \text{ Tg } \beta_1 \dots \quad 2.8$$

x queda definida por:

$$x = R_{mm} \text{ Cos } \alpha - \Delta x \dots \quad 2.9$$

Sustituyendo Δx de 2.8 en 2.9

$x = R_{mm} \text{ Cos } \alpha - (y - R_{mm} \text{ Sen } \alpha) \text{ Tg } \beta_1$	2.10 Ref.4
---	------------

Por lo tanto, x e y, definen la posición del punto de intersección.

b). Tabla que especifica las coordenadas de los nudos.

Ya se definió R_{mm} , el valor de x en la losa inferior, la separación a cada 10° de los nudos de las dovelas. Con estos elementos se establecerán las coordenadas de los nudos de las dovelas rectas en que se supone dividida la sección del túnel.

Considerando un túnel simétrico, la numeración de los nudos y de los miembros en las dovelas, se inicia en el apoyo guiado de la losa inferior y termina en el apoyo guiado de la clave. La numeración de los nudos y miembros de los elementos de la interacción suelo-estructura, se inicia en el apoyo guiado de la losa y termina en el nudo que se encuentra a 45° de la clave del túnel.

Considerando un túnel asimétrico, la numeración de los nudos y de los miembros en las dovelas se inicia de preferencia en alguna de las dos intersecciones de la losa inferior con las paredes del túnel.

Se recorren todos los elementos del túnel hasta regresar al origen, en ese punto, se inicia la numeración de los nudos y miembros de los elementos de la interacción suelo-estructura, dando la vuelta hasta el origen.

Las coordenadas se obtienen con:

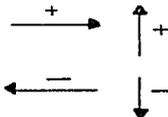
$$x = R_{mm} \cos \alpha \quad \dots \quad 3.1 \quad \text{Ref. 4}$$

$$y = R_{mm} \sin \alpha \quad \dots \quad 3.2 \quad \text{Ref. 4}$$

El ángulo gira del eje x al eje y e del eje x al eje-y.

En las zonas rectas (losa inferior, muro recto) se dividen las dovelas en partes iguales, cuidando que la dimensión sea semejante a la de las dovelas en la zona curva.

Los signos son los siguientes:



Una observación importante es, que el eje de la losa inferior se define, por el espesor de la losa en la zona donde termina el muro del túnel dividido entre dos.

c). Se establece una tabla de incidencias de los miembros.

d). Se obtiene una tabla con las propiedades geométricas de los miembros.

1. En la zona circular del túnel:

$$A_x = e_t \times 100 \text{ (cm}^2\text{)} \quad \dots \quad 5.1$$

$$I_x = \frac{100 \times e_t^3}{12} \text{ (cm}^4\text{)} \quad \dots \quad 5.2$$

$$E = 10\,000 \sqrt{f'_c} \text{ (Kg/cm}^3\text{)} \dots \quad 5.3$$

$$G = 0.4 E \text{ (Kg/cm}^2\text{)} \quad \dots \quad 5.4$$

2. En la zona de la losa inferior:

$$A_x = e_L \times 100 \text{ (cm}^2\text{)} \quad \dots \quad 5.5$$

$$I_z = \frac{100 \times e_L^3}{12} \text{ (cm}^4\text{)} \quad \dots \quad 5.6$$

$$E = 10\,000 \sqrt{f'_c} \text{ (Kg/cm}^2\text{)} \dots \quad 5.7$$

$$G = 0.4 E \text{ (Kg/cm}^2\text{)} \quad \dots \quad 5.8$$

3. Elementos de la interacción suelo-estructura

Dependiendo si el elemento es vertical u horizontal se tiene.

$$\text{Area} = \left[\left(\frac{y_2 - y_1}{2} \right) + \left(\frac{y_1 - y_0}{2} \right) \right] \times 100 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$I_z = \frac{100 H^3}{12} \text{ (cm}^4\text{)} H$$

En los elementos extremos se toma, el espesor entre dos, que resta ya sea de la losa o del muro.

Para la losa inferior

$$E = 1200 \text{ kg/cm}^2$$

$$G = 480 \text{ kg/cm}^2$$

EN LA PARED DEL TUNEL

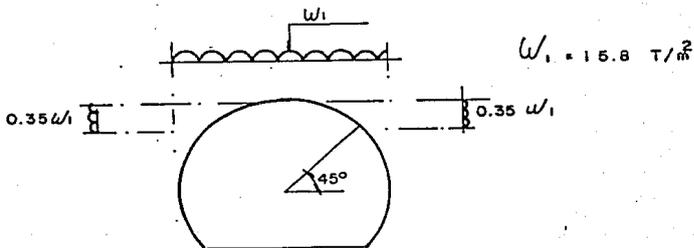
$$E_1 = 250 \text{ Kg/cm}^2$$

$$G_1 = 100 \text{ Kg/cm}^2$$

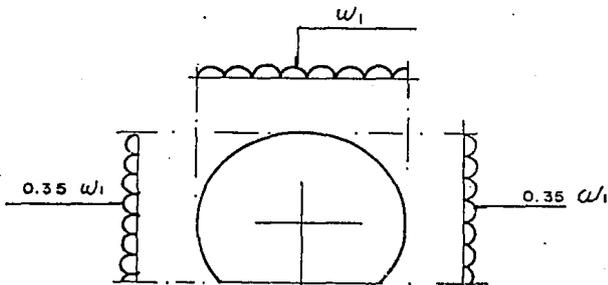
$$E_2 = 400 \text{ Kg/cm}^2$$

$$G_2 = 160 \text{ Kg/cm}^2$$

e) CARGAS SOBRE LOS TUNELES



1 a CONDICION



2a. CONDICION

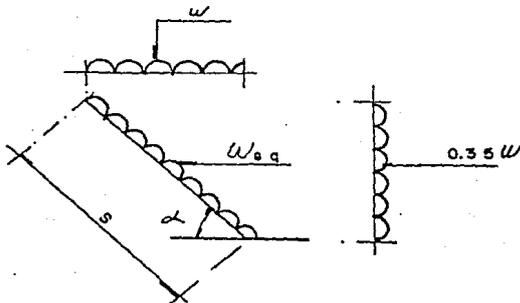
FIGURA 5

Se establece también en una tercera condición una carga máxima extraordinaria w_2 semejante en su aplicación a la 2a. condición ($w_2 = 30 \text{ t/m}^2$)

A las cargas anteriores se les adiciona el peso propio

$$w_{pp} = e_t \times 1 \times h_2 \dots\dots\dots 6.1$$

Debido a la inclinación de las dovelas se obtiene una carga equivalente en cuanto a la carga vertical y horizontal.



$$W \times s \cos \alpha = W_{eq} s$$

$$W_{eq} = W \cos \alpha \quad \dots \text{(vertical)} \quad 6.2$$

del mismo modo

$$W_{eq} = 0.35 w \times s \sin \alpha \quad \dots \quad \text{(horizontal)} \quad 6.3$$

7. En el análisis al final del capítulo se muestran los arreglos en forma de tabla.

$$R_m = \frac{695 + 645}{2} = 670 \text{ cm}$$

$$\alpha = 10^\circ$$

$$R_{mm} = \frac{670}{2} \frac{(1 + \cos \frac{10^\circ}{2})}{\cos \frac{10^\circ}{2}} = 671.28 \text{ cm}$$

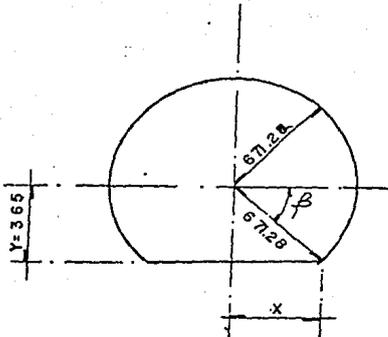
La losa inferior estará en

$$y = 300 + \frac{60 + 70}{2} = 365 \text{ cm.}$$

El punto de intersección estará localizado para:

$$25 < \beta < 35^\circ$$

$$\beta = 32.93842^\circ$$



$$R_{mm} = 671.28 \text{ cm}$$

$$\text{Sen } \beta = \frac{365}{671.28}$$

$$\beta = 32.93842^\circ$$

$$25^\circ < \beta < 35^\circ$$

$$\alpha = 25^\circ; \beta_1 = 25 + 5 = 30^\circ$$

$$x = 671.28 \cos 25^\circ - (365 - 671.28 \text{ Sen } 25^\circ) \text{ Tg } 30^\circ$$

$$x = 561.44 \text{ cm}$$

CALCULO DE LOS MODULOS DE ELASTICIDAD

Rigidez de la barra:

$$r_b = \frac{E_b \times A_b}{L_b}$$

E_b = Módulo de elasticidad

A_b = Area de la sección transversal

L_b = Longitud de la barra

Rigidez del suelo:

$$r_s = R_{A_s}$$

R = Módulo de reacción de subgrado del suelo

A_s = Area del suelo correspondiente

como:

$$r_b = r_s$$

$$\frac{E_b A_b}{L_b} = R A_s$$

como:

$$A_b = A_s$$

$$E_b = R L_b$$

Para las barras horizontales (miembros 28 a 36)

$$R_s = 3.506 \text{ Kg/cm}^3$$

$$L_b = 250 \text{ cm}$$

$$E_b = 3.506 \times 250 = 876.5 \text{ Kg/cm}^2$$

El módulo de elasticidad al cortante será:

$$G_b = 0.4 E_b$$

$$G_b = 0.4 \times 876.5 = 350.6 \text{ Kg/cm}^2$$

Para las barras verticales (miembros 19 a 27)

$$E_b = K_h L_b$$

$$\text{Si } K_h = 7.013 \text{ Kg/cm}^2$$

$$L_b = 250 \text{ cm}$$

$$E_b = 7.013 \times 250 = 1753.25 \text{ Kg/cm}^2$$

$$G_b = 0.4 \text{ Eb}$$

$$G_b = 0.4 \times 1753.25 = 701.3 \text{ Kg/cm}^2$$

JOINT OFF
 TO PLAN FRA

JOINTS CENTIMETERS NGF
 JOINTS COORDINATES

1	0.000	-365.000	SUPPORT
2	107.666	-365.000	
3	217.520	-365.000	
4	328.980	-365.000	
5	438.640	-365.000	
6	551.440	-365.000	
7	608.386	-283.675	
8	648.407	-173.740	
9	668.726	-58.506	
10	668.726	58.506	
11	648.407	173.740	
12	608.386	283.675	
13	549.800	365.000	
14	474.667	474.667	
15	385.000	549.800	
16	283.675	608.386	
17	173.740	648.407	
18	58.506	668.726	
19	0.000	671.280	SUPPORT
20	0.000	-615.000	SUPPORT
21	107.666	-615.000	SUPPORT
22	217.520	-615.000	SUPPORT
23	328.980	-615.000	SUPPORT
24	438.640	-615.000	SUPPORT
25	551.440	-615.000	SUPPORT
26	608.386	-533.695	SUPPORT
27	648.407	-423.740	SUPPORT
28	668.726	-308.566	SUPPORT
29	611.440	-365.000	SUPPORT
30	558.386	-283.695	SUPPORT
31	578.407	-173.740	SUPPORT
32	718.726	-58.506	SUPPORT
33	718.726	58.566	SUPPORT
34	698.407	173.740	SUPPORT
35	658.386	283.675	SUPPORT
36	797.860	365.000	SUPPORT
37	724.667	474.667	SUPPORT

JOINT RELEASES

1 19 FORCE Y
 20 TO 37 MOMENT Z

MEMBER INCIDENCES

1	1	2
2	2	3
3	3	4
4	4	5
5	5	6
6	6	7
7	7	8
8	8	9
9	9	10
10	10	11
11	11	12
12	12	13
13	13	14
14	14	15
15	15	16
16	16	17
17	17	18
18	18	19
19	20	1
20	21	2
21	22	3
22	23	4
23	24	5
24	25	6
25	26	7
26	27	8
27	28	9
28	29	6
29	30	7
30	31	8
31	32	9
32	33	10
33	34	11
34	35	12
35	36	13
36	37	14

MEMBER RELEASES

19 TO 36

5

START MOMENT Z

END MOMENT Z

MEMBER PROPERTIES PRISMATICS

1 TO 4	AX	5000.00	IZ	1300000.00
5	AX	13000.00	IZ	13308333.00
6 TO 13	AX	5000.00	IZ	1041667.00
14 TO 18	AX	7000.00	IZ	2353333.00
19	AX	5483.00	IZ	1373642.00
20 TO 22	AX	10766.00	IZ	10939134.00
23	AX	11623.00	IZ	13034773.00
24	AX	8487.00	IZ	5074003.00
25	AX	4348.00	IZ	604775.00
26	AX	3017.00	IZ	226847.00
27	AX	3516.00	IZ	362214.00
28	AX	10565.00	IZ	9827143.00
29	AX	9563.00	IZ	7237880.00
30	AX	11259.00	IZ	11873733.00
31	AX	11612.00	IZ	13047377.00
32	AX	11612.00	IZ	13047377.00
33	AX	11259.00	IZ	11873733.00
34	AX	10565.00	IZ	9827143.00
35	AX	9549.00	IZ	7255919.00
36	AX	4482.00	IZ	750279.00

CONSTANTS

E	158113.883	1 TO 18
G	63245.550	1 TO 18
E	1753.250	19 TO 27
G	701.300	19 TO 27
E	876.500	23 TO 36
G	350.600	28 TO 36

CARGAS EN LA ESTRUCTURA

1a. CONDICION DE CARGA

Consideremos una carga vertical de 21.39 T/m^2 + peso propio ($0.50 \times 2.4 = 1.2 \text{ T/m}^2$), la carga horizontal será el promedio del empuje dado por el departamento de mecánica de suelos $(4.53 + 8.30)/2 = 6.415 \text{ T/m}^2$

UNITS	METERS	MTONS				
LOADING 1 'PRIMERA CONDICION'						
MEMBER LOADS						
9	TO	?	FOR	Y	GLOB	UNI W -1.200
10			FOR	Y	GLOB	UNI W -4.714
11			FOR	Y	GLOB	UNI W -8.516
12			FOR	Y	GLOB	UNI W -11.375
13			FOR	Y	GLOB	UNI W -14.249
14			FOR	Y	GLOB	UNI W -17.136
15			FOR	Y	GLOB	UNI W -19.724
16			FOR	Y	GLOB	UNI W -21.300
17			FOR	Y	GLOB	UNI W -22.265
18			FOR	Y	GLOB	UNI W -22.590
14			FOR	X	GLOB	UNI W -4.123
15			FOR	X	GLOB	UNI W -3.208
16			FOR	X	GLOB	UNI W -2.194
17			FOR	X	GLOB	UNI W -1.114

2a. CONDICION DE CARGA

Consideremos una carga vertical de 21.39 T/m^2 + peso propio ($0.5 \times 2.4 = 1.2 \text{ T/m}^2$) en los miembros del 6 al 18 y una carga horizontal de 6.415 T/m^2 en los miembros del 6 al 18.

LOADING 2 'PRINER' CONDICION'
MEMBER LOADS

5	FOR Y GLOB UNI	W	-1.200
7	FOR Y GLOB UNI	W	-1.200
8	FOR Y GLOB UNI	W	-1.200
9	FOR Y GLOB UNI	W	-4.914
10	FOR Y GLOB UNI	W	-8.516
11	FOR Y GLOB UNI	W	-11.875
12	FOR Y GLOB UNI	W	-14.949
13	FOR Y GLOB UNI	W	-17.586
14	FOR Y GLOB UNI	W	-19.724
15	FOR Y GLOB UNI	W	-21.300
16	FOR Y GLOB UNI	W	-22.265
17	FOR Y GLOB UNI	W	-22.590
18	FOR Y GLOB UNI	W	-5.554
6	FOR X GLOB UNI	W	-6.028
7	FOR X GLOB UNI	W	-6.318
8	FOR X GLOB UNI	W	-6.415
9	FOR X GLOB UNI	W	-6.318
10	FOR X GLOB UNI	W	-6.028
11	FOR X GLOB UNI	W	-5.536
12	FOR X GLOB UNI	W	-4.914
13	FOR X GLOB UNI	W	-4.123
14	FOR X GLOB UNI	W	-3.268
15	FOR X GLOB UNI	W	-2.174
16	FOR X GLOB UNI	W	-1.114

Sólo resta agregar algunas indicaciones sobre liberación de los nudos con respecto a alguna acción mecánica, ya sea Fy ó Mz, por ejemplo.

En la tabla de las coordenadas de los nudos se especifica lo siguiente:

a) Si hay simetría, ejemplo:

Joint Release

1 y 19 Fy
20 a 37 Mz

Lo anterior quiere decir que los nudos 1 y 19 no tienen restricción vertical en ese punto.

Las juntas 20 a 37 no tienen restricción de momento, - (apoyo articulado).

b) Si no hay simetría solamente aparecen las juntas - que tienen apoyo articulado.

En la tabla de incidencias de los miembros.

Member Releases

19	a	36	Start	
			End	Mz

START indica que al principio de los miembros no hay Mz, es decir que son articulados al inicio de las barras.

END indica que al final de las barras existe articulación.

Dependiendo de la dirección de las incidencias se coloca Start ó End.

Las barras de interacción del terreno están articuladas, en ambos extremos.

