

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.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE 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 ANLAJE 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 DESCRIPCIÓN 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 PRESA DERIVADORA DE CRESTA LIBRE.

Su función principal, consiste en sobre elevar 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 túnel 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 MÁQUINAS.

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 excitadores 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.

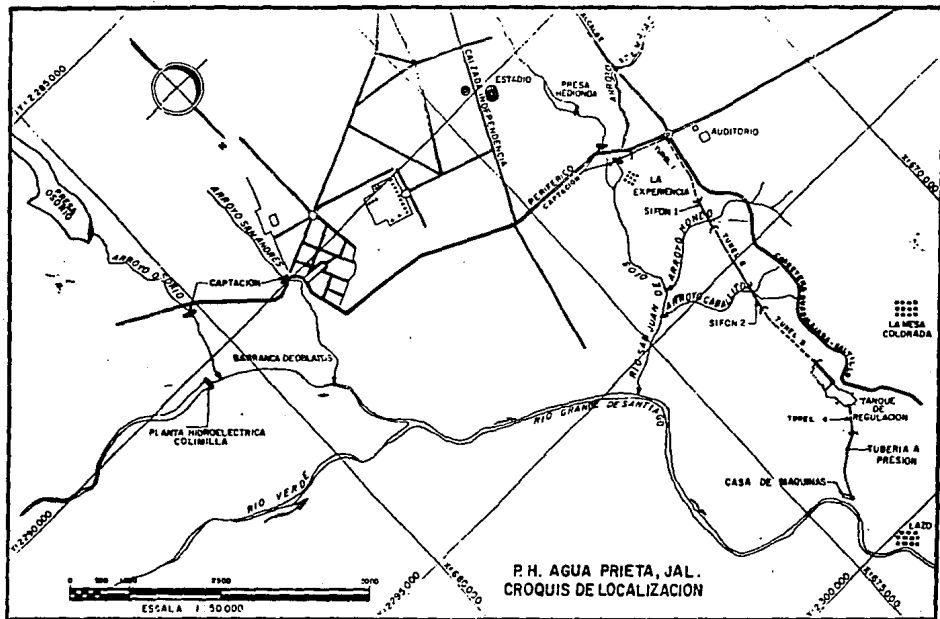
En este trabajo se diseñará la losa de generadores superior, la cual se utiliza principalmente como zona de maniobras, es decir en este lugar se va a instalar el equipo necesario para el montaje de las unidades.

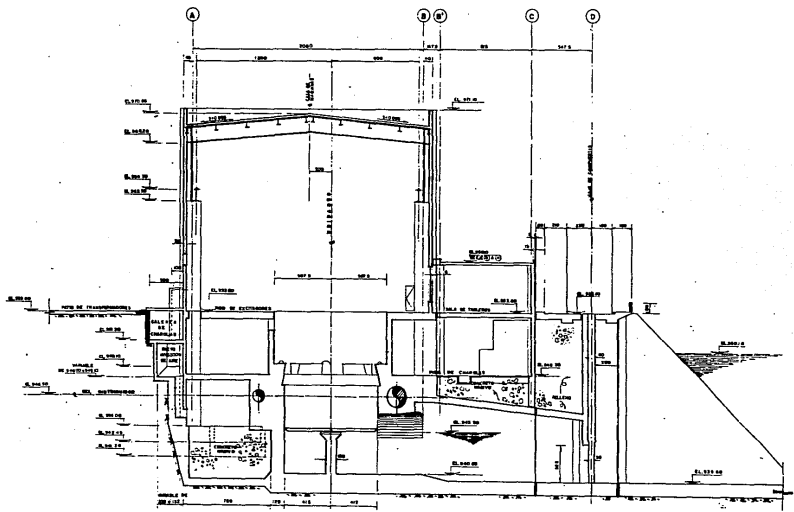
Esta losa no soportará a los generadores, pero si estará sujeta a efectos de cargas verticales causadas por el montaje de las unidades y por vibraciones provocadas durante el funcionamiento de las unidades.

