

300615



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA

CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA U.N.A.M.

21
2ej

**ANALISIS Y DISEÑO DE LA LOSA DE GENERADORES
DEL PROYECTO HIDROELECTRICO AGUA PRIETA
JAL. POR MEDIO DEL ELEMENTO FINITO**

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :

CARLOS ANTONIO STAVOLI ALCANTARA

DIRECTOR DE TESIS: M. EN I. FCO. JAVIER RIBE MARTINEZ DE VELASCO

MEXICO, D. F.

~~1991~~

PAGINACION

1992

DESCONTINUA.



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE GENERAL

TEMA	PAG.
INTRODUCCION. -	1
CAPITULO 1. -GENERALIDADES	3
1.1 DESCRIPCION DEL PROYECTO.	
1.2 ALCANCES DEL PROYECTO.	
1.3 DATOS HIDROLOGICOS DEL PROYECTO.	
1.4 DESCRIPCION DE LAS ESTRUCTURAS QUE COMPONEN EL PROYECTO.	
1.4.1 PRESA DERIVADORA DE CRESTA LIBRE.	
1.4.2 DESARENADORES.	
1.4.3 OBRAS DE TOMA.	
1.4.4 LINEAS DE CONDUCCION.	
1.4.5 TANQUE DE REGULACION.	
1.4.6 TUBERIA A PRESION.	
1.5 CASA DE MAQUINAS.	
1.6 LOSA DE GENERADORES.	
CAPITULO 2. -EL METODO DEL ELEMENTO FINITO.	11
2.1 TEORIA DEL ELEMENTO FINITO.	
2.2 APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO EN LAS COMPUTADORAS.	
2.2.1 TIPOS DE PROGRAMAS DE ELEMENTO FINITO.	
2.3 SISTEMA INTEGRADO (ICES).	
2.4 EL PROGRAMA STRUDL.	

CAPITULO 3. - ANALISIS ESTRUCTURAL. 23

- 3.1 INTRODUCCION.
- 3.2 PROPIEDADES DE LA LOSA DE GENERADORES.
- 3.3 TRAZO DE LA RED Y RECOMENDACIONES.
- 3.4 ENTRADA DE DATOS.
 - 3.4.1 INICIACION DEL PROBLEMA.
 - 3.4.2 TIPO DE PROBLEMA.
 - 3.4.3 UNIDADES.
 - 3.4.4 COORDENADAS DEL SISTEMA.
 - 3.4.5 TOPOLOGIA DEL SISTEMA.
 - 3.4.6 CONDICIONES DE APOYO.
 - 3.4.7 PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS.
 - 3.4.8 CONSTANTES.
 - 3.4.8.1 MODULO DE ELASTICIDAD.
 - 3.4.8.2 PESO VOLUMETRICO.
 - 3.4.8.3 RELACION DE POISSON.
 - 3.4.9. ANALISIS DE CARGAS.
 - 3.4.9.1 CARGA MUERTA.
 - 3.4.9.2 CARGA VIVA.
 - 3.4.10 DETERMINACION DEL TIPO DE ANALISIS.
- 3.5 RESULTADOS DEL ANALISIS.
 - 3.5.1 ELEMENTOS MECANICOS EN LOS APOYOS.
 - 3.5.2 DESPLAZAMIENTOS.
 - 3.5.3 ELEMENTOS MECANICOS.

CAPITULO 4. - DISEÑO ESTRUCTURAL 49

- 4.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO.
- 4.2 FRANJAS DE DISEÑO.
- 4.3 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.

- 4.3.1 CALCULO DEL ARMADO BASICO.
- 4.3.2 OBTENCION DE DIAGRAMAS DE MOMENTO.
- 4.3.3 CALCULO DE BASTONES.
- 4.3.3.1 LONGITUD DE ANCLAJE DE BASTONES.
- 4.3.3.2 CALCULO DE GANCHOS.
- 4.4 DISEÑO DE ELEMENTOS TRABE.
- 4.5 REFUERZO ADICIONAL EN HUECOS.
- 4.6 RESUMEN DE RESULTADOS.

CAPITULO 5. - RECOMENDACIONES DE CONSTRUCCION 112

- 5.1 ELABORACION DEL CONCRETO.
- 5.2 ACERO DE REFUERZO.
- 5.3 JUNTA DE CONSTRUCCION.

CONCLUSIONES. 117

BIBLIOGRAFIA. 119

INTRODUCCION.

Antiguamente los métodos matriciales no eran considerados como una herramienta útil en el análisis estructural, debido a que estos métodos conducen a obtener sistemas de ecuaciones lineales a resolver exageradamente grandes, cuya solución resulta muy tardada e impráctica.

Pero actualmente, con el avance vertiginoso en el desarrollo de las computadoras, haciendo estas mas veloces y con mayor capacidad de almacenamiento de datos, han dado pie a la utilización de métodos numéricos en el análisis estructural como es el caso del método del elemento finito; ya que con el pueden resolverse estructuras de forma irregular, constituidas por más de un solo material, así como también se pueden manejar distintas condiciones de apoyo, lo cual sería mucho más complicado resolverlas con procedimientos matemáticos tradicionales.

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos utilizando el método del elemento finito para el análisis y diseño de la losa de generadores del proyecto hidroeléctrico Agua Prieta.

Teniendo como objetivo principal que el presente estudio pueda ser utilizado como guía o como consulta para la resolución de problemas similares en futuros proyectos hidroeléctricos.

Anteriormente, este tipo de losas se resolvían idealizando el problema de la siguiente forma; se consideraba en principio para el análisis estructural, que la losa estaba formada por traveses que constituían una retícula, estas a la vez se apoyaban en traveses transversales que se apoyaban sobre los muros longitudinales de la casa de máquinas.

Este tipo de solución llevaba a la obtención de traveses de secciones irregulares y de peralte variable, lo cual dificulta

en principio el análisis estructural. Además de que al final se obtienen armados y peraltes de losa exageradamente grandes, dificultando aún más su construcción.

Ahora en cambio, con la utilización del método del elemento finito, nos va a permitir conocer los elementos mecánicos en cada diferencia finita, lo cual nos facilita el diseño de cada elemento de losa con las características más aproximadas a las que esta realmente requiere.

C A P I T U L O 1

GENERALIDADES

1.1 DESCRIPCION DEL PROYECTO.

La Comisión Federal de Electricidad, lleva a cabo en los municipios de Guadalajara y Zapopan, el proyecto hidroeléctrico Agua Prieta con el objeto de satisfacer la demanda de energía eléctrica en horas pico, ocasionado por el crecimiento urbano e industrial en la zona metropolitana de la ciudad de Guadalajara. Para este objeto, se aprovecharán las aguas residuales de la misma, captandolas por el lado oriente de la ciudad, desde los arroyos Osorio y San Andrés, mediante presas derivadoras, para posteriormente ser llevadas por medio de una conducción a lo largo de ocho kilómetros aproximadamente hasta ser descargadas en el río San Juan de Dios.

En la confluencia del río San Juan de Dios y el arrollo Atemajac, se captará la totalidad de las aguas residuales, utilizando para este objeto dos presas derivadoras interconectadas entre sí; posteriormente estas aguas se transportarán utilizando conductos cerrados en una longitud de seis kilómetros aproximadamente, hasta un tanque artificial donde se regularán para ser extraídas diariamente en un tiempo aproximado de cinco horas, por medio de un túnel a presión que posteriormente se bifurcará en dos ramales secundarios, mismos que también se dividen en la proximidad de casa de máquinas para suministrar un gasto de $26.3 \text{ m}^3/\text{s}$ a cada unidad generadora.

1.2 ALCANCES DEL PROYECTO.

Debido a que la explosión demográfica en la zona metropolitana contribuirá al aumento de las aguas residuales, así

como a la demanda de energía eléctrica, se ha contemplado construir el proyecto en tres etapas; en la primera etapa (1992), se tiene previsto instalar 240 MW con dos unidades tipo pelton de 120 MW cada una, con esto se tendrá una generación media anual de 482.36 GWH, en la segunda etapa (2000) se instalará otra unidad generadora que permitirá tener una potencia instalada de 360 MW y una generación de 631 GWH, y en la tercera y última etapa (2008) se instalará la cuarta unidad teniendo entonces una potencia instalada de 480 MW, logrando así una generación media anual de 928.1 GWH.

1.3 DATOS HIDROLOGICOS DEL PROYECTO.

Desde el punto de vista hidrológico, se aprovecharán las aguas residuales de las cuencas Osorio, San Andrés y Atemajac, cuyas áreas de aportación suman un total de 270.35 km².

Con base en un análisis de los gastos horarios y medios horarios en las distintas cuencas, se determinó que existen variaciones en los gastos, además se observó que el volumen de descargas de aguas residuales también es variable debido a los diferentes usos normales del agua en distintas estaciones del año, independientemente del incremento por aportación directa de aguas pluviales en los colectores combinados.

Con estas observaciones se fijaron entonces los gastos medios de diseño para las distintas etapas de construcción del proyecto mencionadas anteriormente; para la primera etapa en 1992, se asignó un gasto medio de 14.89 m³/s, para la segunda en el año 2000 se considera un gasto de 20.27 m³/s, y finalmente 24 m³/s para la tercera etapa en el año 2008.

1.4 DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS QUE COMPONEN EL PROYECTO.

1.4.1 PRESAS DERIVADORAS DE CRESTA LIBRE.

Su función principal, consiste en sobreelevar los niveles en los cauces naturales y así extraer los gastos correspondientes que serán conducidos para su aprovechamiento; en el proyecto se cuenta con dos presas de este tipo, una ubicada en la captación de San Juan de Dios y la otra en Atemajac, de las cuales sus principales características son, las siguientes:

CAPTACIONES	SAN JUAN DE DIOS	ATEMAJAC
TIPO	Presa derivadora	Presa derivadora
VERTEDOR	Cresta libre	Cresta libre
LONG. DE CRESTA	43.00 mts	40.00 mts
CAP. DE DESCARGA	700 m ³ /s	460 m ³ /s
ELEV. DE LA CRESTA	1479.12 m.s.n.m.	1479.00 m.s.n.m.
ELEV. DEL N. A. M. E.	1483.00 m.s.n.m.	1482.00 m.s.n.m.
LONG. DESARENADORES	218.00 mts	95.00 mts

1.4.2 DESARENADORES.

Dado que en este proyecto se utilizarán aguas residuales para generar energía, y como este tipo de aguas contienen gran cantidad de sólidos, es necesaria la construcción de los desarenadores en una zona cercana a la obra de toma con el objeto de mantenerla limpia durante la operación normal de la planta.

1.4.3 OBRAS DE TOMA.

La estructura de obra de toma de Atemajac, contará con rejillas autolimpiantes ya que se estimó que el máximo volumen de

basura esperado al inicio de la época de lluvias será de $20\text{m}^3/\text{día}$.

En la captación de San Juan de Dios, se dejará prevista una obra civil semejante a la obra de toma mencionada y se equipará en caso de ser necesario con un dispositivo similar, en cambio las rejillas en las captaciones Osorio y San Andrés, serán fijas y se limpiarán manualmente, debido a que el volumen de basura que se espera es del orden del 15% de los volúmenes estimados en las captaciones principales.

1.4.4 LINEAS DE CONDUCCION.

La conducción de Osorio a San Andrés y de este último a la confluencia del Atemajac con el río San Juan de Dios, se diseñó por gravedad, aprovechando el desnivel topográfico entre las captaciones y el tanque regulador, estimando velocidades entre 1.00 y 3.00 m/s, para evitar el depósito de sedimentos y posibles erosiones en la conducción y además manteniendo una relación de áreas del 80%, dejando el 20% restante para ventilación.

La sección que se seleccionó para el diseño de la conducción Atemajac - Tanque, fue en herradura de 5.00 m. de altura, con un gasto de $39.40\text{ m}^3/\text{s}$, este gasto de proyecto es el máximo horario estimado para el año 2008.

El trazo de la conducción cruza dos cauces naturales, los arroyos Hondo y el Caballito; para lo cual se diseñaron dos sifones invertidos, que constan de dos barriles, uno de 3.80 mts. de diámetro para la primera etapa de operación y una segunda línea de dos metros de diámetro para la segunda etapa para conducir un gasto de 33.24 y $6.16\text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente. La longitud de estos sifones en planta será de 1008.58 mts. en el arroyo Hondo y de 555.732 en el Caballito, teniendo una carga máxima en el primero

de 47.32 metros y de 23.43 metros en el segundo.

1.4.5 TANQUE DE REGULACION.

El tanque de regulación artificial excavado en roca, se construirá en dos etapas, atendiendo al incremento de aguas residuales. La primera se proyectó para una capacidad útil de 1'107,000 m³, y una capacidad muerta de 183,000 m³ para azolves, teniendo así una capacidad total de 1'270,000 m³, en esta etapa se extraerá un gasto de 52.6 m³/s, correspondiente a dos unidades en operación. En la segunda etapa se tendrá una capacidad útil de 1'800,000 m³, y una capacidad muerta de 270,000 m³, con un gasto de extracción de 105.2 m³/s.

Las elevaciones del tanque son las siguientes:

Elevación de la corona	1,470.00 m.s.n.m.
Elevación del N.A.M.O.	1,469.00 m.s.n.m.
Elevación del piso	1,458.00 m.s.n.m.

Cabe aclarar que el tiempo de generación estará en función de la demanda de energía en la zona de Guadalajara y Manzanillo básicamente.

1.4.6 TUBERIA A PRESION.

La tubería a presión que comunica al tanque con la casa de máquinas, se inicia con un tramo en túnel de 5.0 mts. de diámetro y 520.00 mts. de longitud, siendo revestido de concreto en 385.00 mts. y con empaque de concreto y camisa de acero en 135.00 mts.; Posteriormente, continuará con un tramo exterior de fabricación telescópica en acero, con un diámetro variable de 3.80

a 3.20 metros, y una longitud total de 874.00 metros. El siguiente tramo será en tunel con empaque de concreto y camisa de acero, con un diámetro interior de 3.00 metros y una longitud de 240.00 metros, y así en el tramo final en donde se inicia la bifurcación de la tubería a presión, se construirá en zanja, con empaque de concreto y camisa de acero, con un diámetro de 2.40 metros y una longitud variable para cada unidad. Teniendo una carga estática máxima en este punto de 552.50 metros.

1.5 CASA DE MAQUINAS.

La casa de máquinas será de tipo exterior, desplantada sobre roca; en la primera etapa de construcción del proyecto tendrá unas dimensiones de 64.5 de largo por 20.00 metros de ancho y con una altura aproximada de 31.00 metros sobre la elevación de 940.00 m. s. n. m.

Aquí se alojarán dos de las cuatro unidades con las que contará el proyecto en su etapa final, instalando las unidades restantes en dos edificios anexos que se construirán posteriormente, teniendo estos últimos unas dimensiones de 23.10 metros de largo por 20.00 metros de ancho y 31.00 metros de alto cada uno.

Las turbinas instaladas dentro de casa de máquinas, tendrán las siguientes características:

tipo	Pelton de 6 chiflones
gasto de diseño por unidad	26.30 m ³ /s.
carga neta de diseño	508.50 mts.
potencia nominal	120 MW
velocidad de rotación	300 r. p. m.
elevación del eje del distribuidor	946.50 m. s. n. m.

Con respecto a los generadores tendrán las siguientes propiedades:

capacidad nominal por unidad	125 MVA
número de polos	24.00
tensión	16.50 KV
velocidad	300 r.p.m.
factor de potencia	0.95

El edificio de casa de máquinas, se construirá a base de muros y losas de concreto reforzado, la cubierta de la estructura se proyectó utilizando el sistema de losacero, soportada por medio de marcos metálicos; estos últimos, apoyados sobre columnas de concreto.

Este sistema, nos permitirá tener una altura libre de 17.00 metros entre la cubierta y el piso de maniobras, necesaria para que por medio de dos gruas viajeras se puedan instalar y dar mantenimiento a las unidades.

La casa de máquinas se compone de tres niveles principales, siendo el primero el piso de exitadores o losa de generadores superior, ubicado a una elevación de 953.80 m.s.n.m., el segundo nivel corresponde al piso de generadores inferior que se encuentra en la elevación 948.35, y finalmente el piso de turbinas localizado en la elevación 944.00 m.s.n.m.

En la elevación 953.80 y del lado de la fachada aguas abajo estará el taller de reparaciones mecánicas, así como la sala de compresores para contrapresión, la sala de tableros y la sala de baterías.

1.6 LOSA DE GENERADORES.

Como se vio anteriormente en el proyecto existe la losa de generadores inferior en la elevación 948.35, sobre la cual descansan los generadores, y la losa de generadores superior o losa de excitadores ubicada en la cota 953.80.

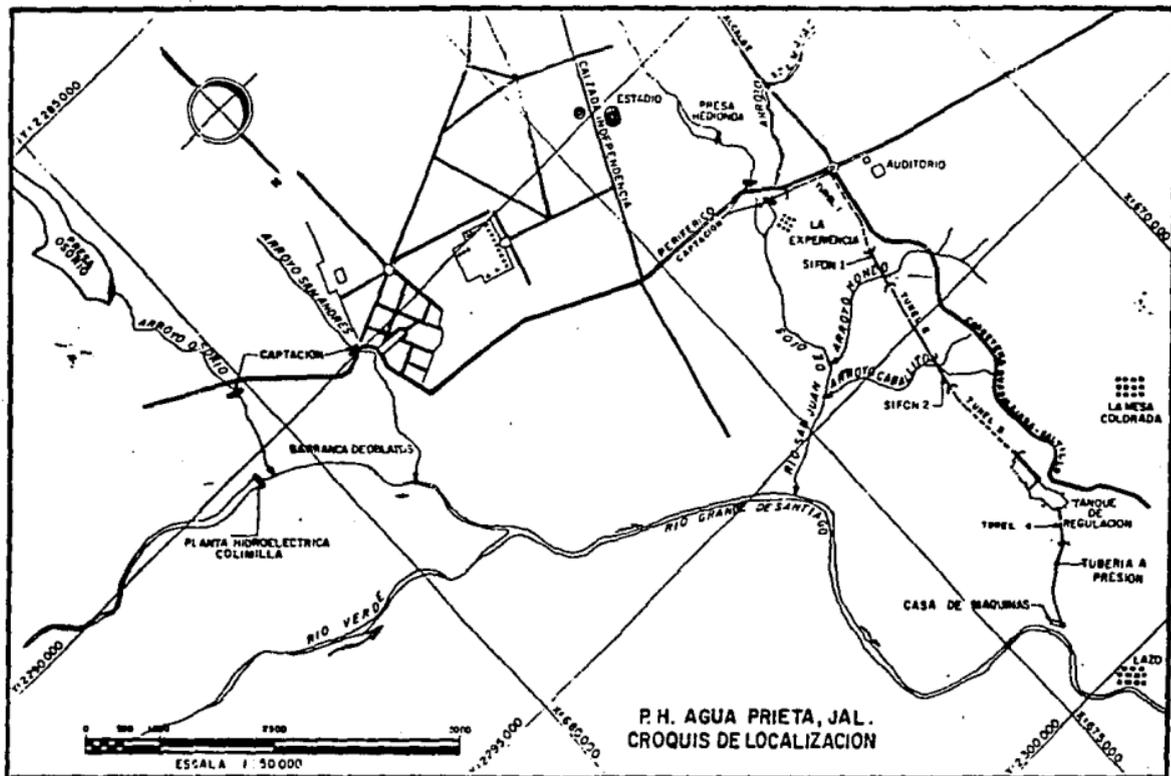
En este trabajo se diseñará la losa de generadores superior, la cual se utiliza principalmente como zona de maniobras, es decir en este lugar se va a instalar el equipo necesario para el montaje de las unidades.

Esta losa no soportará a los generadores, pero si estará sujeta a efectos de cargas verticales causadas por el montaje de las unidades y por vibraciones provocadas durante el funcionamiento de las unidades.

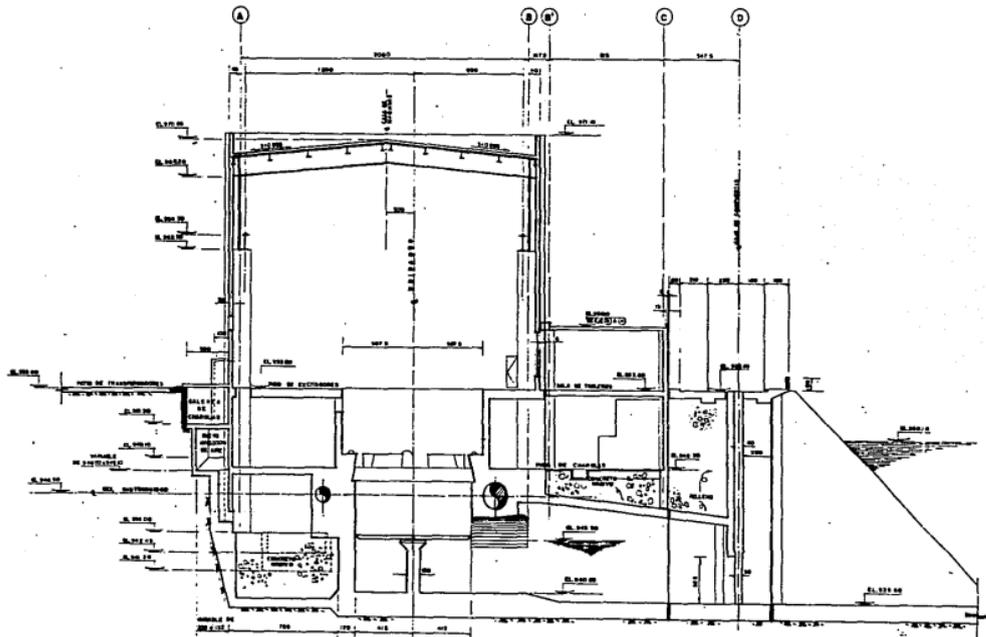
La losa en estudio tendrá 50.30 metros de largo y 22.40 de ancho, con un peralte propuesto de 80 cms. más 5 cms. contando el nivel de piso terminado.

Esta losa tendrá en su geometría dos huecos para los generadores de 10.15 metros de diámetro cada uno, además para la instalación del rotor de cada generador es necesario un hueco de 4.00 por 4.70 metros aproximadamente, y otro que se utiliza para la colocación de la válvula esférica. Así como también se colocarán huecos para escaleras y para el sistema de ventilación.

Es necesario recalcar la importancia de tomar en cuenta la ubicación y las dimensiones exactas de estos huecos durante el análisis estructural, ya que como se verá más adelante juegan un papel muy importante en la distribución de los elementos mecánicos en la losa.



P.H. AGUA PRIETA, JAL.
CROQUIS DE LOCALIZACION



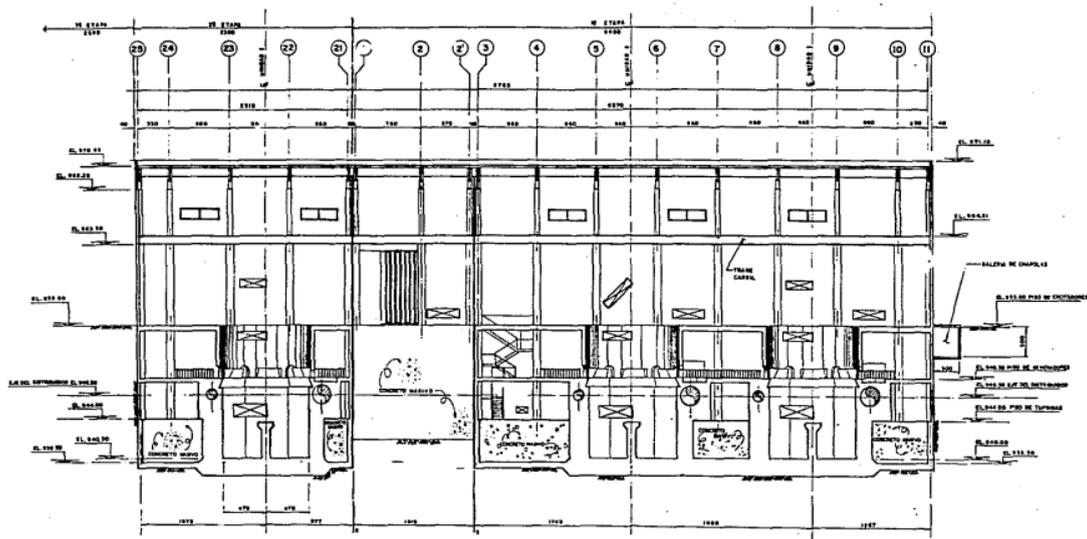
CORTE TRANSVERSAL POR E UNIDAD

ESCALA 1:100

NOTAS:

- ACOTACIONES EN CENTIMETROS
- ELEVACIONES EN METROS
- LAS DIMENSIONES DE LONGITUD COMPRENDEN A POCO TRANSMISOR

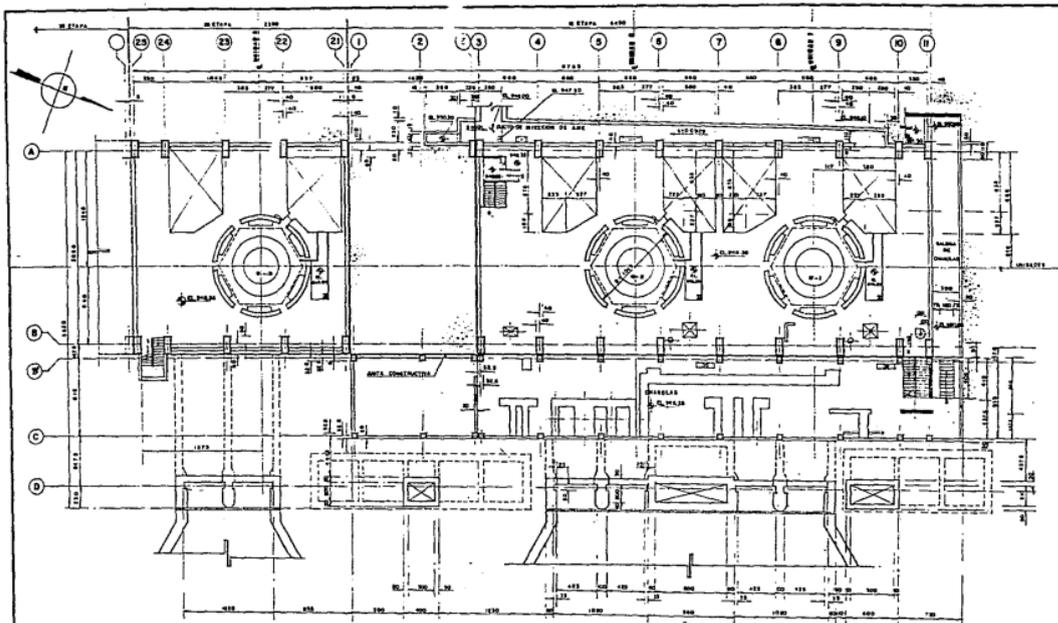
<i>U L S A</i>	
INGENIERIA CIVIL	
TESIS PROFESIONAL	
Carlos Antonio Stóvori Alcántara	
CASA DE MAQUINAS	
CORTE TRANSVERSAL	
1991	PLANO I



NOTAS:
 1. LÍNEAS CONOP EN DESTACADO,
 2. ALICATADO DE MARMOL.
 3. LAS ELEVACIONES DE LOCALS CORRESPONDEN A PISO TERMINADO.

CORTE LONGITUDINAL POR 6 UNIDADES
 VISTA SEGUN EJEMPLO
 ESC. 1:100

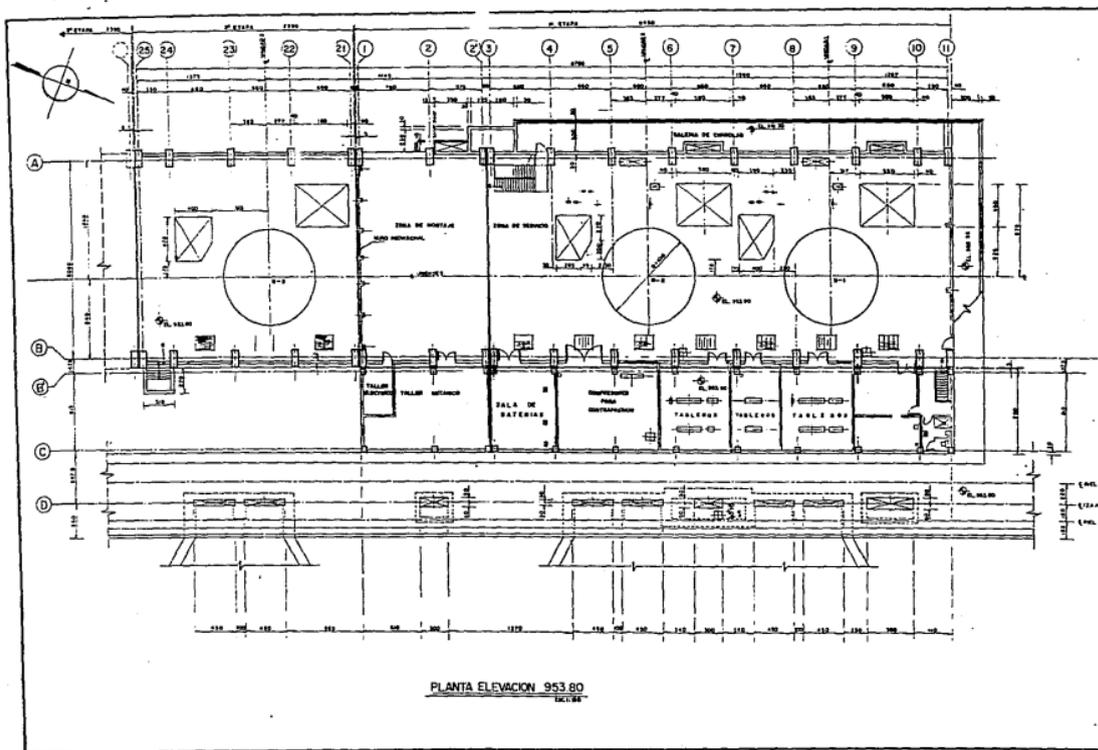
U L S A	
INGENIERIA CIVIL	
TESIS PROFESIONAL	
Carlos Antonio Stival Alcántara	
CASA DE MAQUINAS	
CORTE LONGITUDINAL	
1991	PLANO 2



PLANTA ELEVACION 948.35
Escala 1:200

NOTAS:
 1. LUGARES DE COLOCACION DE LAS PLACAS DE PISO.
 2. LUGAR DE COLOCACION DE LAS PLACAS DE PISO.
 3. LUGAR DE COLOCACION DE LAS PLACAS DE PISO.

U L S A	
INGENIERIA CIVIL	
TESIS PROFESIONAL	
Carlos Antonio Stávoff Alcántara	
CASA DE MAQUINAS	
LOSA ELEV. 948.35	
1991	PLANO 3



NOTAS:
 1.- DIMENSIONES EN METROS.
 2.- ESPESORES EN CENTIMETROS.
 3.- LAS DIMENSIONES SE LEEN SIEMPRE DESDE EL PUNTO DE PARTIDA.

PLANTA ELEVACION 953.80
 1/100

U L S A	
INGENIERIA CIVIL	
TESIS PROFESIONAL	
Carlos Antonio Stávalo Alcántara	
CASA DE MAQUINAS LOSA ELEV. 953.80	
1991	PLANO 4

C A P I T U L O 2

EL METODO DEL ELEMENTO FINITO

Los métodos tradicionales pueden resolver estructuras que se pueden idealizar en sistemas de barras y nudos, pero cuando las estructuras a resolver se vuelven más complejas es necesario tomar la alternativa de utilizar métodos como el elemento finito para su solución.