UNITS METERS MMFORD
 OUTPUT DECIMAL 4
 LOADING LIST ALL
 STIFFNESS ANALYSIS
 LIST FOR READ DISP DIST

NO. 9

 RESULTS OF LATEST ANALYSES

PROBLEM - ISTHE TITLE - A. ESTRUCTURAL ** MARCO DEL TIPO PLANO **

ACTIVE UNITS M METN RAD DEGF SEC

ACTIVE STRUCTURE TYPE PLANE FRAME

ACTIVE COORDINATE AXES X Y

LOADING = 1 PRIMERA CONDICION

MEMBER FORCES

MEMBER	JOINT	FORCE		SHEAR Z	TORSIONAL	MOMENT	
		AXIAL	SHEAR Y			BENDING Y	BENDING Z
6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	55.9519	-1.1304				6.1380
		-55.9519	1.1304				-7.4070
		55.9519	-2.3227				7.4070
		-55.9518	2.3227				-9.9570
		55.9530	-0.0425				9.9570
		-55.9530	0.0425				-9.9570
		55.9530	9.0377				9.9570
		-55.9530	-9.0377				-9.9570
		55.9530	28.4648				0.0370
		-55.9530	-28.4648				0.0370
		95.5197	-10.7074				0.0370
							-0.0370

7	-94.5440	11.2708	24.6371
7	116.7408	-8.3492	-24.6371
8	-115.6213	8.6275	14.5625
8	132.0510	-4.6613	-14.5625
9	-130.6682	4.9051	8.9377
9	156.3704	-1.3613	-8.9377
10	-154.9802	1.3613	7.4670
10	157.3427	0.2635	7.4670
11	-131.6801	0.7550	-7.0131
11	138.8879	-0.1690	-7.0131
12	-147.4742	3.5177	-9.9347
12	159.4777	2.3102	9.9347
13	-147.4261	4.6484	-11.3027
13	156.9155	8.0163	11.3027
			19
14	-143.5156	3.2231	-8.5277
14	146.0215	18.2795	8.5277
15	-136.4903	0.5851	7.8445
15	134.5178	23.1230	-1.8445
16	-126.2287	-1.2387	16.1073
16	124.0931	23.1591	-16.1073
17	-117.9810	1.1293	28.9722
17	116.3860	19.3460	-28.9722
18	-113.1458	4.5472	36.5371
18	113.0236	8.3677	-36.5371
19	-112.4516	4.9668	37.5946
19	0.0	0.0	0.0
20	-11.1306	0.0	0.0
20	1.1306	-0.0000	-0.0000
21	-1.1920	0.0000	0.0
21	1.1920	0.0000	0.0000
22	2.3651	-0.0000	0.0
22	-2.3651	0.0000	0.0000
23	8.7774	-0.0000	0.0
23	-8.7774	0.0000	0.0000
24	19.4245	-0.0000	0.0
24	-19.4245	0.0000	0.0000
25	48.7021	-0.0000	0.0
25	-48.7021	0.0000	0.0000
26	30.7926	-0.0000	0.0
26	-30.7926	0.0000	0.0000
27	23.6371	-0.0000	0.0
27	-23.6371	0.0000	0.0000
28	28.5661	-0.0000	0.0000
28	-28.5661	0.0000	0.0000

29	-1.0321	0.0000	0.0000
6	1.0321	-0.0000	0.0
30	9.1934	0.0000	0.3000
7	-7.1934	-0.0000	0.0
31	20.3223	0.0000	0.3000
8	-20.3223	-0.0000	0.0
32	26.2188	0.0000	0.0000
9	-26.2188	-0.0000	0.0
33	28.4227	0.0000	0.0000
10	-28.4227	-0.0000	0.0
34	27.3219	0.0000	0.0000
11	-27.3219	-0.0000	0.0
35	23.2903	0.0000	0.0000
12	-23.2903	-0.0000	0.0
36	16.9920	0.0000	0.0000
13	-16.9920	-0.0000	0.0
37	5.3844	0.0000	0.0000
14	-5.3844	-0.0000	0.0

MEMBER DISTORTIONS

09

MEMBER	AXIAL	DISTORTION SHEAR Y	SHEAR Z	TORSION	ROTATION DESCENDING Z
					10. 11
1	-0.0001	-0.0001			-0.0003
2	-0.0001	-0.0002			-0.0003
3	-0.0001	-0.0002			-0.0004
4	-0.0001	-0.0001			-0.0002
5	-0.0000	-0.0044			-0.0035
6	-0.0001	0.0000			0.0017
7	-0.0002	0.0007			0.0014
8	-0.0002	0.0005			0.0000
9	-0.0002	0.0004			0.0000
10	-0.0002	-0.0003			0.0000
11	-0.0002	-0.0003			-0.0000
12	-0.0002	-0.0003			-0.0000
13	-0.0002	-0.0003			-0.0000
14	-0.0001	-0.0001			-0.0000
15	-0.0001	0.0001			0.0000
16	-0.0001	0.0000			0.0000
17	-0.0001	0.0000			0.0000

10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36

-0.0001	0.0001	0.0000
0.0003	0.0	0.0
0.0002	0.0000	-0.0003
-0.0003	-0.0000	-0.0006
-0.0012	-0.0000	-0.0011
-0.0024	-0.0000	-0.0013
-0.0032	-0.0000	-0.0018
-0.0101	-0.0000	-0.0019
-0.0112	-0.0000	0.0003
-0.0114	0.0000	0.0018
0.0003	-0.0000	0.0000
-0.0027	-0.0000	0.0070
-0.0051	-0.0000	0.0061
-0.0064	-0.0000	0.0054
-0.0070	-0.0000	0.0047
-0.0067	-0.0000	0.0045
-0.0063	-0.0000	0.0040
-0.0051	-0.0000	0.0037
-0.0034	-0.0000	0.0033

RESULTANT JOINT

LOADS - SUPPORTS

19

JOINT		FORCE				MOMENT
		X FORCE	Y FORCE	Z FORCE	X MOMENT	Y MOMENT
1	GLOBAL	55.9519	0.0000			6.1680
19	GLOBAL	112.5587	-0.0006			-37.5046
20	GLOBAL	0.0	-1.1304			0.0
21	GLOBAL	0.0000	-1.1920			-0.0000
22	GLOBAL	0.0019	2.3651			0.0000
23	GLOBAL	-0.0000	8.2974			0.0000
24	GLOBAL	-0.0000	19.4245			0.0000
25	GLOBAL	-0.0000	48.9021			0.0000
26	GLOBAL	-0.0000	30.7926			0.0000
27	GLOBAL	-0.0000	23.6071			0.0000
28	GLOBAL	0.0000	28.5601			-9.6700
29	GLOBAL	1.0821	0.0000			-0.0000

30	GLOBAL	-7.1934	0.0000	-0.0000
31	GLOBAL	-20.3223	0.0000	-0.0000
32	GLOBAL	-26.2108	0.0000	-0.0000
33	GLOBAL	-28.4227	0.0000	-0.0000
34	GLOBAL	-27.3219	0.0000	-0.0000
35	GLOBAL	-23.2903	0.0000	-0.0000
36	GLOBAL	-16.9920	0.0000	-0.0000
37	GLOBAL	-5.3844	0.0000	-0.0000

RESULTANT JOINT

SUPPORTS

DISPLACEMENTS

DISPLACEMENT

JOINT

X ROT.

Y ROT.

X DISP.

Y DISP.

Z DISP.

62

30	GLOBAL	0.0	0.0003	0.0	0.0
31	GLOBAL	0.0	-0.0229	0.0	0.0
32	GLOBAL	0.0	0.0	0.0000	0.0000
33	GLOBAL	0.0	0.0	0.0001	0.0001
34	GLOBAL	0.0	0.0	0.0001	0.0001
35	GLOBAL	0.0	0.0	0.0001	0.0001
36	GLOBAL	0.0	0.0	-0.0011	-0.0011
37	GLOBAL	0.0	0.0	-0.0011	-0.0011
38	GLOBAL	0.0	0.0	0.0033	0.0033
39	GLOBAL	0.0	0.0	0.0040	0.0040
40	GLOBAL	0.0	0.0	0.0045	0.0045
41	GLOBAL	0.0	0.0	0.0047	0.0047
42	GLOBAL	0.0	0.0	0.0048	0.0048
43	GLOBAL	0.0	0.0	0.0050	0.0050
44	GLOBAL	0.0	0.0	0.0054	0.0054

37 GLOBAL 0.0 0.0 0.0034

RESULTANT JOINT

DISPLACEMENTS - FREE JOINTS

JOINT	DISPLACEMENT			ROTA.	
	X DISP.	Y DISP.	Z DISP.	X ROT.	Y ROTCT.
3	GLOBAL	-0.0001	0.0002		-0.0003
4	GLOBAL	-0.0001	-0.0003		-0.0005
5	GLOBAL	-0.0002	-0.0012		-0.0015
6	GLOBAL	-0.0003	-0.0024		-0.0012
7	GLOBAL	-0.0003	-0.0032		-0.0047
8	GLOBAL	0.0027	-0.0101		-0.0038
9	GLOBAL	0.0051	-0.0112		-0.0016
10	GLOBAL	0.0034	-0.0116		-0.0002
11	GLOBAL	0.0070	-0.0119		-0.0002
12	GLOBAL	0.0069	-0.0121		0.0005
13	GLOBAL	0.0063	-0.0125		0.0010
14	GLOBAL	0.0051	-0.0135		0.0017
		0.0034	-0.0152		0.0023
				10.	13
15	GLOBAL	0.0018	-0.0174		0.0023
16	GLOBAL	0.0006	-0.0177		0.0020
17	GLOBAL	0.0030	-0.0216		0.0014
18	GLOBAL	-0.0004	-0.0228		0.0005

LOADING - 2

PRIMERA CONDICION

36	37	4.0324	0.0000	0.0000
36	14	-4.0324	-0.0000	0.0

MEMBER DISTORTIONS

MEMBER	DISTORTION				ROTATION
	AXIAL	SHEAR Y	SHEAR Z	TORSION	
1	-0.0001	-0.0002			-0.0003
2	-0.0001	-0.0002			-0.0004
3	-0.0001	-0.0002			-0.0004
4	-0.0001	-0.0002			-0.0002
5	-0.0000	-0.0003			-0.0002
6	-0.0001	0.0009			0.0019
7	-0.0002	0.0009			0.0013
8	-0.0002	0.0004			0.0006
9	-0.0002	0.0002			0.0004
10	-0.0002	-0.0002			0.0003
11	-0.0002	-0.0002			-0.0003
12	-0.0002	-0.0003			-0.0004
13	-0.0002	-0.0003			-0.0005
14	-0.0002	-0.0001			-0.0001
15	-0.0001	0.0001			0.0002
16	-0.0001	0.0003			0.0005
17	-0.0001	0.0004			0.0007
18	-0.0001	0.0001			0.0004
19	0.0003	0.0			0.0
20	0.0002	-0.0000			-0.0003
21	-0.0004	-0.0000			-0.0003
22	-0.0014	-0.0009			-0.0017
23	-0.0023	0.0000			-0.0024
24	-0.0081	-0.0003			-0.0011
25	-0.0077	0.0003			-0.0015
26	-0.0106	0.0003			-0.0015
27	-0.0107	0.0005			0.0015
28	0.0003	0.0000			0.0000
29	-0.0023	0.0000			0.0000
30	-0.0040	-0.0000			0.0000
31	-0.0049	-0.0000			0.0000

32	-0.0051	-0.0000	0.0045
33	-0.0050	-0.0000	-0.0043
34	-0.0046	-0.0000	0.0040
35	-0.0033	-0.0000	0.0038
36	-0.0026	-0.0000	0.0038

RESULTANT JOINT

JOINT	LOADS		SUPPORTS		FORCE
	X	Y	X	Y	

67

	GLOBAL	FORCE			MOMENT	
		X	Y	Z	X	Y
1	GLOBAL	66.4118	0.0000			7.1734
2	GLOBAL	116.1370	0.0004			-39.3436
3	GLOBAL	0.0	-1.3150			0.0
4	GLOBAL	-0.0000	-1.3364			0.0000
5	GLOBAL	0.0022	2.7507			0.0000
6	GLOBAL	-0.0000	10.4641			0.0000
7	GLOBAL	0.0000	22.3709			-0.0000
8	GLOBAL	-0.0000	48.2000			0.0000
9	GLOBAL	0.0000	27.7059			-6.0000
10	GLOBAL	0.0000	22.3817			-0.0000
11	GLOBAL	0.0000	26.9263			-0.0000
12	GLOBAL	1.2044	-0.0000			0.0000
13	GLOBAL	-7.5007	-0.0000			0.0000
14	GLOBAL	-15.7156	0.0000			-0.0000
15	GLOBAL	-17.3334	0.0000			-0.0000
16	GLOBAL	-20.6405	0.0000			-0.0000
17	GLOBAL	-19.0734	0.0000			-0.0000
18	GLOBAL	-17.0317	0.0000			-0.0000
19	GLOBAL	-12.9756	0.0000			-0.0000
20	GLOBAL	3.6324	0.0000			-0.0000

RESULTANT JOINT

DISPLACEMENTS - SUPPORTS

JOINT

DISPLACEMENT

ROT
). 16

89

		X DISP.	Y DISP.	Z DISP.	X ROT.	Y ROT.
1	GLOBAL	0.0	0.0003			0.0
19	GLOBAL	0.0	-0.0230			0.0
20	GLOBAL	0.0	0.0			0.0
21	GLOBAL	0.0	0.0			0.0
22	GLOBAL	0.0	0.0			0.0000
23	GLOBAL	0.0	0.0			0.0001
24	GLOBAL	0.0	0.0			0.0001
25	GLOBAL	0.0	0.0			0.0001
26	GLOBAL	0.0	0.0			0.0001
27	GLOBAL	0.0	0.0			-0.0007
28	GLOBAL	0.0	0.0			-0.0016
29	GLOBAL	0.0	0.0			-0.0019
30	GLOBAL	0.0	0.0			0.0000
31	GLOBAL	0.0	0.0			0.0007
32	GLOBAL	0.0	0.0			0.0012
33	GLOBAL	0.0	0.0			0.0014
34	GLOBAL	0.0	0.0			0.0015
35	GLOBAL	0.0	0.0			0.0016
36	GLOBAL	0.0	0.0			0.0017
37	GLOBAL	0.0	0.0			0.0020

RESULTANT JOINT

DISPLACEMENTS - FREE JOINTS

JOINT	DISPLACEMENT			ROT	
	X DISP.	Y DISP.	Z DISP.	X ROT.	Y ROT.
3	GLOBAL	-0.0001	0.0002		-0.0013
4	GLOBAL	-0.0002	-0.0004		-0.0007
5	GLOBAL	-0.0002	-0.0014		-0.0011
6	GLOBAL	-0.0003	-0.0029		-0.0013
7	GLOBAL	-0.0003	-0.0021		-0.0013
8	GLOBAL	0.0023	-0.0097		-0.0017
9	GLOBAL	0.0040	-0.0104		-0.0011
10	GLOBAL	0.0048	-0.0107		-0.0011
11	GLOBAL	0.0051	-0.0112		-0.0011
12	GLOBAL	0.0050	-0.0114		0.0013
13	GLOBAL	0.0046	-0.0118		0.0017
14	GLOBAL	0.0038	-0.0125		0.0012
15	GLOBAL	0.0026	-0.0138		0.0017
16	GLOBAL	0.0013	-0.0156		0.0013
17	GLOBAL	0.0004	-0.0174		0.0018
18	GLOBAL	-0.0000	-0.0190		0.0011
	GLOBAL	-0.0001	-0.0199		0.0014