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.

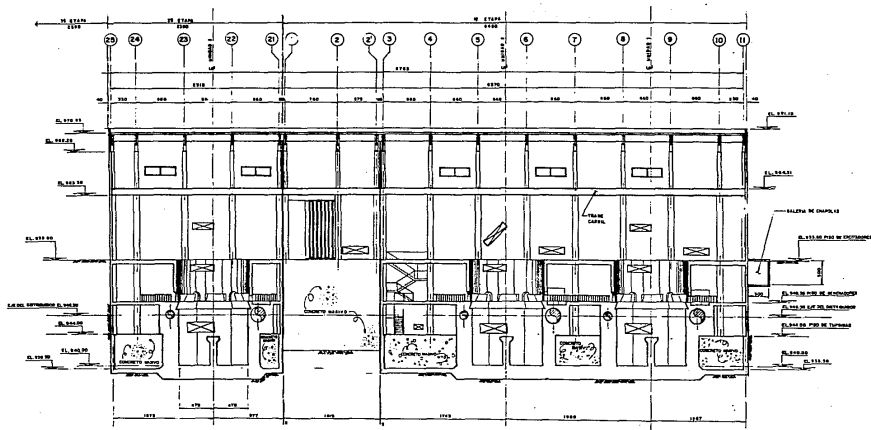




- NOTAS:**
- ACOTACIONES EN CENTIMETROS
 - ELEVACIONES EN METROS
 - LAS DIMENSIONES DE LONGITUD CORRESPONDEN A PISO TERMINADO

CORTE TRANSVERSAL POR E UNIDAD
 ESCALA 1:100

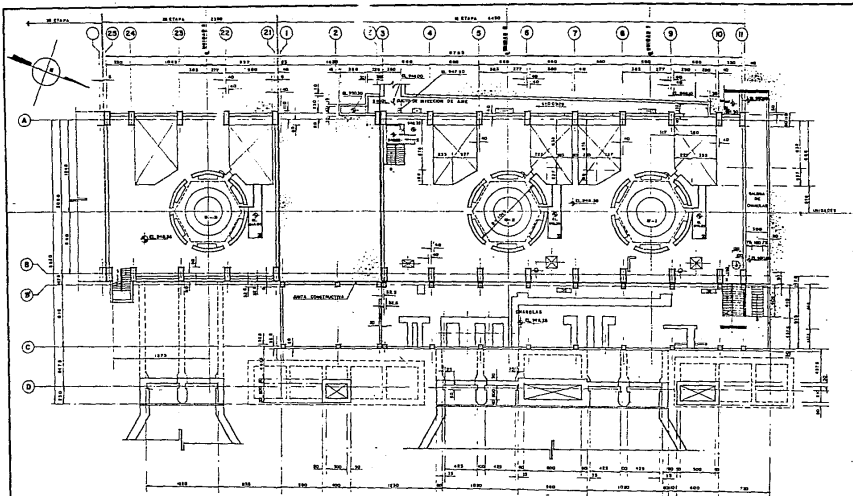
U L S A	
INGENIERIA CIVIL	
TESIS PROFESIONAL	
Carlos Antonio Stóvori Alcántara	
CASA DE MAQUINAS	
CORTE TRANSVERSAL	
1991	PLANO I



NOTAS:
 1. LÍNEAS SÓLO EN DESTACADO,
 2. ALICATORIO DE MARMOL.
 3. LAS ELEVACIONES DE LOCAL CORRESPONDEN A PISO TERMINADO.