El concepto principal del cual parte el método consiste en dividir un sistema completo en un conjunto de elementos finitos; tomando en cuenta que la aproximación de los resultados depende directamente en la elección del tamaño y forma de los elementos finitos. El criterio de selección debe ser de tal manera que la forma de los elementos describan la geometría de la estructura de la mejor manera posible.

la figura más comúnmente empleada en problemas de dos dimensiones es el elemento finito triangular con tres puntos nodales, esto se debe a que el triángulo se puede ajustar más a elementos estructurales irregulares. Aunque las condiciones de deformación para cada elemento deben estar dadas por una ecuación, que matemáticamente asegure la compatibilidad entre los límites de un elemento finito con otro.

El método del elemento finito se puede utilizar en el análisis de problemas relacionados con placas, cimentaciones, cubiertas, dinámica estructural, entre otros. Los tipos de elementos que se pueden utilizar para el análisis de los problemas anteriores son líneas rectas, triángulos, cuadrados, trapecios, tetraedros y hexaedros. La elección de un elemento finito en particular depende del grado de exactitud y complejidad del problema, aunque esto estará en función de la experiencia y habilidad del ingeniero.

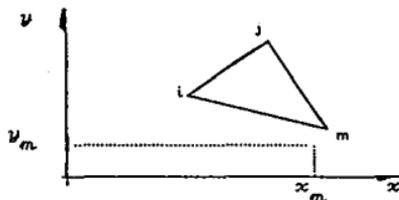
En el método del elemento finito se van a estar utilizando frecuentemente los conceptos de desplazamiento nodal, fuerza nodal, y rigidez del elemento. Por analogía, estos deben

corresponder con el desplazamiento de la junta, la fuerza en la junta, y la rigidez del miembro.

2.1 TEORIA DEL ELEMENTO FINITO.

Ahora se explicarán los principios generales en los que se basa el método del elemento finito, para así posteriormente comprender con mayor facilidad su aplicación en la computadora.

Para comprender mejor el método se aplicará como ejemplo en el análisis de un problema de esfuerzos planos con un elemento triangular.



Los desplazamientos en los puntos nodales están dados por:

$$|\delta| = \begin{bmatrix} \delta_i \\ \delta_j \\ \delta_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ u_j \\ v_j \\ u_m \\ v_m \end{bmatrix}$$

Donde cada nodo tiene dos grados de libertad $\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}$

las funciones se eligen de manera que describan los desplazamientos de todos los puntos de el elemento finito en terminos de los desplazamientos nodales relativos.

$$|\psi| = \begin{vmatrix} u(x, y) \\ v(x, y) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_1 + a_2 x + a_3 y \\ a_4 + a_5 x + a_6 y \end{vmatrix} = |\alpha| |\delta|$$

Donde α define las funciones generales de posición.

los valores de a_1, a_2, \dots, a_6 , son constantes que se utilizan para las coordenadas de los puntos nodales.

$$\begin{aligned} u_i &= a_1 + a_2 x_i + a_3 y_i \\ u_j &= a_1 + a_2 x_j + a_3 y_j \\ u_m &= a_1 + a_2 x_m + a_3 y_m \\ v_i &= a_4 + a_5 x_i + a_6 y_i \\ v_j &= a_4 + a_5 x_j + a_6 y_j \\ v_m &= a_4 + a_5 x_m + a_6 y_m \end{aligned}$$

Con las soluciones de estas ecuaciones se pueden ya conocer las constantes, entonces la ecuación general de la deflexión se puede escribir como:

$$|\psi| = |\alpha| |\delta|$$

La deformación de cualquier punto del elemento finito esta expresado como una función de la ecuación general de desplazamiento $|\psi|$.

$$\epsilon = \begin{vmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{vmatrix}$$

Entonces

$$|\psi| = \begin{vmatrix} u(x, y) \\ v(x, y) \end{vmatrix}$$

Se puede expresar en función de los desplazamientos nodales δ , luego entonces la matriz de deformaciones ϵ queda:

$$|\epsilon| = \begin{bmatrix} \partial u / \partial x \\ \partial v / \partial y \\ \partial u / \partial y + \partial v / \partial x \end{bmatrix} = |B| |\delta|$$

Donde $|B|$ es igual al desplazamiento menos la matriz de deformaciones, la cual es independiente de las coordenadas de los nudos; por lo tanto las deformaciones son constantes.

Las deformaciones que son independientes de los esfuerzos, conocidas como deformaciones iniciales $|\epsilon_0|$, se pueden presentar en este elemento. Por esto es conveniente tenerlas presentes en la solución de problemas exactos.

$$|\epsilon_0| = \begin{bmatrix} \epsilon_{x_0} \\ \epsilon_{y_0} \\ \epsilon_{xy_0} \end{bmatrix}$$

El valor del esfuerzo en el elemento se relaciona con la deformación en el mismo elemento por medio de la matriz de elasticidad $|D|$.

$$|\sigma| = \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = |D| \begin{bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix}$$

Para un esfuerzo plano en un material isotrópico, utilizando la teoría de la elasticidad se puede escribir:

$$|D| = \frac{E}{1 - \mu^2} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \mu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1 - \mu) / 2 \end{bmatrix}$$

Las fuerzas nodales

$$\begin{bmatrix} F_i \\ F_j \\ F_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ u_j \\ v_j \\ u_m \\ v_m \end{bmatrix}$$

Son estáticamente equivalentes a las cargas distribuidas y a los esfuerzos límites.

Para asegurar la equivalencia estática entre las fuerzas nodales y los elementos cargados, los desplazamientos virtuales se suponen.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \psi^i \\ \epsilon^i \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \alpha \\ B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta^i \end{bmatrix} \end{aligned}$$

El resultado del trabajo interno y externo, realizado por las fuerzas se relacionan con los desplazamientos con las siguientes ecuaciones.

El trabajo externo es igual a :

$$\begin{bmatrix} \delta^i \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} F \end{bmatrix} = W_{\text{externo}}$$

Y el trabajo interno es:

$$\begin{bmatrix} \epsilon^i \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \sigma \end{bmatrix} = W_{\text{interno por unidad de volumen}}$$

Por el principio de la conservación de la energía en el que el trabajo interno es igual al trabajo externo, se pueden igualar las ecuaciones de la siguiente forma:

$$\begin{bmatrix} \delta^i \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} F \end{bmatrix} = \int \begin{bmatrix} \epsilon^i \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \sigma \end{bmatrix} dv$$

Sustituyendo $\{\epsilon^i\}^T = [B] \{\delta^i\}$ se obtiene:

$$\{\delta^i\}^T [F] = \{\delta^i\}^T [B]^T [D] \{e\} dv$$

y eliminando $\{\delta^i\}^T$ de ambos términos queda:

$$[F] = [B]^T [D] \{e\} dv$$

Y aquí sabiendo que $e = D \epsilon$ y $\epsilon = B \delta$, queda

$$[F] = [B]^T [D] [B] \{\delta\} dv$$

$$[F] = [B]^T [K] \{\delta\} dv$$

Y finalmente si, $[F] = [K] \{\delta\}$ para cada elemento, entonces la rigidez del elemento queda definida por la siguiente expresión:

$$[K] = [B]^T [D] [B] dv$$

Que también se puede escribir como:

$$[K] = [B]^T [D] [B]_t dx dy$$

Donde t es el espesor del elemento. Por lo tanto la integración se toma sobre el área del elemento triangular, puesto que $[B]$ y $[D]$ son independientes de las coordenadas x y y .

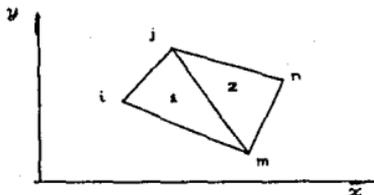
$$[K] = [B]^T [D] [B]_t \cdot \text{AREA}$$

El cálculo de esta última relación matricial, proporcionará, para cada elemento triangular, la rigidez del elemento en la forma:

$$[k] = \begin{bmatrix} k_{ii} & k_{ij} & k_{im} \\ k_{ji} & k_{jj} & k_{jm} \\ k_{mi} & k_{mj} & k_{mm} \end{bmatrix}$$

Donde cada elemento de la matriz $|k|$ es una matriz de 2×2 . Para desarrollar la rigidez total de un sistema estructural, las matrices de rigideces se deben ensamblar en una matriz total de rigidez.

Por ejemplo:



Elemento (1)

$$|k|_1 = \begin{vmatrix} k_{ii} & k_{ij} & k_{im} \\ k_{ji} & k_{jj} & k_{jm} \\ k_{mi} & k_{mj} & k_{mm} \end{vmatrix}$$

Elemento (2)

$$|k|_2 = \begin{vmatrix} k_{jj} & k_{jn} & k_{jm} \\ k_{nj} & k_{nn} & k_{nm} \\ k_{mj} & k_{mn} & k_{mm} \end{vmatrix}$$

$$|F|_{2 \times 1} = |K|_{TOTAL} |\delta|_{2 \times 1}$$

Una vez que esta desarrollada la matriz total de rigideces, se calculan los desplazamientos nodales.

$$|F| = |K| |\delta|$$

$$|\delta| = |K|^{-1} |F|$$

Despues las deformaciones se calculan con:

$$\epsilon = |B| |\delta|$$

Finalmente cuando se conocen las deformaciones, los esfuerzos en los elementos se pueden obtener por medio de la siguiente ecuación matricial:

$$|\sigma| = |D| |\epsilon|$$

Donde $|\epsilon| = |B| |\delta|$ entonces:

$$|\sigma| = |D| |B| |\delta|$$

Los esfuerzos máximos y mínimos (esfuerzos principales) , en el caso de elementos triangulares se da en el centroide de los elementos, y cuando es rectangular en los nudos. Estos esfuerzos se pueden calcular con las siguientes ecuaciones.

$$\sigma_{\text{MAX}} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_{\text{min}} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

2.2 APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO EN LAS COMPUTADORAS

En lo que se refiere al diseño estructural, las computadoras se usan con ventaja en la enseñanza y en la práctica. En principio, para diseñar se tienen que efectuar una serie de cálculos que pueden ser laboriosos, para obtener las dimensiones de las secciones.

Esta cantidad de operaciones limita el número de diseños que pudiera ser deseable considerar. Con el auxilio de la computadora es factible considerar una infinidad de condiciones, de manera que se puede realizar un trabajo más eficiente e instructivo en el diseño estructural. Al hacer referencia al diseño estructural con métodos manuales, se pensaba únicamente en el análisis de los esfuerzos. Con la computadora se pueden considerar etapas más avanzadas, como la de optimización de las estructuras.

2.2.1 TIPOS DE PROGRAMAS DE ELEMENTO FINITO.

Existen muchos tipos de programas de computadora basados en el método del elemento finito, que son aplicables a la solución de diferentes tipos de problemas. La sofisticación de los programas incrementa su habilidad para resolver problemas complejos de análisis. Lo valioso del método del elemento finito radica en la posibilidad de poder describir con facilidad, cualquier tipo de área geométrica y además utilizar varios tipos de materiales sin que esto complique el análisis estructural.

Algunos de los programas más conocidos y utilizados son: EL ICES-STRUDL, el STRATA, el ELAS^o, el SAAS II, el WILSON PROGRAM, y el ZIENKIEWICZ'S PROGRAM entre otros.

Distinguiéndose unos de otros en su capacidad de manejar mayor número de nodos, diferentes tipos de materiales, y distintas condiciones de apoyo, lo cual hace que cada uno sea aplicable a la solución de un problema específico con mayor exactitud.

2.3 SISTEMA INTEGRADO (ICES).

En la Comisión Federal de Electricidad, en el departamento de diseño hidroeléctrico, se cuenta con el sistema ICES, (Sistema Integrado De Ingeniería Civil), por lo tanto la descripción de la aplicación del método del elemento finito estará enfocada a este sistema, ya que como se dijo anteriormente, este estudio pretende ser un libro de consulta y orientación para la aplicación del método en el área de diseño hidroeléctrico.

El sistema ICES, desarrollado en el Instituto de Tecnología de Massachusetts, consiste de una serie de subsistemas aplicables cada uno de ellos a una disciplina en particular. Está diseñado como un sistema dinámico de módulos, en donde los subsistemas se pueden modificar, ampliar, añadir o substituir por versiones mejoradas.

Los subsistemas disponibles son:

STRUDEL. Para el análisis y diseño de estructuras en dos y tres dimensiones, por medio de elemento finito.

COGO. Para problemas geométricos y de topografía.

TABLE. Para manejo y almacenamiento de información tabulada.

SEPOL. Para analizar los esfuerzos en suelos y los asentamientos de estructuras.

SLOPE. Para estimar el factor de seguridad en la estabilidad de taludes.

ROADS. Para la localización y diseño de carreteras y vías de ferrocarril.

BRIDGE. Es aplicable al diseño de puentes, intersecciones en carreteras, pasos a desnivel y problemas similares.

TRANSET. Para predicción y análisis de flujos en redes de transportes, aplicable también a redes eléctricas.

PROJECT. Para ayudar en la planeación y control de proyectos de construcción.

HYDRO. Para problemas de hidráulica.

DYNAL. Para el análisis dinámico de estructuras complejas tridimensionales, como edificios, tuberías, plataformas de perforación y varias estructuras aeroespaciales.

2.4 EL PROGRAMA STRUDL.

El STRUDL (STRUctural Design Language) es un programa de computadora, capaz de resolver estructuras en una, dos y tres dimensiones, utilizando el método del elemento finito.

La secuencia de operaciones que sigue el programa, es la misma que se vio anteriormente en la teoría del elemento finito, es decir el proceso es el siguiente:

Entrada de datos.

Compilación y revisión de datos.

Generación de la matriz de rigideces de los elementos.

Ensamble de la Matriz global de rigideces.

Solución de los desplazamientos nodales

Sustitución de las deformaciones nodales y obtención de esfuerzos.

Salida de datos.

Entre estos pasos, los que dependen de las características del elemento son, la generación de la matriz de rigideces, la sustitución de las deformaciones nodales y la obtención de esfuerzos. Entonces para incrementar la eficiencia de el programa, se sugiere que los elementos, no sean muy grandes, es decir entre uno y dos metros de largo, para así poder obtener una mayor aproximación. Aunque es importante recalcar que esto no es una regla general, y que generalmente lo que rige el tamaño de los elementos, es tanto las dimensiones del problema, como la memoria disponible en la computadora.

Ya que si se tiene un gran número de elementos, necesitaremos una gran cantidad de memoria disponible en la computadora, además de que la entrada de una gran cantidad de datos resulta larga y tediosa, corriendo el riesgo también de posibles errores en la entrada de datos.

En el siguiente capítulo se estudiará con más detalle los distintos comandos del STRUDL, y su utilización con un ejemplo práctico.

C A P I T U L O 3

ANALISIS ESTRUCTURAL

3.1 INTRODUCCION

Antes de comenzar el análisis estructural, es necesario hacer énfasis nuevamente, de que para el diseño de este tipo de elementos estructurales, es necesaria la participación activa de tres disciplinas de la ingeniería, las cuales son la mecánica, la eléctrica y la civil; por lo tanto es necesario que antes de que el área civil comience su diseño estructural, tanto el área eléctrica como mecánica deberán estar conformes en que la distribución y dimensiones del elemento estructural, satisfacen adecuadamente todas sus necesidades, para el buen funcionamiento de la planta hidroeléctrica.

Ya que si posteriormente es necesario hacer cambios en las dimensiones o distribución de huecos para instalaciones eléctricas en la estructura, todo lo que se haya hecho hasta ese momento se tendrá que adaptar a las nuevas condiciones geométricas del proyecto; ocasionando pérdidas de tiempo y retrasos en la elaboración del proyecto.

3.2 PROPIEDADES DE LA LOSA DE GENERADORES.

Como se dijo anteriormente, la losa de generadores superior se encuentra localizada en la elevación 953.80 m.s.n.m, sus dimensiones de proyecto son: 22.40 metros de ancho por 50.30 metros de largo, el peralte de proyecto es de 60.00cm. Estará apoyada perimetralmente en los muros de casa de máquinas.

Para su construcción se utilizará concreto con una resistencia de 200 kg/cm^2 , y el acero de refuerzo será de 4200 kg/cm^2 .

Con estos datos iniciales y el plano de localización de huecos proporcionado por el área eléctrica y mecánica, ya se puede empezar la codificación de datos para realizar el análisis estructural.

3.3 TRAZO DE LA RED Y RECOMENDACIONES.

Antes de comenzar es necesario aclarar, que la red que se presenta en este trabajo, no es el resultado de la primera idea, así como tampoco es la única solución; sino que de varias propuestas estudiadas, se llegó a la conclusión de que es la que mejor se adapta a las características y necesidades del proyecto.

Para comenzar el trazo de la red, primero hay que tomar en cuenta que el diseño estructural se realizará por medio de franjas. Por esto es conveniente formar franjas de elementos finitos del mismo tamaño para así poder referenciarlo posteriormente al diseño estructural.

También se recomienda hacer elementos no más grandes de dos metros, ya que dentro de este margen la aproximación que se logra es bastante buena, aunque no se recomienda utilizar elementos muy pequeños, ya que por las dimensiones del elemento, su codificación, así como su proceso, es muy lento y tedioso, lo cual le resta versatilidad al método. Además de que se necesitaría utilizar más memoria de la máquina, la cual puede llegar a ser escasa.

Como se puede observar en el plano del trazo de la red, los elementos más utilizados son el cuadrado y el rectangular, y solo se utilizan los triangulares y trapezoidales, para los huecos de los generadores, ya que utilizando este tipo de elementos, se puede casi lograr que tomen la forma de un círculo, llegando así a una mayor semejanza con la realidad del problema.

Una vez dibujada la red se procede a trazar un sistema de ejes cartesianos x y y , recomendándose trazarlo en la base de la estructura, como se muestra en el plano 6, para así posteriormente referenciarse a estos ejes.

3.4 ENTRADA DE DATOS.

El sistema ICES-STRUDL ,funciona a base de comandos específicos, es decir, se hace una lista que debe contener, el tipo de problema, unidades, datos de las coordenadas, el tipo de análisis que se quiere ejecutar y los resultados que se requieren. A continuación se verá en detalle, como se realiza esta lista de datos para realizar el análisis de este problema en particular.

3.4.1 INICIACION DEL PROBLEMA.

Para llamar el STRUDL dentro del sistema ICES, es necesario especificarlo en la primera línea de la codificación, así como también es conveniente poner el nombre del elemento estructural que se está analizando para poder identificar la corrida de datos posteriormente; entonces para el ejemplo propuesto la primera línea quedaría:

```
1. - STRUDL 'LOSA DE GENER' 'ELEV 953.80'
```

3.4.2 TIPO DE PROBLEMA.

Posteriormente se le debe indicar que tipo de problema se va a manejar, es decir se pueden manejar esfuerzos en el plano (PLANE STRESS), flexión (BENDING), flexión en plano (PLATE BENDING), estructura en el espacio (SPACE FRAME), entre otras posibilidades; para el ejemplo se trabajará con estructura en el espacio ,ya que esto permite poder manejar cargas verticales, es decir en el sentido Z ;por lo tanto en la segunda línea se debe escribir:

```
2. - TYPE SPACE FRAME
```

3.4.3 UNIDADES.

También se deben especificar las unidades de longitud, peso, angular, temperatura y tiempo, que se van a utilizar, ya que de lo contrario el programa manejará sus propias unidades que son: pulgadas, libras, radianes, grados fahrenheit y segundos; por lo tanto el siguiente comando sería.

3.- UNITS M TON DEG CENTIG.

Con esto se le está comunicando al sistema que las operaciones y resultados las maneje en metros, toneladas, grados y grados centígrados.

3.4.4 COORDENADAS DEL SISTEMA.

El siguiente paso a seguir, es dar las coordenadas de los nudos, referenciándose siempre al sistema de ejes cartesiano trazado previamente.

Esto se hace de la siguiente forma, primero se especifica el número de nudo, y posteriormente sus coordenadas correspondientes en el eje x y y . Por ejemplo para este caso las coordenadas de los elementos quedarían así:

4.- REFERENCE JOINT COORD CARTESIAN.

	(elemento)	(x)	(y)
5.-	1	0.00	0.00
6.-	2	0.00	0.80
7.-	3	0.00	1.60
8.-	4	0.00	2.60
9.-	5	0.00	3.90
10.-	6	0.00	4.85

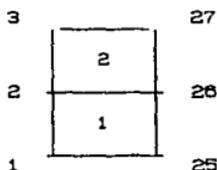
11.-	7	0.00	5.55
	⋮	⋮	⋮
101.-	97	2.75	1.60
102.-	98	2.75	2.60
103.-	99	2.75	3.90
	⋮	⋮	⋮
261.-	257	8.40	0.0
262.-	258	8.40	0.80
263.-	259	8.40	1.60
	⋮	⋮	⋮
377.-	373	13.20	12.25
378.-	374	13.20	12.80
	⋮	⋮	⋮
1304.-	1300	50.30	20.15
1305.-	1301	50.30	20.80
1306.-	1302	50.30	21.60
1307.-	1303	50.30	22.40

Los nudos donde se considera apoyo se le pueden especificar a la computadora mediante una S en las coordenadas pero aquí se realizará por razones de especificar mejor el problema, con otro comando mas adelante.

Aquí es importante remarcar nuevamente la importancia de trazar una red adecuada, ya que como se vio el sistema que se está resolviendo consta de 1303 coordenadas, entonces si se hacen mas pequeños los elementos se tendrían aun más lo cual para introducir a la computadora es bastante largo y tedioso, originando errores en la entrada de datos, los cuales para localizarlos resulta bastante difícil.

3.4.5 TOPOLOGIA DEL SISTEMA.

Ahora posteriormente, es necesario precisar, la forma y posición de los elementos del sistema, por medio de las coordenadas de sus nudos, es decir, por ejemplo para los elementos número uno y dos de la red.



Para declarar a la computadora las propiedades geométricas del elemento, se deben enumerar las incidencias del mismo, es decir de que nudo a que nudo se compone; pero aclarando que siempre se enumeran en el sentido opuesto al de las manecillas del reloj. Entonces las siguientes líneas de entrada de datos serían.

1308. - REFERENCE ELEMENTS INCIDENCES.

	(nombre del elemento)	(lista de nudos)
1309. -	1	1 25 26 2
1310. -	2	2 26 27 3
1311. -	3	3 27 28 4
1312. -	4	4 28 29 5
1313. -	5	5 29 30 6
1314. -	6	6 30 31 7
1315. -	7	7 31 32 8
1316. -	8	8 32 33 9
1317. -	9	9 33 34 10
1318. -	10	10 34 35 11
	⋮	⋮

Particularmente en elementos triangulares sería:

1818. -	510	581	605	608
1819. -	511	582	590	591

Y en el caso de elementos trapezoidales.

1824. -	316	347	371	372	348
1825. -	317	353	373	374	354

Y así sucesivamente hasta llegar al último elemento.

2437. -	1129	1271	1296	1297	1272
2438. -	1130	1272	1297	1298	1273
2439. -	1131	1273	1298	1299	1274
2440. -	1132	1274	1299	1300	1275
2441. -	1133	1275	1300	1301	1276
2442. -	1134	1276	1301	1302	1277
2443. -	1135	1277	1302	1303	1278

3.4.6 CONDICIONES DE APOYO.

Para el análisis de la losa se considerará que está apoyada perimetralmente, excepto en la colindancia con sala de tableros.

Ahora como las columnas quedan dentro de la losa, en estos puntos se considerará que se encuentra simplemente apoyado, esto es para evitar que la losa le transmita momentos adicionales a la columna.

Otra condición importante también es en los límites de los huecos de los generadores se supone que la losa se encuentra empotrada.

La computadora supone por default que en donde se le indica que está apoyado, es un empotramiento, por esto si se tiene otra condición de apoyo se le tiene que indicar con ciertos comandos que se verán mas adelante.

Entonces para especificarle a la computadora todas las condiciones de apoyo, las siguientes líneas de entrada de datos quedarían así:

2444.	-JOINT	1	TO	3	25	TO	27	49	TO	51	STATUS	SUPPORT
2445.	-JOINT	4	TO	21							STATUS	SUP
2446.	-JOINT	22	TO	24	46	TO	48	70	TO	72	STATUS	SUP
2447.	-JOINT	185	TO	187	209	TO	211	233	TO	235	STATUS	SUP
2448.	-JOINT	206	TO	208	230	TO	232	254	TO	256	STATUS	SUP
2449.	-JOINT	365	TO	387	385	TO	387	403	TO	405	STATUS	SUP
2450.	-JOINT	382	TO	384	400	TO	402	418	TO	420	STATUS	SUP
2451.	-JOINT	524	TO	526	540	TO	542	557	TO	559	STATUS	SUP
2452.	-JOINT	537	TO	539	554	TO	556	572	TO	574	STATUS	SUP
2453.	-JOINT	662	TO	664	686	TO	688	710	TO	712	STATUS	SUP
2454.	-JOINT	683	TO	685	707	TO	709	731	TO	733	STATUS	SUP
2455.	-JOINT	842	TO	844	862	TO	864	880	TO	882	STATUS	SUP
2456.	-JOINT	859	TO	861	877	TO	879	895	TO	897	STATUS	SUP
2457.	-JOINT	973	TO	975	989	TO	991	1006	TO	1008	STATUS	SUP
2458.	-JOINT	986	TO	988	1003	TO	1005	1021	TO	1023	STATUS	SUP
2459.	-JOINT	1129	TO	1131	1154	TO	1156	1179	TO	1181	STATUS	SUP
2460.	-JOINT	1151	TO	1153	1176	TO	1178	1201	TO	1203	STATUS	SUP
2461.	-JOINT	1229	TO	1231	1254	TO	1256	1279	TO	1281	STATUS	SUP
2462.	-JOINT	1251	TO	1253	1276	TO	1278	1301	TO	1303	STATUS	SUP
2463.	-JOINT	94		116	138		160	184			STATUS	SUP
2464.	-JOINT	279		296	316		340	354			STATUS	SUP
2465.	-JOINT	438		454	464		478	493		507 523	STATUS	SUP
2466.	-JOINT	589		588	619		640	661			STATUS	SUP
2467.	-JOINT	753		773	793		817	841			STATUS	SUP
2468.	-JOINT	915		925	941		958	972			STATUS	SUP
2469.	-JOINT	1040		1062	1084		1106	1128		1228	STATUS	SUP

2470.-JOINT 1282 TO 1300 STATUS SUP
 2471.-JOINT 348 TO 353 373 392 410 427 445 455 470 STATUS SUP
 2472.-JOINT 484 499 514 530 548 564 582 608 TO 610 STATUS SUP
 2473.-JOINT 590 581 563 545 529 513 498 483 469 STATUS SUP
 2474.-JOINT 444 426 409 391 372 STATUS SUP
 2475.-JOINT 825 TO 830 850 869 887 904 916 932 947 STATUS SUP
 2476.-JOINT 963 979 995 1013 1033 1049 TO 1053 STATUS SUP
 2477.-JOINT 1031 1032 1030 1012 994 978 962 946 STATUS SUP
 2478.-JOINT 931 903 886 868 849 STATUS SUP

Ahora para lograr que la computadora ,tome la condición que se requiere de apoyo simple en las columnas, se liberan esos apoyos del momento en x y en y ,con los siguientes comandos.

2479.-JOINT 1 TO 3 25 TO 27 49 TO 51 REL MOM X Y
 2480.-JOINT 22 TO 24 46 TO 48 70 TO 72 REL MOM X Y
 2481.-JOINT 185 TO 187 209 TO 211 233 TO 235 REL MOM X Y
 2482.-JOINT 208 TO 208 230 TO 232 254 TO 256 REL MOM X Y
 2483.-JOINT 385 TO 387 385 TO 387 403 TO 405 REL MOM X Y
 2484.-JOINT 382 TO 384 400 TO 402 418 TO 420 REL MOM X Y
 2485.-JOINT 524 TO 526 540 TO 542 557 TO 559 REL MOM X Y
 2486.-JOINT 537 TO 539 554 TO 556 572 TO 574 REL MOM X Y
 2487.-JOINT 662 TO 664 666 TO 668 710 TO 712 REL MOM X Y
 2488.-JOINT 683 TO 685 707 TO 709 731 TO 733 REL MOM X Y
 2489.-JOINT 842 TO 844 862 TO 864 880 TO 882 REL MOM X Y
 2490.-JOINT 859 TO 861 877 TO 879 895 TO 897 REL MOM X Y
 2491.-JOINT 973 TO 975 989 TO 991 1006 TO 1008 REL MOM X Y
 2492.-JOINT 986 TO 988 1003 TO 1005 1021 TO 1023 REL MOM X Y
 2493.-JOINT 1129 TO 1131 1154 TO 1156 1179 TO 1181 REL MOMX Y
 2494.-JOINT 1151 TO 1153 1176 TO 1178 1201 TO 1203 REL MOMX Y
 2495.-JOINT 1229 TO 1231 1254 TO 1256 1279 TO 1281 REL MOMX Y
 2496.-JOINT 1251 TO 1253 1276 TO 1278 1301 TO 1303 REL MOM X Y

3.4.7 PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS.

El programa identifica la forma geométrica y el número de nudos de cada elemento por medio de un nombre clave. Es decir en las siguientes líneas se deben de enumerar los diferentes tipos de elementos del sistema, así como también se debe de especificar el espesor (THICKNESS) del elemento que se esta identificando.

Así en este caso las figuras geométricas y sus claves que mas se van a usar son las siguientes:

BPR = RECTANGULO

CPT = TRIANGULO

PBQ1 = TRAPECIO

Entonces para el ejemplo ,tomando un espesor de losa de 60cm ,las siguientes líneas quedarían así:

```
2496.- ELEMENT PROPERTIES
2497.- 1 TO 278 TYPE 'BPR' THICKNESS 0.60
2498.- 279 TYPE 'CPT' THICKNESS 0.60
2499.- 280 TO 293 TYPE 'BPR' THICKNESS 0.60
2500.- 294 TO 298 TYPE 'PBQ1' THICKNESS 0.60
2501.- 299 TO 315 TYPE 'BPR' THICKNESS 0.60
2502.- 316 TO 317 TYPE 'PBQ1' THICKNESS 0.60
2503.- 318 TO 333 TYPE 'BPR' THICKNESS 0.60
2504.- 334 335 TYPE 'CPT' THICKNESS 0.60
```

2505.	-	336	TO	350	TYPE	'BPR'	THICKNESS	0.60
2506.	-	351		352	TYPE	'PBQ1'	THICKNESS	0.60
		:		:		:		:
2574.	-	878	TO	890	TYPE	'BPR'	THICKNESS	0.60
2575.	-	891		892	TYPE	'PBQ1'	THICKNESS	0.60
2576.	-	893	TO	903	TYPE	'BPR'	THICKNESS	0.60
2577.	-	904		907	TYPE	'PBQ1'	THICKNESS	0.60
2578.	-	905		906	TYPE	'CPT'	THICKNESS	0.60
2579.	-	909	TO	920	TYPE	'BPR'	THICKNESS	0.60
2580.	-	921	TO	924	TYPE	'PBQ1'	THICKNESS	0.60
2581.	-	925	TO	1135	TYPE	'BPR'	THICKNESS	0.60

3.4.8 CONSTANTES.

Una vez definida la geometría de la estructura, ya se pueden enumerar las características del material o los materiales de los que se constituye el elemento; esto se desarrolla de la siguiente forma. Primero se calculan todas las constantes que pide el programa de acuerdo al material o materiales de los que se compone la estructura, y después se verá como se codifican para introducirlos a la computadora.

3.4.8.1 MODULO DE ELASTICIDAD.

El módulo de elasticidad de un material, es la relación que existe entre la presión por unidad de superficie y el acortamiento por unidad de longitud, o bien, entre la tensión y el alargamiento.

Como se dijo al principio del análisis, el tipo de concreto que se va a utilizar, tendrá una resistencia de 200kg/cm^2 , por lo tanto según el reglamento de construcciones ACI,

el módulo de elasticidad para concreto de peso normal, E_c puede considerarse como:

$$E_c = 15,000 f'c = 15,000 \cdot 200 = 212,132 \text{ kg/cm}^2$$
$$E_c = 2,121,320 \text{ ton/m}^2$$

3.4.8.2 PESO VOLUMETRICO.

Dado que la losa se constituye solo de concreto armado, entonces unicamente se utilizará el peso volumétrico de un solo material que será de:

$$2400 \text{ kg/m}^3 = 2.4 \text{ ton/m}^3$$

Aunque cabe aclarar, que el programa STRUDL da la facilidad de manejar mas de un solo material en la estructura.