FINISH

GOOD-BYE

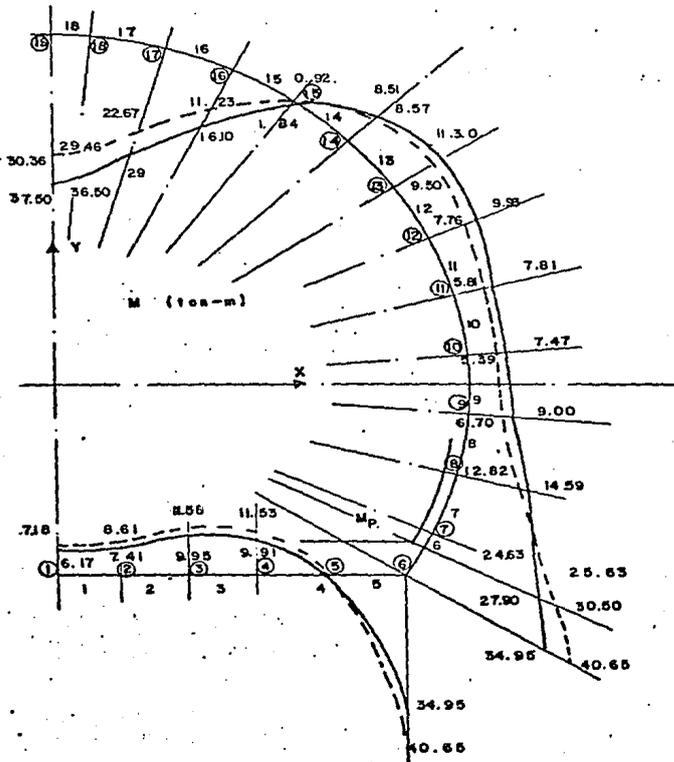
III 4 DIAGRAMAS DE ELEMENTOS MECANICOS

ESC: FIG. 1.75

ESC: DIAG. 1:100

———— 1ª CONDICION

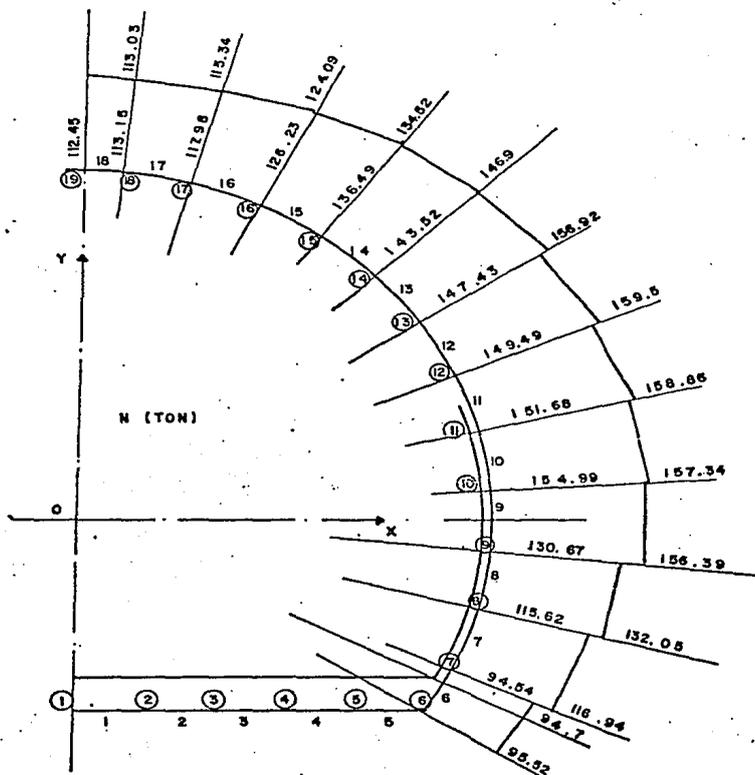
----- 2ª CONDICION



ESC. FIG. 1:75

ESC. FIG. 1:60

CONDICION



D I A G R A M A D E C A R G A A X I A L

ESQ. FIG. 1:7 6

ESC. DIAO. 1:7 6

2a CONDICION

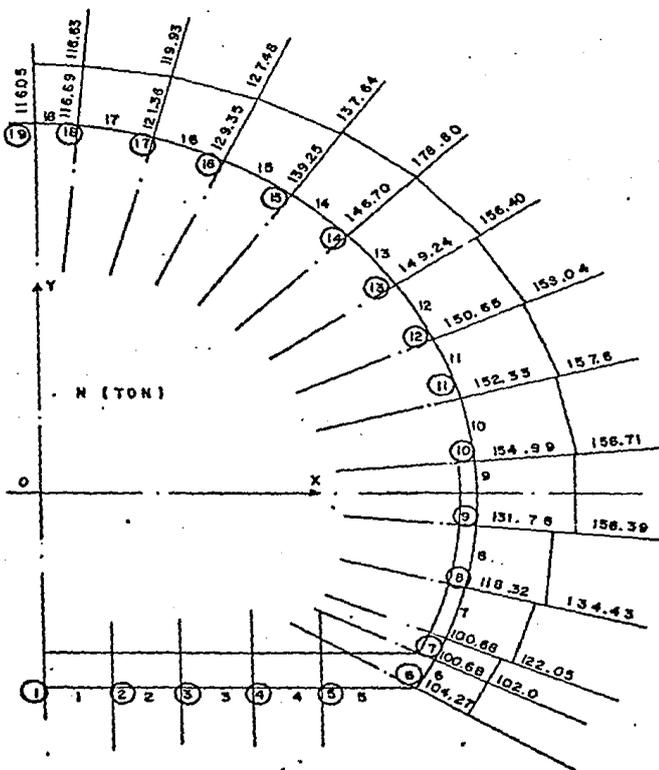


DIAGRAMA DE CARGA AXIAL

CAPITULO IV

DISEÑO

1. Se describe el procedimiento para determinar la resistencia del túnel, sujeto a la acción de carga axial y momento flexionante.

Las hipótesis, para la obtención de las resistencias de diseño, son las que recomienda el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, en la Sección 2.1.1. de las normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto.

Por su geometría, no hay problemas de esbeltez en las dovelas supuestas.

Se considera una sección rectangular.

2. Hallar f_s

IV.1. Sección simplemente armada

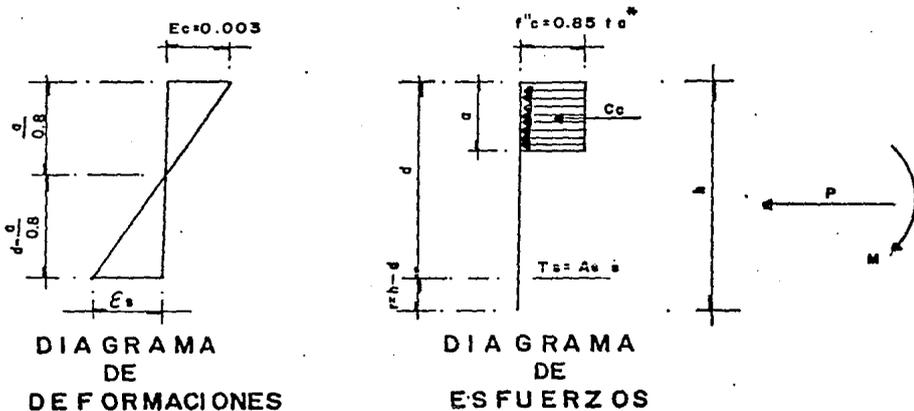


FIGURA - I

Del estado de deformaciones y por triángulos semejantes se tiene:

$$\frac{\epsilon_s}{d - \frac{a}{0.8}} = \frac{0.003}{\frac{a}{0.8}}$$

$$\epsilon_s = \frac{(d - \frac{a}{0.8}) \cdot 0.003}{\frac{a}{0.8}}$$

$$\epsilon_s = \left(\frac{0.8d - a}{a} \right) \cdot 0.003 \quad \dots (1)$$

En la gráfica esfuerzo-deformación del acero se observa que el punto de fluencia está definido por:

$$f_s = 4\,000 \text{ Kg/cm}^2 \text{ y la } \epsilon_s = 0.002$$

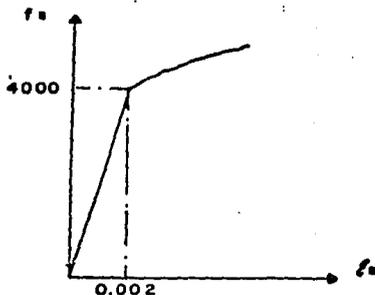


FIGURA 2

" ϵ_s " puede estar en la zona elástica o plástica; de aquí que:

Si $\epsilon_s \leq 0.002$ (rango elástico)

$$\epsilon_s = \left(\frac{0.8 d - a}{a} \right) 0.003 \text{ y}$$

$$f_s = E_s \epsilon_s \dots \dots \dots (2) \text{ Ref. (3)}$$

siendo $f_s < f_y$

Si $\epsilon_s > 0.002$ (rango plástico)

Entonces se tiene que $f_s = f_y$

3. Definir "a", profundidad del bloque equivalente de esfuerzos.

Como f_s está en función de "a", se requiere conocer ésta.

Como el reglamento D.D.F. establece que el área máxima a tensión sea el que corresponde a la falla balanceada, aplicamos este principio al diagrama de deformaciones.

$$\epsilon_s = \frac{f_s}{E_s} = \frac{4000}{2 \times 10^6} = 0.002 \dots (3) \text{ Ref.3}$$

Sustituyendo (3) en (1)

$$0.002 = \left(\frac{0.8}{a} \frac{d-a}{a} \right) 0.003$$

Multiplicando por 1000 y efectuando operaciones:

$$2 = \left(\frac{0.8}{a} \frac{d-a}{a} \right) 3$$

$$2a = 2.4d - 3a$$

$$2a + 3a = 2.4d$$

$$5a = 2.4d$$

$$a = \frac{2.4d}{5}$$

$$a = a_b = 0.48 d \dots (4) \dots \text{Ref. 3}$$

$$\text{Si } a = a_b = 0.48 d$$

$$\text{Entonces } f_s = E_s \left[\left(\frac{0.8}{a} \frac{d-a}{a} \right) 0.003 \right] \dots (5) \text{ Ref. 3}$$

Sustituyendo \mathcal{E}_s por la Ec. (1) en (2)

$$\text{Si } a \leq a_b = 0.48d$$

$$f_s = f_y$$

4. Ecuaciones de fuerzas y momentos

La fuerza que resiste el concreto a compresión

$$C_c = b a f_c'' \dots (6) \quad \text{Ref. (3)}$$

$$T_s = A_s f_s \dots (7) \quad \text{Ref. (3)}$$

Por suma de fuerzas

$$C_c = T_s + P_u/F.R. \dots (8) \quad \text{Ref. (3)}$$

Sustituyendo (6) y (7) en (8)

$$b a f_c'' = A_s f_s + P_u/F.R. \dots (9) \quad \text{Ref. (3)}$$

tomando momentos con respecto al centro de la sección:

$$C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + T_s \left(\frac{h}{2} - r \right) = \frac{M_u}{F.R.} \dots (10) \quad \text{Ref. (3)}$$

En las ecuaciones (9) y (10) se distinguen tres incógnitas

a cuyo límite está definido por a_b

f_s que está definido por el punto de fluencia

F.R. depende del tipo de falla del elemento.

Si tensión F.R. = 0.85, si compresión F.R. = 0.75.

5. Diferentes profundidades del bloque de esfuerzos a compresión.

a) Si $a \leq 0.48 d = a_b$

$$\therefore f_s = f_y$$

$$y \text{ F.R.} = 0.85$$

Sustituyendo en la ec. (9)

$$b a f'_c = A_s f_y + \frac{P_u}{\text{F.R.}}$$

despejando "a"

$$a = \frac{A_s f_y + P_u / \text{F.R.}}{b f'_c} \dots (10) \quad \text{Ref. (3)}$$

y

$$M_u = \text{F.R.} \left[b a f'_c \left(\frac{h-a}{2} \right) + A_s f_y \left(\frac{h}{2} - r \right) \right] \dots (11) \text{ Ref. (3)}$$

Con las ecuaciones (10) y (11) queda solucionado el problema para este caso.

b) Si $a > 0.48 d$

$$f_s = E_s \epsilon_s = 2 \times 10^6 \left[\left(\frac{0.8 d - a}{a} \right) 0.003 \right]$$

$$\therefore f_s = \left(\frac{0.8 d - a}{a} \right) 6000 \dots (12) \quad \text{F.R.} = 0.75$$

Sustituyendo valores en la Ec. (9)

$$b a f''_c = \frac{0.8 d - a}{a} 6000 A_s + \frac{P_u}{F.R.}$$

Resolviendo:

$$b a^2 f''_c = 4800 d A_s - 6000 a A_s + \frac{P_u a}{F.R.}$$

$$b f''_c a^2 + \left(6000 A_s - \frac{P_u}{F.R.} \right) a - 4800 d A_s = 0$$

$$a^2 + \left(\frac{6000 A_s - P_u/F.R.}{b f''_c} \right) a - \frac{4800 d A_s}{b f''_c} = 0 \dots (13)$$

La ecuación cuadrática es de la forma:

$$A x^2 + B x + c = 0$$

$$B = \frac{6000 A_s - P_u/F.R.}{2 b f''_c}$$

$$c = \frac{4800 d A_s}{b f''_c}$$

APLICANDO LA FORMULA

$$a = -B \pm \sqrt{B^2 - C}$$

razonando se concluye que la solución está en:

$$a = \sqrt{B^2 - c} - B \dots (14) \quad \text{Ref. 3}$$

conocido "a" se sustituye en (12)

Con todos los valores conocidos sustituimos en la Ec.10 y se tiene:

$$\text{Mu} = \text{F.R.} \left[b a f''_c \left(\frac{h-a}{2} \right) + A_s f_s \left(\frac{h}{2} - r \right) \right] \dots (15) \quad \text{Ref. (3)}$$

6. La Problemática del F.R.

Si se sustituyen los valores de F.R. = 0.85 y F.R. = 0.75 en la ec. (10), se visualiza que los valores se traslapan.

$$\frac{A_s f_y + \text{Pu}/0.85}{b f''_c} = a_b$$

$$\frac{A_s f_y + \text{Pu}/0.75}{b f''_c} = a > a_b$$

Como esta indefinición no viene contemplada en el reglamento, se propone, en base al mismo reglamento, lo siguiente:

Habr3 3 zonas de "a"

1a. $a \leq 0.75 (0.48d)$

(Se considera el 75% del a_b , como lo pide en zona s3smica).

2a. $0.75 \times 0.48d < a < 0.48 d$

$$0.75 a_b < a < a_b$$

3a. $a > 0.48 d$

7. 3 Zonas de "a"

I. Si $a \leq 0.75 a_b = 0.75 (0.48d) = 0.36 d$

$$\therefore f_s = f_y$$

$$y \text{ F.R.} = 0.85$$

Sustituyendo en la ec. (9) y

Despejando "a" nos da la ec. (10)

$$a = \frac{A_s f_y + \frac{P_u}{F.R.}}{b f_c} \dots (10) \text{ Ref. (3)}$$

y

$$M_u = F.R. [b a f_c \left(\frac{h-a}{2} \right) + A_s f_y \left(\frac{h}{2} - r \right)] \dots (11) \text{ Ref. 3}$$

II. Si $0.36d < a < 0.48 d$

Se considera que el límite de F.R. = 0.85 es $a = 0.36 d$ y el de F.R. = 0.75 es $a = 0.48 d$.

Entre $0.36 d$ y $0.48 d$ F.R. varía linealmente

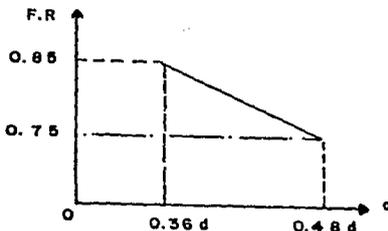


FIGURA 3

La ecuación de la recta es:

$$F.R. = 0.85 - \left(\frac{a - 0.36d}{0.12d} \right) 0.10 \dots (16) \quad \text{Ref. 3}$$

La condición $f_s = f_y$ de acuerdo al No. 3 "a" queda definida por la ec. (10)

$$a = \frac{A f_s + Pu / F.R.}{b f_c} \dots (10) \quad \text{Ref. (3)}$$

Se tienen dos ecuaciones (16) y (10) con dos incógnitas (a y F.R.). Para solucionar dicho sistema de ecuaciones, se despeja de la Ec. (16) el valor de "a" y se iguala con la ec. (10)

$$F.R. = 0.85 - \left(\frac{a - 0.36d}{0.12d} \right) 0.10$$

$$0.12d F.R. = 0.102d - 0.1 a + 0.36 d$$

$$0.12d F.R. = 0.138d - 0.1 a$$

$$0.12d F.R. - 0.138d = -0.1a$$

$$(0.12 F.R. - 0.138) d = -0.1a$$

$$(-1.2 F.R. + 1.38) d = a$$

$$a = (1.38 - 1.2 FR)d \dots (17) \quad \text{Ref. 3}$$

Igualando (17 con (10)

$$\frac{A_s f_y + Pu / f_c}{b f_c} = (1.38 - 1.2 F.R.) d$$

$$A_s f_y + \frac{Pu}{F.R.} = 1.38 bd f_c - 1.2 bd f_c F.R.$$

$$A_s f_y + P_u = 1.38 bd f_c F.R. - 1.20 bd f_c (F.R.)^2$$

$$1.2 bd f_c (F.R.)^2 - (1.38 bd f_c - A_s f_y) F.R. + P_u = 0$$

$$(F.R.)^2 - \frac{1.38 bd f_c - A_s f_y}{1.2bd f_c} F.R. + \frac{P_u}{1.2 bd f_c} = 0 \dots (18)$$

La ecuación es de la forma:

$$A_x^2 + Bx + C = 0$$

$$\therefore B = - \frac{1.38 b d f_c'' - A_s f_y}{2.4 b d f_c''}$$

$$C = \frac{P_u}{1.2 b d f_c''}$$

$$F.R. = -B \pm \sqrt{B^2 - C}$$

La ec. válida es

$$F.R. = \sqrt{B^2 - C} - B \dots (19) \text{ Ref (3)}$$

Sustituyendo el valor de F.R. en la Ec.(17), se halla -
"a", con lo que las incógnitas están resueltas y finalmente

$$\text{Mur} = F.R \left[A_s f_y \left(\frac{h}{2} - r \right) + \frac{b a f_c'' (h-a)}{2} \right] \dots (20) \text{ Ref. (3)}$$

III. Si $a > 0.48 d$

Se efectúan los pasos descritos en el inciso b

IV. 2. SE CONSIDERA UNA SECCION RECTANGULAR DOBLEMENTE ARMADA.
NO HAY SIMETRIA EN EL REFUERZO.

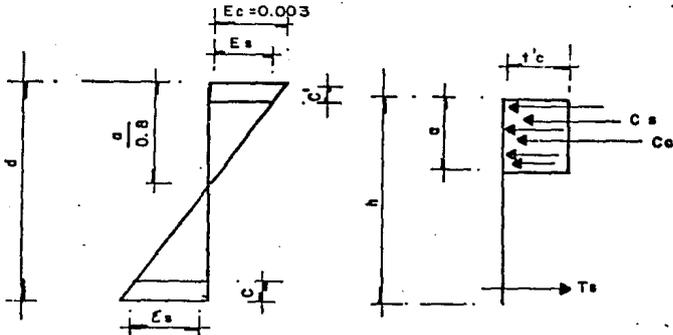


DIAGRAMA DE
DEFORMACIONES

DIAGRAMA DE
ESFUERZOS

Se define la deformación del acero a tensión:

$$\frac{\epsilon_s}{(d - \frac{a}{0.8})} = \frac{\epsilon_c}{(\frac{a}{0.8})}$$

$$\epsilon_s = \frac{(d - a/0.8)}{a/0.8} \epsilon_c$$

$$\epsilon_s = \left(\frac{0.8}{a} d - a\right) 0.003 \dots (1)$$

Ref. (3)

$$f_s = \epsilon_s E_s$$

$$f_s = \left(\frac{0.8 d - a}{a} \right) 6000 \dots (2) \quad \text{Ref. 3}$$

SI $d = h - c$; entonces

$$f_s = \left[\frac{0.8 (h - c) - a}{a} \right] 6000 \dots \quad (2')$$

La ecuación 2' solamente es aplicable si

$$a > \frac{4800 (h - c)}{f_y + 6000}$$

Si $0 \leq a \leq \frac{4800 (h - c)}{f_y + 6000}$ entonces

$$f_s = f_y$$

Se define la deformación del acero a compresión:

$$\frac{\epsilon'_s}{\left(\frac{a}{0.8} - c' \right)} = \frac{\epsilon_c}{\frac{a}{0.8}}$$

$$\epsilon'_s = \frac{\left(\frac{a}{0.8} - c' \right) \epsilon_c}{\frac{a}{0.8}}$$

$$\epsilon'_s = \frac{\left(\frac{a - 0.8c'}{0.8} \right) \epsilon_c}{a/0.8}$$

$$\epsilon'_s = \frac{(a - 0.8 c')}{a} \times 0.003 \dots (3) \quad \text{Ref. 3}$$

$$f'_s = \epsilon'_s E_s$$

$$f'_s = \frac{(a - 0.8 c')}{a} 6000 \dots (4) \quad \text{Ref.4}$$

La ecuación (4) solamente es aplicable si

$$0 \leq a \leq \frac{4800 c'}{6000 - f_y}$$

Si

$$a \geq \frac{4800 c'}{6000 - f_y} \quad \text{entonces} \quad f'_s = f_y$$

Definidos los esfuerzos del acero a tensión y a compresión, se definen las fuerzas de compresión y tensión.