CORTE LONGITUDINAL POR E UNIDADES
 VISTA SEGUIA
 EOL. 1150

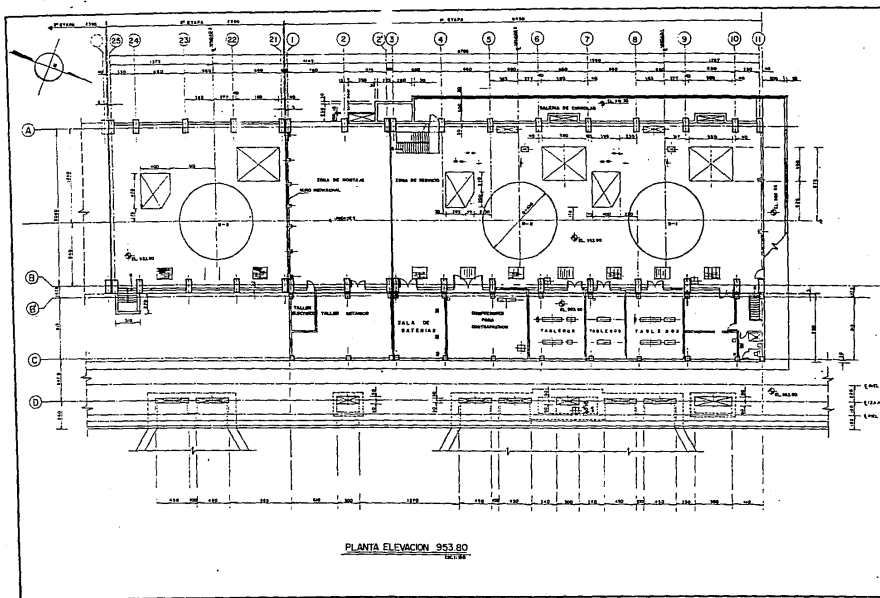
U L S A	
INGENIERIA CIVIL	
TESIS PROFESIONAL	
Carlos Antonio Stival Alcántara	
CASA DE MAQUINAS	
CORTE LONGITUDINAL	
1991	PLANO 2



PLANTA ELEVACION 948.35
Escala 1:200

NOTAS:
 1. LUGARES DE COLOCACION DE LAS PLACAS DE PISO.
 2. LUGARES DE COLOCACION DE LAS PLACAS DE PISO.
 3. LUGARES 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.- MONTAJES DE CONSTRUCCION
 2.- MONTAJES DE MONTAJE
 3.- MONTAJES DE MONTAJE DE MONTAJE

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 mas 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 comunmente 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.

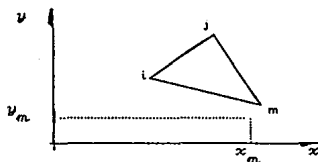
En el método del elemento finito se van a estar utilizando frecuentemente los conceptos de desplazamiento nodal, fuerza nodal, y rigidez del elemento. Por analogía, estos deben

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:

$$\{\delta^i\}^T \{F\} = \{\delta^i\}^T \{B\}^T \{\sigma\} dv$$

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

$$\{F\} = \{B\}^T \{\sigma\} dv$$

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

$$\{F\} = \{B\}^T \{D\} \{\epsilon\} dv$$

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

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 .

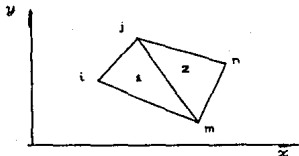
$$\{K\} = \{B\}^T \{D\} \{B\}_t \cdot \text{AREA}$$

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:

STRUDL. 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 θ , 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	2.40
9.-	5	0.00	3.20
10.-	6	0.00	4.00

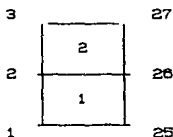
11.-	7	0.00	5.55
	⋮	⋮	⋮
101.-	97	2.75	1.60
102.-	98	2.75	2.60
103.-	99	2.75	3.90
	⋮	⋮	⋮
261.-	257	8.40	0.0
262.-	258	8.40	0.80
263.-	259	8.40	1.60
	⋮	⋮	⋮
377.-	373	13.20	12.25
378.-	374	13.20	12.80
	⋮	⋮	⋮
1304.-	1300	50.30	20.15
1305.-	1301	50.30	20.80
1306.-	1302	50.30	21.60
1307.-	1303	50.30	22.40