3.4.8.3 RELACION DE POISSON.

Cuando una barra se carga a tracción, el alargamiento axial total está acompañado por una contracción lateral, esto es, el ancho de la barra se hace menor a medida que su longitud aumenta. La razón de la deformación en dirección lateral a la deformación en dirección axial o longitudinal, es constante dentro del intervalo elástico y se conoce por relación de Poisson, ν ; así pues,

$$\nu = \frac{\text{deformación lateral}}{\text{deformación axial.}}$$

Para materiales que tienen las mismas propiedades elásticas en todas direcciones, llamados materiales isótropos, Poisson halló que ν era de 0.25.

Experimentos reales con metales muestran que ν esta generalmente en el intervalo de 0.25 a 0.35.

Luego entonces, dado que el concreto armado se puede considerar como material isótropo se utilizará:

$$\nu = 0.25$$

Ahora bien para la lista de entrada de datos, la enumeración de constantes quedará de la siguiente manera:

2582.- CONSTANTS
2583.- E 2.12 EG ALL
2584.- DEN 2.4 ALL
2585.- POISSON 0.25 ALL

3.4.9 ANALISIS DE CARGAS.

Finalmente se estudiarán los tipos de cargas a las que se somete la estructura, y como se codifican para su introducción en la computadora, ya que el programa ofrece la facilidad de que calcule los elementos mecánicos para cada condición de carga es decir para carga muerta, para carga viva y la combinación de las dos.

3.4.9.1 CARGA MUERTA.

Para el cálculo de la carga muerta solo se considerará el peso propio de la losa, que como se dijo tiene un peralte de 60 cm ;entonces la carga muerta se calcularia como:

$$C_m = 2.4 \text{ ton/m}^3 * 0.60 \text{ m} = 1.4 \text{ ton/m}^2$$

3.4.9.2 CARGA VIVA.

En la carga viva se tienen que considerar las cargas provocadas por efectos de maniobras y montaje de equipo, así como el peso de sistemas eléctricos.

Para lo cual se consultó el manual del United States Department of the interior bureau of reclamations, titulado, Desing Standars No 9 'BUILDINGS'. El cual en el capítulo número dos 'structural design data', describe una serie de valores de cargas vivas para centrales hidroeléctricas, y muy específicamente dice que, para piso de exitadores la carga viva máxima es de 1000 libras/pies²; este valor logicamente toma en cuenta cualquier efecto de carga accidental en la losa provocada por cualquier tipo de maniobra de instalación de equipo, así como el peso propio de equipos eléctricos.

Transformando a las unidades que se están utilizando quedaria:

$$1000 \text{ lb/ft}^2 = 4,882.50 \text{ kg/m}^2$$

Este valor para mayor facilidad en el cálculo se aproximará a:

$$C_v = 4,882.50 \text{ kg/m}^2 \cong 5,000 \text{ kg/m}^2 = 5.0 \text{ ton/m}^2$$

Ahora entonces los datos se introducen de la siguiente forma:

2586.- LOADING 1 'PESO PROPIO'

2587.- ELEM 1 TO 1135 LOAD SURFACE FORCE GLO PZ -1.44

Con esto se le está indicando a la computadora que realice un análisis tomando en cuenta solo el peso propio del

elemento que esta indicado como una carga repartida en la superficie en el sentido Z es decir vertical.

De una manera similar seria para la carga viva.

2588.- LOADING 2 'CARGA VIVA'

2599.- ELEM 1 TO 1135 LOAD SURFACE FORCE GLO PZ -5.0

Entonces aquí se le indica de igual manera que del elemento 1 al 1135 existe una carga repartida de 5 ton en el sentido del eje Z.

Finalmente para lograr la combinación de las dos cargas se escribe lo siguiente:

2600.-LOA COM 3 'PESO PROPIO + CARGA VIVA' COM 1 1.4 2 1.7

Cabe destacar que el comando al final de la línea anterior (COM 1 1.4 2 1.7), indica los factores de carga para cada combinación, es decir que al peso propio se le aplica un factor de 1.4 y a la carga viva de 1.7.

Se podría llegar a pensar que las cargas y los factores de carga estan muy sobrados, pero hay que tomar en cuenta la importancia y dimensiones del elemento que se esta diseñando, el cual es sometido a un número de cargas accidentales que pueden no estar contempladas en un principio, además de que durante su construcción pueden existir errores de tipo técnico, es decir que no se cumpla adecuadamente con las condiciones iniciales de análisis como son la resistencia del concreto, o el peralte de la losa, por esto todos estos posibles errores se absorben mediante los factores de seguridad.

3.4.10 DETERMINACION DEL TIPO DE ANALISIS

Esta es una de las partes mas importantes en la codificación de datos ya que, aquí es donde se le indica a la máquina el tipo de análisis que se quiere, y los resultados que se necesitan obtener.

Luego entonces, para indicarle al programa STRUDL que realice el análisis por medio del método del elemento finito, se utiliza el siguiente comando.

2001. - STIFFNESS ANALYSIS.

Y finalmente para que calcule los esfuerzos y los desplazamientos en cada nudo sería:

2002. - PRINT STRESS DATA

2003. - LIST DISPLACEMENTS.

2004. - LIST STRESSES FORCE ELEM 1 TO 1135

2005. - FINISH.

3.5 RESULTADOS DEL ANALISIS.

Antes de enumerar los resultados, es conveniente aclarar los conceptos de ejes globales y locales que maneja el programa, para así poder comprender mejor la dirección de los momentos obtenidos con el análisis.

Los ejes locales, son los ejes de referencia de cada elemento, que se utilizan para dar propiedades o características particulares a cada elemento, y estos se especifican por medio de las incidencias de cada uno, así cuando se le da la primera incidencia, esta dirección es la que se toma como eje x y los ejes

y y γ se establecen automáticamente por medio de la regla de la mano derecha, de aquí que en el inciso referente a las incidencias se hizo la aclaración de que estas se deben dar en un mismo sentido.

Los ejes globales son los que se fijaron previamente para referenciar las coordenadas, entonces los resultados estarán de acuerdo a la posición de los ejes que se indicó en la introducción de coordenadas.

También es importante recalcar que los resultados que se obtienen, corresponden al valor del esfuerzo en los nudos del elemento, esto en el caso de los elementos cuadrados y rectangulares, ya que en los triangulares los resultados pertenecen al centroide de la figura.

3.5.1 ELEMENTOS MECANICOS EN LOS APOYOS.

Los primeros resultados que se obtienen, son los elementos mecánicos en los apoyos de la estructura, y estos los imprime tal y como se le pidió en el tipo de análisis, primero el valor de los elementos mecánicos para la condición de carga de peso propio, después da el valor correspondiente a la carga viva y finalmente la combinación de ambas incluido el factor de carga.

Esto es con el objeto de poder identificar, que parte de la carga total es más representativa en los elementos mecánicos; con esto se tiene la facilidad de saber como se comportará la estructura, bajo las diferentes condiciones de carga previamente establecidas.

Los elementos mecánicos en los apoyos servirán

posteriormente para la revisión de las columnas y el diseño de la ménsula entre columnas. Así como las cargas correspondientes para el diseño de el cilindro del generador.

Además de que estos sirven también como una primera revisión de los datos de entrada, es decir si se están cumpliendo las condiciones de apoyo que se indicaron inicialmente, porque como es lógico, en donde se estableció la condición de apoyo simple, tanto el momento en x como en y deben ser cero.

A continuación se presentan algunos de estos resultados, tal y como los muestra la computadora en su listado final.

```

*****
** RESULTS OF LATEST ANALYSES **
*****
  
```

JOB ID - LOSA ELEV- 053.80

ACTIVE UNITS -	LENGTH	FORCE	ANGLE	TEMP	TIME
	M	TON	DEG	DEG	SEC
ACTIVE STRUCTURE TYPE - PLATE BENDING					
ACTIVE COORDINATES AXES X Y					

```

*****
** LOADING - 1 PESO PROPIO **
*****
  
```

RESULTANT JOINT SUPPORTS

JOINT		Z FORCE	X MOMENT	Y MOMENT
1	GLOBAL	1.16457	.000000	.0000000
2	GLOBAL	2.82252	.000000	.0000000
3	GLOBAL	-.15187	.000000	.0000000
4	GLOBAL	1.27429	.147760	-4.43117
5	GLOBAL	5.28492	-.09566	-8.00460
6	GLOBAL	5.28854	.003203	-8.66470
7	GLOBAL	9.16387	.088214	-15.2948

8	GLOBAL	10.8112	-.07899	-18.8905
9	GLOBAL	9.25810	.018783	-17.3174
10	GLOBAL	8.84511	-.02240	-16.5298
	:	:	:	:
22	GLOBAL	.383283	.000000	.000000
23	GLOBAL	.689930	.000000	.000000
24	GLOBAL	.229746	.000000	.000000
25	GLOBAL	-5.5024	.000000	.000000
26	GLOBAL	-14.289	.000000	.000000
27	GLOBAL	-17.798	.000000	.000000
46	GLOBAL	-1.8254	.000000	.000000
47	GLOBAL	-1.7874	.000000	.000000
48	GLOBAL	-.26508	.000000	.000000
49	GLOBAL	4.99340	.000000	.000000
50	GLOBAL	13.8347	.000000	.000000
51	GLOBAL	28.9370	.000000	.000000
70	GLOBAL	3.57241	.000000	.000000
71	GLOBAL	3.82288	.000000	.000000
72	GLOBAL	.452379	.000000	.000000
	:	:	:	:
348	GLOBAL	8.72001	-5.4509	14.78687
349	GLOBAL	14.5783	-4.7777	21.49247
350	GLOBAL	17.2711	-.29659	23.82743
351	GLOBAL	10.0654	3.02725	18.42551
352	GLOBAL	8.58180	3.80390	13.16600
353	GLOBAL	4.56001	7.13667	9.581854
	:	:	:	:
1300	GLOBAL	2.98436	.008382	3.461357
1301	GLOBAL	-.26014	.000000	.000000
1302	GLOBAL	.515011	.000000	.000000
1303	GLOBAL	.204399	.000000	.000000
	TOTALS	1247.0009	39.7768	-34.9382

 LOADING - 2 CARGA VIVA

JOINT		Z FORCE	X MOMENT	Y MOMENT
1	GLOBAL	4.04365	.0000000	.0000000
2	GLOBAL	9.80004	.0000000	.0000000
3	GLOBAL	-.52735	.0000000	.0000000
4	GLOBAL	4.42464	.5130575	-15.3860
5	GLOBAL	18.3504	-.332178	-27.7937
6	GLOBAL	18.3630	.0111231	-30.0857
7	GLOBAL	31.8190	.2993572	-53.1072
8	GLOBAL	36.8446	-.274271	-64.8987
9	GLOBAL	32.1482	.0582759	-60.1299
10	GLOBAL	30.0177	-.077805	-57.3944
	:	:	:	:
22	GLOBAL	1.33084	.0000000	.0000000
23	GLOBAL	2.39559	.0000000	.0000000
24	GLOBAL	.797732	.0000000	.0000000
25	GLOBAL	-19.105	.0000000	.0000000
26	GLOBAL	-49.548	.0000000	.0000000
27	GLOBAL	-61.800	.0000000	.0000000
46	GLOBAL	-6.3384	.0000000	.0000000
47	GLOBAL	-6.1370	.0000000	.0000000
48	GLOBAL	-.92036	.0000000	.0000000
49	GLOBAL	17.3382	.0000000	.0000000
50	GLOBAL	47.3429	.0000000	.0000000
51	GLOBAL	100.476	.0000000	.0000000
70	GLOBAL	12.4042	.0000000	.0000000
71	GLOBAL	13.2738	.0000000	.0000000
72	GLOBAL	1.57076	.0000000	.0000000
	:	:	:	:
348	GLOBAL	30.2778	-18.9268	51.34261
349	GLOBAL	50.6124	-16.5893	74.62664
350	GLOBAL	59.9691	-1.02982	82.73414

351	GLOBAL	34.8493	10.51131	63.97747
352	GLOBAL	29.7979	13.20801	45.71530
353	GLOBAL	15.8333	24.78012	33.27032
	:	:	:	:
1300	GLOBAL	2.37732	-.107072	4.036812
1301	GLOBAL	-.80327	.0000000	.0000000
1302	GLOBAL	1.78823	.0000000	.0000000
1303	GLOBAL	.709720	.0000000	.0000000
	TOTALS	4329.86	138.1134	-121.313

```

*****
** LOADING - 3 PESO PROPIO + CARGA VIVA **
*****

```

JOINT		Z FORCE	X MOMENT	Y MOMENT
1	GLOBAL	8.50462	.0000000	.0000000
2	GLOBAL	20.6122	.0000000	.0000000
3	GLOBAL	-1.1091	.0000000	.0000000
4	GLOBAL	9.30591	1.079062	-32.3598
5	GLOBAL	38.5946	-.698637	-58.4558
6	GLOBAL	38.6210	.0233940	-63.2764
7	GLOBAL	66.9217	.6296081	-111.695
8	GLOBAL	77.4917	-.576848	-136.495
9	GLOBAL	67.6098	.1225658	-126.465
10	GLOBAL	63.1333	-.163540	-120.712
	:	:	:	:
22	GLOBAL	2.79903	.0000000	.0000000
23	GLOBAL	5.03840	.0000000	.0000000
24	GLOBAL	1.67779	.0000000	.0000000
25	GLOBAL	-40.183	.0000000	.0000000
26	GLOBAL	-104.21	.0000000	.0000000
27	GLOBAL	-129.97	.0000000	.0000000
46	GLOBAL	-13.330	.0000000	.0000000

47	GLOBAL	-12.907	.0000000	.0000000
48	GLOBAL	-1.9357	.0000000	.0000000
49	GLOBAL	36.4657	.0000000	.0000000
50	GLOBAL	99.5717	.0000000	.0000000
51	GLOBAL	211.321	.0000000	.0000000
70	GLOBAL	26.0885	.0000000	.0000000
71	GLOBAL	27.9175	.0000000	.0000000
72	GLOBAL	3.30362	.0000000	.0000000
	⋮	⋮	⋮	⋮
348	GLOBAL	63.6803	-39.8070	107.9837
349	GLOBAL	106.448	-34.8906	158.9547
350	GLOBAL	126.127	-2.16593	174.0064
351	GLOBAL	73.5054	22.10739	134.5574
352	GLOBAL	62.6709	27.77909	96.14841
353	GLOBAL	33.3007	52.11755	69.97414
	⋮	⋮	⋮	⋮
1300	GLOBAL	4.99998	-.225195	8.490224
1301	GLOBAL	-1.8997	.0000000	.0000000
1302	GLOBAL	3.78101	.0000000	.0000000
1303	GLOBAL	1.49268	.0000000	.0000000
	TOTALS	9106.57	290.4801	-255.146

3.5.2 DESPLAZAMIENTOS.

Una vez que se han revisado las condiciones de apoyo, así como los elementos mecánicos de los nudos apoyados. Viene una de las partes más importantes a tomar en cuenta antes de realizar el diseño estructural, la cual consiste en la revisión de los desplazamientos de la estructura.

Una de las ventajas del programa es que despliega los desplazamientos correspondientes a la carga muerta, a la carga viva y a la combinación de ambas.

Para este caso no se permitiran desplazamientos mayores de:

$$\frac{L}{480}$$

Cabe hacer énfasis en la revisión de los desplazamientos en las columnas, ya que como se dijo al principio, estan simplemente apoyadas, originando por lo tanto mayores desplazamientos.

Revisando algunos de los desplazamientos en las columnas para la condición de carga muerta mas carga viva se observa lo siguiente.

```
*****
** LOADING - 3 PESO PROPIO + CARGA VIVA **
*****
```

RESULTANT JOINT DISPLACEMENTS SUPPORTS

JOINT		Z DISPL	X ROT	Y ROT
1	GLOBAL	.000000	-.000837	.0004319
2	GLOBAL	.000000	.000615	.0005874
3	GLOBAL	.000000	-.000005	.0021337
4	GLOBAL	.000000	.000000	.0000000
5	GLOBAL	.000000	.000000	.0000000
6	GLOBAL	.000000	.000000	.0000000
7	GLOBAL	.000000	.000000	.0000000
8	GLOBAL	.000000	.000000	.0000000
9	GLOBAL	.000000	.000000	.0000000
10	GLOBAL	.000000	.000000	.0000000
11	GLOBAL	.000000	.000000	.0000000
12	GLOBAL	.000000	.000000	.0000000
13	GLOBAL	.000000	.000000	.0000000
14	GLOBAL	.000000	.000000	.0000000
15	GLOBAL	.000000	.000000	.0000000

16	GLOBAL	.000000	.000000	.0000000
17	GLOBAL	.000000	.000000	.0000000
18	GLOBAL	.000000	.000000	.0000000
19	GLOBAL	.000000	.000000	.0000000
20	GLOBAL	.000000	.000000	.0000000
21	GLOBAL	.000000	.000000	.0000000
22	GLOBAL	.000000	.000000	.0000000
23	GLOBAL	.000000	.000018	.0002139
24	GLOBAL	.000000	-.000196	.0001667
25	GLOBAL	.000000	.000512	-.0000104
26	GLOBAL	.000000	-.001120	-.0007666
27	GLOBAL	.000000	.001034	-.0014098
46	GLOBAL	.000000	-.001419	-.0025632
47	GLOBAL	.000000	.0000417	-.0003231
48	GLOBAL	.000000	-.000181	-.0002944
:	:	:	:	:
RESULTANT JOINT DISPLACEMENTS - FREE JOINTS				

JOINT		Z DISP	X ROT	Y ROT
28	GLOBAL	-.0000512	-.003854	.014905
29	GLOBAL	-.0001133	-.001807	.030848
30	GLOBAL	-.0001374	-.001819	.037741
31	GLOBAL	-.0001652	-.001939	.045365
32	GLOBAL	-.0001969	-.000740	.054943
33	GLOBAL	-.0002156	-.000846	.059516
34	GLOBAL	-.0002282	-.000422	.063052
35	GLOBAL	-.0002346	-.000382	.064851
36	GLOBAL	-.0002386	-.000093	.066027
37	GLOBAL	-.0002406	-.000409	.066540
:	:	:	:	:

Con estos ejemplos es fácil observar que efectivamente los nudos que se consideraron como empotrados, tienen desplazamiento cero, así como no presentan rotaciones, en cambio,

los nudos simplemente apoyados como es el caso de las columnas, presentan desplazamientos cero en el sentido z , pero sí rotaciones en x y y , lo cual confirma que las condiciones frontera que se establecieron al principio, están siendo consideradas correctamente por el programa.

En cuestión de los desplazamientos, se estudiarán más detalladamente en el capítulo de diseño estructural, en donde se graficarán, de acuerdo a la franja correspondiente, logrando así una mejor apreciación, y comparación de los desplazamientos de una franja con otra.

3.5.3 ELEMENTOS MECANICOS.

Finalmente se mostrará como es que el programa despliega los resultados del análisis de cada elemento; aunque solo se anotarán unos cuantos, ya que al igual que los desplazamientos se verán con mayor detalle en el siguiente capítulo, ya que se elaborarán diagramas de momento de cada franja, pudiendose observar así con mayor claridad, el comportamiento en general de la estructura.

*** CONCENTRATED FORCES RESP. MOMENTS ***

ELEMENT	NODE	FORCE Z	M X	M Y
171	188	-18.3085	5.82834	-7.5332
171	212	31.9780	7.50866	17.2938
171	213	4.2038	2.27868	5.3641
171	189	-14.4044	1.20021	-1.7458

172	189	10.8298	-1.53352	3.4052
172	213	-4.2195	-2.01404	-3.8215

172	214	4.8202	3.87407	-8.0432
172	190	-8.0730	3.49614	6.1689

173	190	7.4704	-3.50403	11.1064
173	214	-3.2495	-3.87240	-10.3714
173	215	8.6546	4.73050	-12.9039
173	191	-9.0894	4.54100	13.5738

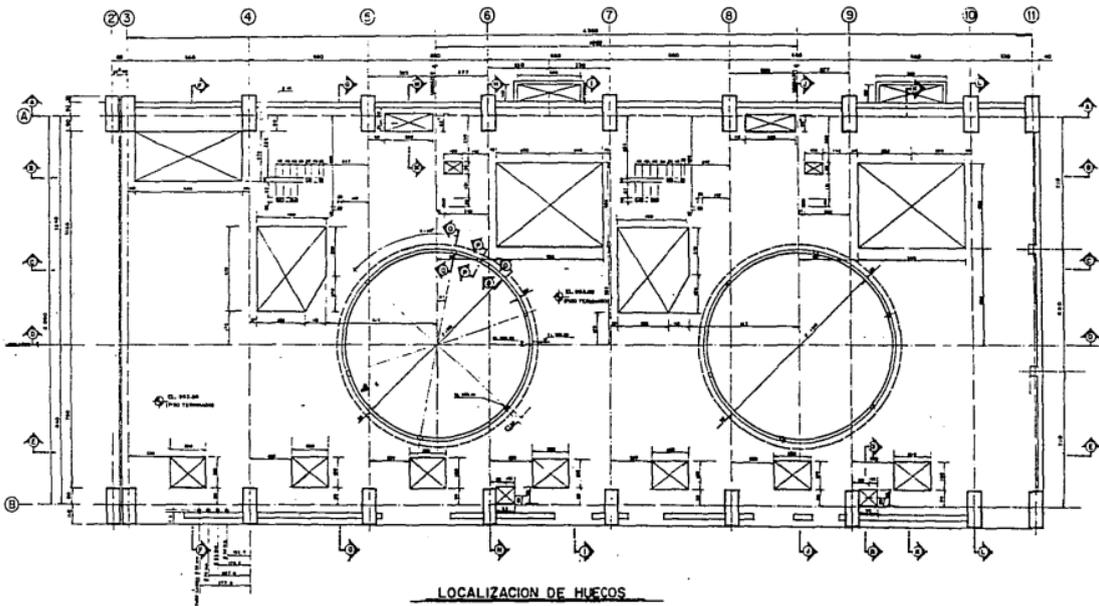
174	191	7.0329	-4.58328	29.2341
174	215	-3.8779	-4.58339	-28.1800
174	216	12.3568	4.44455	-32.5081
174	192	-9.2014	4.72209	33.5806

175	192	4.6182	-4.95470	27.2218
175	216	-3.6729	-4.34419	-26.4785
175	217	9.5311	3.59537	-28.2759
175	193	-8.0589	4.37684	28.9923

176	193	-1.626	-4.76571	32.8429
176	217	.9606	-3.26793	-32.4137
176	218	2.8103	2.21752	-34.3792
176	194	1.0197	4.14850	34.5328

Con estos ejemplos se puede ver ahora mas claramente, las ventajas de realizar el análisis estructural por medio del elemento finito, ya que ahora ya se conocen los elementos mecánicos en los nudos de cada elemento finito.

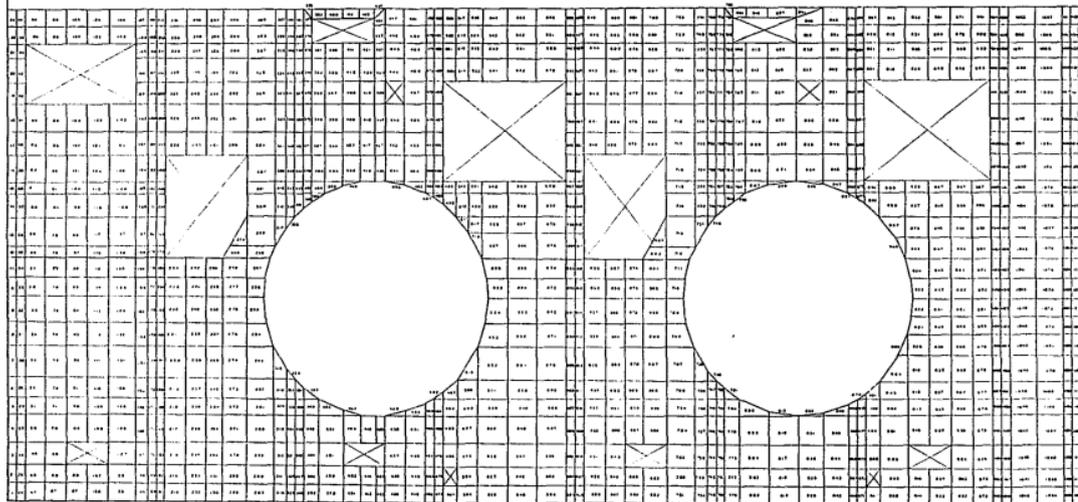
Aunque sus verdaderas ventajas se verán mas claramente durante el diseño estructural, ya que este último se facilitará enormemente, comparado con los métodos tradicionales.



NOTA:
 1. HUECOS EN CONCRETO SÓLO SE ABREN EN UNO O EN OTRA VISTA.
 2. EL DIMENSIONES EN METROS.

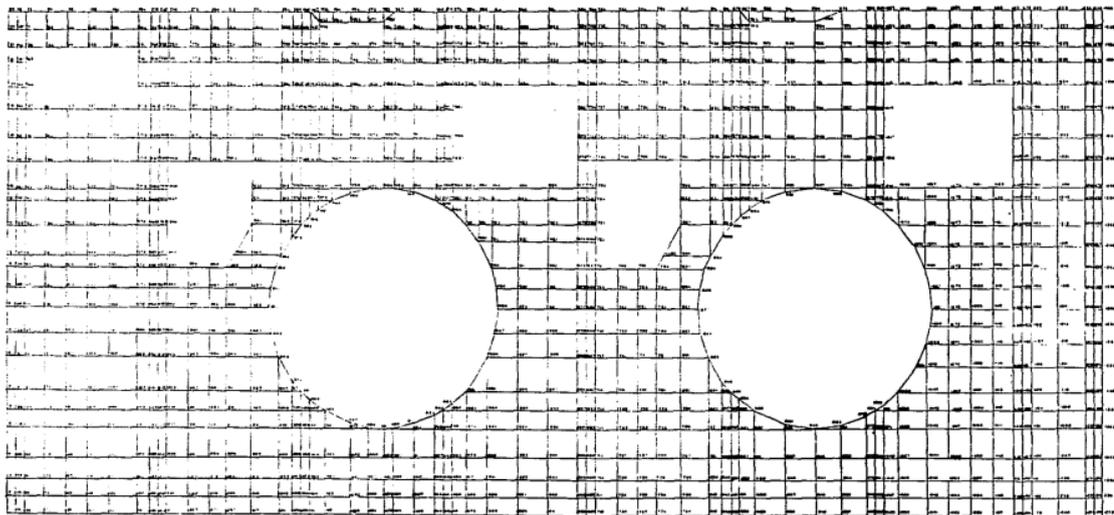
U L S A	
INGENIERIA CIVIL	
TESIS PROFESIONAL	
Carlos Antonio Sivóvoti Alcántara	
CASA DE MAQUINAS	
LOSA ELEV. 953.80	
1991	PLANO 5

EJE Y



EJE X

U. E. S. A.	
TESIS PROFESIONAL	
ING. CIVIL	
CARLOS A. STAVOLI A.	
ELEMENTOS	
LORA ELEV. 855.80	
1981	PLANO 0



U L S A	
TECN. PROFESIONAL	
ING. CIVIL	
CARLOS A. STAVOLI A.	
PUNTOS HODALES	
LOBA ELEV. 8280	
1881	PLANO 7

C A P I T U L O 4

DISEÑO ESTRUCTURAL

4.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO.

Una que se han obtenido los elementos mecánicos con el análisis estructural, se puede comenzar ya el diseño estructural de la losa, para lo cual se tomarán en cuenta las siguientes consideraciones.

Para el diseño de la losa en cuestión, se utilizará el método de diseño plástico, en base al reglamento de construcciones ACI-318-83, utilizando las siguientes constantes.

Resistencia del concreto	$f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$
Resistencia del acero de refuerzo	$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
Peralte de losa	$h = 80 \text{ cm}$
Recubrimiento	$r = 5 \text{ cm}$
Peralte efectivo	$d = 55 \text{ cm}$

4.2 FRANJAS DE DISEÑO.

En este capítulo es en donde se apreciará realmente la utilidad del método del elemento finito, ya que como se observará el diseño estructural de la losa resultará bastante sencillo, ya que dado que se conocen los elementos mecánicos en cada diferencia finita, se pueden trazar franjas representativas de diseño en ambos sentidos es decir, en el eje x y en el eje y , tal y como se muestra en el plano número 8.

Al igual que para el trazo de la red, no existe un criterio establecido que indique como formar las franjas de diseño, ya que esto dependerá de la experiencia con la que se

cuenta en el diseño de este tipo de elementos estructurales.

Aunque si se puede recomendar, tomar en consideración la posición de las franjas del presente trabajo, ya que están ubicadas en donde se consideró que puede existir una franja de esfuerzos críticos.

4.3 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.

Para el diseño estructural se utilizará el siguiente procedimiento.

Como primer paso se calculará el acero mínimo requerido por la losa, el cual se denominará como armado básico; calculandose después el momento resistente del mismo y se comparará con el momento máximo obtenido en las franjas de diseño, para posteriormente obtener los diagramas de momentos de cada franja, con lo cual se podrá observar, en que lugares no es suficiente el area de acero del armado básico calculada anteriormente, en donde se complementará con bastones de distinto diámetro.

4.3.1 CALCULO DEL ARMADO BASICO.

Es importante recalcar que para el diseño se considerarán franjas de un metro de ancho, las cuales se diseñarán como vigas doblemente armadas.

Espesor de losa: 80 cm

Considerando 5 cm de recubrimiento : $d = 85$ cm

Acero mínimo requerido de acuerdo al ACI (para una franja de un metro de ancho).

$$A_s = 0.002 \times 100 \times 55 = 11 \text{ cm}^2$$

Utilizando varillas de 3/4" con $A_v = 2.85 \text{ cm}^2$ la separación sería:

$$S = \frac{100 A_v}{A_s} = \frac{100 (2.85)}{11} = 25.91 \text{ cm} \approx 25 \text{ cm}$$

Despejando el área de acero queda como:

$$A_s = \frac{100 A_v S}{25} = \frac{100 (2.85)}{25} = 11.40 \text{ cm}^2$$

De aquí ya se puede conocer ρ

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{11.40}{100 \times 55} = 0.0021$$

$$\omega = \rho \frac{f_y}{f'_c} = 0.0021 \frac{4200}{200} = 0.044$$

Ahora se obtendrá el momento resistente considerando como una viga doblemente armada de un metro de ancho, y aplicando además un factor de reducción $\phi = 0.9$

$$M_r = \phi b d^2 f'_c \omega (1 - 0.59 \omega)$$

$$M_r = 0.9 \times 100 \times (55)^2 \times 200 \times 0.044 (1 - 0.59 (0.044)) =$$

$$M_r = 2333605.032 \text{ kg-cm}$$

$$M_r = 23.34 \text{ T-m con varillas de } 3/4'' @ 25 \text{ cm.}$$

Ahora que calculando el armado básico utilizando varillas de 3/4" @ 20 cm el momento resistente sería:

$$A_s = \frac{100 \times 2.85}{20} = 14.25 \text{ cm}^2$$

$$\rho = \frac{14.25}{100 \times 55} = 0.00259$$

$$\omega = \frac{0.00259 \times 4200}{200} = 0.0544$$

$$M_r = 0.9 \times 100 \times (55)^2 \times 200 \times 0.0544 (1 - 0.59 \times 0.0544) =$$

$$M_r = 2867472.303 \text{ kg-cm}$$

$$M_r = 28.675 \text{ T-m}$$

Por lo tanto el armado básico de la losa se propone de dos parrillas con varillas de 3/4" @ 20 cm y donde resulte insuficiente se complementará con bastones.