COMPRESION DEL CONCRETO

$$C_c = b a f'_c \dots (5) \quad \text{Ref. 3}$$

$$C_s = A'_s f'_s \dots (6) \quad \text{Ref. 3}$$

La ecuación (6) está condicionada por:

$$\text{SI } 0 \leq a < \frac{4800 c'}{6000 - f_y} \quad \text{entonces}$$

$$C_s = \left(\frac{a - 0.8 c'}{a} \right) 6000 A'_s \dots (6')$$

SI $a \geq \frac{4800 c'}{6000 - f_y}$ entonces $C_s = A'_s f_y \dots (6'') \text{ (Ref.3)}$

TENSION DEL ACERO

Ref. (3)

$$T_s = A_s f_s \dots (7)$$

La ecuación (7) está condicionada por:

SI $0 \leq a \leq \frac{4800 (h-c)}{f_y + 6000}$ entonces $T_s = A_s f_y \dots (7') \text{ Ref (3)}$

SI $a > \frac{4800 (h-c)}{f_y + 6000}$ entonces $T_s = \left[\frac{0.8 (h-c) - a}{a} \right] 6000 A_s \dots (7'')$

Se define el F.R. según la forma de trabajar del elemento a la falla.

Cuando el elemento trabaja en zona de falla a tensión, entonces:

$$\text{F.R.} = 0.85 \quad \text{SI} \quad 0 \leq a \leq 0.75 a_b$$

Zona Intermedia:

$$\text{F.R.} = 0.85 - \frac{a - 0.75 a_b}{2.5 a_b} \quad \text{SI} \quad 0.75 a_b < a \leq a_b$$

ZONA DE FALLA A COMPRESION:

$$\text{F.R.} = 0.75 \quad \text{SI} \quad a > a_b$$

$$\text{Siendo} \quad a_b = \frac{4800 (h-c)}{f_y + 6000}$$

$$y \quad a'_b = \frac{4800 c'}{6000 - f_y}$$

ECUACIONES DE FUERZAS

$$C_c + C_s = T_s - \frac{Pu}{F.R.} \quad \dots (8) \quad \text{Ref. (3)}$$

PRIMER CASO

SI $a \leq 0.75 a_b$ y $a < a'_b$

F.R. = 0.85

$$baf''_c + \left(\frac{a - a_s c'}{a} \right) 6000 A'_s = A_s f_y + \frac{Pu}{F.R.} \quad \dots (9) \quad \text{Ref (3)}$$

$$ba^2 f''_c + 6000 A'_s a - 4800 A'_s c' - A_s f_y a - \frac{Pu a}{F.R.} = 0$$

$$ba^2 f''_c - \left(-6000 A'_s + A_s f_y + \frac{Pu}{F.R.} \right) a - 4800 A'_s c' = 0$$

$$B = \frac{1}{2} \left(A_s f_y + \frac{Pu}{F.R.} - 6000 A'_s \right) \frac{1}{bf''_c}$$

$$C = \frac{4800 A'_s c'}{bf''_c}$$

$$a = +B \pm \sqrt{B^2 + c}$$

$$\therefore a = B + \sqrt{B^2 + c} \quad \dots (10) \quad \text{Ref. 3}$$

SEGUNDO CASO

$$\text{SI } a \geq 0.75 a_b \text{ y } a \geq a'_b$$

$$\text{F.R.} = 0.85$$

$$b a f_c'' + A'_s f_y = A_s f_y + \frac{P_u}{\text{F.R.}} \dots (11) \quad \text{Ref. (3)}$$

despejando "a"

$$b a f_c'' = A_s f_y - A'_s f_y + \frac{P_u}{\text{F.R.}}$$

$$a = \frac{(A_s - A'_s) f_y + P_u/\text{F.R.}}{b f_c''} \dots (12) \quad \text{Ref. 3}$$

TERCER CASO

$$\text{SI } 0.75 a_b \leq a \leq a_b \text{ y } a < a'_b$$

$$\text{F.R.} = 0.85 - \frac{a - 0.75 a_b}{2.5 a_b}$$

$$\text{F.R.} = \frac{0.85 a_b - 0.4 a + 0.3 a_b}{a_b}$$

$$\text{F.R.} = \frac{1.15 a_b - 0.4 a}{a_b} \dots (13) \dots \text{Ref. 3}$$

$$b a f_c'' + \left(\frac{a - 0.8 c'}{a} \right) 6000 A'_s = A_s f_y + \frac{P_u}{\text{F.R.}}$$

$$b a^2 f_c'' + 6000 A'_s a - 4800 A'_s c' - A_s f_y a - \frac{P_u a}{\text{F.R.}} = 0$$

$$b a^2 f''_c - (A_s f_y + \frac{P_u}{F.R.} - 6000 A'_s) a - 4800 A'_s c' = 0$$

$$B = \frac{1}{2} (A_s f_y + \frac{P_u}{F.R.} - 6000 A'_s) \frac{1}{b f''_c}$$

$$c = \frac{4800 A'_s c'}{b f''_c}$$

$$a = B + \sqrt{B^2 + c} \dots (14) \quad \text{Ref (3)}$$

PROCEDIMIENTO ITERATIVO

Se supone $a_s = 0.75 a_b$

Se calcula F.R.

Se calcula a_c

SI $a_c = a_s$ entonces $a = a_s$

SI $a_c \neq a_s$ entonces $a_s = a_c$ Y

se continúa la iteración hasta que

$$a_c = a_s$$

CUARTO CASO

SI $0.75 a_b \leq a \leq a_b$ Y $a \geq a'_b$

$$F.R. = \frac{1.15 a_b - 0.4 a}{a_b} \dots (13) \quad \text{Ref. (3)}$$

$$a = \frac{-F.R. a_b + 1.15 a_b}{0.4} = \frac{(1.15 - F.R.) a_b}{0.4}$$

$$a = (2.875 - 2.5 F.R.) a_b \dots (15) \quad \text{Ref. (3)}$$

$$b f''_c a + A'_s f_y = A_s f_y + \frac{P_u}{F.R.}$$

$$b f''_c a + A'_s f_y = A_s f_y + \frac{P_u a_b}{(1.15 a_b - 0.4 a)}$$

$$b f''_c a (1.15 a_b - 0.4 a) - (A_s - A'_s) f_y (1.15 a_b - 0.4 a) - P_u a_b =$$

$$-0.4 b f''_c a^2 + 1.15 a_b b f''_c a - 1.15 A_s f_y a_b + 0.4 A_s f_y a +$$

$$1.15 A'_s f_y a_b - 0.4 A'_s f_y a - P_u a_b = 0$$

$$-0.4 b f''_c a^2 + (1.15 a_b b f''_c + 0.4 A_s f_y - 0.4 A'_s f_y) a +$$

$$+ (-1.15 A_s f_y + 1.15 A'_s f_y - P_u) a_b = 0$$

$$-0.4 b f''_c a^2 + [(A_s - A'_s) 0.4 f_y + 1.15 a_b b f''_c] a -$$

$$- [(A_s - A'_s) 1.15 f_y + P_u] a_b = 0$$

$$a^2 = \frac{[(A_s - A'_s) 0.4 f_y + 1.15 a_b b f''_c] a +}{0.4 b f''_c}$$

$$+ \frac{[(A_s - A'_s) 1.15 f_y + P_u] a_b}{0.4 b f''_c} = 0$$

$$B = \frac{(A_s - A'_s) 0.4 f_y + 1.15 a_b b f''_c}{0.8 b f''_c}$$

$$C = \frac{[(A_s - A'_s) 1.15 f_y + P_u] a_b}{0.4 b f''_c}$$

$$a = B - \sqrt{B^2 - c} \quad \dots (16)$$

Ref (3)

Sustituyendo en (13) se obtiene F.R.

QUINTO CASO

SI $a > a_b$ y $a < a'_b$

F.R. = 0.75

$$b a f''_c + \left(\frac{a - 0.8 c'}{a} \right) 6000 A'_s = \left(\frac{0.8 (h-c) - a}{a} \right) 6000 A_s + \frac{P_u}{F.R.}$$

$$b a^2 f''_c + 6000 A'_s a = 4800 A'_s c' = 4800 (h-c) A_s - 6000 A_s a + \frac{P_u a}{F.R.}$$

$$b a^2 f''_c + 6000 A'_s a + 6000 A_s a = \frac{P_u a}{F.R.} - 4800 A'_s c' - 4800 (h-c) A_s =$$

$$b f''_c a^2 - \left[\frac{P_u}{F.R.} - (A_s + A'_s) 6000 \right] a - [A'_s c' + (h-c) A_s] 4800 = 0$$

$$a^2 - \frac{P_u / F.R. - (A'_S - A'_S) 5000}{b f''_c} \quad a - \frac{[c' A'_S + (h-c) A'_S] 4800}{b f''_c} = 0$$

$$B = \frac{P_u / F.R. - (A'_S - A'_S) 6000}{2 b f''_c}$$

$$C = \frac{[c' A'_S + (h-c) A'_S] 4800}{b f''_c}$$

$$a = B + \sqrt{B^2 + c} \quad \dots (17) \dots \text{Ref. 3}$$

SEXTO CASO

SI $a > a_p$ Y $a > a'b$

F.R. = 0.75

$$b a f''_c + A'_S f_y = \left(\frac{0.8 (h-c) - a}{a} \right) 6000 A'_S - \frac{P_u}{F.R.}$$

$$b f''_c a^2 + A'_S f_y a = 4800 A'_S (h-c) - 6000 A'_S a + \frac{P_u a}{F.R.}$$

$$b f''_c a^2 + A'_S f_y a + 6000 A'_S a - \frac{P_u a}{F.R.} - (h-c) 4800 A'_S = 0$$

$$b f''_c a^2 - \left(\frac{P_u}{F.R.} - A'_S f_y - 6000 A'_S \right) a - (h-c) 4800 A'_S = 0$$

$$B = \frac{\frac{P_u}{F.R.} - A'_S f_y - 6000 A'_S}{2 b f''_c}$$

$$c = \frac{(h-c) 4800 As}{bf''_c}$$

$$a = B + \sqrt{B^2 + c} \dots\dots (18) \quad \text{Ref. 3}$$

R E S U M E N

1. Profundidad del bloque de compresión balanceado

a) Considerando el acero de tensión

$$a_b = \frac{4800 (h-c)}{f_y + 6000}$$

b) Considerando el acero de compresión

$$a'_b = \frac{4800 c'}{6000 - f_y}$$

2. Cálculo de la fuerza de tensión

a) SI $0 \leq a \leq a_b$

$$f_s = f_y$$

y

$$T_s = A_s f_y$$

b) SI $a > a_b$

$$f_s = \left[\frac{0.8 (h-c) - a}{a} \right] 6000$$

$$T_s = \left[\frac{0.8 (h-c) - a}{a} \right] 6000 A_s$$

3. Cálculo de la fuerza del acero a compresión:

a) SI $0 \leq a < a'_b$

$$f'_s = \left(\frac{a - 0.8 c'}{a} \right) 6000$$

$$C_s = \left(\frac{a - 0.8 c'}{a} \right) 6000 A'_s$$

b) SI $a \geq a'_b$

$$f'_s = f_y$$

$$C_s = f_y A'_s$$

4. Cálculo del factor de reducción:

a) SI $0 \leq a \leq 0.75 a_b$

$$F.R. = 0.85$$

b) SI $0.75 a_b \leq a \leq a_b$

$$F.R. = \frac{1.15 a_b - 0.4 a}{a_b}$$

c) SI $a > a_b$

$$F.R. = 0.75$$

5. Obtener "a" en base al equilibrio de fuerzas de tensión y compresión:

CASO I

$$SI \quad a \leq 0.75 a_b \quad y \quad a < a'b$$

$$F.R. = 0.85$$

$$B = \frac{A_s f_y + Pu/F.R. - 6000 A's}{2 b f''_c}$$

$$C = \frac{4800 A's C'}{b f''_c}$$

$$a = B + \sqrt{B^2 + C}$$

CASO II

$$SI \quad a \leq 0.75 a_b \quad y \quad a \geq a'b$$

$$F.R. = 0.85$$

$$a = \frac{(A_s - A's) f_y + Pu/F.R.}{b f''_c}$$

CASO III

$$SI \quad 0.75 a_b \leq a \leq a_b \quad y \quad a < a'b$$

$$F.R. = 1.15 - \frac{0.4a}{a_b}$$

$$B = \frac{A_s f_y + Pu/F.R. - 6000 A's}{2b f_c''}$$

$$C = \frac{4800 A's c'}{b f_c''}$$

$$a = B + \sqrt{B^2 + C}$$

PROCEDIMIENTO ITERATIVO

1. Se supone $a_s = 0.75 a_b$
2. Se calcula F.R.
3. Se calcula a_c
4. Si $a_c = a_s$ entonces $a = a_s$
5. Pero si $a_c \neq a_s$ entonces $a_s = a_c$ y se continúa la iteración hasta que $a_c = a_s$

CASO IV

SI $0.75 a_b \leq a \leq a_b$ y $a \geq a'b$

$$F.R. = 1.15 - \frac{0.4a}{a_b}$$

$$B = \frac{(A_s - A's) 0.4 f_y + 1.15 a_b b f_c''}{0.8 b f_c''}$$

$$C = \frac{[(A_B - A'_S) 1.15 f_y + Pu] a_b}{0.4 b f_c''}$$

$$a = B - \sqrt{B^2 - C}$$

PROCEDIMIENTO ITERATIVO

CASO V

$$\text{SI } a > a_b \quad \text{Y} \quad a < a'_b$$

$$F.R. = 0.75$$

$$B = \frac{Pu/F.R. - (A_S - A'_S) 6000}{2 b f_c''}$$

$$C = \frac{[c' A'_S + (h-c) A_S] 4800}{b f_c''}$$

$$a = B + \sqrt{B^2 + C}$$

CASO VI

$$\text{SI } a > a_b \quad \text{Y} \quad a > a'_b$$

$$F.R. = 0.75$$

$$B = \frac{P_u / E.R. - A'_s f_y - 6000 A_s}{2 b f'_c}$$

$$C = \frac{(h-c) 4800 A_s}{b f'_c}$$

$$a = B + \sqrt{B^2 + c}$$

DATOS DE LA GEOMETRIA DEL TUNEL

Ancho	b
Altura	h
Recubrimiento del refuerzo de tensión	c
Recubrimiento del refuerzo de compresión	c'
Area del acero en tensión	A _s
Area del acero en compresión	A' _s
Resistencia del concreto a compresión	f' _c
Resistencia del acero a tensión	f _y

$$f^*_c = 0.8 f'_c$$

$$f''_c = \left(1.05 - \frac{f^*_c}{1250} \right) f^*_c \quad 0.85 f^*_c$$

Porcentaje balanceado del acero a compresión

$$a'_b = \frac{4800 c'}{6000 - f_y}$$

$$a_{b1} = 0.75 ab$$

PORCENTAJE BALANCEADO DEL ACERO A TENSION

$$a_b = \frac{4800 (h-c)}{6000 + f_y}$$

SI $a'_b \leq 0.75 a_b$

$$P' = 0.85 (b a'_b f''_c + A'_s f_y - A_s f_y)$$

$$P_1 = 0.85 (0.75 b a_b f''_c + A'_s f_y - A_s f_y)$$

$$P_b = 0.75 (b a_b f''_c + A'_s f_y - A_s f_y)$$

SI $0.75 a_b < a'_b \leq a_b$

$$F.R. = 1.15 - \frac{0.4 a'_b}{a_b}$$

$$P' = F'R (b a'_b f''_c + A'_s f_y - A_s f_y)$$

$$P_1 = 0.85 [0.75 a_b b f''_c + \left(\frac{0.75 a_b - 0.8 c'}{0.75 a_b} \right) \times A'_s f_y$$

$$\times 6000 A'_s - A_s f_y]$$

$$P_b = 0.75 [b a_b f''_c + A'_s f_y - A_s f_y]$$

SI $a'_b > a_b$

$$P' = 0.75 [b a'_b f''_c + A'_s f_y - \left(\frac{0.8 (h-c) - a'_b}{a'_b} \right) 6000 A_s] 6000 A_s$$

$$P_1 = 0.85 [0.75 a_b b f''_c + \left(\frac{0.75 a_b - 0.8 c'}{0.75 a_b} \right) 6000 A'_s - A_s f_y]$$

$$P_b = 0.75 [b a_b f''_c + \left(\frac{a_b - 0.8 c'}{a_b} \right) 6000 A'_s - A_s f_y]$$

DATO — CARGA P_u en ton

SI $P_u \geq P'$ Y $P_u \leq P_1$

$$F.R. = 0.85$$

$$a = \frac{(A_s - A'_s) f_y + \frac{P_u}{F.R.}}{b f''_c}$$

SI $P_u \geq P'$ Y $P_1 < P_u < P_b$

$$B = \frac{(A_s - A'_s) 0.4 f_y + 1.15 a_b b f''_c}{0.8 b f''_c}$$

$$C = \frac{[P_u + (A_s - A'_s) 1.15 f_y] a_b}{0.4 b f''_c}$$

$$a = B - \sqrt{B^2 - C}$$

$$F.R. = 1.15 - \frac{0.4 a}{a_b}$$

$$\text{SI } P_u \geq P' \quad \text{y} \quad P_u \geq P_b$$

$$\text{F.R.} = 0.75$$

$$B = \frac{\frac{P_u}{\text{F.R.}} - A_s' f_y - 6000 A_s}{2 b f_c}$$

$$C = \frac{(h-c) 4800 A_s}{b f_c}$$

$$a = B + \sqrt{B^2 + C}$$

$$\text{SI } P_u < P' \quad \text{y} \quad P_u \leq P_1$$

$$\text{F.R.} = 0.85$$

$$B = \frac{A_s' f_y + \frac{P_u}{\text{F.R.}} - 6000 A_s'}{2 b f_c}$$

$$C = \frac{4800 c' A_s'}{b f_c}$$

$$a = B + \sqrt{B^2 + C}$$

$$\text{SI } P_u < P' \quad \text{y} \quad P_1 < P_u < P_b$$

Se supone $a_s = 0.75 a_b$

$$F.R. = 1.15 - \frac{0.4 a_s}{a_b}$$

$$B = \frac{\frac{Pu}{F.R.} + A_s f_y - 6000 A_s'}{2 b f''_c}$$

$$C = \frac{4800 c' A_s'}{b f''_c}$$

$$a_c = B + \sqrt{B^2 + c}$$

SI $a_c \neq a_s \longrightarrow a_s = a_c$ y se repite el ciclo.