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:

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

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:

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

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

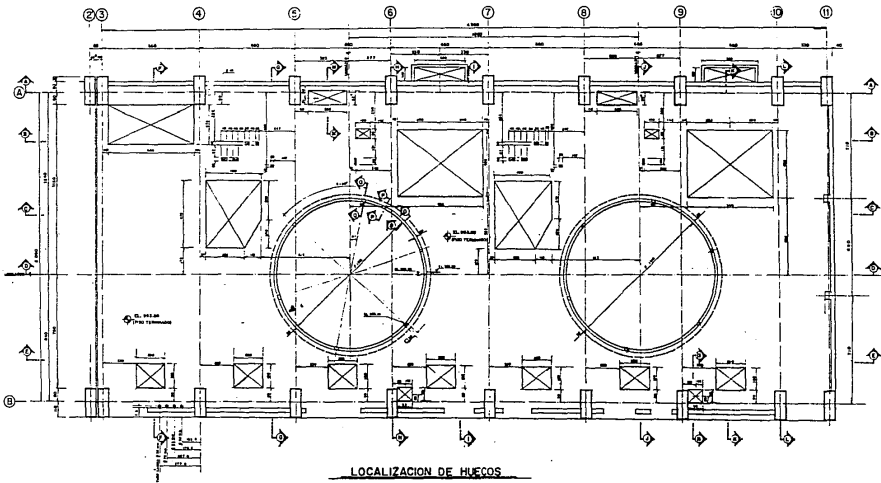
174	191	7.0329	-4.58328	29.2341
174	215	-3.8779	-4.58339	-28.1800
174	216	12.3568	4.44455	-32.5081
174	192	-9.2014	4.72209	33.5806

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.

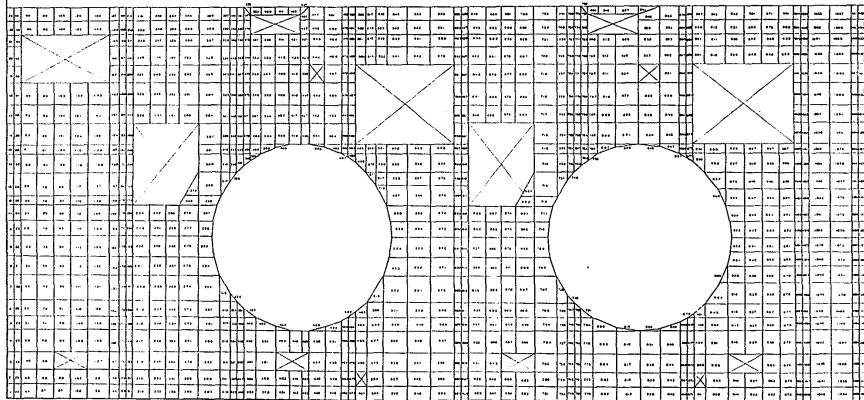


NOTA:
 1. HUECOS EN CONCRETO SÓLO SE ABRE EN UNO O EN OTRA VISTA.
 2. SE MUESTRAN EN METROS.