4.3.2 OBTENCION DE DIAGRAMAS DE MOMENTO.

Ahora se estudiará como es que se interpretan los valores que se obtuvieron en el análisis estructural, y así se procederá a la elaboración de los diagramas de momento, con los que posteriormente se diseñará cada franja.

Como se puede observar en el plano número 8, las franjas de diseño se establecieron en los límites de un elemento con otro, esto con el objeto, de que resulte más fácil poder establecer los diagramas de momento correspondientes ya que es en este punto en donde se conocen exactamente los valores de los elementos mecánicos.

Ahora es conveniente anotar, que para cada punto o nodo de la franja, existen cuatro elementos diferentes los cuales aportan un esfuerzo diferente en ese punto, aunque como es lógico de suponer, la suma de estos valores debe ser cero, es decir el nudo debe estar en equilibrio.

Para mayor claridad, se propone como ejemplo la elaboración del diagrama de momentos de la franja número doce.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

Primeramente se elabora una lista, enumerando los nudos, los elementos comunes a estos, y su valor correspondiente; se suman tanto los valores negativos como los positivos, verificando que la suma algebraica de estos sea cero, ahora para saber que valor asignar, si el positivo o el negativo, se puede partir de un valor conocido, es decir en los extremos de empotramiento el valor del momento debe ser negativo, por lo cual de aquí se parte, y en adelante la posición de los signos dará el signo correspondiente al momento en ese punto.

Cabe aclarar que en el sentido corto se hablará de momento alrededor del eje x , y en el sentido largo alrededor del eje y , estos ejes son los que se establecieron al principio del análisis estructural.

NUDO	ELEMENTO	M_x	MOMENTO
599	504	0.528	0.0
	526	-0.528	
600	504	-1.103	-1.211
	526	-0.108	
	505	0.801	1.211
	527	0.410	

NUDO	ELEMENTO	Mx	MOMENTO
601	505	-0.805	0.565
	527	1.370	
	506	0.431	-0.565
	528	-0.996	
602	506	3.072	7.553
	528	4.480	
	507	-2.866	-7.553
	529	-4.687	
603	507	3.132	9.722
	529	6.590	
	508	-3.509	-9.722
	530	-6.213	
604	508	0.257	3.696
	530	3.439	
	509	-0.969	-3.696
	531	-2.726	
605	509	-6.321	-8.243
	531	-1.922	
	510	3.821	8.243
	532	4.422	
606	510	-25.411	
	532	-23.831	-51.286
	533	-2.044	
	Memp	(-51.286)	

NUDO	ELEMENTO	Mx	MOMENTO	
590	Memp	(-58.142)		
	518	-15.456	-58.142	
	511	-24.292		
	519	-18.394		
591	511	-7.522		-15.205
	519	-7.683		
	512	6.193	15.205	
	520	9.012		
592	512	0.202	-2.568	
	520	-2.770		
	513	1.495		2.568
	521	1.703		
593	513	0.120	0.0	
	521	-0.120		
594	514	0.170	0.0	
	522	-0.170		
595	514	-3.288	-6.108	
	522	-2.820		
	515	2.943		6.108
	523	3.164		
596	515	-4.822	-9.021	
	523	-4.199		
	516	4.837		9.021
	524	4.184		

NUDO	ELEMENTO	Mx	MOMENTO
597	516	-2.436	-5.937
	524	-3.501	
	517	3.929	5.937
	525	2.007	
598	517	-3.932	-6.813
	525	-2.881	
	Memp	(-6.813)	

De una manera análoga se calcularon los valores de las franjas restantes tanto en el sentido corto como en el sentido largo de la losa, y finalmente se graficaron como se muestra en las graficas al final del capítulo en donde se puede apreciar con claridad en que secciones del elemento no es suficiente el armado básico calculado anteriormente, para lo cual se calculará a continuación los bastones para complementar el área de acero necesaria para resistir el momento actuante en el elemento.

4.3.3 CALCULO DE BASTONES.

Para mayor facilidad en el diseño del armado de la losa, se calcularán cuatro tipos de bastones con su separación correspondiente y su momento resistente máximo, para que así posteriormente con ayuda de los diagramas de momento, se colocarán los bastones según se requiera, esto además de facilitar el diseño, evitará congestionar el acero, ya que quedará un diseño uniforme utilizando pocos diámetros de varillas.

NOTA: Es importante aclarar que para todas las operaciones realizadas en este trabajo, se aprovechó la memoria de la calculadora, para conservar todos los decimales y tener mayor exactitud en el cálculo, aunque para la memoria de cálculo que se describe a continuación solamente se utilizaron algunos decimales, por lo que puede darse el caso en que la operación descrita no coincida exactamente con el resultado propuesto.

ARMADO TIPO 1

Proponiendo bastones de 3/4" @ 20 cm.

$$\text{Area inicial (armado básico)} = 14.25 \text{ cm}^2$$

$$\text{Avar } 3/4'' = 2.85 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 14.25 + (4 \times 2.85) = 25.65 \text{ cm}^2$$

$$\rho = \frac{25.65}{100 \times 55} = 0.0047$$

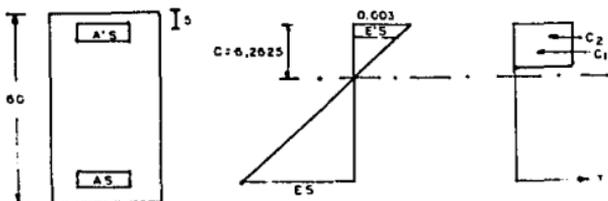
$$\omega = \frac{0.0047 \times 4200}{200} = 0.0987$$

$$M_r = 0.9 \times 100 \times (55)^2 \times 200 \times 0.0987 (1 - 0.59 \times 0.0987) =$$

$$M_r = 5,061,258.33 \text{ kg-cm}$$

$$M_r = 50.61 \text{ T-m}$$

Revisando la sección como doblemente armada.



$$T = A_s f_y$$

$$T = (25.65) (4200) = 107,730 \text{ kg}$$

$$\text{suponiendo } c = 6.2625$$

$$E's = \frac{0.003 \times (6.2625 - 5)}{6.2625} = 0.0006$$

$$\frac{E's}{E_y} = \frac{0.0006}{0.0021} = 0.288$$

$$f's = 0.288 \times 4200 = 1209.581 \text{ kg/cm}^2$$

$$C1 = 14.25 \times 1209.581 = 17,236.527 \text{ kg}$$

$$C2 = 0.85 \times 200 \times 0.85 \times 6.2625 \times 100 = 90,493.125 \text{ kg}$$

$$C1 + C2 = 17,236.527 + 90,493.125 = 107,729.652 \text{ kg}$$

$$107,729.652 = 107,730 \text{ kg}$$

$$a = 0.85 c = 0.85 \times 6.2625 = 5.323 \quad \frac{a}{2} = 2.662$$

$$\text{BRAZO} = 25 + \frac{17236.527 \times 25 + 90493.125 \times (30 - 2.662)}{107,729.652} = 51.96$$

$$M_r = 107,729.727 \times 51.964 = 5,598,005.112 \text{ kg-cm}$$

$$M_r = 55.981 \text{ T-m}$$

Por lo tanto el armado i queda con varillas de 3/4'' con bastones de 3/4'' @ 20.

ARMADO TIPO 2

Utilizando bastones de 1" @ 20

$$\text{Area inicial} = 14.25 \text{ cm}^2$$

$$\text{Area de 1" } = 5.07 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 14.25 + (4 \times 5.07) = 34.53 \text{ cm}^2$$

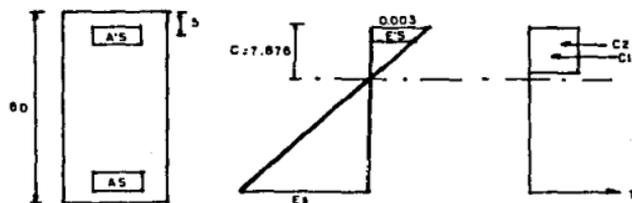
$$\rho = \frac{34.53}{100 \times 55} = 0.006278$$

$$\omega = \frac{0.006278 \times 4200}{200} = 0.132$$

$$M_r = 0.9 \times 100 \times (55)^2 \times 200 \times 0.132 (1 - 0.59 \times 0.132) =$$

$$M_r = 6,627,645.28 = 66.28 \text{ T-m}$$

Revisando como doble armada.



$$T = 34.53 \times 4200 = 145,026 \text{ kg}$$

suponiendo $c = 7.876$

$$E's = \frac{0.003 \times (7.876 - 5)}{7.876} = 0.0011$$

$$f's = 0.0011 \times 2 \times 10^5 = 2,190.96 \text{ kg/cm}^2$$

$$C1 = 14.25 \times 2,190.96 = 31,221.178 \text{ kg}$$

$$C2 = 0.85 \times 200 \times 0.85 \times 7.876 \times 100 = 113,808.2 \text{ kg}$$

$$C1 + C2 = 31,221.178 + 113,808.2 = 145,029.378 \text{ kg}$$

$$145,029.378 = 145,026$$

$$a = 0.85 \times 7.876 = 6.695$$

$$a/2 = 3.347$$

$$\text{BRAZO} = 25 + \frac{31,221.178 \times 25 + 113,808.2 \times (30 - 3.347)}{145,029.378} = 51.297$$

$$M_r = 145,026 \times 51.297 = 7,439,398.722 \text{ kg-cm}$$

$$M_r = 74.394 \text{ T-m}$$

Por lo tanto el armado tipo 2 queda con varillas de $3/4'' @ 20$ con bastones de $1''$.

ARMADO TIPO 3

Colocando bastones de $1 1/2'' @ 20 \text{ cm}$.

$$A_s = 14.25 + (4 \times 11.40) = 59.85 \text{ cm}^2$$

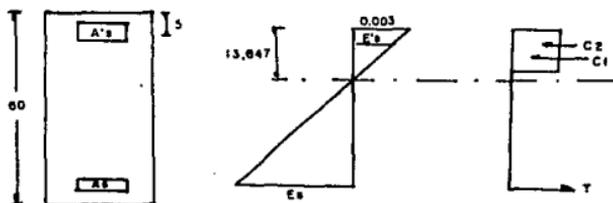
$$\rho = \frac{59.85}{100 \times 55} = 0.01088$$

$$\omega = \frac{0.01088 \times 4200}{200} = 0.2285$$

$$M_r = 0.9 \times 100 \times (55)^2 \times 200 \times 0.2285 (1 - 0.59 \times 0.2285) =$$

$$M_r = 10,765,203.42 \text{ kg-cm} = 107.652 \text{ T-m}$$

Revisando la sección como doblemente armada.



$$T = 59.85 \times 4200 = 251,370 \text{ kg}$$

$$\text{si } c = 13.647$$

$$E's = \frac{0.003 \times (13.647 - 5)}{13.647} = 0.0019$$

$$f's = 0.0019 \times 2 \times 10^5 = 3801.715 \text{ kg/cm}^2$$

$$C1 = 14.25 \times 3801.715 = 54,174.434 \text{ kg}$$

$$C2 = 0.85 \times 200 \times 0.85 \times 13.647 \times 100 = 197,199.15 \text{ kg}$$

$$C1 + C2 = 54,174.434 + 197,199.15 = 251,373.58 \text{ kg}$$

$$251,373.58 = 251,370 \text{ kg}$$

$$a = 0.85 \times 13.647 = 11.60$$

$$a/2 = 5.80$$

$$\text{BRAZO} = 25 + \frac{54,174.434 \times 25 + 197,199.15 \times (30 - 5.8)}{251,373.584} =$$

$$\text{BRAZO} = 49.372 \text{ cm}$$

$$M_r = 251,370 \times 49,372 = 12,410,747.86 \text{ kg-cm}$$

$$M_r = 124,107 \text{ T-m}$$

Por lo tanto el armado tipo 3 queda con varillas de $3/4'' \text{ @ } 20 \text{ cm}$ con bastones de $1 \ 1/2'' \text{ @ } 20 \text{ cm}$.

ARMADO TIPO 4

Colocando bastones de $1 \ 1/2'' \text{ @ } 40 \text{ cm}$

$$A_s = 14.25 + (2 \times 11.40) = 37.05 \text{ cm}^2$$

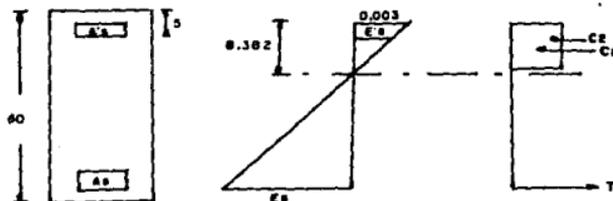
$$\rho = \frac{37.05}{100 \times 55} = 0.006736$$

$$\omega = \frac{0.006736 \times 4200}{200} = 0.1414$$

$$M_r = 0.9 \times 100 \times (55)^2 \times 200 \times 0.1414 (1 - 0.59 \times 0.1414) =$$

$$M_r = 7,059,800.767 = 70.59 \text{ T-m}$$

Revisando como doble armada



$$T = 37.05 \times 4200 = 155,610 \text{ kg}$$

$$s_1 c = 8.382 \text{ cm}$$

$$E's = \frac{0.003 \times (8.382 - 5)}{8.382} = 0.00121$$

$$F's = 0.00121 \times 2 \times 10^6 = 2,420.901 \text{ kg/cm}^2$$

$$C1 = 14.25 \times 2,420.901 = 34,497.85$$

$$C2 = 0.65 \times 200 \times 0.65 \times 8.382 \times 100 = 121,119.9 \text{ kg}$$

$$C1 + C2 = 155,617.75$$

$$155,617.75 = 155,610 \text{ kg}$$

$$a = 0.65 \times 8.382 = 7.124 \quad a/2 = 3.56$$

$$\text{BRAZO} = 25 + \frac{34,497.85 \times 25 + 121,119.9 \times (30 - 3.56)}{155,617.75} =$$

$$\text{BRAZO} = 51.12 \text{ cm}$$

$$M_r = 155,617.75 \times 51.12 = 7,955,288.312 \text{ kg-cm}$$

$$M_r = 79.55 \text{ T-m}$$

Por lo tanto el armado tipo 4 queda con varillas de $1 \frac{1}{2}'' \text{ @ } 40 \text{ cm}$.

4.3.3.1 LONGITUD DE ANCLAJE DE BASTONES.

Segun el reglamento ACI, para varillas del número 11 o menor la longitud de anclaje esta dada por:

$$l_d = \frac{0.08 A_b f_y}{\sqrt{f'_c}}$$

Pero no debe ser menor de $0.0057 d b f_y$

Para 3/4'' diam = 1.905 cm A = 2.85 cm²

$$0.0057 \times 1.905 \times 4200 = 45.606 \text{ cm}$$

$$l_d = \frac{0.08 \times 2.85 \times 4200}{\sqrt{200}} = 50.784 \text{ cm} \quad 45.606 \text{ cm}$$

Para 1'' diam = 2.54 cm A = 5.07 cm²

$$0.0057 \times 2.54 \times 4200 = 60.808$$

$$l_d = \frac{0.08 \times 5.07 \times 4200}{\sqrt{200}} = 90.343 \quad 60.808$$

Para 1 1/2'' aunque es del número 12 se considerará válida la expresión anterior ya que el ACI solo especifica para varillas del número 11 o menores y del número 14 en adelante.

diam = 3.81 Area = 11.40 cm²

$$0.0057 \times 3.81 \times 4200 = 91.21 \text{ cm}$$

$$ld = \frac{0.08 \times 11.40 \times 4200}{\sqrt{200}} = 203.138$$

También el ACI especifica que la longitud básica de desarrollo deberá multiplicarse por el factor aplicable para refuerzo del lecho superior que tiene un espesor de concreto de 30cm o más debajo de la varilla; este factor es de 1.4

Para anclaje recto de :

$$\begin{aligned} 3/4'' \quad lt &= 1.4 \times 50.784 = 71.098 \text{ cm} \\ 1'' \quad \quad lt &= 1.4 \times 90.343 = 126.480 \text{ cm} \\ 1 \ 1/2'' \quad lt &= 1.4 \times 203.138 = 284.393 \text{ cm} \end{aligned}$$

4.3.3.2 CALCULO DE GANCHOS.

Segun el reglamento ACI, se puede considerar que los ganchos estándar desarrollan un esfuerzo de tensión en las varillas de refuerzo igual a:

$$f_h = \xi \sqrt{f'_c}$$

Donde el valor de ξ es proporcionado en la tabla del ACI para varillas de lecho superior.

$$\begin{aligned} \text{Para } 3/4'' \quad \xi &= 120 \\ 1'' \quad \quad \xi &= 95 \\ 1 \ 1/2'' \quad \xi &= 95 \end{aligned}$$

La longitud de anclaje (l_e) se puede calcular con la fórmula de longitud de desarrollo utilizada anteriormente, sustituyendo f_h por f_y y l_e por l_d .

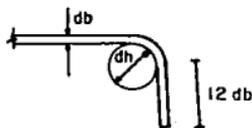
Entonces para los bastones de 3/4''

$$f_h = \xi \sqrt{f'c} = 120 \sqrt{200} = 1.697.056 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y - f_h = 4200 - 1.697.056 = 2.502.944 \text{ kg/cm}^2$$

$$l_e = \frac{0.06 \times 2.85 \times 2.502.944}{\sqrt{200}} = 30.264 \text{ cm}$$

Para calcular la longitud del gancho doblado a 90° veamos la siguiente figura



Y dado que el reglamento establece que para varillas del número 6 y 8 $dh = 8 db$ nos queda:

$$l_g = \frac{\pi}{4} (dh + db) + 12 db = 0.785 (8db + db) + 12 db =$$

$$l_g = 19.069 db = 19.069 \times 1.905 = 36.325 \text{ cm}$$

Entonces la longitud total seria

$$l_t = 30.264 + 36.326 = 66.590 \text{ cm}$$

Para bastones de 1''

longitud de desarrollo adicional

$$f_h = 95 \sqrt{200} = 1,343.503 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y - f_h = 4200 - 1343.503 = 2856.497 \text{ kg/cm}^2$$

$$l_e = \frac{0.06 \times 5.07 \times 2856.497}{\sqrt{200}} = 61.444$$

longitud del gancho

$$l_g = 19.069 \text{ db} = 19.069 \times 2.54 = 48.434 \text{ cm}$$

longitud total

$$l_t = 61.444 + 48.434 = 109.878 \text{ cm}$$

Para bastones de 1 1/2''

longitud de desarrollo adicional.

$$f_h = 1,343.503 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y - f_h = 2,856.497 \text{ kg/cm}^2$$

$$l_e = \frac{0.06 \times 11.40 \times 2856.497}{\sqrt{200}} = 138.158 \text{ cm}$$

Longitud del gancho

Para varillas de $1\ 1/2''$ el ACI recomienda $10d_b = d_h$

$$l_g = 20.835 \times 3.81 = 79.520 \text{ cm}$$

longitud total

$$l_t = 138.158 + 79.520 = 217.678 \text{ cm}$$

Luego entonces, en resumen se utilizarán las siguientes longitudes de anclaje.

Para anclaje recto de bastones de :

$3/4''$	$l_a = 75 \text{ cm}$
$1''$	$l_a = 130 \text{ cm}$
$1\ 1/2''$	$l_a = 285 \text{ cm}$

Para anclaje con gancho estándar a 90° de:

$3/4''$	$l_a = 70 \text{ cm}$
$1''$	$l_a = 110 \text{ cm}$
$1\ 1/2''$	$l_a = 220 \text{ cm}$

4.4 DISEÑO DE ELEMENTOS TRABE.

Como se dijo anteriormente la losa contará en su interior con elementos armados como trabes, los cuales se colocarán en el sentido corto de la losa entre cada columna, es decir en las franjas 1, 4, 7, 11, 14, 18, 22, 26, y 28.

Para lo cual se propone el armado tipo 2, es decir con varillas de 1'' @ 20cm en el lecho superior e inferior, y al igual que las demas franjas se complementarán con bastones en caso de no ser suficiente el momento resistente calculado anteriormente.

Cálculo de estribos

$$\text{Esfuerzo cortante máximo actuante} = 12.490 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_c = 0.85 \times .53 \quad 200 = 8.371 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_s = (12.49 - 8.371) \times 80 \times 55 = 28,923.6 \text{ kg}$$

Considerando estribos de 3/4'' @ 20 cm.

$$S_{\min} = d/2 = 55/2 = 27.5 \text{ cm}$$

$$S = \frac{4 \times 2.85 \times 55 \times 0.85 \times 4200}{28,923.6} = 83.139 \text{ cm} > S_{\min}$$

por lo tanto se colocarán estribos de 3/4'' @ 20cm.

Luego entonces los elementos trabe se armarán todos de una misma manera para evitar el uso excesivo de diámetros de varilla, quedando el armado final para estos como:

4 varillas de 1'' en el lecho superior e inferior, con estribos de 3/4'' @ 20cm.

4.5 REFUERZO ADICIONAL EN HUECOS.

El reglamento ACI, permite colocar aberturas de cualquier tamaño en el sistema de losa, siempre y cuando se mantenga la cantidad total de refuerzo requerido en el tablero sin la abertura.

Es decir el hueco provoca una interrupción en el acero, por esto se debe reponer el equivalente de este refuerzo en los lados de la abertura, tanto en el lecho superior como inferior, sin olvidar cumplir con la longitud de desarrollo mínima.

También es importante colocar refuerzo adicional en las esquinas que forman los huecos, esto para evitar la tendencia de formar grietas a 45 grados debidas a los esfuerzos de tensión en esos puntos.

Todo lo anterior es técnicamente hablando, pero realmente en la práctica, en estos aspectos rigen mas las experiencias que se han tenido en este tipo de elementos estructurales.

El detallado del refuerzo adicional para huecos se puede ver en el plano número 15.

4.6 RESUMEN DE RESULTADOS.

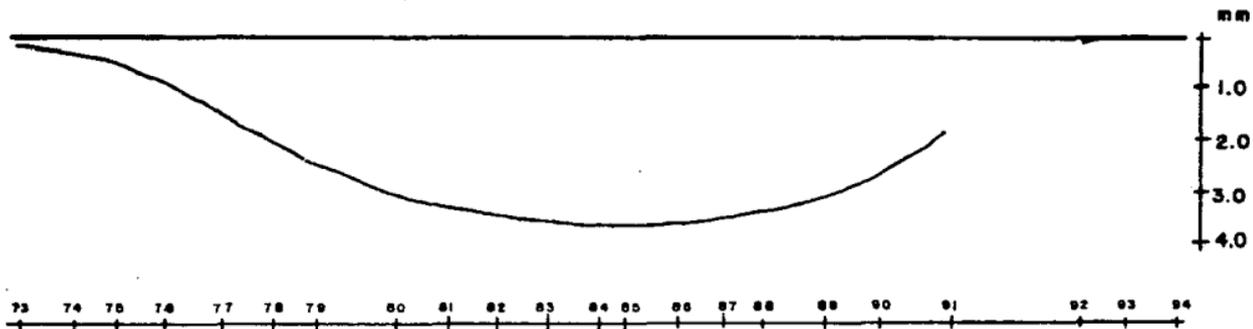
En las siguientes gráficas se muestran en detalle, los diagramas de momento y las deflexiones correspondientes a cada franja, indicando los momentos máximos, y su posición en una escala aproximada

Siendo así con estos datos como se obtiene la gráfica que se muestra en los planos número 9 y 10 ,en donde se indica de una manera general como se va a armar la losa tanto en el lecho superior e inferior, y finalmente se puede ver ya el armado detallado de la losa en los planos número 11 y 12 ,en donde se indica el diámetro y longitud de anclaje, para la estructura en general.

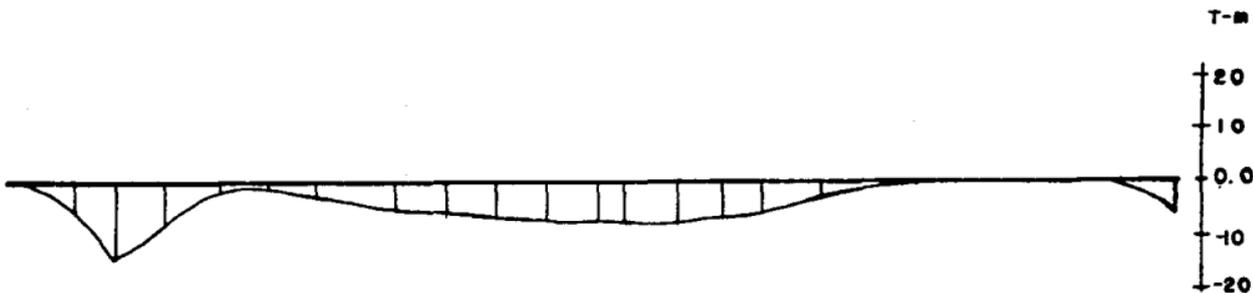
Finalmente es conveniente aclarar, que en algunos puntos de la losa, se dispara el valor del momento en ese lugar , observando que generalmente es en los empotramientos de los extremos y de los huecos, por lo que no se consideró necesario tomar estrictamente ese valor, ya que si se analizan los diagramas de momento, se puede observar que la diferencia de valores entre el extremo empotrado y unos centímetros adelante es muy grande, por lo que se tomo un valor promedio para armar en esas zonas y evitar congestionar el armado en los extremos.

Para un mayor entendimiento para el proceso del armado de la losa se recomienda comparar los diagramas de momento con los planos de obtención del armado que son los número 9 y 10.

DEFLEXIONES



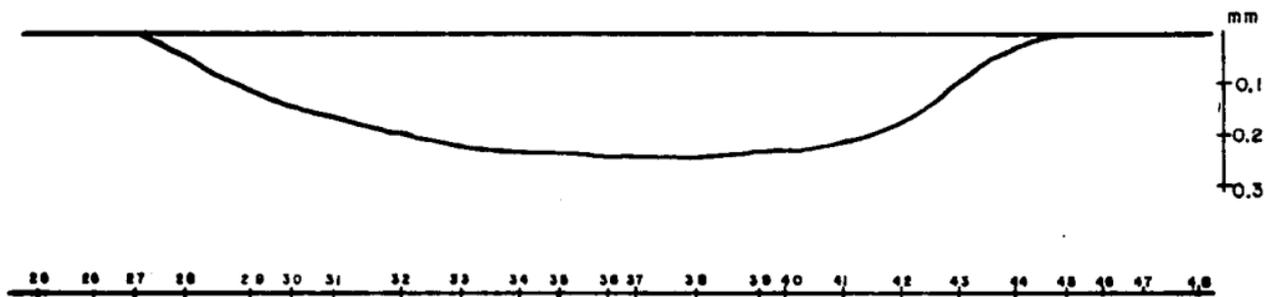
T-M



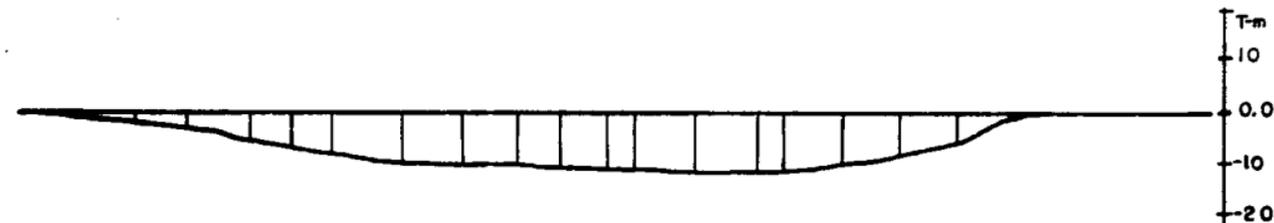
MOMENTOS

FRANJA I
LOSA ELEV. 953.60

DEFLEXIONES



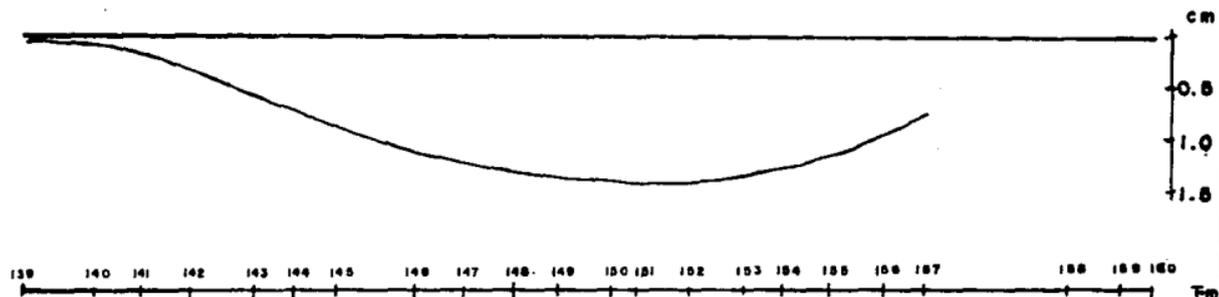
MOMENTOS



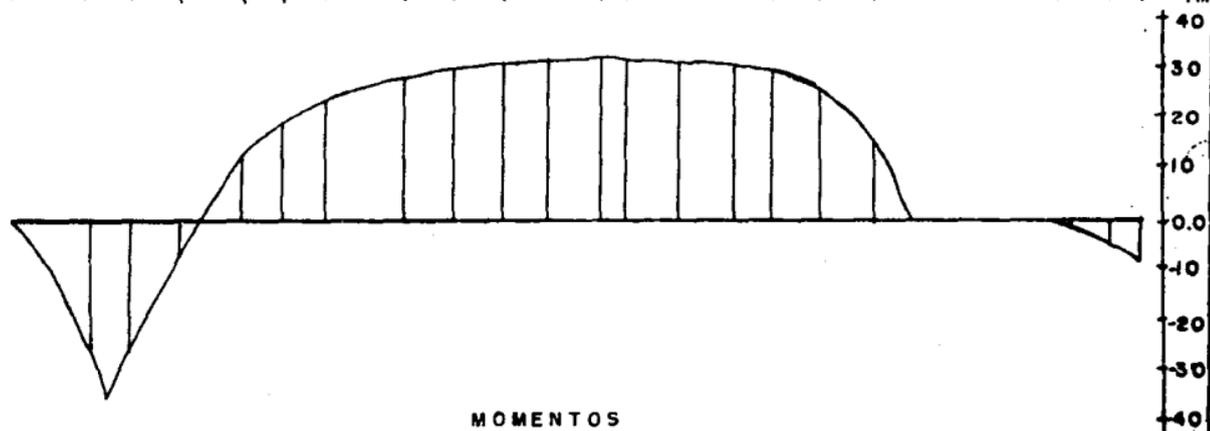
73

FRANJA 2
LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



MOMENTOS
FLEX.



74

FRANJA 3
LOSA ELEV. 955.60

DEFLEXIONES

cm

1.0
2.0

209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232

T-m

30
20
10
0.0
-10
-20
-30
-40
-50
-60

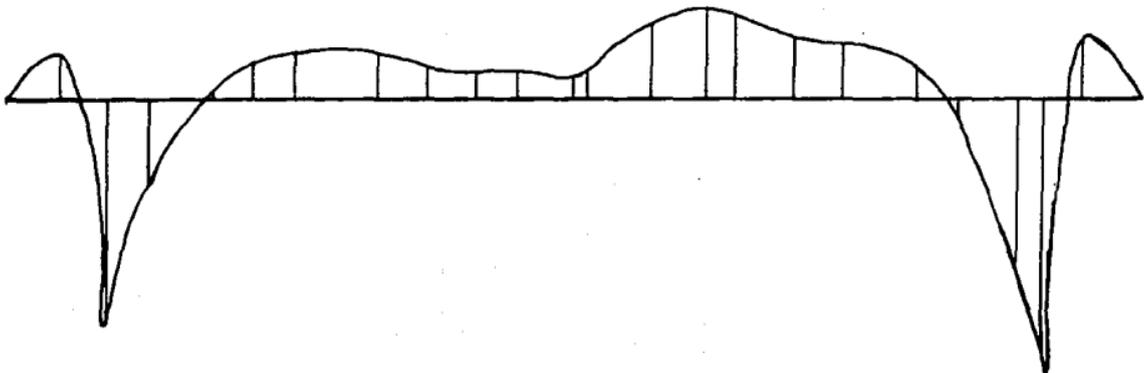
MOMENTOS

FLEX.