SI $a_c = a_s$ B bien

SI $P_u < P'$ y $P_u \geq P_b$

$$F.R. = 0.75$$

$$B = \frac{\frac{Pu}{F.R.} - (A_s + A_s') 6000}{2 b f''_c}$$

$$C = \frac{[c' A_s' + (h-c) A_s] 4800}{b f''_c}$$

$$a = B + \sqrt{B^2 + c}$$

$$M_{ur} = F.R. \left[(h/2 - c) A_{s1} f_s + (h/2 - c') A_{s2} f_s + \frac{b a f'' c (h-a)}{2} \right]$$

Para el diseño de la unión losa-zapata se tomó el siguiente criterio.

IV.3. MENSULAS EN EXTREMOS DE VIGAS

Recomendaciones preliminares para dimensionamiento por -- carga vertical.

¿Cuál es el comportamiento bajo carga vertical, de un tipo de conexión para vigas de concreto, que consiste en una reducción de peralte en un extremo?

Este tipo de conexión se llama ménsula en extremo de viga.

I. Las ménsulas no pueden tomarse como voladizos ordinarios, ya que su relación de longitud a peralte es pequeña (normalmente del orden de la unidad o menos). Y también, por la concentración de tensiones inclinadas en la esquina entrante.

-- No es correcto usar directamente el procedimiento que se sigue para ménsulas que sobresalen de columnas, ya que la distinta geometría hace que cambien considerablemente las trayectorias de esfuerzos principales.

II. Dos posibles tipos de falla

—Predomina la tensión diagonal y la ménsula falla según una grieta inclinada que parte de la esquina entrante.

— Otra, donde predomine la fuerza cortante y la falla será por cortante en un plano casi vertical en el arranque de la ménsula.

III. Estimación de la resistencia

—Para el primer tipo de falla parece correcto estimar la resistencia con el criterio de Franz, que se basa en considerar el equilibrio de la ménsula cuando alcanza su resistencia suponiendo que el mecanismo de falla es según una grieta inclinada que parte de la esquina entrante, y que el acero -- fluye antes que el concreto se aplaste en compresión.

—Para el segundo tipo de falla, la resistencia se estimaría con el criterio de cortante por fricción, que también se basa en el equilibrio de la ménsula cuando alcanza su resistencia, pero, donde el mecanismo de falla se supone definido por una grieta vertical, en el cual, tiende a deslizar la ménsula con respecto al cuerpo de la viga.

Las fuerzas de fricción que actúan entre las dos superficies de concreto en contacto impiden el deslizamiento en el plano de la grieta.

-Debido a la escasez de espacio es necesario anclar correctamente el refuerzo para que éste llegue a fluir, desarrollando toda su capacidad.

a) Falla por tensión diagonal (Franz)



$$F_v = 0$$

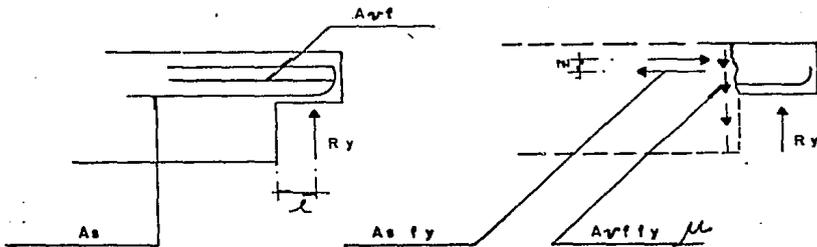
$$R_y - A_{si} f_y \cos 45^\circ = 0$$

$$A_{si} = \frac{R_y}{f_y \cos 45^\circ} \quad \dots 1 \text{ Ref. 6}$$

donde:

R_y = Reacción que causa la fluencia del refuerzo.

b) = Falla por cortante



$$F_v = 0 = R_y - A_{vf} f_y$$

$$A_{vf} = \frac{R_y}{f_y \mu} \quad \dots (2) \quad \text{Ref. 6}$$

$$M = 0 = R_y e - A_s f_y z$$

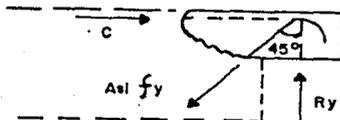
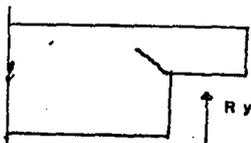
$$\dots A_s = \frac{R_y e}{f_y z} \quad \dots (3) \quad \text{Ref. 6}$$

A_{vf} = área de las varillas normales al plano del deslizamiento que no deben resistir esfuerzos directos por tensión (por flexión o axial).

IV. CRITERIO DE FRANZ

— Considera el equilibrio de la ménsula cuando alcanza su resistencia y supone que el mecanismo de falla está definido por una grieta inclinada que parte de la esquina entrante, y que el acero fluye antes que el concreto se aplaste en compresión. Para asegurar que se cumple esta última condición, como una aproximación tosca, parece razonable obligar a que el porcentaje de acero inclinado, P , referido a la sección inclinada contenida en el plano de la grieta, sea menor que el 75% del porcentaje balanceado.

$$P_b = \frac{f''_c}{f_y} \left(\frac{4800}{6000 + f_y} \right)$$

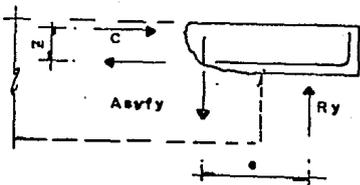


ARMADO TIPO "A"

$$F_y = 0$$

$$R_y - A_s f_y \cos 45^\circ = 0$$

$$A_{si} = \frac{R_y}{f_y \cos 45^\circ}$$



ARMADO TIPO "B"

$$\sum F_y = 0$$

$$R_y = A_{sv} f_y$$

$$A_{sv} = \frac{R_y}{f_y}$$

$$\sum M = 0$$

$$R_y e - A_s f_y z = 0$$

$$A_s = \frac{R_y e}{f_y z}$$

V. CONCLUSIONES DE LOS ENSAYES

El tipo de armado que resultó más eficiente es el formado por dos varillas gruesas inclinadas simétricas que son -- prolongación del refuerzo inferior de la trabe y que están -- ancladas dentro de la ménsula con ganchos hacia abajo confinados por anillos cerrados horizontales.

Las ménsulas que tenían este refuerzo fueron más resistentes y más dúctiles que las otras; además se deformaron me nos y su agrietamiento fue poco intenso.

RECOMENDACIONES

El criterio de dimensionamiento propuesto se considera aplicable a ménsulas en extremos de vigas, con relación de largo a peralte menor o igual a 1.0, sujetas a carga estática vertical.

El refuerzo principal de la ménsula constará de varillas inclinadas o de varillas horizontales y verticales, todas con anclajes eficientes que les permitan alcanzar sus esfuerzos de fluencia.

El refuerzo se dimensionará con el criterio de Franz, pero después se revisará la resistencia por "cortante por fricción".

Para limitar el ancho máximo de grietas a un valor del orden de 0.25 mm., utilizando cualquiera de los dos tipos de armado propuestos, el valor de la reacción que se obtenga con las cargas muertas y vivas consideradas en la revisión bajo condiciones de servicio, no debe ser mayor que el cociente de la resistencia última de la ménsula dividida entre el factor siguiente;

$$\eta = 1.6 \frac{f_y}{3000} \sqrt{\frac{300}{f'c}}$$

Los esfuerzos se dan en Kg/cm²

$$R \leq \frac{R_y}{\eta}$$

R = Reacción de la ménsula (ton)

Si se requiere limitar el ancho máximo de grieta a 0.1 mm, bastará, además de cumplir con el requisito anterior, usar como refuerzo dos varillas gruesas inclinadas simétricas, es decir, que tengan la misma inclinación y el mismo recubrimiento en la esquina entrante.

El impacto se tomará en cuenta con los coeficientes usuales.

Si la reacción tiene una componente importante de tensión horizontal, el procedimiento no es aplicable.

IV.4. OBTENCION DE LA ECUACION DEL PORCENTAJE DE AREA DE ACERO UTILIZADA

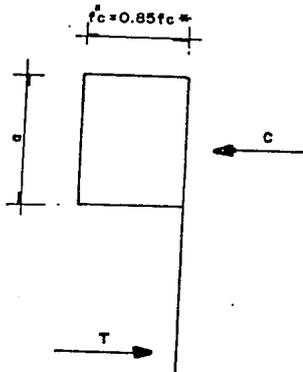
$$c = baf''_c$$

$$T = A_s f_y = Pbd f_y$$

igualando:

$$C = T$$

$$baf''_c = Pbd f_y$$



Despejando "a"

$$a = \frac{Pbd f_y}{bf''_c}$$

$$a = \frac{P d f_y}{f''_c} \dots \dots \dots (1)$$

Ref 3

Obteniendo momentos con respecto al eje neutro tenemos:

$$M = F.R. (b a f''_c) (d - \frac{a}{2}) \dots (2) \quad \text{Ref. 3}$$

$$M = F.R. (b a d f''_c - \frac{b a^2 f''_c}{2})$$

Sustituyendo la ec. (1) en (2)

$$\frac{M}{F.R.} = \left[(b d f''_c \times \frac{P d f_y}{f''_c}) - (\frac{b f''_c}{2} \times \frac{P^2 d^2 f_y^2}{f''_c{}^2}) \right]$$

$$\frac{M}{F.R.} = \left(\frac{b d^2 f''_c P f_y}{f''_c} - b f''_c \frac{P^2 d^2 f_y^2}{2 f''_c{}^2} \right)$$

$$\frac{M}{F.R.} = b d^2 f''_c \left(\frac{P f_y}{f''_c} - \frac{P^2 f_y^2}{2 f''_c{}^2} \right)$$

$$\frac{M}{F.R. \times b d^2 f''_c} = \frac{P f_y}{f''_c} = \frac{P^2 f_y^2}{2 f''_c{}^2}$$

$$\frac{p^2 f_y^2}{2 f''_c^2} - \frac{P f_y}{f''_c} + \frac{M}{F_R b d^2 f''_c} = 0$$

$$p^2 \frac{f_y^2}{f''_c^2} - P \frac{2 f_y}{f''_c} + \frac{2 M}{F_R b d^2 f''_c} = 0$$

Vamos a resolver la ecuación de 2° grado por la fórmula general.

$$P = \frac{2 \frac{f_y}{f''_c} \pm \sqrt{\left[\left(-\frac{2 f_y}{f''_c} \right)^2 - 4 \left(\frac{f_y}{f''_c} \right)^2 \left(\frac{2 M}{F_R b d^2 f''_c} \right) \right]}}{2 \left(\frac{f_y}{f''_c} \right)^2}$$

$$P = \frac{2 \frac{f_y}{f''_c} \pm \sqrt{\left(4 \frac{f_y^2}{f''_c^2} \right) - 4 \frac{f_y^2}{f''_c^2} \left(\frac{2 M}{F_R b d^2 f''_c} \right)}}{2 \frac{f_y^2}{f''_c^2}}$$

$$P = \frac{2 \frac{f_y}{f''_c} \pm \sqrt{4 \frac{f_y^2}{f''_c^2} \left(1 - \frac{2 M}{F_R b d^2 f''_c} \right)}}{2 \frac{f_y^2}{f''_c^2}}$$

$$P = \frac{2 \frac{f_y}{f''_c} \pm 2 \frac{f_y}{f''_c} \sqrt{1 - \frac{2 M}{F_R b d^2 f''_c}}}{2 \frac{f_y^2}{f''_c^2}}$$

$$P = \frac{2 \frac{f_y}{f_c''} \left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{2M}{F_R' b d^2 f_c''}} \right]}{2 \frac{f_y^2}{f_c''^2}}$$

$$P = \frac{f_y}{f_c''} \frac{f_c''^2}{f_y^2} \left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{2M}{F_R b d^2 f_c''}} \right]$$

$$P = \frac{f_c''}{f_y} \left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{2M}{F_R b d^2 f_c''}} \right]$$

Como $M_u = 1.5 M$ (flexión)

∴ la ecuación del porcentaje de área de acero es:

$$P = \frac{f_c''}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2M_u}{F_R b d^2 f_c''}} \right]$$

IV.5. ELECCION DE LOS ELEMENTOS MECANICOS
PARA DISEÑO (RESUMEN)

1a. CONDICION

CLAVE
JUNTA 19

$$\begin{aligned} M &= 37.5 \text{ T-M} \\ M_u &= 1.5 \times 37.5 = \underline{56.25 \text{ T-M}} \\ P &= 112.45 \text{ T} \\ P_u &= 1.5 \times 112.45 = \underline{168.675 \text{ T}} \end{aligned}$$

MIEMBRO 6- JUNTA 6
UNION LOSA-MURO

$$\begin{aligned} M &= 34.95 \text{ T-M} \\ M_u &= 1.5 \times 34.95 = \underline{52.425 \text{ T-M}} \\ P &= 95.52 \text{ T} \\ P_u &= 1.5 \times 95.52 = \underline{143.28 \text{ T}} \end{aligned}$$

MIEMBRO 6- JUNTA 6
AL PAÑO

$$\begin{aligned} M &= 27.90 \text{ T-M} \\ M_u &= 1.5 \times 27.90 = \underline{41.85 \text{ T-M}} \\ P &= 94.7 \text{ T} \\ P_u &= 1.5 \times 94.7 = \underline{142.05 \text{ T-M}} \end{aligned}$$

LOSA
MIEMBRO 2-JUNTA 3

$$\begin{aligned} M &= 9.95 \text{ T-M} \\ M_u &= 1.5 \times 9.95 = \underline{14.925 \text{ T-M}} \\ P &= 55.95 \text{ T} \\ P_u &= 1.5 \times 55.95 = \underline{83.925 \text{ T}} \end{aligned}$$

2a. CONDICION

$$\begin{aligned} M &= 30.36 \text{ T-M} \\ M_u &= 1.5 \times 30.36 = \underline{45.54 \text{ T-M}} \\ P &= 116.05 \text{ T} \\ P_u &= 1.5 \times 116.05 = \underline{174.075 \text{ T}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M &= 40.65 \text{ T-M} \\ M_u &= 1.5 \times 40.65 = \underline{60.975 \text{ T-M}} \\ P &= 104.27 \text{ T} \\ P_u &= 1.5 \times 104.27 = \underline{156.405 \text{ T}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M &= 30.50 \text{ T-M} \\ M_u &= 1.5 \times 30.50 = \underline{45.75 \text{ T-M}} \\ P &= 102.0 \text{ T} \\ P_u &= 1.5 \times 102.0 = \underline{153 \text{ T}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M &= 11.58 \text{ T-M} \\ M_u &= 1.5 \times 11.58 = \underline{17.37 \text{ T-M}} \\ P &= 66.413 \text{ T} \\ P_u &= 1.5 \times 66.413 = \underline{99.62 \text{ T}} \end{aligned}$$

1a. CONDICION

MUROJUNTA 8

$$M = 14.59 \text{ T-M}$$

$$M_u = 1.5 \times 14.59 = \underline{21.885 \text{ T-M}}$$

$$P = 132.05 \text{ T}$$

$$P_u = 1.5 \times 132.05 = \underline{198.075 \text{ T}}$$

2a. CONDICION

$$M = 12.82 \text{ T-M}$$

$$M_u = 1.5 \times 12.82 = 19.23 \text{ T-M}$$

$$P = 134.43 \text{ T}$$

$$P_u = 1.5 \times 134.43 = 201.645 \text{ T}$$

MUROJUNTA 13

$$M = 11.30 \text{ T-M}$$

$$M_u = 1.5 \times 11.30 = \underline{16.95 \text{ T-M}}$$

$$P = 156.92 \text{ T}$$

$$P_u = 1.5 \times 156.92 = \underline{235.38 \text{ T}}$$

$$M = 9.5 \text{ T-M}$$

$$M_u = 1.5 \times 9.5 = 14.25 \text{ T-M}$$

$$P = 156.4 \text{ T}$$

$$P_u = 1.5 \times 156.4 = 234.6 \text{ T}$$

IV.6. DISEÑO DE LA CLAVE (Junta 19)

1a. CONDICION

SECCION SIMPLEMENTE ARMADA

DATOS

$$M_u = 56.25 \text{ T-M}$$

$$P_u = 168.675 \text{ T}$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

$$h = 65 \text{ cm}$$

$$c = 5 \text{ cm}$$

$$f'_c = 250 \text{ cm}$$

$$f^*_c = 0.8 (250) = 200 \text{ kg/cm}^2$$

$$f''_c = 0.85 (200) = 170 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

PROPONGO

$$\underline{2 \# 6 \text{ a } 30}$$

$$P = \frac{a_o}{ds} = \frac{2.85 \times \frac{2}{60}}{\frac{2}{30}} = 0.003167$$

$$A_s = pbd = 0.003167 \times 100 \times 60 = 19.002 \text{ cm}^2$$

$$a = 0.36 d = 0.36 (60) = 21.6 \text{ cm}$$

$$a = 0.48 d = 0.48 (60) = 28.8 \text{ cm}$$

$$a = \frac{A_s f_y + \frac{P_u}{F.R.}}{b f''_c} = \frac{19.002 (4000) + 168.675 / 0.85}{100 \times 170}$$

$$a = 16.144 \text{ cm}$$

$$\text{como } a < 0.36 d$$

$$\therefore f_s = f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{y} \quad F.R. = 0.85$$

$$M_u = F_R [b a f''_c \left(\frac{h-a}{2} \right) + A_s f_y \left(\frac{h}{2} - r \right)]$$

$$M_u = 0.85 [100 \times 16.144 \times 170 \left(\frac{65-16.144}{2} \right) + 19.002 \times 4000 \left(\frac{65}{2} - 5 \right)]$$

$$M_u = 7475270.4 \text{ Kg-cm} = \underline{74.75 \text{ T-M}} > 56.26 \text{ T-M (sobrada)}$$

2 # 4 a 30

$$P = \frac{a_o}{d_s} = \frac{1.27 \times 2}{60 \times 30} = 0.0014111$$

$$A_s = P b d = 0.0014111 \times 100 \times 60 = 8.47 \text{ cm}^2$$

$$a = \frac{A_s f_y + \frac{P_u}{F.R.}}{b f''_c} = \frac{(8.47 \times 4000) + 168675 / 0.85}{100 \times 170}$$

$$a = 13.666 \text{ cm (caemos en el mismo caso que el anterior)}$$

y sustituyendo en ec. de momentos

$$M_u = 0.85 [100 \times 8.47 \times 170 \left(\frac{65 - 13.666}{2} \right) + 8.47 \times 4000 \left(\frac{65}{2} - 5 \right)]$$

$$M_u = 3933367.6 \text{ Kg-cm} = \underline{39.33 \text{ T-M}} < \underline{56.25 \text{ T-M}} \therefore \text{no pasa}$$

2 # 4 a 20

$$P = \frac{a_o}{ds} = \frac{1.27 \times 2}{60 \times 20} = 0.00211666$$

$$A_s = 0.00211666 \times 100 \times 60 = 12.7 \text{ cm}^2$$

$$a = \frac{(12.7 \times 4000) + \frac{168675}{0.85}}{100 \times 170} = 14.66 \text{ cm}$$

sustituyendo en ec. de momentos

$$M_u = 0.85 [100 \times 14.66 \times 170 \left(\frac{65 - 14.66}{2} \right) + 12.7 \times 4000 \left(\frac{65}{2} - 5 \right)]$$

$$M_u = 6519387.3 \text{ Kg-cm} = \underline{65.194 \text{ T-M}} > \underline{56.25 \text{ T-M}}$$

\therefore si pasa

2 # 4 a 25

$$P = \frac{a_o}{ds} = \frac{1.27 \times 2}{60 \times 25} = 0.00169333$$

$$A_s = pbd = 0.00169333 \times 100 \times 60 = 10.16 \text{ cm}^2$$

$$a = \frac{(10.6 \times 4000) + \frac{168675}{0.85}}{100 \times 170} = 14.064 \text{ cm}$$

$$M_u = 0.85 [100 \times 14.064 \times 170 \left(\frac{65-14.064}{2}\right) + 10.16 \times 4000 \left(\frac{65}{2} - 5\right)]$$

$$M_u = 6125689.2 \text{ Kg-cm} = \underline{61.26 \text{ T-M}} \quad \underline{56.25 \text{ T-M}} \quad \therefore \text{ si pasa}$$

Ahora tenemos que el $A_{s_{\min}}$ que necesitamos el siguiente:

$$P_{\min} = \frac{0.7 \sqrt{f'_c}}{f_y} = \frac{0.7 \sqrt{250}}{4000} = 0.0028$$

$$A_{s_{\min}} = P_{\min} bd = 0.0028 \times 100 \times 45 = \underline{12.6 \text{ cm}^2}$$

Varias opciones a tomar:

$$2 \# 4 \text{ a } 20 \text{ ----- } A_s = 12.7 \text{ cm}^2$$

$$\# 6 \text{ a } 22 \text{ ---- } A_s = 12.95 \text{ cm}^2$$

$$\# 4 \text{ a } 10 \text{ ----- } A_s = 12.7 \text{ cm}^2$$

ACERO POR TEMPERATURA

$$A_{s_T} = \frac{450 h}{f_y (100 + h)} \times 100 = \frac{450 \times 50}{4000 (100 + 50)} \times 100$$

$$A_{s_T} = 3.75 \text{ cm}^2 \quad \text{proponiendo var } \# 4$$

$$S = \frac{b a_o}{A_{s_t}} = \frac{100 \times 1.27}{3.75} = 33.86 \approx 33$$

$$\therefore A_{s_t} = \text{var } \# 4 \text{ a } 30$$

IV.7. DISEÑO UNION LOSA-MURO (AL PAÑO)

2a. CONDICION

SECCION DOBLEMENTE ARMADA

DATOS

$$M_u = 45.75 \text{ T-M}$$

$$f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_u = 153 \text{ T}$$

$$t^*_c = 0.8 (250) = 200 \text{ kg/cm}^2$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

$$f''_c = 0.85 (200) = 170 \text{ kg/cm}^2$$

$$h = 50 \text{ cm}$$

$$f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

$$c = 5 \text{ cm}$$

$$c' = 5 \text{ cm}$$

PROPONGO

$$A_s = \# 4 + \# 6 \text{ a } 25$$

$$p = \frac{1.27 + 2.85}{45 \times 25} = 0.003662$$

$$A_s = Pbd = 0.003662 \times 100 \times 45 = 16.48 \text{ cm}^2$$

$$A'_s = \# 4 \text{ a } 25$$

$$P = \frac{1.27}{45 \times 25} = 0.0011288$$

$$A'_s = Pbd = 0.0011288 \times 100 \times 45 = 5.08 \text{ cm}^2$$

CONSIDERANDO EL ACERO DE COMPRESION

$$a'_b = \frac{4800 c'}{6000 - f_y} = \frac{4800 (5)}{6000 - 4000} = 12 \text{ cm}$$

CONSIDERANDO EL ACERO A TENSION

$$a_b = \frac{4800 (h-c)}{f_y + 6000} = \frac{4800 (50-5)}{4000 + 6000} = 21.6 \text{ cm}$$

$$a_{b1} = 0.75 a_b = 0.75 (21.6) = 16.2 \text{ cm}$$

$$a'_b = 12 \text{ cm} \quad A'_s = 5.08 \text{ cm}^2$$

$$a_b = 21.6 \text{ cm} \quad A_s = 16.48 \text{ cm}^2$$

como

$$a'_b \leq 0.75 a_b$$

$$P' = 0.85 (b a'_b f''_c + A'_s f_y - A_s f_y)$$

$$P' = 0.85 (100 \times 12 \times 170 + 5.08 \times 4000 - 16.48 \times 4000)$$

$$P' = 134640 \text{ Kg} = \underline{\underline{134.64 \text{ Ton}}}$$

$$P_1 = 0.85 (0.75 b a_b f''_c + A'_s f_y - A_s f_y)$$

$$P_1 = 0.85 (0.75 \times 100 \times 21.6 \times 170 + 5.08 \times 4000 - 16.48 \times 4000)$$

$$P_1 = 195\,330 \text{ Kg} = \underline{\underline{195.33 \text{ ton}}}$$

$$P_b = 0.75 (b a_b f''_c + A'_s f_y - A_s f_y)$$

$$P_b = 0.75 (100 \times 21.6 \times 170 + 5.08 \times 4000 - 16.48 \times 4000)$$

$$P_b = 241\,200 \text{ Kg} = \underline{\underline{241.2 \text{ ton}}}$$

$$P' = 134.64 \text{ ton}$$

$$P_1 = 195.33 \text{ ton}$$

$$P_b = 241.2 \text{ ton}$$

$$P_u = 153.0 \text{ ton}$$

como

$$P_u \geq P' \quad \text{y} \quad P_u \leq P_1$$

$$153 > 134.64 \text{ ton} \quad 153 < 195.33 \text{ ton}$$

entonces

$$F_R = 0.85$$

$$a = \frac{(A'_s - A_s) f_v + P_u / F_R}{b f''_c}$$

$$a = \frac{(16.48 - 5.08) 4000 + \frac{153\,000}{0.85}}{100 \times 170} = 13.27 \text{ cm}$$

CALCULO DE LA FUERZA DEL ACERO A TENSION

$$a = 13.27 \text{ cm} \quad \text{como} \quad 0 \leq a \leq ab$$

$$a'_b = 21.6 \text{ cm} \quad 0 < 13.27 < 21.6$$

$$\text{entonces } f_s = f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

y

$$T_s = A_s f_y$$

CALCULO DE LA FUERZA DEL ACERO A COMPRESION

$$a = 13.27 \text{ cm} \quad \text{como} \quad a \geq a'_b$$

$$a'_b = 12.0 \text{ cm} \quad 13.27 > 12.0$$

$$\text{entonces } f'_s = f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

$$y \quad C_s = f_y A'_s$$

SUSTITUYENDO EN LA EC. DE MOMENTOS

$$M_{ur} = F_R \left[\left(\frac{h}{2} - c \right) A_s f_s + \left(\frac{h}{2} - c' \right) A'_s f'_s + \frac{b a f''_c (h-a)}{2} \right]$$

$$M_{ur} = 0.85 \left[\left(\frac{50}{2} - 5 \right) 16.48 \times 4000 + \left(\frac{50}{2} - 5 \right) 5.08 \times 4000 + \right. \\ \left. + \frac{100 \times 13.27 \times 170 (50 - 13.27)}{2} \right]$$

$$Mu_r = 4987596.3 \text{ Kg-cm} = \underline{49.87 \text{ T-M}} > 45.75 \text{ T-M} \therefore \text{ si pasa}$$

PROPONGO:

$$\Lambda_s = \# 4 + \# 6 \text{ a } 22$$

$$A'_s = \# 6 \text{ a } 22$$

$$P = \frac{1.27 + 2.85}{45 \times 22} = 0.0041616$$

$$P = \frac{2.85}{45 \times 22} = 0.002878$$

$$A_s = pbd = 0.0041616 \times 100 \times 45$$

$$A'_s = Pbd = 0.002878 \times 100 \times 45$$

$$A_s = 18.72 \text{ cm}^2$$

$$A'_s = 12.95 \text{ cm}^2$$

CONSIDERANDO EL ACERO DE COMPRESION

$$a'_b = \frac{4800 c'}{6000 - f_y} = \frac{4800 (5)}{6000 - 4000} = 12 \text{ cm}$$

CONSIDERANDO EL ACERO DE TENSION

$$a_b = \frac{4800 (h-c)}{f_y + 6000} = \frac{4800 (50-5)}{4000 + 6000} = 21.6 \text{ cm}$$

$$a_{b1} = 0.75 a_b = 0.75 (21.6) = 16.2 \text{ cm}$$

$$a'_b = 12 \text{ cm} \quad A'_s = 12.95 \text{ cm}^2$$

$$a_b = 21.6 \text{ cm} \quad A_s = 18.72 \text{ cm}^2$$

como

$$a'_b \leq 0.75 a_b$$

$$12 < 16.2$$

$$P' = 0,85 (b a'_b f''_c + A'_s f_y - A_s f_y)$$

$$P' = 0,85 (100 \times 12 \times 170 + 12,95 \times 4000 - 18,72 \times 4000)$$

$$P' = 153\,782 \text{ Kg} = \underline{153.782 \text{ ton}}$$

$$P_1 = 0,85 (0,75 b a'_b f''_c + A'_s f_y - A_s f_y)$$

$$P_1 = 0,85 (0,75 \times 100 \times 21,6 \times 170 + 12,95 \times 4000 - 18,72 \times 4000)$$

$$P_1 = 214\,472 \text{ Kg} = \underline{214.472 \text{ ton}}$$

$$P_b = 0,75 (b a'_b f''_c + A'_s f_y - A_s f_y)$$

$$P_b = 0,75 (100 \times 21,6 \times 170 + 12,95 \times 4000 - 18,72 \times 4000)$$

$$P_b = 258\,090 \text{ Kg} = \underline{258.09 \text{ ton}}$$

$$P' = 153.782 \text{ ton}$$

$$P_1 = 214.472 \text{ ton}$$

$$P_b = 258.09 \text{ ton}$$

$$P_u = 153.00 \text{ ton}$$

$$\text{como : } P_u < P' \text{ y } P_u < P_1$$

$$153 < 153.782 \quad 153 < 214.472 \text{ ton}$$

entonces

$$F_R = 0,85 \quad Y$$

$$B = \frac{A_s f_y + P_u / F_R - 6000 A'_s}{2 b f''_c}$$

$$B = \frac{18.72 \times 4000 + 153\,000/0.85 - 6000 \times 12.95}{2 \times 100 \times 170} = 5.21 \text{ cm}$$

$$C = \frac{4800 \frac{c' A's}{b f''_c}}{b f''_c}$$

$$C = \frac{4800 \times 5 \times 12.95}{100 \times 170} = 18.29 \text{ cm}$$

$$a = B + \sqrt{B^2 + C}$$

$$a = 5.21 + \sqrt{(5.21)^2 + 18.28} = 11.95 \text{ cm}$$

CALCULO DE LA FUERZA DEL ACERO A TENSION

$$\text{como } 0 \leq a \leq a_d$$

$$0 < 11.95 < 21.6$$

entonces

$$f_s = f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

y

$$T_s = A_s f_y$$

CALCULO DE LA FUERZA DEL ACERO A COMPRESION

$$\text{como } 0 \leq a < a'b$$

$$0 < 11.95 < 12$$

$$f'_s = \left(\frac{a - 0.8 c'}{a} \right) 6000$$

$$f'_s = \left[\frac{11.95 - 0.8(5)}{11.95} \right] 6000 = 3991.6318 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_s = \left(\frac{a - 0.8 c'}{a} \right) 6000 A'_s$$

$$C_s = 3991.6318 \times 12.95 = 5169.632 \text{ kg/cm}^2$$

SUSTITUYENDO EN LA ECUACION DE MOMENTOS

$$M_{ur} = F_R \left[\left(\frac{h}{2} - c \right) A_s f_s + \left(\frac{h}{2} - c' \right) A'_s f'_s + \frac{b a f''_c (h-a)}{2} \right]$$

$$M_{ur} = 0.85 \left[\left(\frac{50}{2} - 5 \right) 18.72 \times 4000 + \left(\frac{50}{2} - 5 \right) 12.95 \times 3991.6318 + \frac{100 \times 11.95 \times 170 (50 - 11.95)}{2} \right]$$

$$\therefore M_u = 54\,369 \text{ Kg} \cdot \text{cm} = \underline{54.37} \text{ ton} \quad 45.75 \text{ ton}$$

... si pasa

IV.8. DISEÑO DE MUROS

El momento máximo se encuentra en la junta 8 por lo tanto con ese diseñamos

1a. CONDICION

SECCION DOBLEMENTE ARMADA

$$M_u = 21.885 \text{ T-M}$$

$$P_u = 198.075 \text{ ton}$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

$$h = 50 \text{ cm}$$

$$c = .5 \text{ cm}$$

$$c' = 5 \text{ cm}$$

$$f'_c = 250 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f^*_c = 0.8 (250) = 200 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f''_c = 0.85 (200) = 170 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 4000 \text{ Kg/cm}^2$$

PROPONGO:

$$A_s = \# 4 + \# 6 \text{ a } 25$$

$$A'_s = \# 4 \text{ a } 25$$

$$P = \frac{1.27 + 2.85}{45 \times 25} = 0.003662$$

$$P = \frac{1.27}{45 \times 25} = 0.00112888$$

$$A_s = Pbd$$

$$A'_s = Pbd$$

$$A_s = 0.003662 \times 100 \times 45$$

$$A'_s = 0.00112888 \times 100 \times 45$$

$$A_s = 16.48 \text{ cm}^2$$

$$A'_s = 5.08 \text{ cm}^2$$

CONSIDERANDO EL ACERO DE COMPRESION

$$a'_b = \frac{4800 c'}{6000 - f_y} = \frac{4800 (5)}{6000 - 4000} = 12 \text{ cm}$$