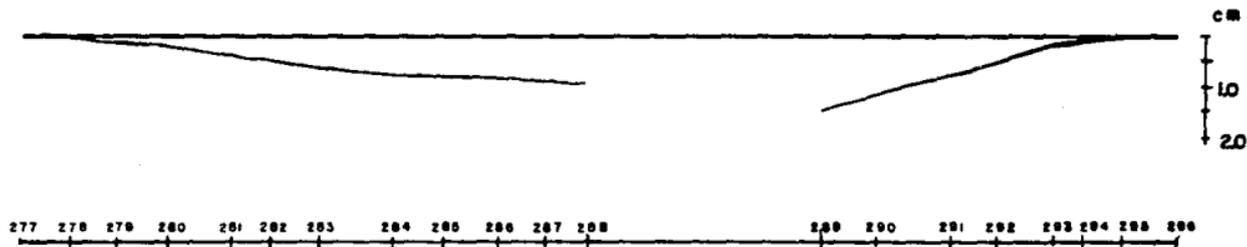
FRANJA 4

LOSA ELEV. 953.80

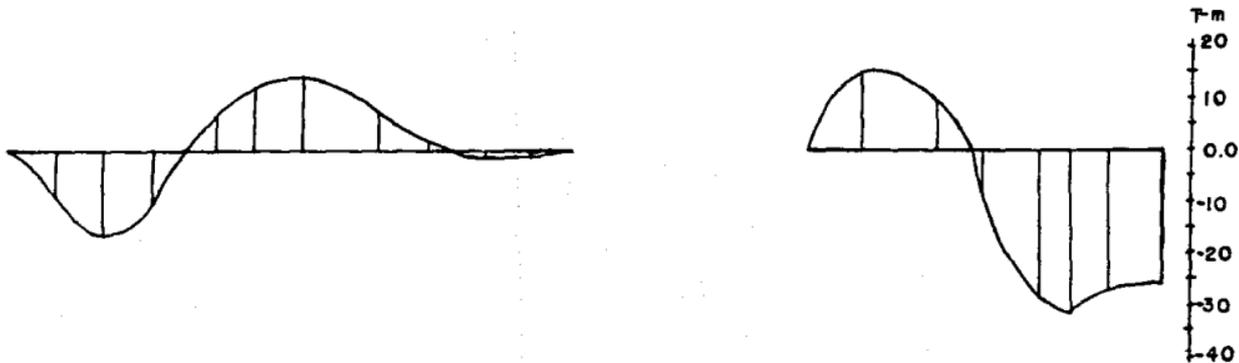
75



DEFLEXIONES



76



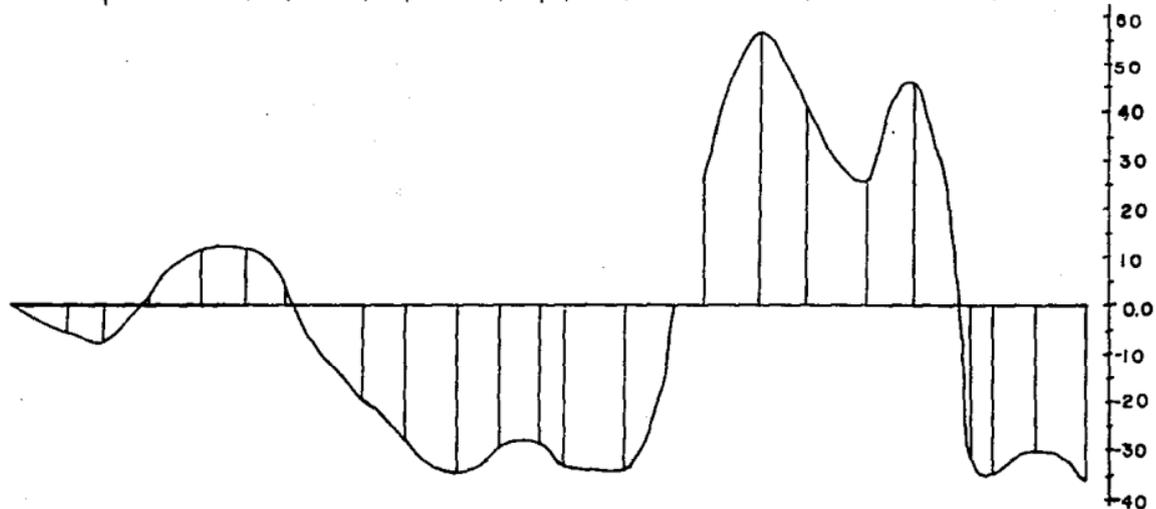
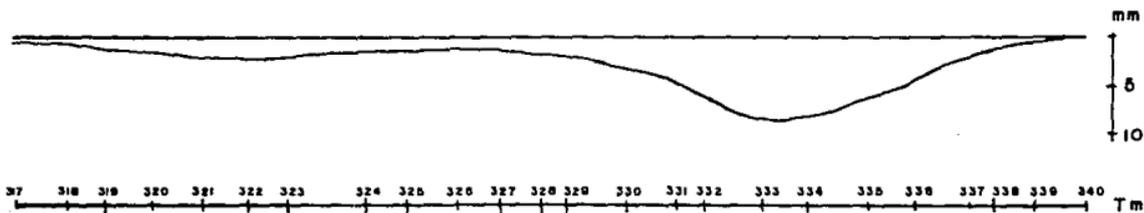
MOMENTOS

FLEX.

FRANJA 5

LOSA ELEV. 953.80

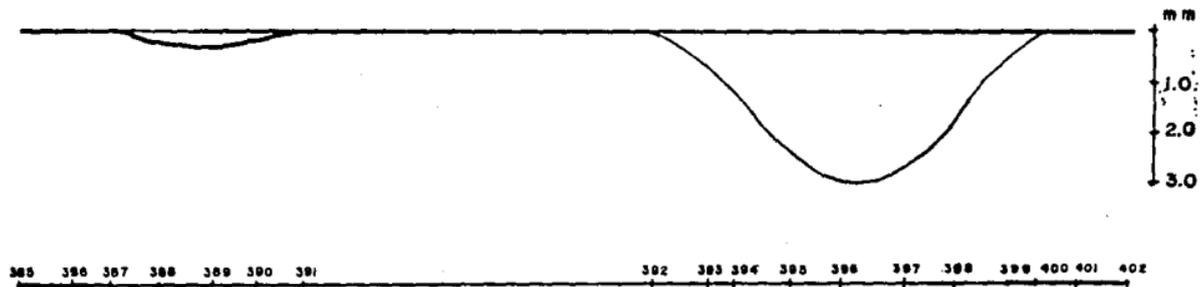
DEFLEXIONES



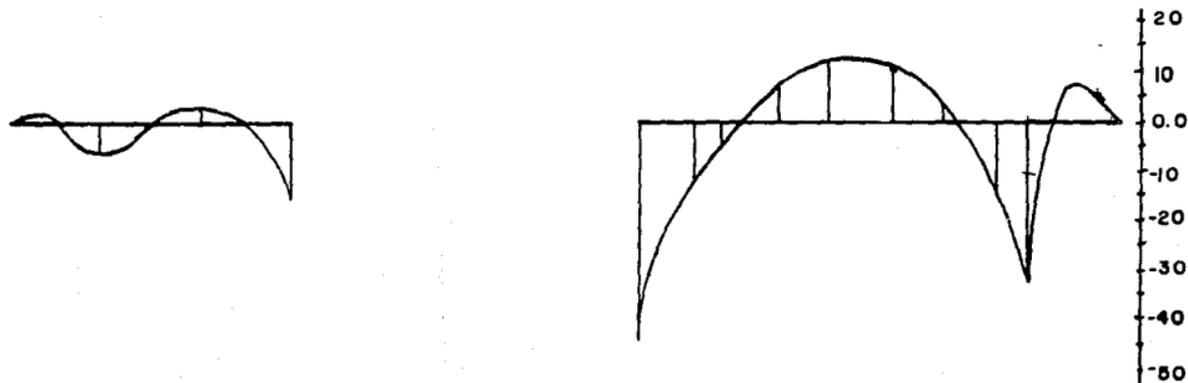
MOMENTOS
FLEX.

FRANJA 6
LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES

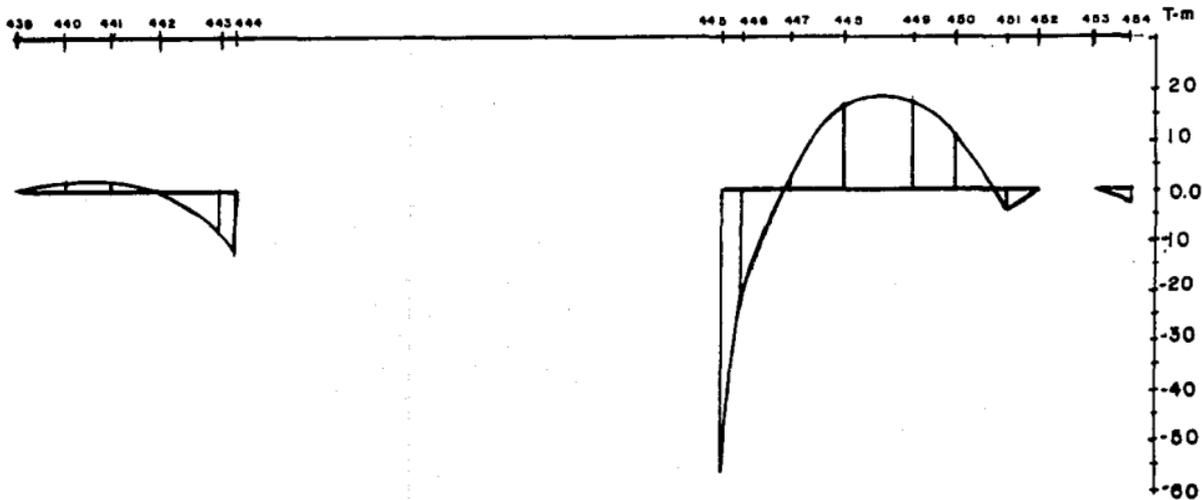
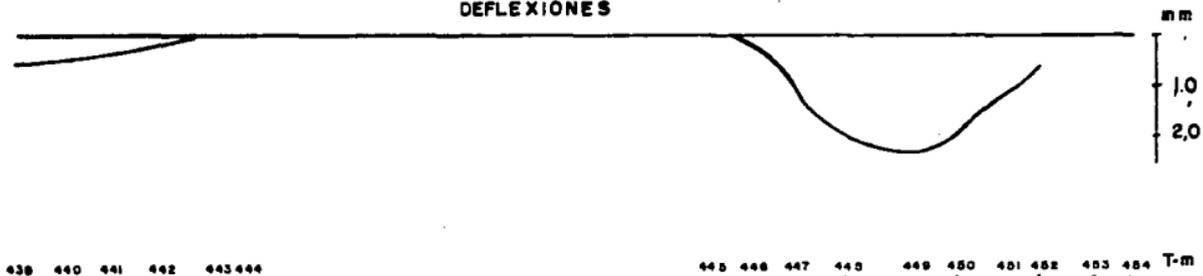


MOMENTOS
FLEX.



FRANJA 7
LOSA ELEV. 955.80'

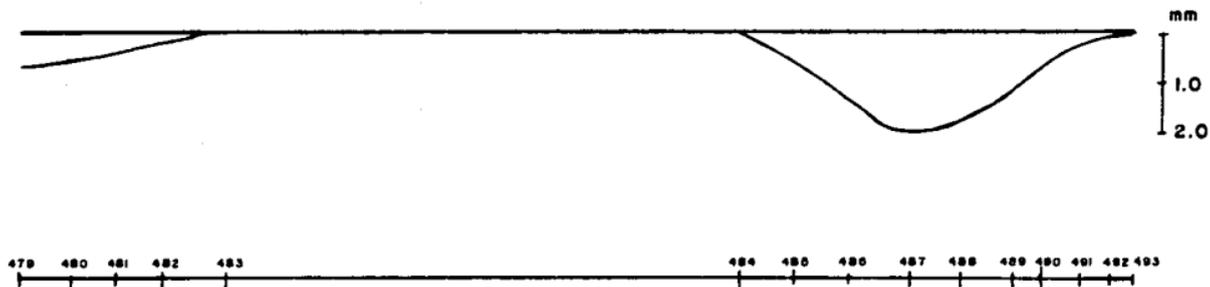
DEFLEXIONES



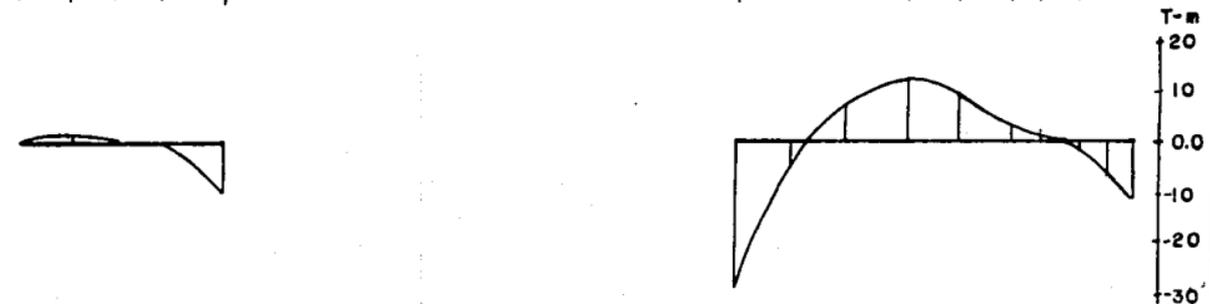
MOMENTOS
FLEX.

FRANJA 8
LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



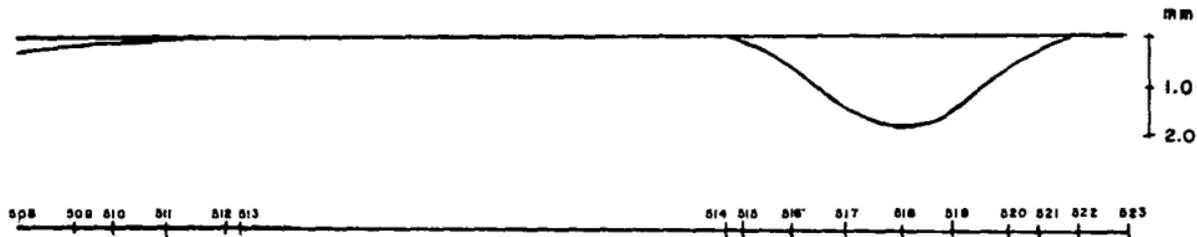
MOMENTOS FLEX.



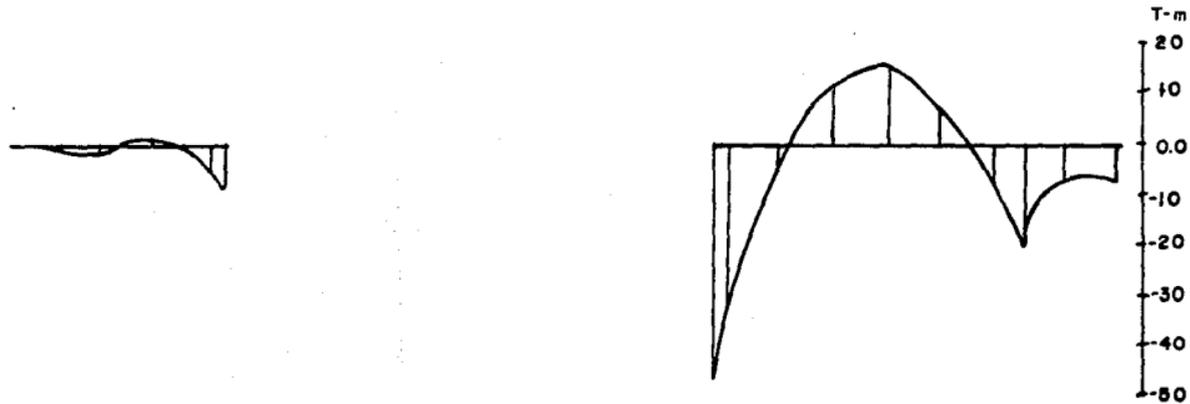
FRANJA 9

LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



18

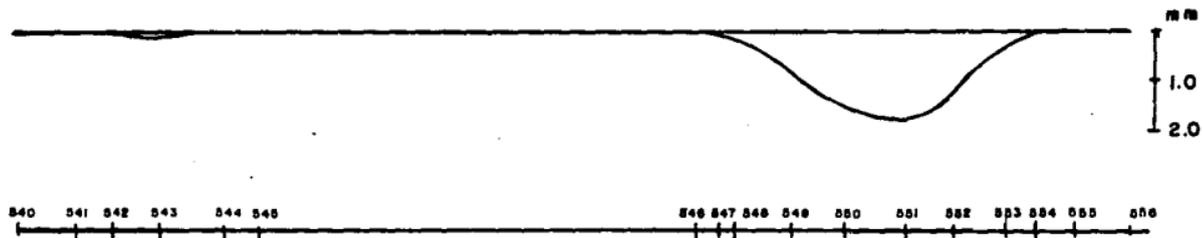


MOMENTOS
FLEX.

FRANJA 10

LOSA ELEV. 953.60

DEFLEXIONES



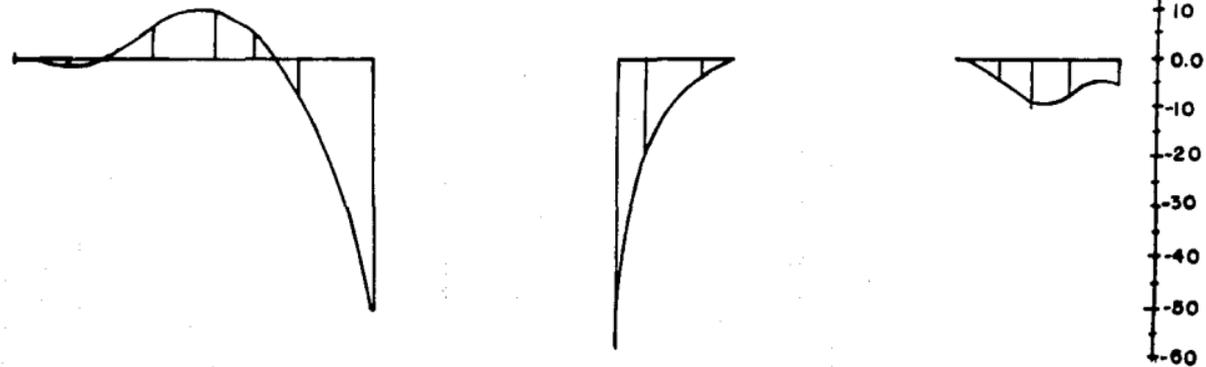
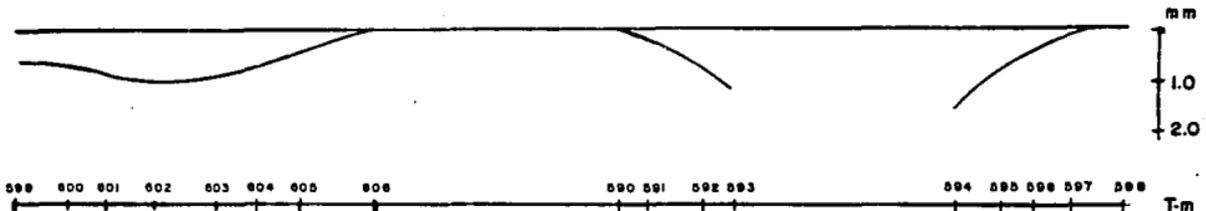
MOMENTOS

FLEX.

FRANJA II

LOSA ELEV. 953.80

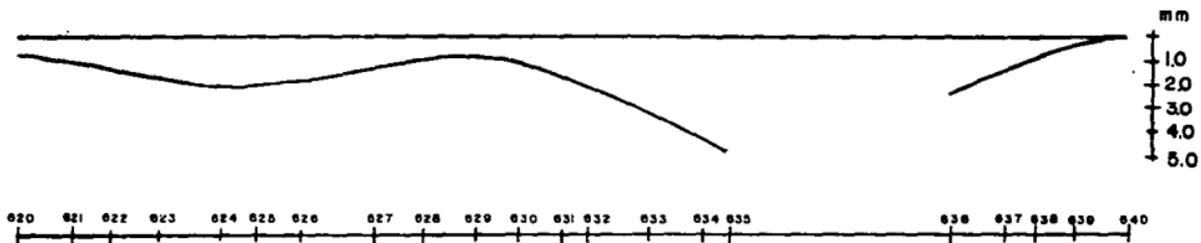
DEFLEXIONES



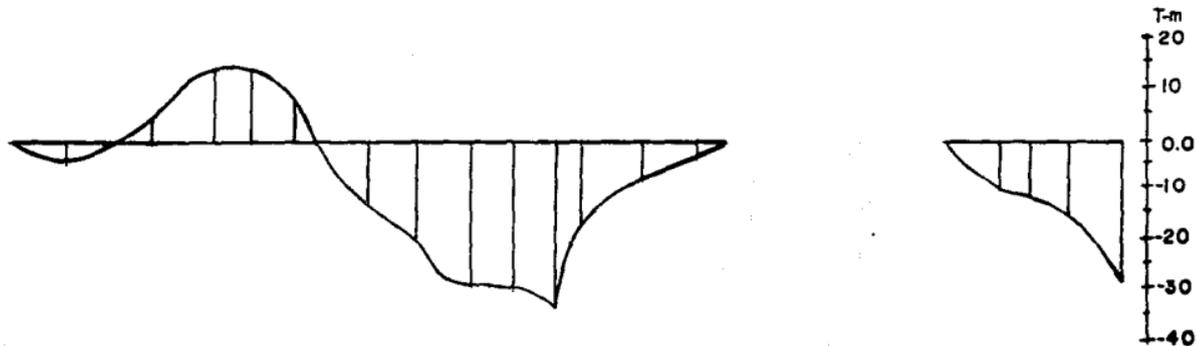
MOMENTOS
FLEX.

FRANJA 12
LOSA ELEV. 955.80

DEFLEXIONES



84



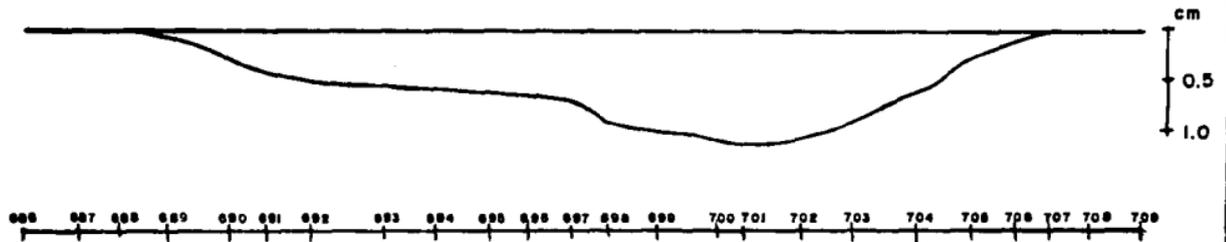
MOMENTOS

FLEX.

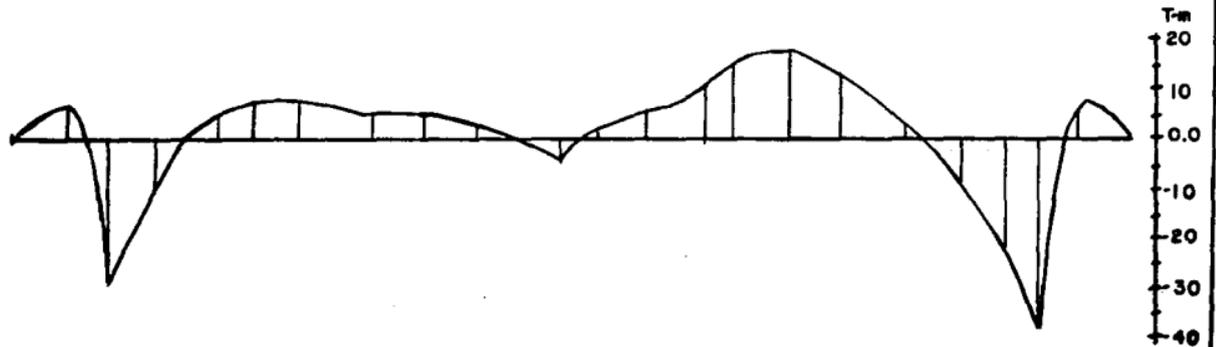
FRANJA 13

LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



58

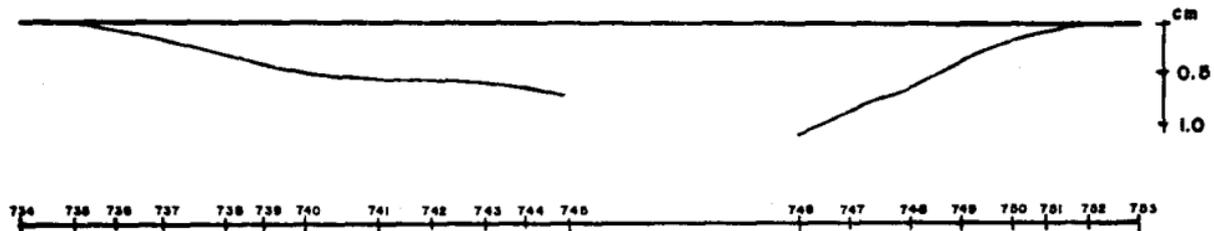


MOMENTO

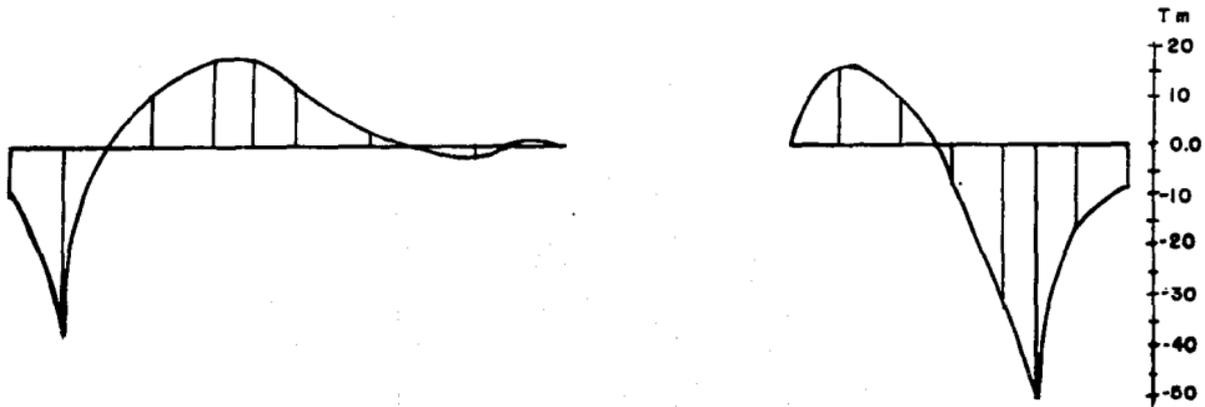
FLEX.

FRANJA 14
LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



98

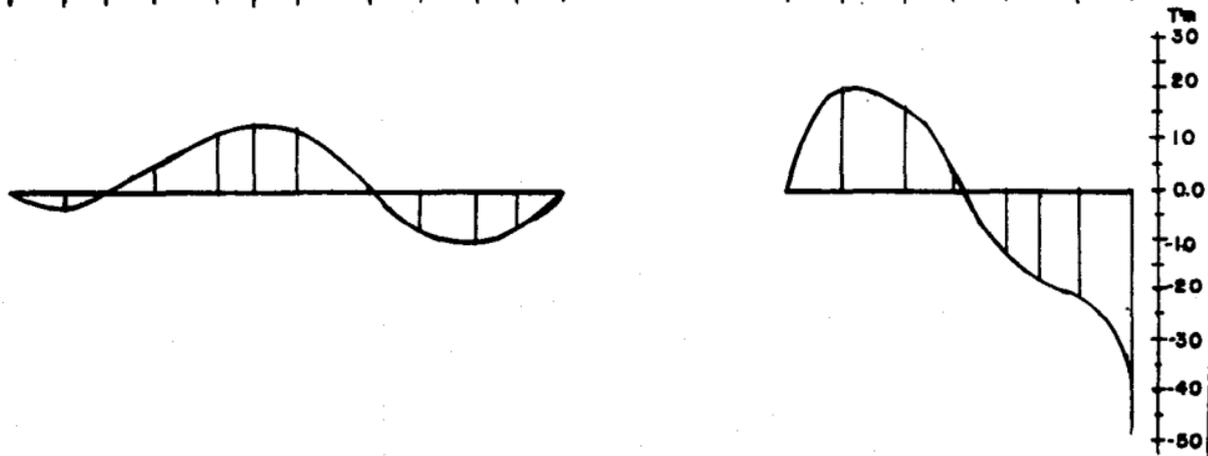
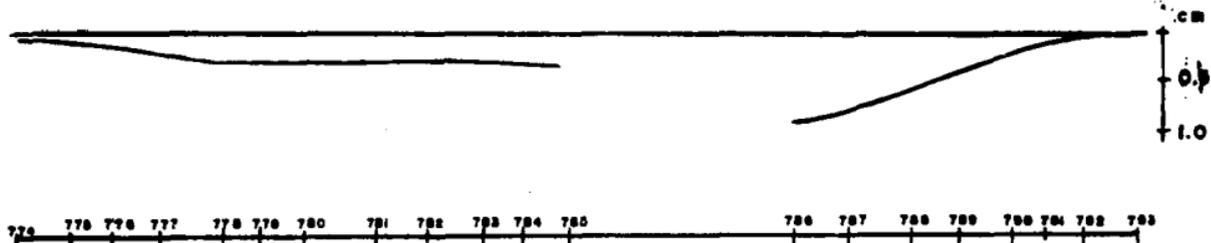


MOMENTOS

FLEX.

FRANJA 15
LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



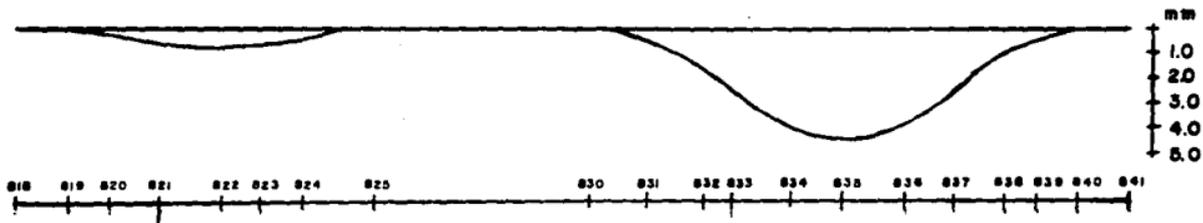
MOMENTOS

FLEX.