CONSIDERANDO EL ACERO DE TENSION

$$a_b = \frac{4800 (h-c)}{f_y + 6000} = \frac{4800 (50-5)}{4000 + 6000} = 21.6 \text{ cm}$$

$$a_{b1} = 0.75 a_b = 0.75 (21.6) = 16.2 \text{ cm}$$

$$a'_b = 12 \text{ cm} \quad A'_s = 5.08 \text{ cm}^2$$

$$a_b = 21.6 \text{ cm} \quad A_s = 16.48 \text{ cm}^2$$

$$a'_b < 0.75 a_b$$

$$12 < 16.2 \text{ cm}$$

$$P' = 0.85 (b a'_b f'_c + A'_s f_y - A_s f_y)$$

$$P' = 0.85 (100 \times 12 \times 170 + 5.08 \times 4000 - 16.48 \times 4000)$$

$$P' = 134\ 640 \text{ Kg} = \underline{134.64 \text{ Ton}}$$

$$P_1 = 0.85 (0.75 b a_b f'_c + A'_s f_y - A_s f_y)$$

$$P_1 = 0.85 (0.75 \times 100 \times 21.6 \times 170 + 5.08 \times 4000 - 16.48 \times 4000)$$

$$P_1 = 195\ 330 \text{ Kg} = \underline{195.33 \text{ ton}}$$

$$P_b = 0.75 (b a_b f_c'' + A'_s f_y - A_s f_y)$$

$$P_b = 0.75 (100 \times 21.6 \times 170 + 5.08 \times 4000 - 16.48 \times 4000)$$

$$P_b = 241\ 200 \text{ Kg} = \underline{241.2 \text{ Ton}}$$

$$P' = 134.64 \text{ ton}$$

$$P_l = 195.33 \text{ ton}$$

$$P_b = 241.2 \text{ ton}$$

$$P_u = 198.075 \text{ ton}$$

$$\text{como } P_u \geq P' \quad \text{y} \quad P_l < P_u < P_b$$

$$198.075 > 134.64$$

$$195.33 < 198.075 < 241.2$$

$$B = \frac{(A_s - A'_s) 0.4 f_y + 1.15 a_b b f_c''}{0.8 b f_c''}$$

$$B = \frac{(16.48 - 5.08) 0.4 \times 4000 + 1.15 (21.6) 100 \times 170}{0.8 \times 100 \times 170} = 32.39$$

$$C = \frac{[P_u + (A_s - A'_s) 1.15 f_y] a_b}{0.4 b f_c''}$$

$$C = \frac{[198075 + (16.48 - 5.08) 1.15 \times 4000] 21.6}{0.4 \times 100 \times 170} = 795.75$$

$$a = B - \sqrt{B^2 - C}$$

$$a = 32.39 - \sqrt{(32.39)^2 - 795.75} = 16.47 \text{ cm}$$

CALCULO DE LA FUERZA DEL ACERO

A TENSION

como

$$0 \leq a \leq a_b$$

$$0 < 16.47 < 21.6$$

entonces

$$f_s = f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{y} \quad T_s = A_s f_y$$

CALCULO DE LA FUERZA DEL ACERO A COMPRESION

como

$$a > a'_b \quad \text{entonces}$$

$$16.47 > 13$$

$$f'_s = f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

y

$$C_s = f_y A'_s$$

SUBSTITUYENDO EN ECUACION DE MOMENTOS

$$M_{ur} = F_R \left[(h/2 - c) \frac{A_s f_s}{T_s} + \left(\frac{h}{2} - c' \right) A'_s f'_s + \frac{b a f_c'' (h-a)}{2} \right]$$

$$M_{ur} = 0.85 \left[\left(\frac{50}{2} - 5 \right) 16.48 \times 4000 + \left(\frac{50}{2} - 5 \right) 5.08 \times 4000 + \frac{100 \times 16.47 \times 170 (50 - 16.47)}{2} \right] = 545 \, 6007.5 \text{ Kg-cm}$$

$$M_{ur} = \underline{54.56 \text{ Ton-M}} \gg \underline{21.885 \text{ Ton-M}} \therefore \text{ está sobrado}$$

PROPONGO

$$A_s = \# 4 + \# 6 \text{ a } 22$$

$$A'_s = \# 6 \text{ a } 22$$

$$P = \frac{1.27 + 2.85}{45 \times 22} = 0.0041616 \quad P = \frac{2.85}{45 \times 22} = 0.002875$$

$$A_s = Pbd$$

$$A'_s = Pbd$$

$$A_s = 0.0041616 \times 100 \times 45$$

$$A'_s = 0.002878 \times 100 \times 45$$

$$A_s = \underline{18.72 \text{ cm}^2}$$

$$A'_s = \underline{12.95 \text{ cm}^2}$$

CONSIDERANDO EL ACERO DE COMPRESION

$$a'_b = \frac{4800 c'}{6000 - f_y} = \frac{4800 (5)}{6000 - 4000} = 12 \text{ cm}$$

CONSIDERANDO FT. ACERO DE TENSION

$$a_b = \frac{4800 (h-c)}{f_y + 6000} = \frac{4800 (50-5)}{4000 + 6000} = 21.6 \text{ cm}$$

$$a_{b1} = 0.75 a_b = 0.75 (21.6) = 16.2$$

$$a'_b = 12 \text{ cm}$$

$$A'_s = 12.95 \text{ cm}^2$$

$$a_b = 21.6 \text{ cm}$$

$$A_s = 18.72 \text{ cm}^2$$

como

$$a'_b \leq 0.75 a_b$$

$$12 < 16.2$$

$$P' = 0.85 (b a'_b f''_c + A'_s f_y - A_s f_y)$$

$$P' = 0.85 (100 \times 12 \times 170 + 12.95 \times 4000 - 18.72 \times 4000)$$

$$P' = 153782 \text{ Kg} = \underline{153.782 \text{ ton}}$$

$$P_1 = 0.85 (0.75 a_b b f''_c + A'_s f_y - A_s f_y)$$

$$P_1 = 0.85 (0.75 \times 21.6 \times 100 \times 170 + 12.95 \times 4000 - 18.72 \times 4000)$$

$$P_1 = 214472 \text{ Kg} = \underline{214.472 \text{ ton}}$$

$$P_b = 0.75 (b a_b f''_c + A'_s f_y - A_s f_y)$$

$$P_b = 0.75 (100 \times 21.6 \times 170 + 12.95 \times 4000 - 18.72 \times 4000)$$

$$P_b = 258090 \text{ Kg} = \underline{258.09 \text{ ton}}$$

$$P'_u = 153.782 \text{ ton}$$

$$P_1 = 214.472 \text{ ton}$$

$$P_b = 258.09 \text{ ton}$$

$$P_u = 198.075 \text{ ton}$$

como

$$P_u \geq P' \quad \text{y} \quad P_u \leq P_1$$

$$198.075 > 153.782 \quad \text{y} \quad 198.075 < 214.472 \text{ ton}$$

Entonces $F_R = 0.85$

$$a = \frac{(A_s - A'_s) f_y + Pu/F_R}{bf''_c}$$

$$a = \frac{(18.72 - 12.95) 4000 + 198075/0.85}{100 \times 170} = 15.0653 \text{ cm}$$

CALCULO DE LA FUERZA DEL ACERO A TENSION

como

$$0 \leq a \leq a_b$$

$$0 < 15.0653 < 21.6$$

entonces

$$f_s = f_y = 4000 \text{ Kg/cm}^2 \text{ y } T_s = A_s f_y$$

CALCULO DE LA FUERZA DEL ACERO A COMPRESION

como

$$a \geq a'_b$$

$$15.0653 > 12$$

entonces

$$f'_s = f_y = 4000 \text{ Kg/cm}^2 \text{ y } C_s = A'_s f_y$$

CALCULO DEL FACTOR DE REDUCCION

como

$$0 \leq a \leq 0.75 a_b$$

$$0 < 15.0653 < 16.2$$

entonces

$$F_R = 0.85$$

CALCULO DEL MOMENTO RESISTENTE ULTIMO

$$M_{ur} = F_R \left[(h/2 - c) \underbrace{A_s f_s}_{T_s} + (h/2 - c') A'_s f'_s + \frac{b a f''_c (h-a)}{2} \right]$$

$$M_{ur} = 0.85 \left[\left(\frac{50}{2} - 5 \right) 18.72 \times 4000 + \left(\frac{50}{2} - 5 \right) 12.95 \times 4000 + \frac{100 \times 15.0653 \times 170 (50 - 15.0653)}{2} \right]$$

$$M_{ur} = 5956090 \text{ Kg-cm} = \underline{59.5609 \text{ Ton-M}} \quad \underline{21.88 \text{ Ton-M}}$$

∴ si pasa

IV.9. REVISION POR FLEXION DEL ACERO DE LOS MUROS (QUE SE CORRE A LA GUARNICION)

DATOS

$$M_u = 60.975 \text{ T-M}$$

$$h = 130 \text{ cm}$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

$$c = 10 \text{ cm}$$

$$d = 120 \text{ cm}$$

$$F_R = 0.9 \text{ (factor por flexión)}$$

$$f'_c = 250 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f^*_c = 200 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f''_c = 170 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_y = 4000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P = \frac{170}{4000} \left[1 - \sqrt{\frac{2 (60.975) \times 10^5}{0.9 \times 100 \times (120)^2 \times 170}} \right]$$

$$P = 0.00119295 < P_{\min} = 0.002767$$

$$A_{S_{\min}} = Pbd = 0.002767 \times 100 \times 120$$

$$A_{S_{\min}} = \frac{33.204 \text{ cm}^2}{\therefore \text{no pasa}} > 18.72 \text{ cm}^2 \text{ (que corresponden a \# 4 + \# 6 a 22)}$$

Como no hemos considerado el área del acero de las grapas 2 # 6 a 15 (A_{Si}) y en la cual $A_{Si} = 38 \text{ cm}^2$

Sumando las dos áreas de acero

$$(\# 4 + \# 6 \text{ a } 22) \quad 18.72 \text{ cm}^2 + A_{Si} = 38 \text{ cm}^2 = 56.72 \text{ cm}^2$$

$$\therefore \text{ como } 56.72 \text{ cm}^2 \quad A_{s_{\min}} = 33.204 \text{ cm}^2$$

entonces si cumplimos

IV.10. DISEÑO DE LA LOSA (JUNTA 3)

DATOS

CONSTANTES

$$M_u = 17.37 \text{ T-M}$$

$$f'_c = 250 \text{ Kg/cm}^2$$

$$h = 60 \text{ cm}$$

$$f^*_c = 200 \text{ Kg/cm}^2$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

$$f''_c = 170 \text{ Kg/cm}^2$$

$$c = 5 \text{ cm}$$

$$f_y = 4000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$d = 55 \text{ cm}$$

$$F_R = 0.9 \text{ (factor por flexión)}$$

$$F_{R'} = 0.8 \text{ (factor por cortante)}$$

$$P_{\min} = \frac{0.7 \sqrt{f'_c}}{f_y} = \frac{0.7 \sqrt{250}}{4000} = 0.00277$$

$$P_{\max} = 0.75 P_b$$

$$P_b = \left(\frac{4800}{6000 + f_y} \right) \times \frac{f''_c}{f_y}$$

$$P_b = \frac{4800}{6000 + 4000} \times \frac{170}{4000} = 0.0204$$

$$P_{\max} = 0.75 (0.0204) = 0.0153$$

FLEXION

$$P = \frac{170}{4000} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 17.37 \times 10^5}{0.9 \times 100 \times (55)^2 \times 170}} \right] = 0.00162615$$

$$\therefore \text{ como } P = 0.00162615 < P_{\min} = 0.00277$$

entonces diseñamos con P_{\min}

$$A_s = P_{\min} b d = 0.00277 \times 100 \times 55 = 15.235 \text{ cm}^2$$

con 1 var # 6

$$s = \frac{b a_o}{A_s} = \frac{100 \times 2.85}{15.235} = 18.7 \text{ cm} \approx \underline{\underline{18 \text{ cm}}}$$

\therefore 1 var. # 6 a 18

ARMADO POR TEMPERATURA

(sentido longitudinal de la losa)

$$A_s = \frac{450 \times h}{f_y (h+b)} \times b = \frac{450 \times 60}{4000 (60 + 100)} \times 100$$

$$A_s = 4.22 \text{ cm}^2$$

Proponiendo vars. # 4 a 30

$$A_s = \frac{b a_o}{s} = \frac{100 \times 1.27}{30} = 4.23 \text{ cm}^2 > A_s = 4.22 \text{ cm}^2$$

∴ si cumple y entonces se usan vars. del # 4 a 30 en sentido longitudinal.

ARMADO POR CORTANTE

1a. Condición

2a. Condición

$$V_1 = 1.129 \times 1.5 = 1.69 \text{ ton}$$

$$V_1 = 1.313 \times 1.5 = 1.96 \text{ ton}$$

$$V_2 = 2.319 \times 1.5 = 3.47 \text{ ton}$$

$$V_2 = 2.69 \times 1.5 = 4.04 \text{ ton}$$

$$V_3 = 0.038 \times 1.5 = 0.057 \text{ ton}$$

$$V_3 = 0.044 \times 1.5 = 0.066 \text{ ton}$$

$$V_4 = 9.037 \times 1.5 = 13.55 \text{ ton}$$

$$V_4 = 10.511 \times 1.5 = 15.76 \text{ ton}$$

$$V_5 = 28.464 \times 1.5 = 42.696 \text{ ton}$$

$$V_5 = 33.104 \times 1.5 = 49.656 \text{ ton}$$

REVISIÓN POR CORTANTE EN EL MIEMBRO (5)

UNION LOSA- ZAPATA

$V_u = 49.656 \text{ ton}$ (2a. Condición) se escoge por ser el más crítico

$$\text{como } P = 0.0011956 \quad 0.01$$

$$\therefore V_{cr} = F_R \times b \times d (0.2 + 30 p) \sqrt{f_c^*}$$

$$V_{cr} = 0.8 \times 100 \times 120 (0.2 + 30 (0.0011956)) \sqrt{200}$$

$$V_{cr} = 32.022 \text{ ton}$$

como $V_u > V_{cr}$ ∴ necesita estribos

$$V' = V_u - V_{cr} = 49.656 - 32.022 = 17.634 \text{ ton}$$

$$V' = 17\,634 \text{ Kg}$$

$$S = \frac{F_R A_v f_y}{V'} d$$

proponiendo E # 3 a 20 (en sentido longitudinal)

$$S = \frac{0.8 \times 5 \times 0.71 \times 4000}{17\,634} \times 120 = 77.3$$

∴ doy E # 3 a 30

El primer estribo se colocará a S/2 a partir del paño interior del túnel o sea a $30/2 = 15$ cm

Armado por temperatura
(sentido longitudinal de la guarnición)

$$A_s = \frac{450 \times 130}{4000 (100 + 130)} \times 100 = 6.36 \text{ cm}^2$$

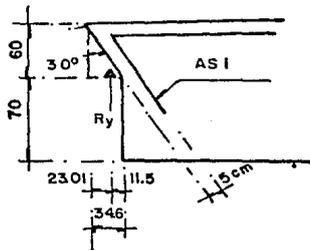
con var # 4

$$S = \frac{100 (1.27)}{6.36} = 20 \text{ cm}$$

∴ usar vars # 4 a 20 (sentido longitudinal)

IV.11. DISEÑO DE LA UNION LOSA-ZAPATA COMO MENSULA

Miembro 4 caso más desfavorable $V_u = 15.76$ ton (segunda condición)
 Miembro 4 $V_u = 13.55$ ton (primera condición)



REQUISITO POR RESISTENCIA

$$R_{Y'} = 15.76 \text{ ton}$$

REQUISITO POR LIMITACION DE AGRIETAMIENTO

$$R_Y = n R$$

$$R_Y = 13.55 \text{ ton}$$

$$n = 1.6 \times \frac{f_y}{3000} \times \frac{300}{f'_c}$$

$$n = 1.6 \times \frac{4000}{3000} \times \frac{300}{250} = 2.34$$

$$R_Y = \gamma_R = 2.34 \times 13.55 = 31.707 \text{ ton}$$

$$\text{como } R_Y = 31.707 > R_{Y'} = 15.76 \text{ ton}$$

∴ rige el requisito para limitar el agrietamiento

CALCULO DEL A_{Si}

$$A_{Si} = \frac{R_y}{f_y \cos 30^\circ} = \frac{31\,707}{4000 \cos 30^\circ} = 9.153 \text{ cm}^2$$

$$A_{S_{\min}} = \frac{0.7 \sqrt{250}}{4000} \times 100 \times 120 = 33.2 \text{ cm}^2 > A_{Si}$$

$$\text{se usa } A_{S_{\min}} = 33.2 \text{ cm}^2$$

∴ con 2 var # 6 a 15

$$A_s = 38 \text{ cm}^2 > 33.2 \text{ cm}^2$$

$$P = \frac{A_s}{(h \sec 30^\circ - r) b} = \frac{38}{(60 \sec 30^\circ - 5) \times 100}$$

$$\sec \alpha = \frac{1}{\cos \alpha} = 1.1547$$

$$P = \frac{38}{[(60 \times 1.1547) - 5] \times 100} = 0.00591145$$

$$P_b = \frac{4800}{6000 + f_y} \times \frac{f'_c}{f_y} = \frac{4800}{6000 + 4000} \times \frac{170}{4000} = 0.0204$$

$$P_{\text{máx}} = 0.75 P_b = 0.75 \times 0.0204 = 0.0153$$

$$P_{\text{máx}} = 0.0153 \gg P = 0.005911$$

∴ El acero fluye antes de que el concreto falle.

CAPITULO V

ALTERNATIVAS DE SOLUCION

En el capítulo anterior se efectúa todo un procedimiento de cálculo del diseño de los túneles gemelos, basado en la teoría de la resistencia última. Como los túneles gemelos se encuentran separados por una masa de tierra que es la diferencia ya que en cuanto a su geometría en ambos es la misma. Por lo tanto su diseño es el mismo.

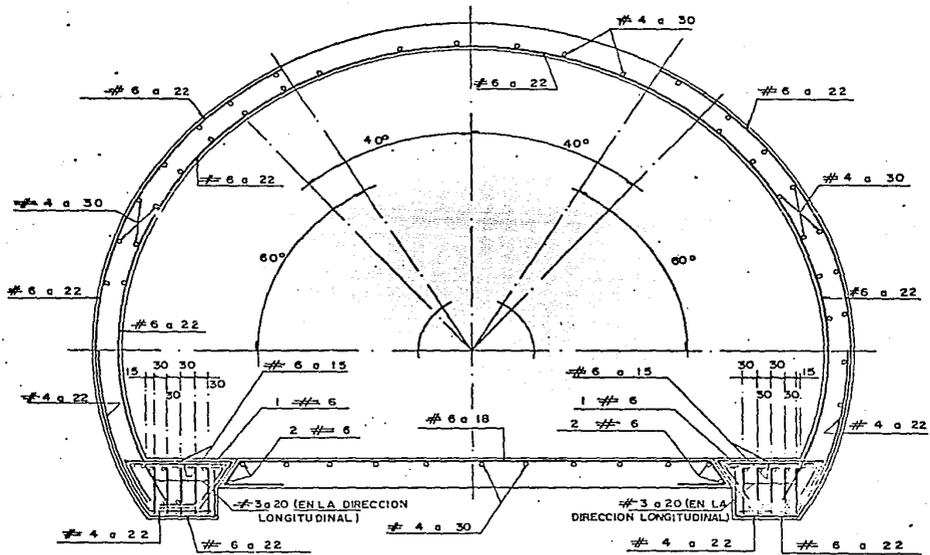
De tal manera que se efectúa una primera alternativa de solución, la cual contempla una primera opción en la que se diseña con $A_{s_{min}}$ y una segunda opción con un A_s menor que el $A_{s_{min}}$ y se presentan estas dos opciones con el propósito de dar a saber que con el propósito de dar a saber que con el armado con A_s menor que el mínimo superamos las cargas y momentos últimos proporcionados en los diagramas de elementos mecánicos dados por el marco idealizado, tal como se da a conocer en el capítulo tres titulado "Análisis".

En la segunda alternativa de solución se omite todo el procedimiento del diseño ya que con la teoría dada se podrá verificar dicha solución.

En esta alternativa se da una sola variante con respecto a la primera alternativa y es el $f'_c = 200 \text{ Kg/cm}^2$ (esfuerzo --

del concreto a compresión).

En seguida se darán a manera de croquis los resúmenes de las secciones con sus respectivos armados definitivos. Y finalmente se muestra una tabla comparativa de las alternativas propuestas.

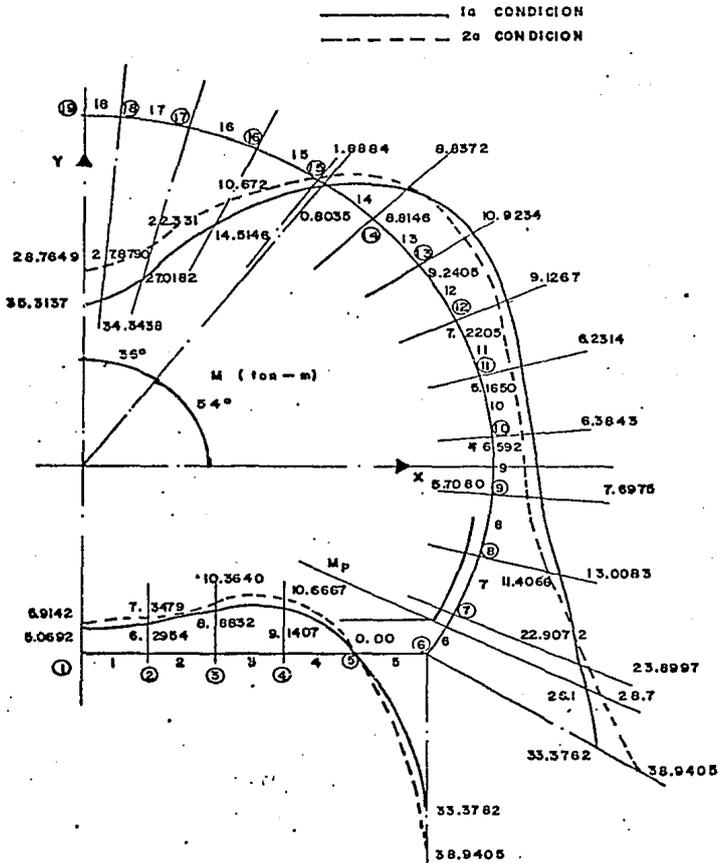


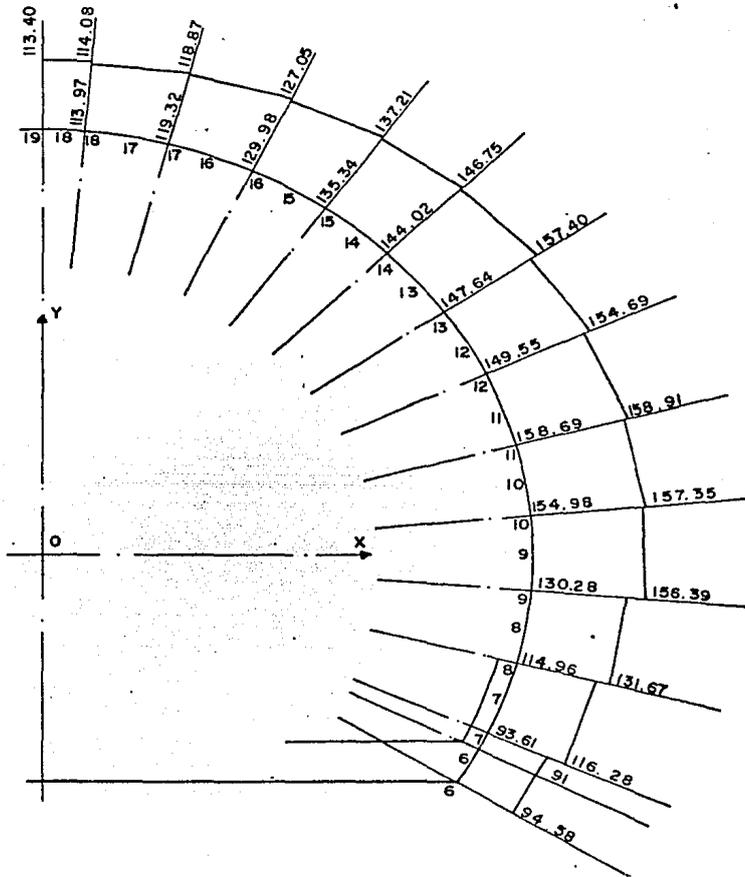
A R M A D O
1a. OPCION

ELECCION DE ELEMENTOS MECANICOS DE DISEÑO
(RESUMEN)

	1a. Condición	2a. Condición
	$M = 35.3137 \text{ T-M}$	$M = 28.7649 \text{ T-M}$
Clave Junta 19	$M_U = 1.5 \times 35.3137 = 52.97 \text{ T-M}$	$M_U = 1.5 \times 28.7649 = 43.1474 \text{ T-M}$
	$P = 113.40$	$P = 116.74 \text{ ton}$
	$P_U = 1.5 \times 113.40 = 170.1 \text{ Ton}$	$P_U = 1.5 \times 116.74 = 175.11 \text{ Ton.}$
Miembro 6 Junta 6 Unión Losa Muro al paño	$M = 26.1 \text{ T-M}$	$M = 28.7 \text{ T-M}$
	$M_U = 1.5 \times 26.1 = 39.15 \text{ T-M}$	$M_U = 1.5 \times 28.7 = 43.05 \text{ T-M}$
	$P = 9.10 \text{ Ton}$	$P = 99.0 \text{ Ton}$
	$P_U = 1.5 \times 91.0 = 136.5 \text{ Ton}$	$P_U = 1.5 \times 99.0 = 148.5 \text{ Ton}$
Losa Miembro 4 Junta 4	$M = 9.1427 \text{ T-M}$	$M = 10.6667 \text{ T-M}$
	$M_U = 1.5 \times 9.1427 = 13.714 \text{ T-M}$	$M_U = 1.5 \times 10.6687 = 16.0 \text{ T-M}$
	$P = 55.5078 \text{ Ton}$	$P = 65.7613 \text{ Ton}$
	$P_U = 1.5 \times 55.5078 = 83.26 \text{ Ton}$	$P_U = 1.5 \times 65.7613 = 98.64 \text{ Ton}$
Juro Junta 8	$M = 13.0083 \text{ T-M}$	$M = 11.066 \text{ T-M}$
	$M_U = 1.5 \times 13.0083 = 19.51 \text{ T-M}$	$M_U = 1.5 \times 11.4066 = 17.11 \text{ T-M}$
	$P = 131.67 \text{ Ton}$	$P = 134.01 \text{ Ton}$
	$P_U = 1.5 \times 131.67 = 197.505 \text{ Ton}$	$P_U = 1.5 \times 134.01 = 201.0 \text{ Ton.}$
Muro Junta 13	$M = 10.9234 \text{ T-M}$	$M = 9.2405 \text{ T-M}$
	$M_U = 1.5 \times 10.9264 = 16.385 \text{ T-M}$	$M_U = 1.5 \times 9.2405 = 13.86 \text{ T-M o}$
	$P = 157.42 \text{ Ton}$	$P = 156.76 \text{ Ton}$
	$P_U = 1.5 \times 157.42 = 236.13 \text{ Ton}$	$P_U = 1.5 \times 156.76 = 235.14 \text{ Ton o}$

2— ALTERNATIVA



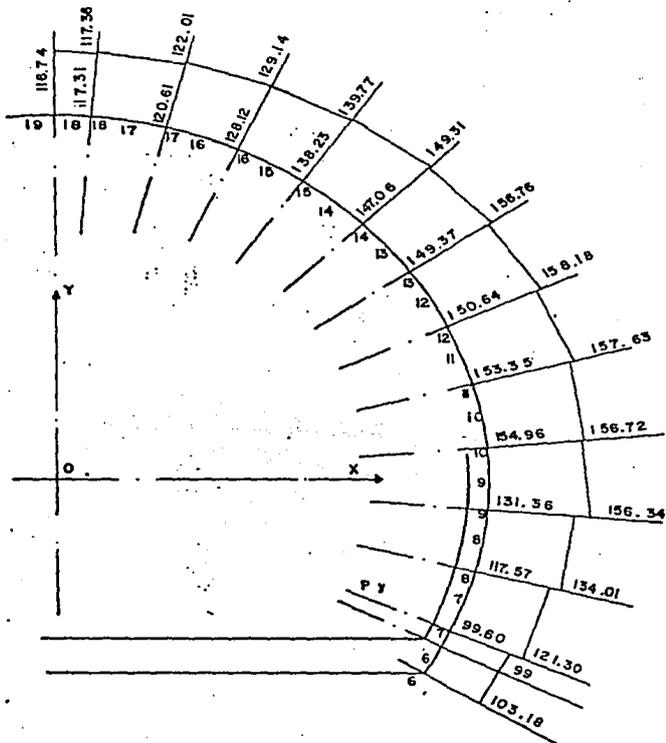


CARGAS AXIALES
(2a ALTERNATIVA)

ESC. FIG. 1 : 7 5

ESC. FIG. 1 : 7 5

2ª CONDICION



C A R G A S A X I A L E S

(2 ª A L T E R N A T I V A)

TABLA COMPARATIVA DE DISEÑO

JUNTA 6 MIEMBRO	PRIMERA ALTERNATIVA		SEGUNDA ALTERNATIVA		DIFERENCIA 1a. CONDICION	DIFERENCIA 2a. CONDICION
	CONCRETO ($f'_c = 250 \text{ Kg/cm}^2$)		CONCRETO ($f'_c = 200 \text{ Kg/cm}^2$)			
	1a. CONDICION	2a. CONDICION	1a. CONDICION	2a. CONDICION		
CLAVE JUNTA 19	$M_u = 56.25 \text{ T-M}$ $P_u = 168.675 \text{ T}$	$M_u = 45.54 \text{ T-M}$ $P_u = 174.075 \text{ T}$	$M_u = 52.97 \text{ T-M}$ $P_u = 170.1 \text{ T}$	$M_u = 43.1474 \text{ T-M}$ $P_u = 175.11 \text{ T}$	$M_u = 3.28 \text{ T-M}$	$M_u = 2.39 \text{ T-M}$
MIEMBRO 6 JUNTA 6	$M_u = 41.85 \text{ T-M}$ $P_u = 142.05 \text{ T}$	$M_u = 45.75 \text{ T-M}$ $P_u = 153 \text{ T}$	$M_u = 39.15 \text{ T-M}$ $P_u = 136.5 \text{ T}$	$M_u = 43.05 \text{ T-M}$ $P_u = 148.5 \text{ T}$	$M_u = 2.7 \text{ T-M}$	$M_u = 2.7 \text{ T-M}$
MIEMBRO 4 JUNTA 4	$M_u = 14.925 \text{ T-M}$ $P_u = 83.925 \text{ T}$	$M_u = 17.3 \text{ T-M}$ $P_u = 99.62 \text{ T}$	$M_u = 13.714 \text{ T-M}$ $P_u = 83.26 \text{ T}$	$M_u = 16.0 \text{ T-M}$ $P_u = 98.64 \text{ T}$	$M_u = 1.211 \text{ T-M}$	$M_u = 1.37 \text{ T-M}$
JUNTA 8	$M_u = 21.885 \text{ T-M}$ $P_u = 198.075 \text{ T}$	$M_u = 19.23 \text{ T-M}$ $P_u = 201.645 \text{ T}$	$M_u = 19.51 \text{ T-M}$ $P_u = 197.505 \text{ T}$	$M_u = 17.11 \text{ T-M}$ $P_u = 201.0 \text{ T}$	$M_u = 2.375 \text{ T-M}$	$M_u = 2.12 \text{ T-M}$
JUNTA 13	$M_u = 16.75 \text{ T-M}$ $P_u = 235.38 \text{ T}$	$M_u = 14.25 \text{ T-M}$ $P_u = 234.6 \text{ T}$	$M_u = 16.385 \text{ T-M}$ $P_u = 236.03 \text{ T}$	$M_u = 13.86 \text{ T-M}$ $P_u = 235.14 \text{ T}$	$M_u = 0.565 \text{ T-M}$	$M_u = 0.39 \text{ T-M}$

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

La perspectiva que presenta la técnica de la construcción de túneles en el desarrollo de una infraestructura tan necesaria en nuestro país, se ha llevado a la práctica y con gran éxito, lo que no tuvo en épocas pasadas.

Esto se debe en gran parte a nuestro complejo desarrollo político, social y económico que traemos arrastrando desde -- los inicios como nación independiente como consecuencia de -- problemas internos. Por este motivo no se pudo llevar a cabo una planeación adecuada de nuestro sistema carretero nacional de acuerdo con las condiciones geográficas y de asentamientos de nuestra población.

Como sabemos, las cadenas montañosas localizadas en una gran parte de la superficie del país nos impiden desplazarnos con la suficiente rapidez y eficiencia necesaria de una ciudad a otra como en este caso.

De ahí la importancia de la aplicación de esta técnica -- que nos proporciona el conocimiento fundamental de la construcción de túneles tan necesarios en zonas donde las cadenas montañosas nos impiden la comunicación al sitio que queremos, viéndonos obligados a rodear la zona para poder llegar al poblado, lo cual se evitaría.

Las ventajas que nos proporciona redundan en un ahorro de tiempo, funcionalidad y seguridad en el movimiento vehicular, evitándonos costos excesivos de productos que requieren de un trato muy especial por parte de distribuidores así como pérdidas de vidas humanas.

La construcción de los túneles carreteros denominada "Túneles Gemelos de Arteaga y Salazar" surgida de la necesidad de una comunicación eficiente y segura entre dos ciudades como son la ciudad de México y la ciudad de Toluca con una población superior y no acorde con la infraestructura actual, - dió motivo de preocupación a nuestros gobernantes por lo cual decidieron elaborar estudios de viabilidad, mecánica de suelos, etc. llegando a elaborar un proyecto final y llevado a la - - práctica resumido en este trabajo.

Por lo analizado anteriormente se puede concluir que la técnica de la construcción de túneles promete alcances valiosos en el desarrollo de nuestra infraestructura y no solamente en túneles carreteros tiene su aplicación, sino también para otras necesidades como abastecimiento de agua potable y al cantarillado y que sigue mejorándose con el afán de llegar a constituirse en la más óptima posible, con el fin de crear -- obras con un grado de seguridad aceptable y en un tiempo razonable para economizar lo máximo posible la construcción que - se lleve a cabo.

REFERENCIAS

1. Karl Terzaghi. Theoretical Soil Mechanics
Ed. John Wiley.
2. Requisitos de Seguridad y Servicio para las Estructuras. Publicación 400 del Instituto de Ingeniería, U.N.A.M. - 1976.
3. Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto. Publicación 401 del Instituto de Ingeniería, U.N.A.M., Diciembre- 1976.
4. K. Széchy. The Art of Tunnelling. Publicación de Akadémiai Kiado.
Budapest 1973.
5. W. C. Teng. Foundation Design
Ed. Prentice Hall.
6. Revista Ingeniería
Enero - Marzo de 1973.