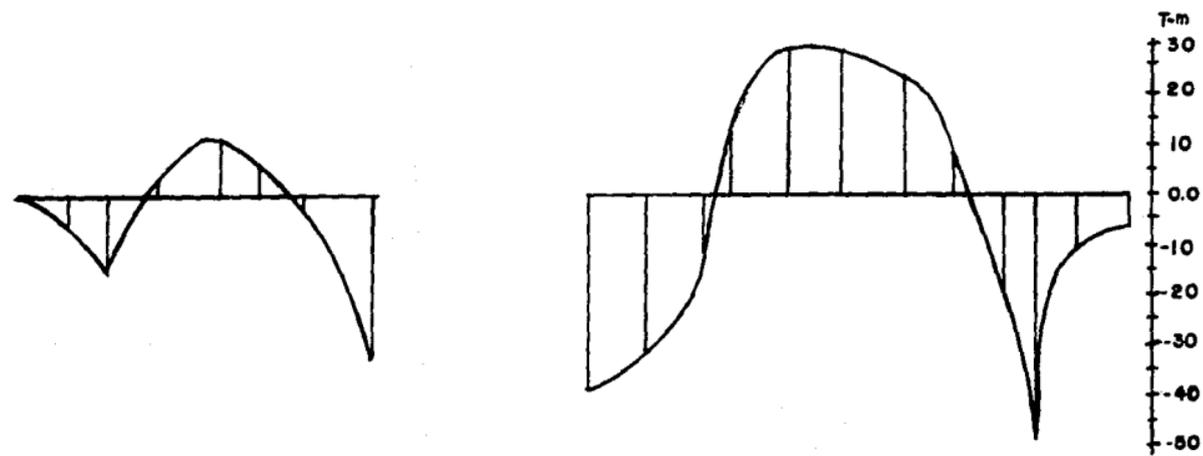
FRANJA 16

LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



88

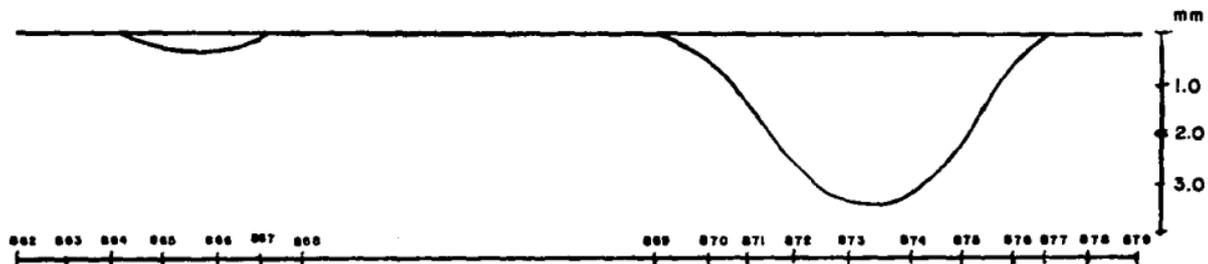


MOMENTOS

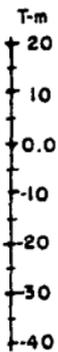
FLEX.

FRANJA 17
LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



08



MOMENTOS
FLEX.

FRANJA 18
LOSA ELEV. 933.80

DEFLEXIONES

mm
1.0
2.0
3.0
T.m
30
20
10
0.0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80

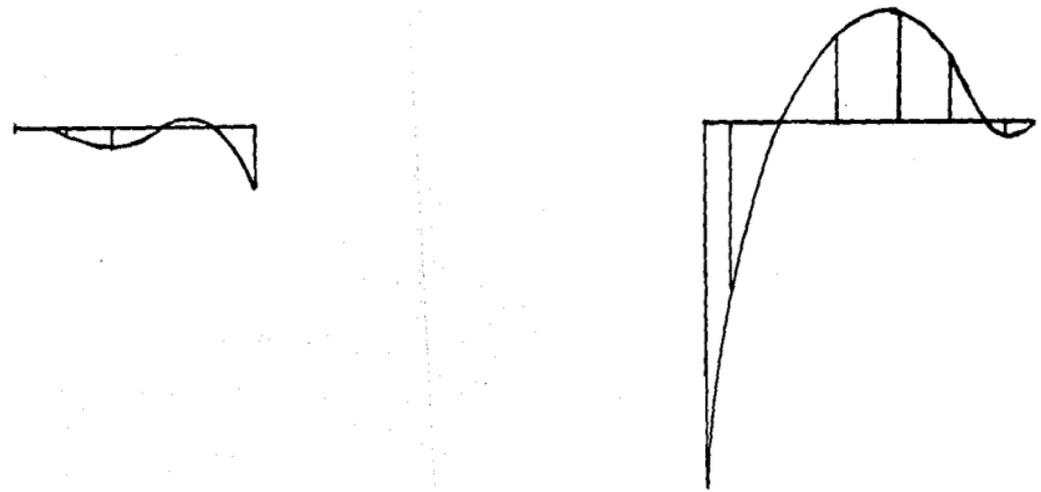


998 999 900 901 902 903

917 918 919 920 921 922 923 924 925

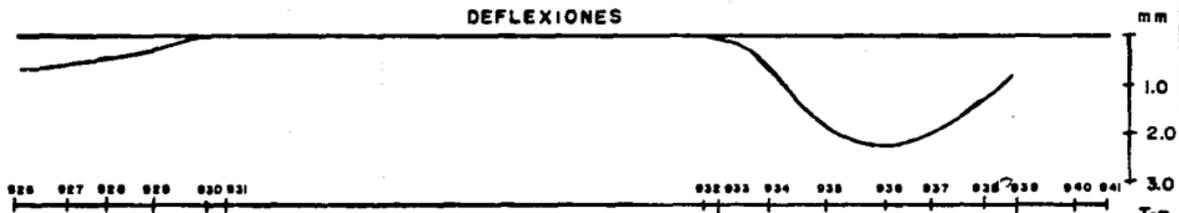
MOMENTOS
FLEX.

FRANJA 19
LOSA ELEV. 953.80



06

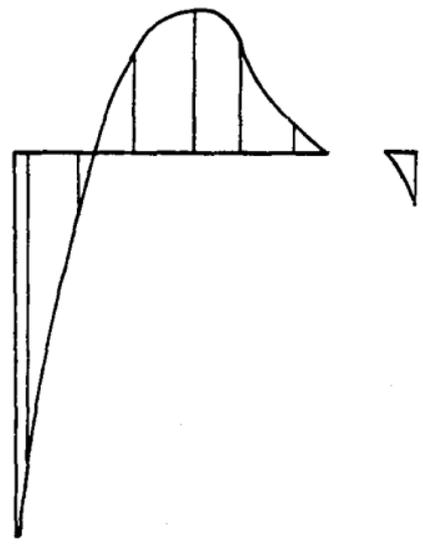
DEFLEXIONES



926 927 928 929 930 931

932 933 934 935 936 937 938 939 940 941

mm
1.0
2.0
3.0

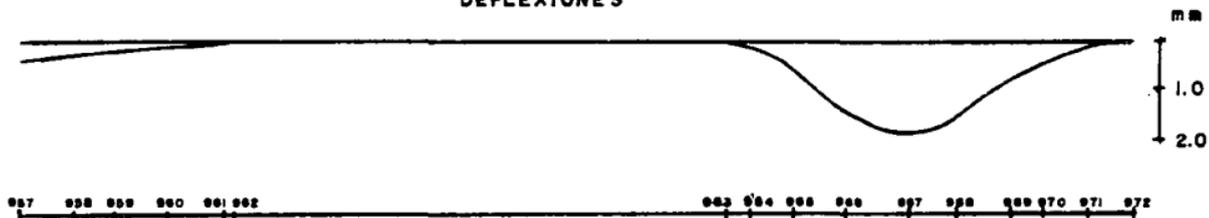


T-m
30
20
10
0.0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80

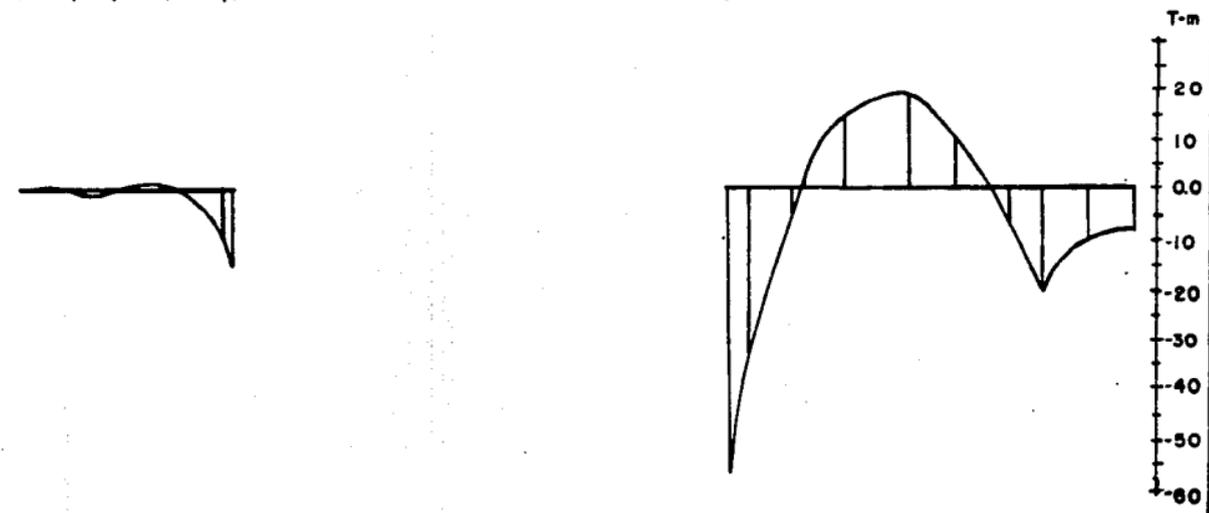
MOMENTOS
FLEX.

FRANJA 20.
LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



mm
1.0
2.0



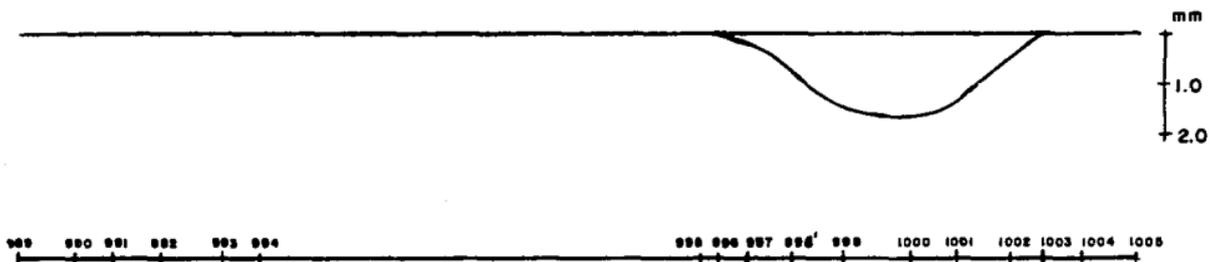
T-m
20
10
0.0
-10
-20
-30
-40
-50
-60

26

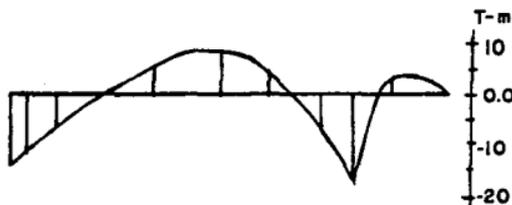
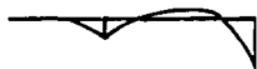
MOMENTOS
FLEX.

FRANJA 21
LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



93



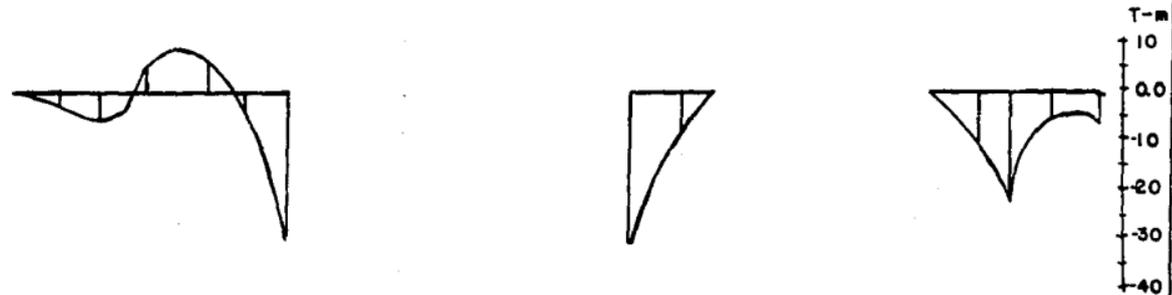
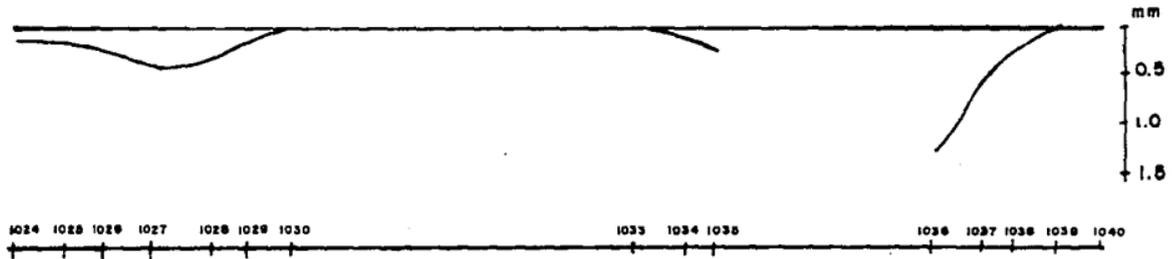
MOMENTOS

FLEX.

FRANJA 22

LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



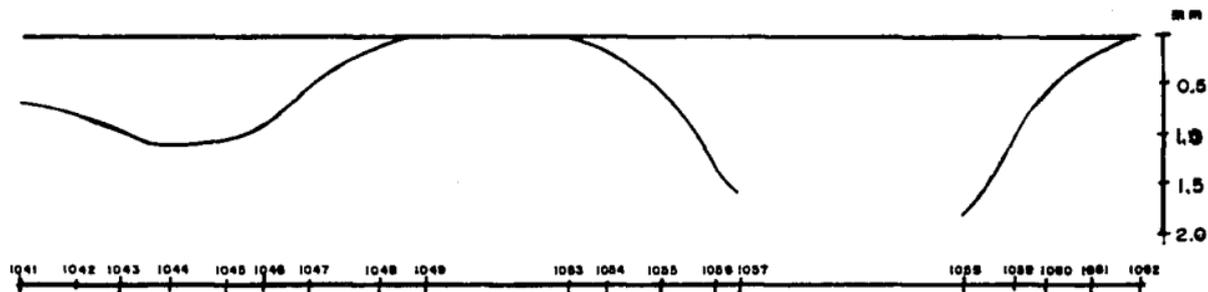
MOMENTOS

FLEX.

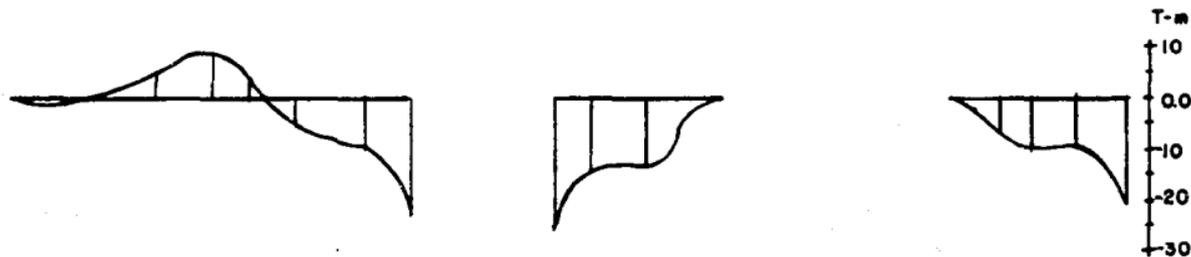
FRANJA 23

LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



95

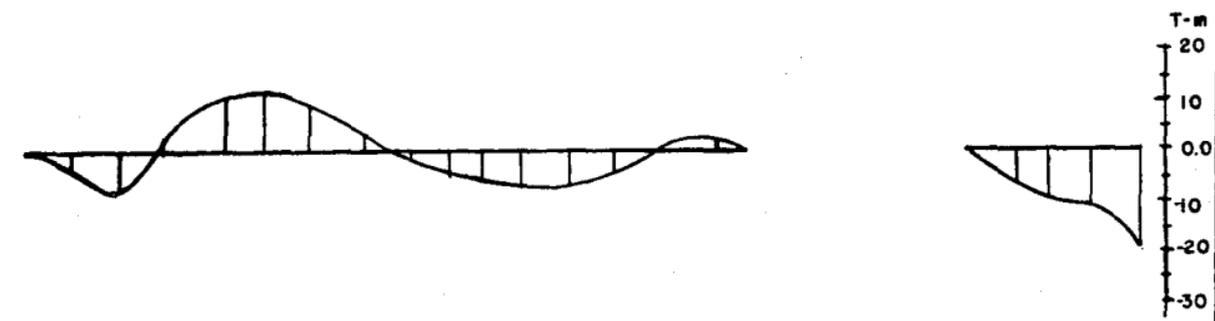
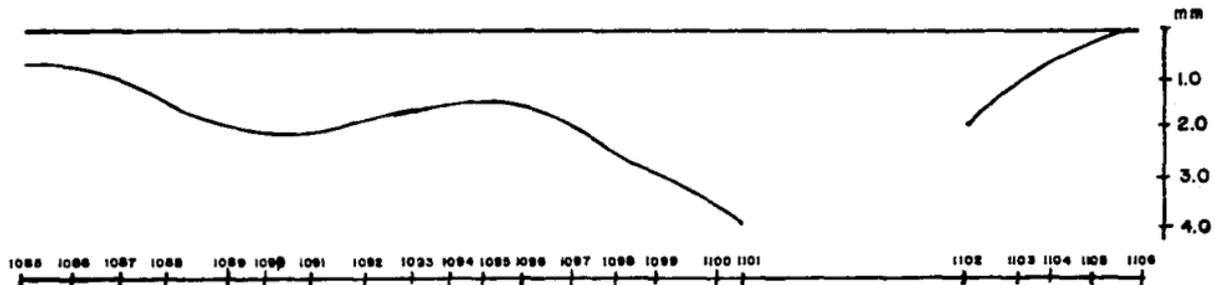


MOMENTOS
FLEX.

FRANJA 24

LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



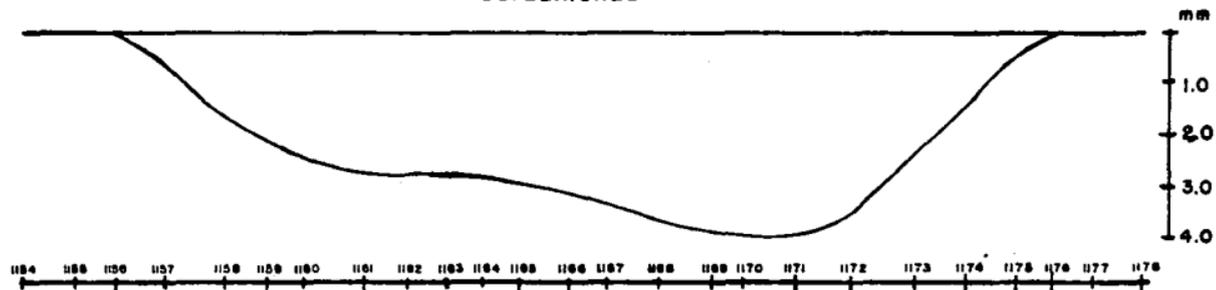
MOMENTOS

FLEX.

96

FRANJA 25
LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



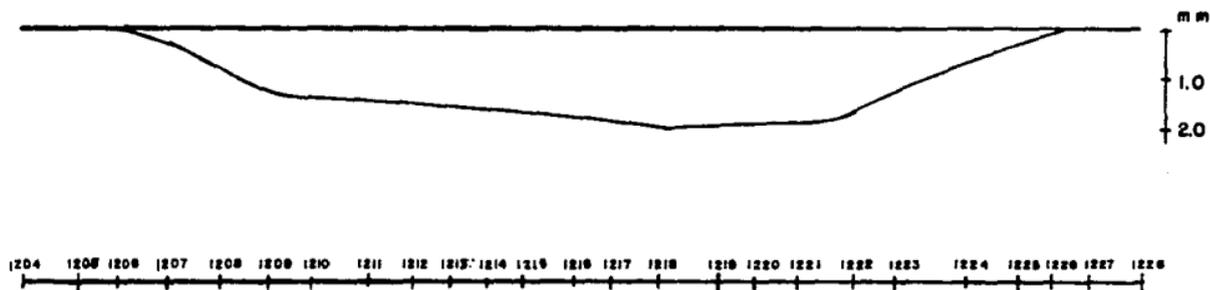
MOMENTOS

FLEX.



FRANJA 26
LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



MOMENTOS

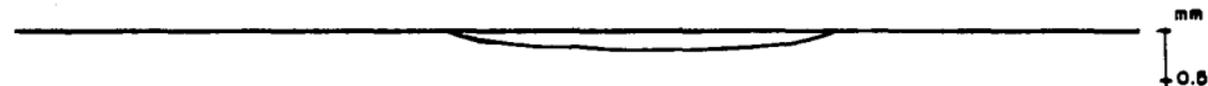
FLEX.



FRANJA 27

LOSA ELEV. 953.80

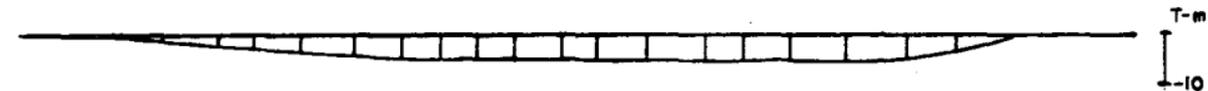
DEFLEXIONES



1254 1255 1256 1257 1258 1259 1260 1261 1262 1263 1264 1265 1266 1267 1268 1269 1270 1271 1272 1273 1274 1275 1276 1277 1278

MOMENTOS

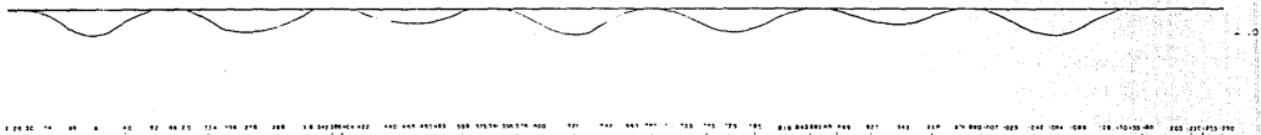
FLEX.



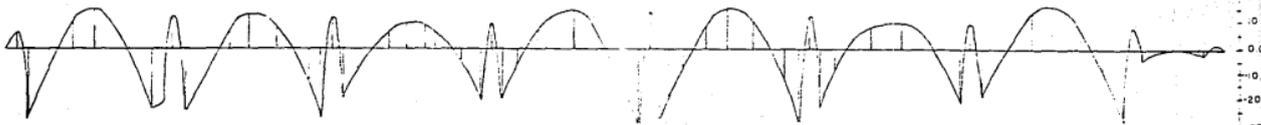
66

FRANJA 28
LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200

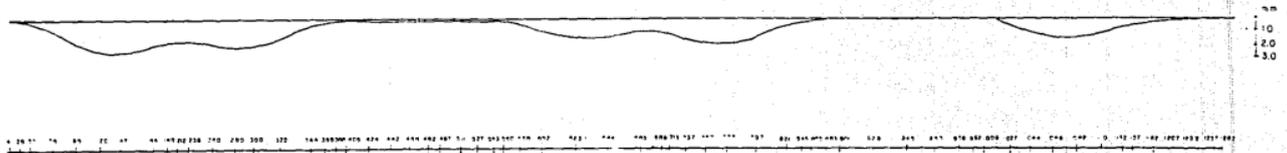


MOMENTOS

FLEX

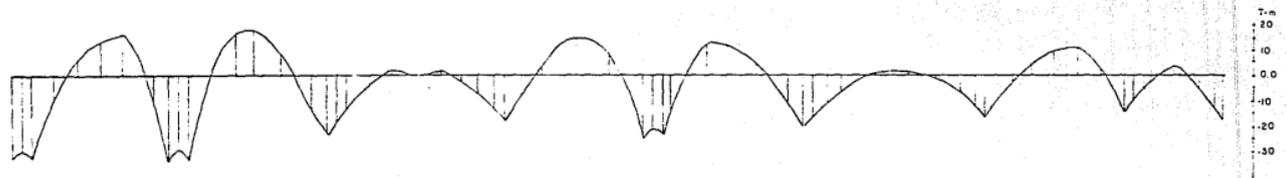
FRANJA A
LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



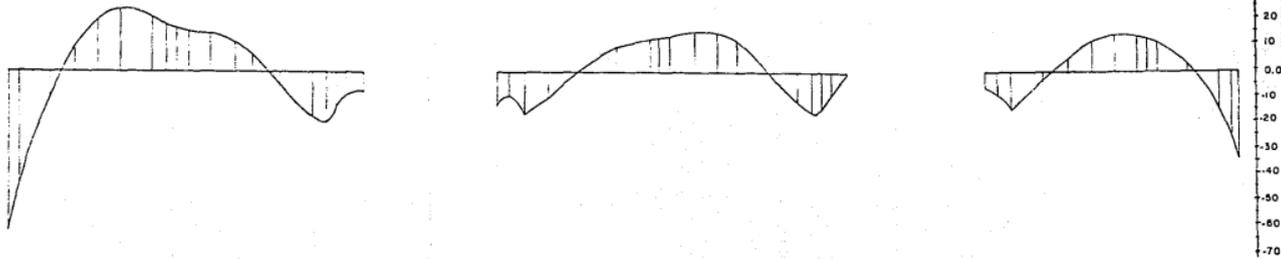
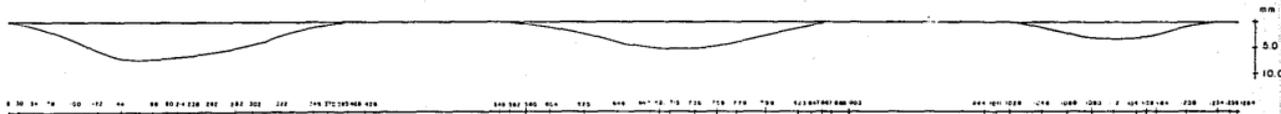
MOMENTOS

FLEX



FRANJA B
LOSA 953.80

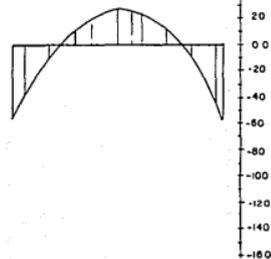
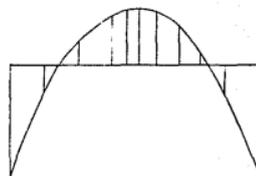
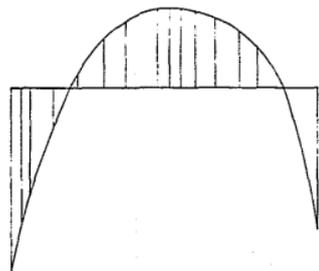
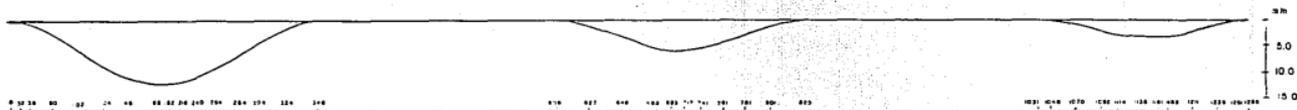
DEFLEXIONES



MOMENTOS
FLEX.

FRANJA C
LOSA ELEV. 953.80

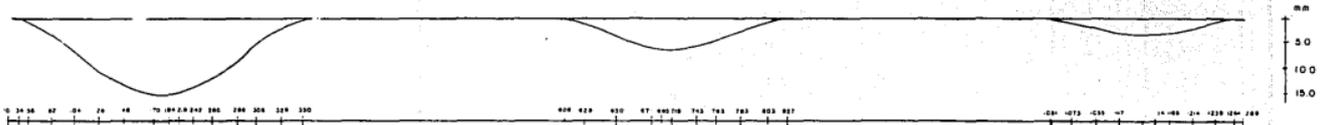
DEFLEXIONES



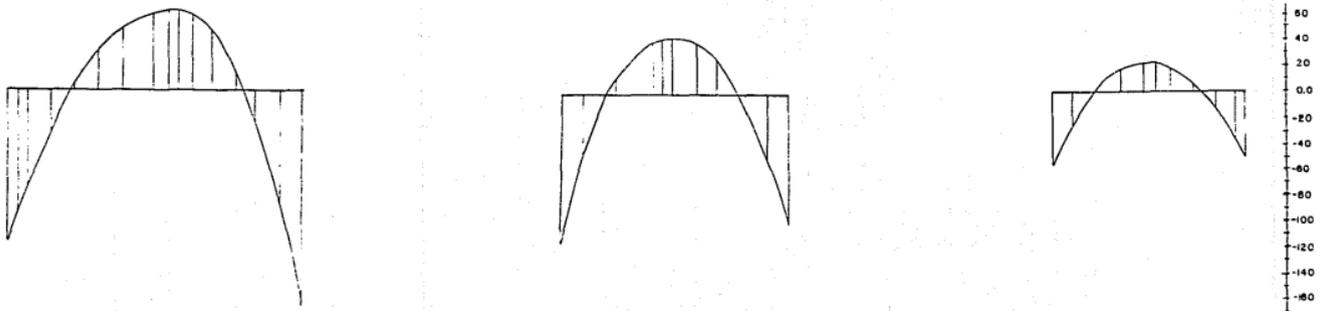
MOMENTOS
FLEX.

FRANJA D
LOSA ELEV. 953.60

DEFLEXIONES



mm
50
100
150

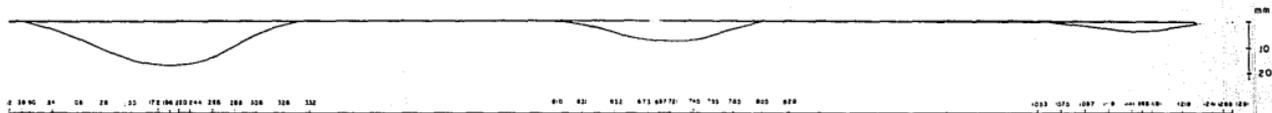


T-m
50
40
30
20
10
0.0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
-180

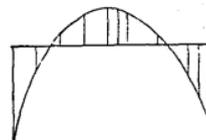
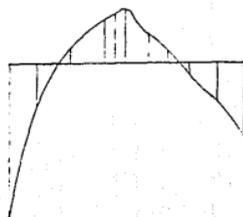
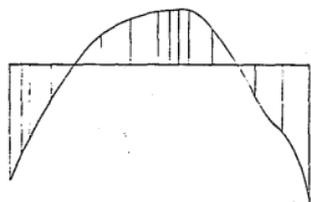
MOMENTOS
FLEX.

FRANJA E
LOSA ELEV. 955.80

DEFLEXIONES



mm
10
20

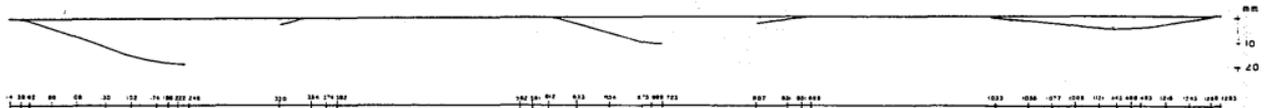


T-m
80
40
20
0.0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140

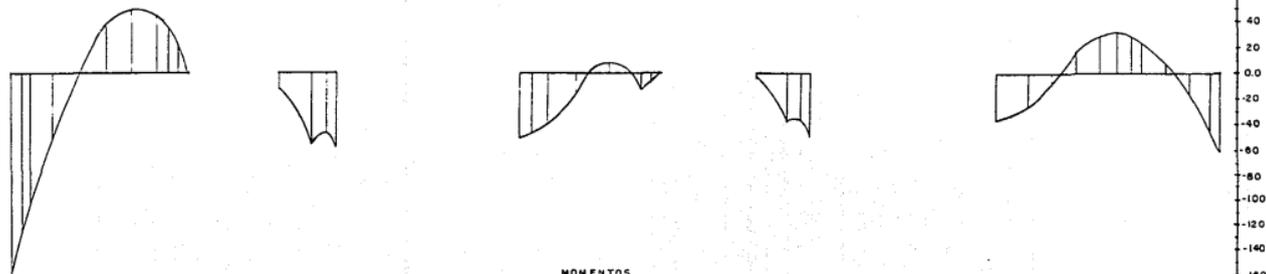
MOMENTOS
FLEX.

FRANJA F
LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



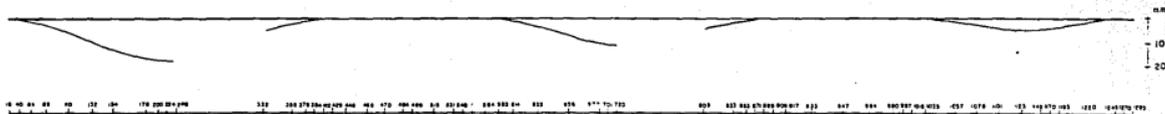
mm
10
20



MOMENTOS
FLEX.

FRANJA G
LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES

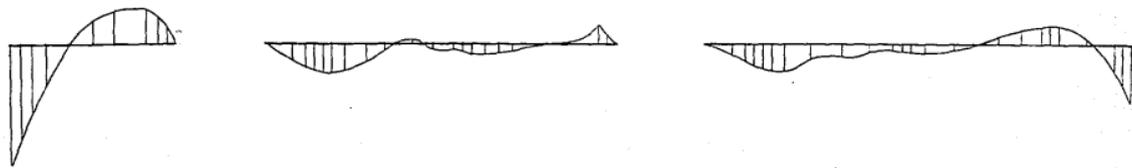


16 40 81 81 132 132 178 200 200 200 232 232 254 276 276 276 276 308 308 308 308 332 332 354 354 354 354 378 378 378 378 402 402 402 402 426 426 426 426 450 450 450 450 474 474 474 474 498 498 498 498 522 522 522 522 546 546 546 546 570 570 570 570 594 594 594 594 618 618 618 618 642 642 642 642 666 666 666 666 690 690 690 690 714 714 714 714 738 738 738 738 762 762 762 762 786 786 786 786 810 810 810 810 834 834 834 834 858 858 858 858 882 882 882 882 906 906 906 906 930 930 930 930 954 954 954 954 978 978 978 978 1002 1002 1002 1002 1026 1026 1026 1026 1050 1050 1050 1050 1074 1074 1074 1074 1098 1098 1098 1098 1122 1122 1122 1122 1146 1146 1146 1146 1170 1170 1170 1170 1194 1194 1194 1194 1218 1218 1218 1218 1242 1242 1242 1242 1266 1266 1266 1266 1290 1290 1290 1290 1314 1314 1314 1314 1338 1338 1338 1338 1362 1362 1362 1362 1386 1386 1386 1386 1410 1410 1410 1410 1434 1434 1434 1434 1458 1458 1458 1458 1482 1482 1482 1482 1506 1506 1506 1506 1530 1530 1530 1530 1554 1554 1554 1554 1578 1578 1578 1578 1602 1602 1602 1602 1626 1626 1626 1626 1650 1650 1650 1650 1674 1674 1674 1674 1698 1698 1698 1698 1722 1722 1722 1722 1746 1746 1746 1746 1770 1770 1770 1770 1794 1794 1794 1794 1818 1818 1818 1818 1842 1842 1842 1842 1866 1866 1866 1866 1890 1890 1890 1890 1914 1914 1914 1914 1938 1938 1938 1938 1962 1962 1962 1962 1986 1986 1986 1986 2010 2010 2010 2010 2034 2034 2034 2034 2058 2058 2058 2058 2082 2082 2082 2082 2106 2106 2106 2106 2130 2130 2130 2130 2154 2154 2154 2154 2178 2178 2178 2178 2202 2202 2202 2202 2226 2226 2226 2226 2250 2250 2250 2250 2274 2274 2274 2274 2298 2298 2298 2298 2322 2322 2322 2322 2346 2346 2346 2346 2370 2370 2370 2370 2394 2394 2394 2394 2418 2418 2418 2418 2442 2442 2442 2442 2466 2466 2466 2466 2490 2490 2490 2490 2514 2514 2514 2514 2538 2538 2538 2538 2562 2562 2562 2562 2586 2586 2586 2586 2610 2610 2610 2610 2634 2634 2634 2634 2658 2658 2658 2658 2682 2682 2682 2682 2706 2706 2706 2706 2730 2730 2730 2730 2754 2754 2754 2754 2778 2778 2778 2778 2802 2802 2802 2802 2826 2826 2826 2826 2850 2850 2850 2850 2874 2874 2874 2874 2898 2898 2898 2898 2922 2922 2922 2922 2946 2946 2946 2946 2970 2970 2970 2970 2994 2994 2994 2994 3018 3018 3018 3018 3042 3042 3042 3042 3066 3066 3066 3066 3090 3090 3090 3090 3114 3114 3114 3114 3138 3138 3138 3138 3162 3162 3162 3162 3186 3186 3186 3186 3210 3210 3210 3210 3234 3234 3234 3234 3258 3258 3258 3258 3282 3282 3282 3282 3306 3306 3306 3306 3330 3330 3330 3330 3354 3354 3354 3354 3378 3378 3378 3378 3402 3402 3402 3402 3426 3426 3426 3426 3450 3450 3450 3450 3474 3474 3474 3474 3498 3498 3498 3498 3522 3522 3522 3522 3546 3546 3546 3546 3570 3570 3570 3570 3594 3594 3594 3594 3618 3618 3618 3618 3642 3642 3642 3642 3666 3666 3666 3666 3690 3690 3690 3690 3714 3714 3714 3714 3738 3738 3738 3738 3762 3762 3762 3762 3786 3786 3786 3786 3810 3810 3810 3810 3834 3834 3834 3834 3858 3858 3858 3858 3882 3882 3882 3882 3906 3906 3906 3906 3930 3930 3930 3930 3954 3954 3954 3954 3978 3978 3978 3978 4002 4002 4002 4002 4026 4026 4026 4026 4050 4050 4050 4050 4074 4074 4074 4074 4098 4098 4098 4098 4122 4122 4122 4122 4146 4146 4146 4146 4170 4170 4170 4170 4194 4194 4194 4194 4218 4218 4218 4218 4242 4242 4242 4242 4266 4266 4266 4266 4290 4290 4290 4290 4314 4314 4314 4314 4338 4338 4338 4338 4362 4362 4362 4362 4386 4386 4386 4386 4410 4410 4410 4410 4434 4434 4434 4434 4458 4458 4458 4458 4482 4482 4482 4482 4506 4506 4506 4506 4530 4530 4530 4530 4554 4554 4554 4554 4578 4578 4578 4578 4602 4602 4602 4602 4626 4626 4626 4626 4650 4650 4650 4650 4674 4674 4674 4674 4698 4698 4698 4698 4722 4722 4722 4722 4746 4746 4746 4746 4770 4770 4770 4770 4794 4794 4794 4794 4818 4818 4818 4818 4842 4842 4842 4842 4866 4866 4866 4866 4890 4890 4890 4890 4914 4914 4914 4914 4938 4938 4938 4938 4962 4962 4962 4962 4986 4986 4986 4986 5010 5010 5010 5010 5034 5034 5034 5034 5058 5058 5058 5058 5082 5082 5082 5082 5106 5106 5106 5106 5130 5130 5130 5130 5154 5154 5154 5154 5178 5178 5178 5178 5202 5202 5202 5202 5226 5226 5226 5226 5250 5250 5250 5250 5274 5274 5274 5274 5298 5298 5298 5298 5322 5322 5322 5322 5346 5346 5346 5346 5370 5370 5370 5370 5394 5394 5394 5394 5418 5418 5418 5418 5442 5442 5442 5442 5466 5466 5466 5466 5490 5490 5490 5490 5514 5514 5514 5514 5538 5538 5538 5538 5562 5562 5562 5562 5586 5586 5586 5586 5610 5610 5610 5610 5634 5634 5634 5634 5658 5658 5658 5658 5682 5682 5682 5682 5706 5706 5706 5706 5730 5730 5730 5730 5754 5754 5754 5754 5778 5778 5778 5778 5802 5802 5802 5802 5826 5826 5826 5826 5850 5850 5850 5850 5874 5874 5874 5874 5898 5898 5898 5898 5922 5922 5922 5922 5946 5946 5946 5946 5970 5970 5970 5970 5994 5994 5994 5994 6018 6018 6018 6018 6042 6042 6042 6042 6066 6066 6066 6066 6090 6090 6090 6090 6114 6114 6114 6114 6138 6138 6138 6138 6162 6162 6162 6162 6186 6186 6186 6186 6210 6210 6210 6210 6234 6234 6234 6234 6258 6258 6258 6258 6282 6282 6282 6282 6306 6306 6306 6306 6330 6330 6330 6330 6354 6354 6354 6354 6378 6378 6378 6378 6402 6402 6402 6402 6426 6426 6426 6426 6450 6450 6450 6450 6474 6474 6474 6474 6498 6498 6498 6498 6522 6522 6522 6522 6546 6546 6546 6546 6570 6570 6570 6570 6594 6594 6594 6594 6618 6618 6618 6618 6642 6642 6642 6642 6666 6666 6666 6666 6690 6690 6690 6690 6714 6714 6714 6714 6738 6738 6738 6738 6762 6762 6762 6762 6786 6786 6786 6786 6810 6810 6810 6810 6834 6834 6834 6834 6858 6858 6858 6858 6882 6882 6882 6882 6906 6906 6906 6906 6930 6930 6930 6930 6954 6954 6954 6954 6978 6978 6978 6978 7002 7002 7002 7002 7026 7026 7026 7026 7050 7050 7050 7050 7074 7074 7074 7074 7098 7098 7098 7098 7122 7122 7122 7122 7146 7146 7146 7146 7170 7170 7170 7170 7194 7194 7194 7194 7218 7218 7218 7218 7242 7242 7242 7242 7266 7266 7266 7266 7290 7290 7290 7290 7314 7314 7314 7314 7338 7338 7338 7338 7362 7362 7362 7362 7386 7386 7386 7386 7410 7410 7410 7410 7434 7434 7434 7434 7458 7458 7458 7458 7482 7482 7482 7482 7506 7506 7506 7506 7530 7530 7530 7530 7554 7554 7554 7554 7578 7578 7578 7578 7602 7602 7602 7602 7626 7626 7626 7626 7650 7650 7650 7650 7674 7674 7674 7674 7698 7698 7698 7698 7722 7722 7722 7722 7746 7746 7746 7746 7770 7770 7770 7770 7794 7794 7794 7794 7818 7818 7818 7818 7842 7842 7842 7842 7866 7866 7866 7866 7890 7890 7890 7890 7914 7914 7914 7914 7938 7938 7938 7938 7962 7962 7962 7962 7986 7986 7986 7986 8010 8010 8010 8010 8034 8034 8034 8034 8058 8058 8058 8058 8082 8082 8082 8082 8106 8106 8106 8106 8130 8130 8130 8130 8154 8154 8154 8154 8178 8178 8178 8178 8202 8202 8202 8202 8226 8226 8226 8226 8250 8250 8250 8250 8274 8274 8274 8274 8298 8298 8298 8298 8322 8322 8322 8322 8346 8346 8346 8346 8370 8370 8370 8370 8394 8394 8394 8394 8418 8418 8418 8418 8442 8442 8442 8442 8466 8466 8466 8466 8490 8490 8490 8490 8514 8514 8514 8514 8538 8538 8538 8538 8562 8562 8562 8562 8586 8586 8586 8586 8610 8610 8610 8610 8634 8634 8634 8634 8658 8658 8658 8658 8682 8682 8682 8682 8706 8706 8706 8706 8730 8730 8730 8730 8754 8754 8754 8754 8778 8778 8778 8778 8802 8802 8802 8802 8826 8826 8826 8826 8850 8850 8850 8850 8874 8874 8874 8874 8898 8898 8898 8898 8922 8922 8922 8922 8946 8946 8946 8946 8970 8970 8970 8970 8994 8994 8994 8994 9018 9018 9018 9018 9042 9042 9042 9042 9066 9066 9066 9066 9090 9090 9090 9090 9114 9114 9114 9114 9138 9138 9138 9138 9162 9162 9162 9162 9186 9186 9186 9186 9210 9210 9210 9210 9234 9234 9234 9234 9258 9258 9258 9258 9282 9282 9282 9282 9306 9306 9306 9306 9330 9330 9330 9330 9354 9354 9354 9354 9378 9378 9378 9378 9402 9402 9402 9402 9426 9426 9426 9426 9450 9450 9450 9450 9474 9474 9474 9474 9498 9498 9498 9498 9522 9522 9522 9522 9546 9546 9546 9546 9570 9570 9570 9570 9594 9594 9594 9594 9618 9618 9618 9618 9642 9642 9642 9642 9666 9666 9666 9666 9690 9690 9690 9690 9714 9714 9714 9714 9738 9738 9738 9738 9762 9762 9762 9762 9786 9786 9786 9786 9810 9810 9810 9810 9834 9834 9834 9834 9858 9858 9858 9858 9882 9882 9882 9882 9906 9906 9906 9906 9930 9930 9930 9930 9954 9954 9954 9954 9978 9978 9978 9978 10002 10002 10002 10002

0
10
20
mm

MOMENTOS

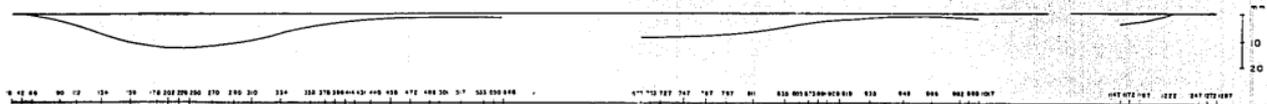
FLEX.



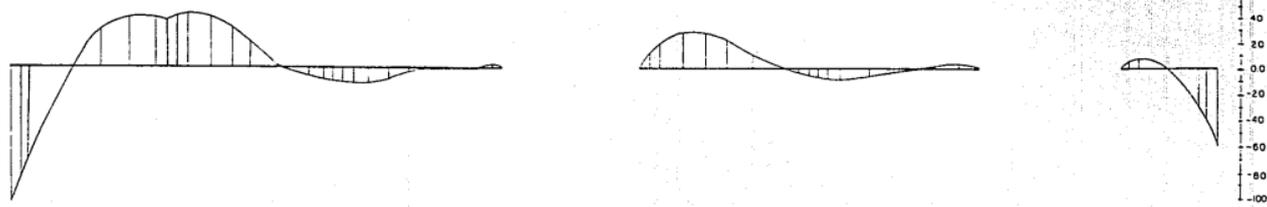
0
20
40
60
80
100
120
T-m

FRANJA H
LOSA ELEV. 933.80

DEFLEXIONES



0 12 24 36 48 60 72 84 96 108 120 132 144 156 168 180 192 204 216 228 240 252 264 276 288 300 312 324 336 348 360 372 384 396 408 420 432 444 456 468 480 492 504 516 528 540 552 564 576 588 600 612 624 636 648 660 672 684 696 708 720 732 744 756 768 780 792 804 816 828 840 852 864 876 888 900 912 924 936 948 960 972 984 996 1008

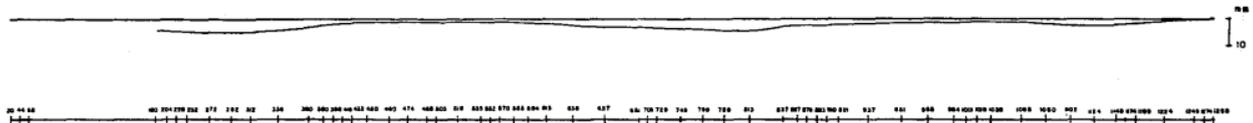


MOMENTOS

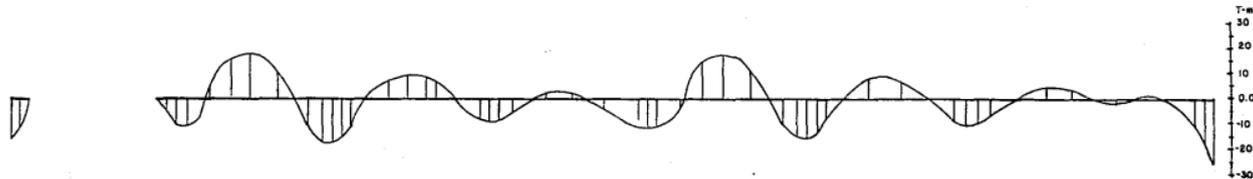
*LEX.

FRANJA I
LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES

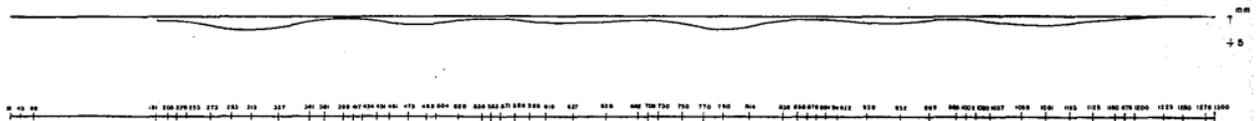


MOMENTOS
FLEX.

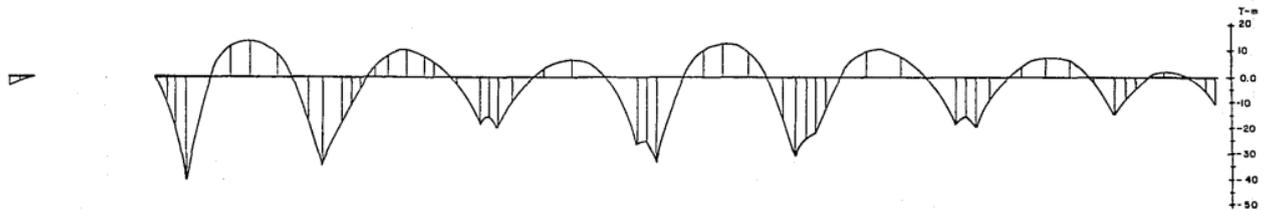


FRANJA J
LOSA ELEV. 955.00

DEFLEXIONES

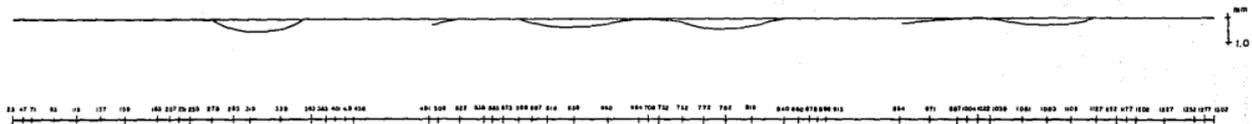


NOMENTOS
FLEX.

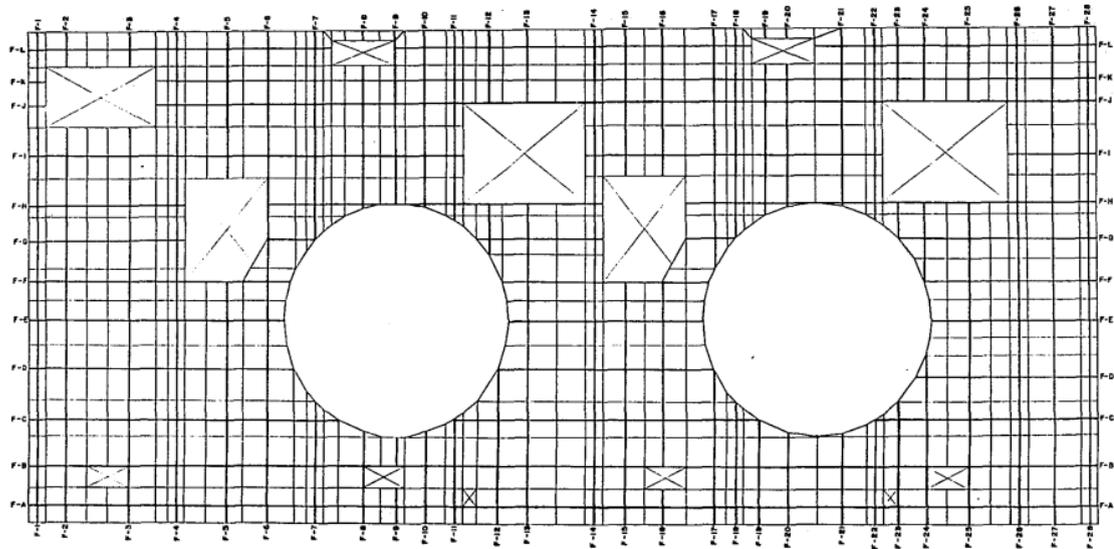


FRANJA K
LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES

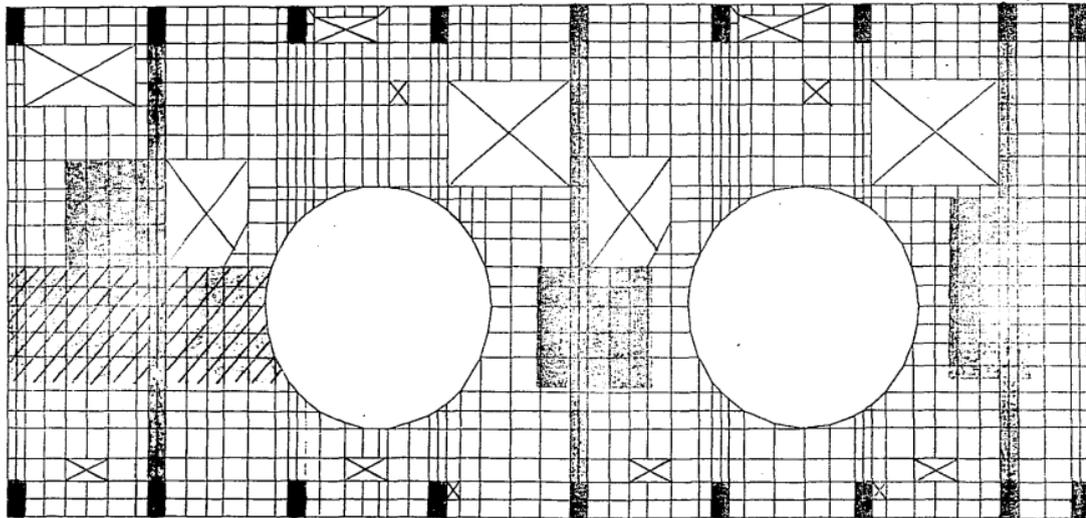


23 47 71 84 118 137 159 183 207 229 259 278 303 319 339 363 385 410 439 458 481 508 527 548 569 593 607 614 638 660 684 702 724 742 772 782 818 840 862 878 896 913 934 951 967 984 1000 1018 1034 1051 1068 1084 1101 1117 1134 1151 1167 1184 1201 1217 1234 1251 1267 1284 1301 1317 1334 1351 1367 1384 1401 1417 1434 1451 1467 1484 1501 1517 1534 1551 1567 1584 1601 1617 1634 1651 1667 1684 1701 1717 1734 1751 1767 1784 1801 1817 1834 1851 1867 1884 1901 1917 1934 1951 1967 1984 2001 2017 2034 2051 2067 2084 2101 2117 2134 2151 2167 2184 2201 2217 2234 2251 2267 2284 2301 2317 2334 2351 2367 2384 2401 2417 2434 2451 2467 2484 2501 2517 2534 2551 2567 2584 2601 2617 2634 2651 2667 2684 2701 2717 2734 2751 2767 2784 2801 2817 2834 2851 2867 2884 2901 2917 2934 2951 2967 2984 3001 3017 3034 3051 3067 3084 3101 3117 3134 3151 3167 3184 3201 3217 3234 3251 3267 3284 3301 3317 3334 3351 3367 3384 3401 3417 3434 3451 3467 3484 3501 3517 3534 3551 3567 3584 3601 3617 3634 3651 3667 3684 3701 3717 3734 3751 3767 3784 3801 3817 3834 3851 3867 3884 3901 3917 3934 3951 3967 3984 4001 4017 4034 4051 4067 4084 4101 4117 4134 4151 4167 4184 4201 4217 4234 4251 4267 4284 4301 4317 4334 4351 4367 4384 4401 4417 4434 4451 4467 4484 4501 4517 4534 4551 4567 4584 4601 4617 4634 4651 4667 4684 4701 4717 4734 4751 4767 4784 4801 4817 4834 4851 4867 4884 4901 4917 4934 4951 4967 4984 5001 5017 5034 5051 5067 5084 5101 5117 5134 5151 5167 5184 5201 5217 5234 5251 5267 5284 5301 5317 5334 5351 5367 5384 5401 5417 5434 5451 5467 5484 5501 5517 5534 5551 5567 5584 5601 5617 5634 5651 5667 5684 5701 5717 5734 5751 5767 5784 5801 5817 5834 5851 5867 5884 5901 5917 5934 5951 5967 5984 6001 6017 6034 6051 6067 6084 6101 6117 6134 6151 6167 6184 6201 6217 6234 6251 6267 6284 6301 6317 6334 6351 6367 6384 6401 6417 6434 6451 6467 6484 6501 6517 6534 6551 6567 6584 6601 6617 6634 6651 6667 6684 6701 6717 6734 6751 6767 6784 6801 6817 6834 6851 6867 6884 6901 6917 6934 6951 6967 6984 7001 7017 7034 7051 7067 7084 7101 7117 7134 7151 7167 7184 7201 7217 7234 7251 7267 7284 7301 7317 7334 7351 7367 7384 7401 7417 7434 7451 7467 7484 7501 7517 7534 7551 7567 7584 7601 7617 7634 7651 7667 7684 7701 7717 7734 7751 7767 7784 7801 7817 7834 7851 7867 7884 7901 7917 7934 7951 7967 7984 8001 8017 8034 8051 8067 8084 8101 8117 8134 8151 8167 8184 8201 8217 8234 8251 8267 8284 8301 8317 8334 8351 8367 8384 8401 8417 8434 8451 8467 8484 8501 8517 8534 8551 8567 8584 8601 8617 8634 8651 8667 8684 8701 8717 8734 8751 8767 8784 8801 8817 8834 8851 8867 8884 8901 8917 8934 8951 8967 8984 9001 9017 9034 9051 9067 9084 9101 9117 9134 9151 9167 9184 9201 9217 9234 9251 9267 9284 9301 9317 9334 9351 9367 9384 9401 9417 9434 9451 9467 9484 9501 9517 9534 9551 9567 9584 9601 9617 9634 9651 9667 9684 9701 9717 9734 9751 9767 9784 9801 9817 9834 9851 9867 9884 9901 9917 9934 9951 9967 9984 10001 10017 10034 10051 10067 10084 10101 10117 10134 10151 10167 10184 10201 10217 10234 10251 10267 10284 10301 10317 10334 10351 10367 10384 10401 10417 10434 10451 10467 10484 10501 10517 10534 10551 10567 10584 10601 10617 10634 10651 10667 10684 10701 10717 10734 10751 10767 10784 10801 10817 10834 10851 10867 10884 10901 10917 10934 10951 10967 10984 11001 11017 11034 11051 11067 11084 11101 11117 11134 11151 11167 11184 11201 11217 11234 11251 11267 11284 11301 11317 11334 11351 11367 11384 11401 11417 11434 11451 11467 11484 11501 11517 11534 11551 11567 11584 11601 11617 11634 11651 11667 11684 11701 11717 11734 11751 11767 11784 11801 11817 11834 11851 11867 11884 11901 11917 11934 11951 11967 11984 12001 12017 12034 12051 12067 12084 12101 12117 12134 12151 12167 12184 12201 12217 12234 12251 12267 12284 12301 12317 12334 12351 12367 12384 12401 12417 12434 12451 12467 12484 12501 12517 12534 12551 12567 12584 12601 12617 12634 12651 12667 12684 12701 12717 12734 12751 12767 12784 12801 12817 12834 12851 12867 12884 12901 12917 12934 12951 12967 12984 13001 13017 13034 13051 13067 13084 13101 13117 13134 13151 13167 13184 13201 13217 13234 13251 13267 13284 13301 13317 13334 13351 13367 13384 13401 13417 13434 13451 13467 13484 13501 13517 13534 13551 13567 13584 13601 13617 13634 13651 13667 13684 13701 13717 13734 13751 13767 13784 13801 13817 13834 13851 13867 13884 13901 13917 13934 13951 13967 13984 14001 14017 14034 14051 14067 14084 14101 14117 14134 14151 14167 14184 14201 14217 14234 14251 14267 14284 14301 14317 14334 14351 14367 14384 14401 14417 14434 14451 14467 14484 14501 14517 14534 14551 14567 14584 14601 14617 14634 14651 14667 14684 14701 14717 14734 14751 14767 14784 14801 14817 14834 14851 14867 14884 14901 14917 14934 14951 14967 14984 15001 15017 15034 15051 15067 15084 15101 15117 15134 15151 15167 15184 15201 15217 15234 15251 15267 15284 15301 15317 15334 15351 15367 15384 15401 15417 15434 15451 15467 15484 15501 15517 15534 15551 15567 15584 15601 15617 15634 15651 15667 15684 15701 15717 15734 15751 15767 15784 15801 15817 15834 15851 15867 15884 15901 15917 15934 15951 15967 15984 16001 16017 16034 16051 16067 16084 16101 16117 16134 16151 16167 16184 16201 16217 16234 16251 16267 16284 16301 16317 16334 16351 16367 16384 16401 16417 16434 16451 16467 16484 16501 16517 16534 16551 16567 16584 16601 16617 16634 16651 16667 16684 16701 16717 16734 16751 16767 16784 16801 16817 16834 16851 16867 16884 16901 16917 16934 16951 16967 16984 17001 17017 17034 17051 17067 17084 17101 17117 17134 17151 17167 17184 17201 17217 17234 17251 17267 17284 17301 17317 17334 17351 17367 17384 17401 17417 17434 17451 17467 17484 17501 17517 17534 17551 17567 17584 17601 17617 17634 17651 17667 17684 17701 17717 17734 17751 17767 17784 17801 17817 17834 17851 17867 17884 17901 17917 17934 17951 17967 17984 18001 18017 18034 18051 18067 18084 18101 18117 18134 18151 18167 18184 18201 18217 18234 18251 18267 18284 18301 18317 18334 18351 18367 18384 18401 18417 18434 18451 18467 18484 18501 18517 18534 18551 18567 18584 18601 18617 18634 18651 18667 18684 18701 18717 18734 18751 18767 18784 18801 18817 18834 18851 18867 18884 18901 18917 18934 18951 18967 18984 19001 19017 19034 19051 19067 19084 19101 19117 19134 19151 19167 19184 19201 19217 19234 19251 19267 19284 19301 19317 19334 19351 19367 19384 19401 19417 19434 19451 19467 19484 19501 19517 19534 19551 19567 19584 19601 19617 19634 19651 19667 19684 19701 19717 19734 19751 19767 19784 19801 19817 19834 19851 19867 19884 19901 19917 19934 19951 19967 19984 20001 20017 20034 20051 20067 20084 20101 20117 20134 20151 20167 20184 20201 20217 20234 20251 20267 20284 20301 20317 20334 20351 20367 20384 20401 20417 20434 20451 20467 20484 20501 20517 20534 20551 20567 20584 20601 20617 20634 20651 20667 20684 20701 20717 20734 20751 20767 20784 20801 20817 20834 20851 20867 20884 20901 20917 20934 20951 20967 20984 21001 21017 21034 21051 21067 21084 21101 21117 21134 21151 21167 21184 21201 21217 21234 21251 21267 21284 21301 21317 21334 21351 21367 21384 21401 21417 21434 21451 21467 21484 21501 21517 21534 21551 21567 21584 21601 21617 21634 21651 21667 21684 21701 21717 21734 21751 21767 21784 21801 21817 21834 21851 21867 21884 21901 21917 21934 21951 21967 21984 22001 22017 22034 22051 22067 22084 22101 22117 22134 22151 22167 22184 22201 22217 22234 22251 22267 22284 22301 22317 22334 22351 22367 22384 22401 22417 22434 22451 22467 22484 22501 22517 22534 22551 22567 22584 22601 22617 22634 22651 22667 22684 22701 22717 22734 22751 22767 22784 22801 22817 22834 22851 22867 22884 22901 22917 22934 22951 22967 22984 23001 23017 23034 23051 23067 23084 23101 23117 23134 23151 23167 23184 23201 23217 23234 23251 23267 23284 23301 23317 23334 23351 23367 23384 23401 23417 23434 23451 23467 23484 23501 23517 23534 23551 23567 23584 23601 23617 23634 23651 23667 23684 23701 23717 23734 23751 23767 23784 23801 23817 23834 23851 23867 23884 23901 23917 23934 23951 23967 23984 24001 24017 24034 24051 24067 24084 24101 24117 24134 24151 24167 24184 24201 24217 24234 24251 24267 24284 24301 24317 24334 24351 24367 24384 24401 24417 24434 24451 24467 24484 24501 24517 24534 24551 24567 24584 24601 24617 24634 24651 24667 24684 24701 24717 24734 24751 24767 24784 24801 24817 24834 24851 24867 24884 24901 24917 24934 24951 24967 24984 25001 25017 25034 25051 25067 25084 25101 25117 25134 25151 25167 25184 25201 25217 25234 25251 25267 25284 25301 25317 25334 25351 25367 25384 25401 25417 25434 25451 25467 25484 25501 25517 25534 25551 25567 25584 25601 25617 25634 25651 25667 25684 25701 25717 25734 25751 25767 25784 25801 25817 25834 25851 25867 25884 25901 25917 25934 25951 25967 25984 26001 26017 26034 26051 26067 26084 26101 26117 26134 26151 26167 26184 26201 26217 26234 26251 26267 26284 26301 26317 26334 26351 26367 26384 26401 26417 26434 26451 26467 26484 26501 26517 26534 26551 26567 26584 26601 26617 26634 26651 26667 26684 26701 26717 26734 26751 26767 26784 26801 26817 26834 26851 26867 26884 26901 26917 26934 26951 26967 26984 27001 27017 27034 27051 27067 27084 27101 27117 27134 27151 27167 27184 27201 27217 27234 27251 27267 27284 27301 27317 27334 27351 27367 27384 27401 27417 27434 27451 27467 27484 27501 27517 27534 27551 27567 27584 27601 27617 27634 27651 27667 27684 27701 27717 27734 27751 27767 27784 27801 27817 27834 27851 27867 27884 27901 27917 27934 27951 27967 27984 28001 28017 28034 28051 28067 28084 28101 28117 28134 28151 28167 28184 28201 28217 28234 28251 28267 28284 28301 28317 28334 28351 28367 28384 28401 28417 28434 28451 28467 28484 28501 28517 28534 28551 28567 28584 28601 28617 28634 28651 28667 28684 28701 28717 28734 28751 28767 28784 28801 28817 28834 28851 28867 28884 28901 28917 28934 28951 28967 28984 29001 29017 29034 29051 29067 29084 29101 29117 29134 29151 29167 29184 29201 29217 29234 29251 29267 29284 29301 29317 29334 29351 29367 29384 29401 29417 29434 29451 29467 29484 29501 29517 29534 29551 29567 29584 29601 29617 29634 29651 29667 29684 29701 29717 29734 29751 29767 29784 29801 29817 29834 29851 29867 29884 29901 29917 29934 29951 29967 29984 30001 30017 30034 30051 30067 30084 30101 30117 30134 30151 30167 30184 30201 30217 30234 30251 30267 30284 30301 30317 30334 30351 30367 30384 30401 30417 30434 30451 30467 30484 30501 30517 30534 30551 30567 30584 30601 30617 30634 30651 30667 30684 30701 30717 30734 30751 30767 30784 30801 30817 30834 30851 30867 30884 30901 30917 30934 30951 30967 30984 31001 31017 31034 31051 31067 31084 31101 31117 31134 31151 31167 31184 31201 31217 31234 31251 31267 31284 31301 31317 31334 31351 31367 31384 31401 31417 31434 31451 31467 31484 31501 31517 31534 31551 31567 31584 31601 31617 31634 31651 31667 31684 31701 31717 31734 31751 31767 31784 31801 31817 31834 31851 31867 31884 31901 31917 31934 31951 31967 31984 32001 32017 32034 32051 32067 32084 32101 32117 32134 32151 32167 32184 32201 32217 32234 32251 32267 32284 32301 32317 32334 32351 32367 32384 32401 32417 32434 32451 32467 32484 32501 32517 32534 32551 32567 32584 32601 32617 32634 32651 32667 32684 32701 32717 32734 32751 32767 32784 32801 32817 32834 32851 32867 32884 32901 32917 32934 32951 32967 32984 33001 33017 33034 33051 33067 33084 33101 33117 33134 33151 33167 33184 33201 33217 33234 33251 33267 33284 33301 33317 33334 33351 33367 33384 33401 33417 33434 33451 33467 33484 33501 33517 33534 33551 33567 33584 33601 33617 33634 33651 33667 33684 33701 33717 33734 33751 33767 33784 33801 33817 33834 33851 33867 33884 33901 33917 33934 33951 33967 33984 34001 34017 34034 34051 34067 34084 34101 34117 34134 34151 34167 34184 34201 34217 34234 34251 34267 34284 34301 34317 34334 34351 34367 34384 34401 34417 34434 34451 34467 34484 34501 34517 34534 34551 34567 34584 34601 34617 34634 34651 34667 34684 34701 34717 34734 34751 34767 34784 34801 34817 34834 34851 34867 34884 34901 34917 34934 34951 34967 34984 35001 35017 35034 35051 35067 35084 35101 35117 35134 35151 35167 35184 35201 35217 35234 35251 35267 35284 35301 35317 35334 35351 35367 35384 35401 35417 35434 35451 35467 35484 35501 35517 35534 35551 35567 35584 35601 35617 35634 35651 35667 35684 35701 35717 35734 35751 35767 35784 35801 35817 35834 35851 35867 35884 35901



U L S A	
TESIS PROFESIONAL	
ING. CIVIL	
CARLOS A. STAVOLI A.	
FRANJAS DE DISEÑO	
LOSA ELEV. 9550	
1991	PLANO 8

U L S A - INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS
 CAROLINA DE GUAYARAO, GUAYARAO, VENEZUELA



3/4" @ 20 + 1 1/2" @ 20

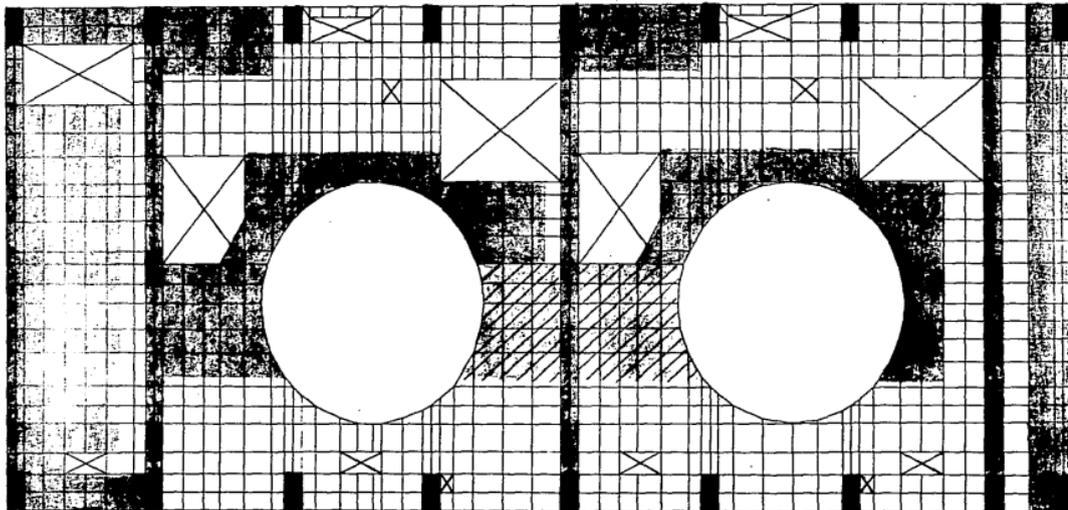
3/4" @ 20 + 3/4" @ 20

3/4" @ 20 + 1 1/2" @ 40

COLUMNAS

ARMADO POSITIVO (LECHO INFERIOR)

U L S A	
TESIS PROFESIONAL	
ING. CIVIL	
CARLOS A. STAVOLIA	
ARMADO PRELIMINAR	
1091	PLANO 0



■ 3/4" @ 20 + 1/2" @ 20

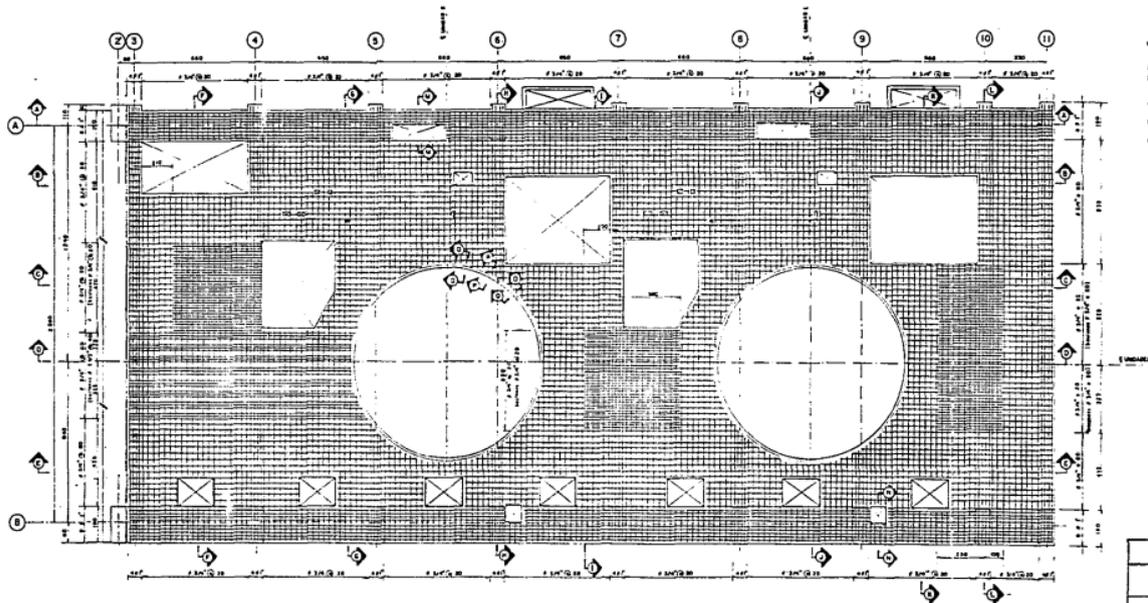
■ 3/4" @ 20 + 3/4" @ 20

■ 3/4" @ 20 + 1/2" @ 40

■ COLUMNAS

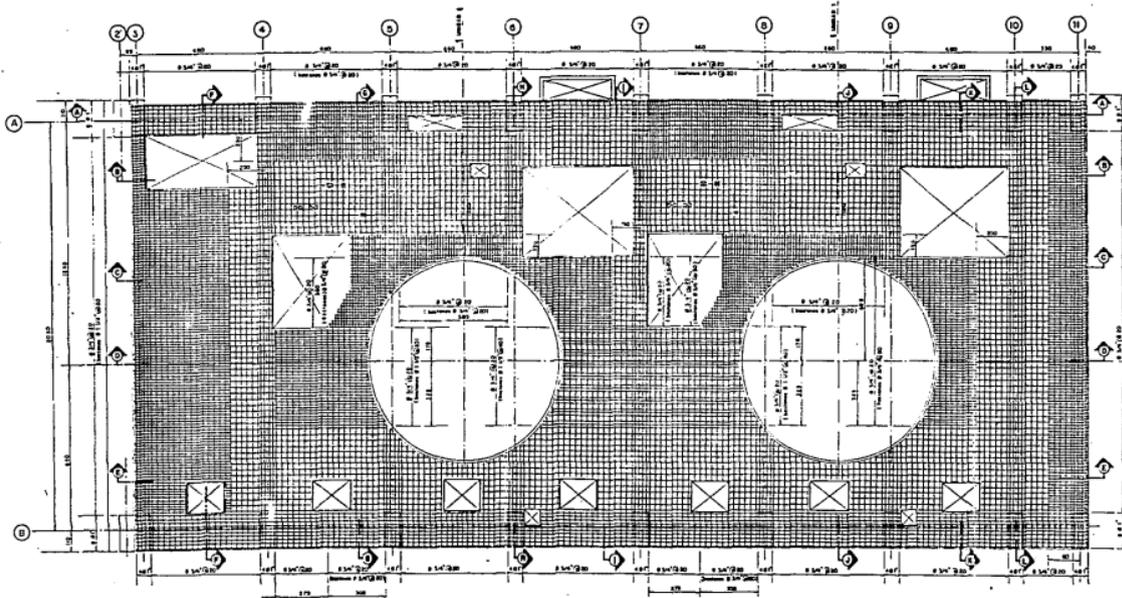
ARMADO NEGATIVO (LECHO SUPERIOR)

U L S A	
TESIS PROFESIONAL	
ING. CIVIL	
CARLOS A. STAVOLI A.	
ARMADO	
PRELIMINAR	
1991	PLANO 10



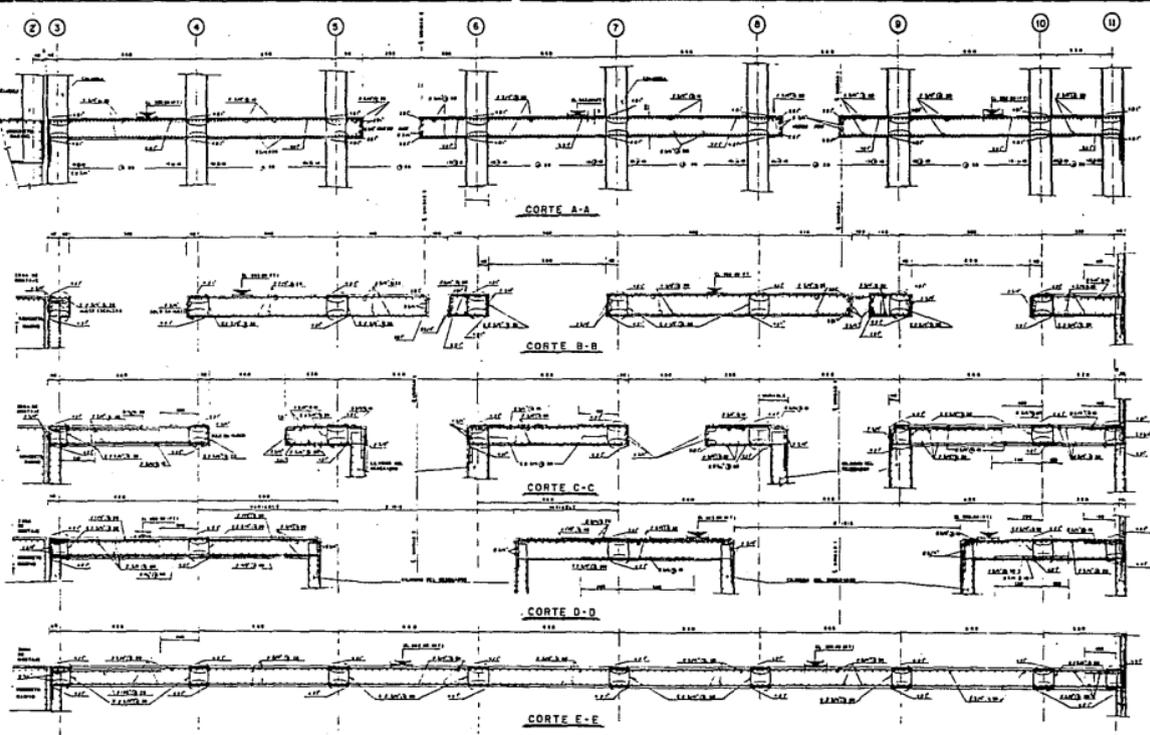
LECHO INFERIOR
(armado)

U L S A	
INGENIERIA CIVIL	
TESIS PROFESIONAL	
Carlos Antonio Stávali Alcántara	
CASA DE MAQUINAS LOSA ELEV. 953.80	
1991	PLANO II



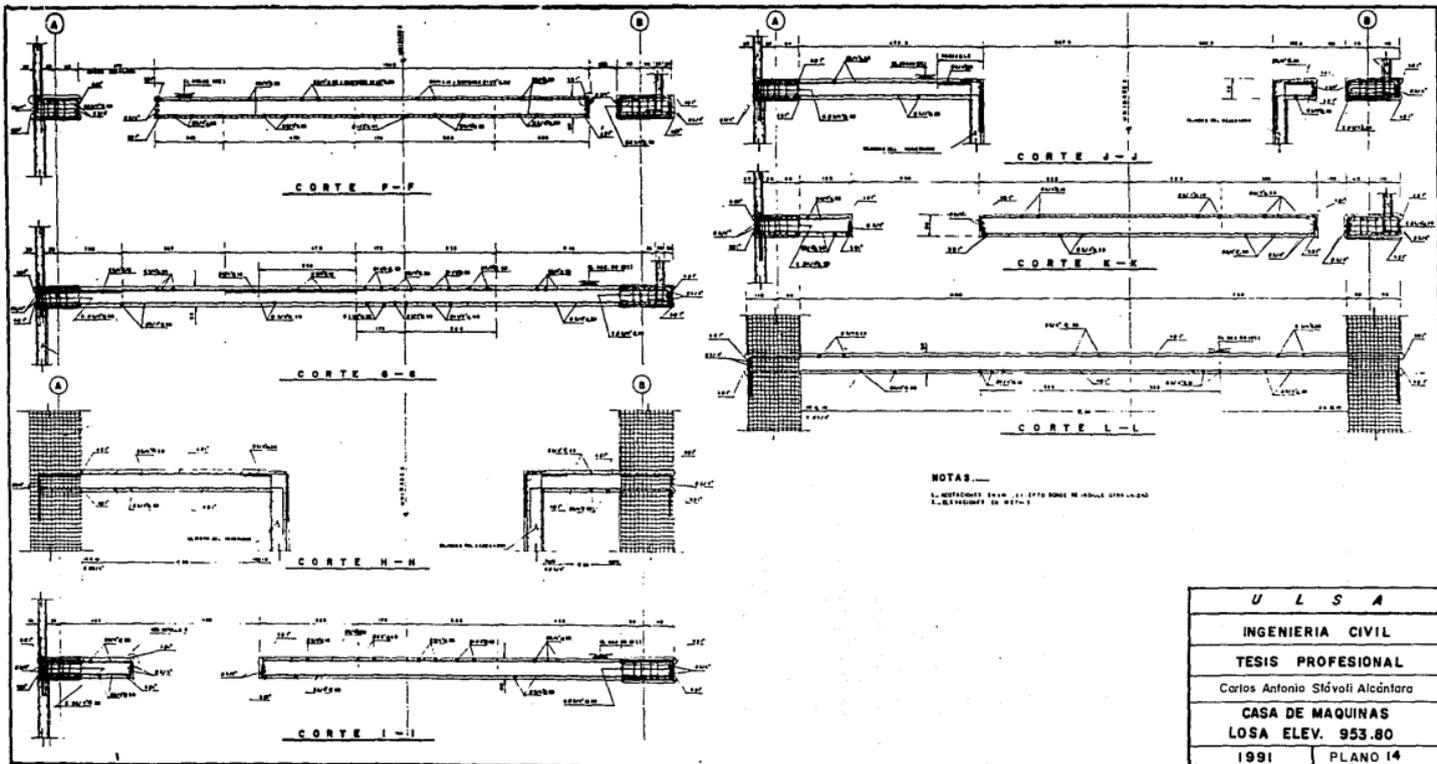
NOTAS
 1.- ESTADAMENTE EN M.L. EXCEPTO DONDE SE MENCIONE OTRO UNIDAD
 L.- ELONGACIONES EN METROS.
 2.- VER NOTAS EN HOJA 7.

U L S A	
INGENIERIA CIVIL	
TESIS PROFESIONAL	
Carlos Antonio Stávalo Alcántara	
CASA DE MAQUINAS LOSA ELEV. 953.80	
1991	PLANO 12

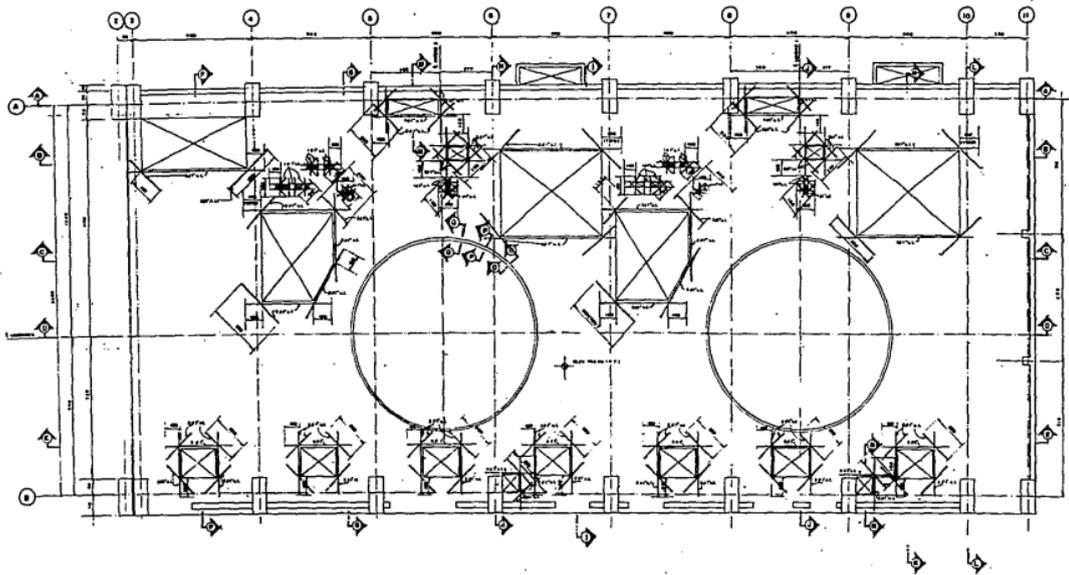


NOTA
 1. REPRESENTACION EN SECCIONES, EXCEPTO DONDE SE MUESTRE OTRO
 CASO
 2. ELEVACIONES EN METROS

U L S A	
INGENIERIA CIVIL	
TESIS PROFESIONAL	
Carlos Antonio Stávali Alcañtara	
CASA DE MAQUINAS	
LOSA ELEV. 953.80	
1991	PLANO 13



U L S A	
INGENIERIA CIVIL	
TESIS PROFESIONAL	
Carlos Antonio Stávori Alcántara	
CASA DE MAQUINAS	
LOSA ELEV. 953.80	
1991	PLANO 14



REFUERZO ADICIONAL EN HUECOS

NOTAS:
 -
 -
 -

U L S A	
INGENIERIA CIVIL	
TESIS PROFESIONAL	
Carlos Antonio Stivali Alcántara	
CASA DE MAQUINAS	
LOSA ELEV. 953.80	
1991	PLANO 15

C A P I T U L O 5

RECOMENDACIONES DE CONSTRUCCION

5.1 ELABORACION DEL CONCRETO.

En este tipo de elementos estructurales, es muy importante vigilar la calidad y los procedimientos de elaboración del concreto, ya que dada la importancia de la estructura, no se puede permitir que el concreto tenga una resistencia menor a la especificada, ya que esto provoca que el elemento presente grietas y deformaciones no permisibles.

Luego entonces, tomando en cuenta que la resistencia del concreto depende directamente de su elaboración, a continuación se describen algunas normas para llevar a cabo un estricto control de calidad.

Para una mayor precisión en la elaboración de la mezcla, la dosificación del cemento y de los agregados, deberá hacerse por peso; el agua y los aditivos podrán ser dosificados por peso o por volumen. La dosificación para la elaboración de concreto con una resistencia de 200 kg/cm^2 con revenimiento de 10 cm y tamaño máximo del agregado de $3/4''$, es la siguiente:

MATERIAL	PESO	PROPORCION
CEMENTO	350 kg/m^3	1.00
AGUA	210 lt/m^3	0.60
GRAVA	801 kg/m^3	2.29
ARENA	801 kg/m^3	2.29

También es importante evitar que el cemento permanezca almacenado más de tres meses ya que pierde su resistencia.

El tiempo de mezclado deberá ser el suficiente para lograr mezclas uniformes en composición y consistencia en toda su masa y de una revoltura a otra. También es importante que el tiempo de espera para vaciar el concreto desde que hicieron contacto el agua y el cemento, no deberá exceder de 45 minutos.

Otro aspecto importante, que hay que recalcar, sobre todo en el caso particular de Agua Prieta, es la temperatura de los agregados y el concreto durante su colado, ya que el clima en el lugar es bastante cálido, por lo cual se recomienda la utilización de hielo durante el colado en substitución parcial del agua de mezclado, sin descuidar la relación agua-cemento; también se sugiere proporcionar sombra a los almacenamientos de agregados, cemento y si es posible a la planta de concreto; regar con agua fría los depósitos de grava y arena y en su defecto efectuar los colados durante las horas de baja temperatura en la obra.

Para el tipo de concreto normal, es decir de un espesor menor de 80 cm como es este caso, se recomienda una temperatura máxima del concreto en planta de 28°C y una temperatura máxima en colocación de 31°C.

Para la colocación del concreto se utilizará una planta de bombeo, por lo que es conveniente que la mezcla presente un revenimiento de 10 cm con ± 2 de diferencia, para que sea un concreto manajable y se pueda bombear.

En este aspecto también es necesario cuidar que el concreto no se coloque en caída libre mayor a 1 metro, para evitar la segregación de los agregados; se sugiere la utilización de canalones.

Para vibrar el concreto durante el colado se recomienda utilizar vibradores de inmersión de alta frecuencia; la vibración deberá extenderse hasta compactar el concreto completamente sin dejar huecos visibles o provocar segregación o sangrado excesivo.

En el curado del concreto, se puede hacer utilizando agua continua durante 10 días, o membrana de curado de calidad, excepto sobre la superficie en donde se va a recibir un segundo colado no se podrá aplicar membrana, el curado se debe efectuar con agua; este caso se presenta como se verá mas adelante en la junta de construcción de la losa.

Finalmente no se debe permitir la circulación de vehiculos pesados sobre la losa, sino hasta que tenga como mínimo siete días de haber sido colada.

5.2 ACERO DE REFUERZO.

Es de vital importancia vigilar la corrosión que haya sufrido el acero antes de efectuar el colado, este deberá estar libre de escamas sueltas, de oxido y/o de laminación y libres de aceite, grasa u otro recubrimiento que pudiera reducir la adherencia con el concreto ,lo que provocaria grietas y fallas en el mismo.

Como solución a este problema se recomienda la limpieza del acero con cepillo de alambre, o en su defecto con chorro de arena.

Todo el refuerzo debe estar asegurado en su lugar, por medio de silletas de metal o de concreto. Estos fijadores deben

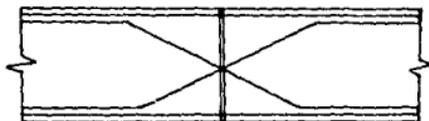
ser de suficiente resistencia para mantener el refuerzo en su lugar durante todo el colado y fraguado, de manera que no queden expuestos o contribuyan de alguna forma a provocar manchas o deterioro del concreto.

Si se utilizan silletas de concreto, se deben fabricar del mismo tipo de mezcla de concreto que se usará en el colado de la losa.

5.3 JUNTA DE CONSTRUCCION.

Debido a que las especificaciones de construcción solo autorizan 350 m² por colado individual, no es posible colar toda la losa de un solo golpe, por lo tanto se proyectó una junta constructiva aproximadamente a la mitad de la losa, es decir exactamente en el eje transversal número 7, justamente al paño exterior derecho de la columna.

Ahora dado que esa junta representa una zona de falla por cortante es necesario reforzarla, para lo cual se colocará acero adicional del mismo diámetro y atendiendo a la misma separación del acero existente en ese punto, pero haciendo un doblez en la varilla como se muestra en la siguiente figura.



Durante su construcción se deben seguir las siguientes normas:

La superficie de la junta de colado, deberá tratarse de manera que los agregados queden expuestos para recibir el siguiente colado; pero debe evitarse aflojar los materiales, se sugiere tratar la superficie con chiflón de agua-aire cuando el concreto ya tiene cierta resistencia mecánica, pero aun esta verde.

Finalmente para proceder a la ejecución del siguiente colado se debe dejar pasar como mínimo un lapso de 24 horas, además de que la junta debe estar limpia, libre de basura o materiales sueltos, y el concreto humedo, pero sin charcos.

Siguiendo estas recomendaciones se logrará una perfecta unión entre las dos secciones de losa, lo que provocará que trabaje realmente como un solo elemento estructural.

CONCLUSIONES

Las computadoras se utilizan con más frecuencia en todos los campos de la ingeniería civil y otras técnicas, siendo el elemento de enlace entre ellas la universalidad de las matemáticas.

Con el presente trabajo ha quedado demostrado que las computadoras no sustituyen al ingeniero, sino que son una herramienta que le permite mayor libertad en la solución de problemas, y no restringiéndolo a conceptos anticuados limitados.

Haciendo referencia en especial al capítulo de análisis estructural, en donde a primera vista se podría suponer que la máquina es el autor del análisis estructural del elemento en cuestión, lo cual no es válido, ya que si se considera la cuestión conceptual del problema; desde su planteamiento, hasta su ejecución, toda esta parte corre a cargo del ingeniero, el cual debe concebir el problema de manera que al final se obtengan los resultados esperados; por lo tanto la función de la computadora queda reducida exclusivamente a realizar las operaciones deseadas por el ingeniero.

Pero a final de cuentas el objeto del presente trabajo no es restarle méritos al método del elemento finito, sino todo lo contrario, demostrar su versatilidad en la solución de este tipo de problemas estructurales.

Las ventajas encontradas en la utilización del elemento finito como recurso de análisis estructural se vieron demostradas durante el diseño estructural de la losa, ya que conociendo el comportamiento en general de la losa por medio de los elementos

mecánicos obtenidos del análisis, el diseño se simplificó de una manera tal que solo se tuvo que comparar en que zonas no se cumplía con el armado básico propuesto, y completar en esos sitios con bastones previamente calculados.

Las desventajas que se encontraron en el método, se observaron durante el análisis estructural, en donde la introducción de datos resultó larga y tediosa, lo cual ocasionó que en ciertos momentos se llegara a pensar que el método no era versátil; pero todas estas dudas se disiparon al llegar al diseño estructural en donde como se dijo anteriormente, se recupera enormemente el tiempo empleado en la codificación e introducción de datos para el análisis.

Por todo lo anterior, en conclusión se puede decir que el método del elemento finito como herramienta de análisis, es bastante útil, pero solo costeable en elementos estructurales muy especializados que requieren de un análisis muy detallado; como es el caso de la losa de generadores calculada en la presente investigación.

Finalmente resumiendo ventajas y desventajas del método durante el cálculo, se llegó a la conclusión final de que para el análisis de losas de casas de máquinas en futuros proyectos hidroeléctricos; se recomienda ampliamente utilizar el método del elemento finito para su análisis estructural, sugiriéndose consultar o seguir los lineamientos del presente trabajo realizado con el objeto de ser guía o consulta en la solución de futuros proyectos hidroeléctricos.

B I B L I O G R A F I A

- | | |
|--|--|
| -EL METODO DEL ELEMENTO FINITO
EN LA INGENIERIA. | CENTRO DE EDUCACION
CONTINUA UNAM
CURSO 1985 |
| -ELEMENTARY FINITE ELEMENT METHOD. | DESAI CHANDRAKANT. |
| -ANALISIS ESTRUCTURAL AVANZADO. | SYDNEY F. BORG. |
| -ANALISIS ESTRUCTURAL. | RODOLFO LUTHE. |
| -MECANICA DE MATERIALES | S. P. TIMOSHENKO. |
| -BUILDINGS. | U. S. B. R. |
| -MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES | C. F. E. |
| -CONCRETO REFORZADO | GONZALES ROBLES. |
| -MATRIX OPERATIONS AND USE OF
COMPUTERS IN STRUCTURAL ENGINEERING | OKTAY UPAL |
| -REGLAMENTO ACI 318-83 | I. M. C. Y. C. |