LOCALIZACION DE HUECOS

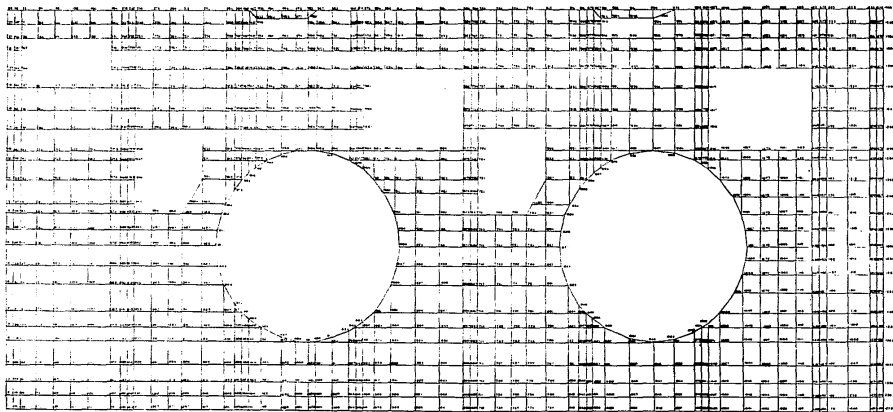
U L S A	
INGENIERIA CIVIL	
TESIS PROFESIONAL	
Carlos Antonio Sivóvli Alcántara	
CASA DE MAQUINAS	
LOSA ELEV. 953.80	
1991	PLANO 5

EJE Y



EJE X

U. E. S. A.	
TESIS PROFESIONAL	
ING. CIVIL	
CARLOS A. STAVOLI A.	
ELEMENTOS	
LORA ELEV. 855.80	
1991	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 sí 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 área 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:

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

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.

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

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

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

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

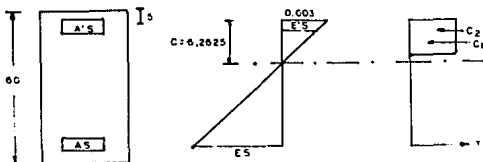
$$\omega = \frac{0.0047 \times 4200}{200} = 0.0987$$

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

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

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

Revisando la sección como doblemente armada.



$$T = A_s f_y$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$a = 0.85 c = 0.85 \times 6.2625 = 5.323$$

$$\frac{a}{2} = 2.662$$

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

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

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

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

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

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

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

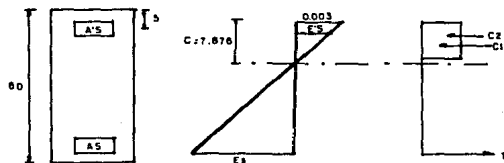
$$\rho = \frac{34.53}{100 \times 55} = 0.006278$$

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

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

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

Revisando como doble armada.



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

suponiendo $c = 7.876$

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

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

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

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

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

$$145,029.378 = 145,026$$

$$a = 0.85 \times 7.876 = 6.695 \quad a/2 = 3.347$$

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

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

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

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

ARMADO TIPO 3

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

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

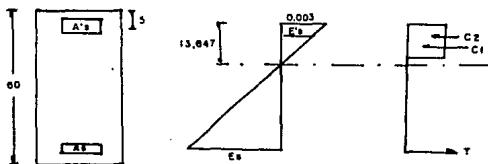
$$\rho = \frac{59.85}{100 \times 55} = 0.01088$$

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

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

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

Revisando la sección como doblemente armada.



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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$a/2 = 5.80$$

$$\text{BRAZO} = 25 + \frac{54,174.434 \times 25 + 197,199.15 \times (30 - 5.8)}{251,373.58} =$$

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

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

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

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

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

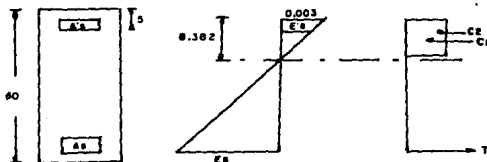
$$\rho = \frac{37.05}{100 \times 55} = 0.006736$$

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

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

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

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

$$0.0057 \times 1.905 \times 4200 = 45.608 \text{ cm}$$

$$l_d = \frac{0.08 \times 2.85 \times 4200}{\sqrt{200}} = 50.784 \text{ cm} \quad 45.608 \text{ cm}$$

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 :

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

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.

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

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 .

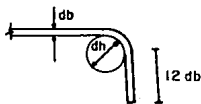
Entonces para los bastones de 3/4''

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

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

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

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:

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

$$l_g = 19.069 db = 19.069 \times 1.905 = 36.328 \text{ cm}$$

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 $10db = dh$

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

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.

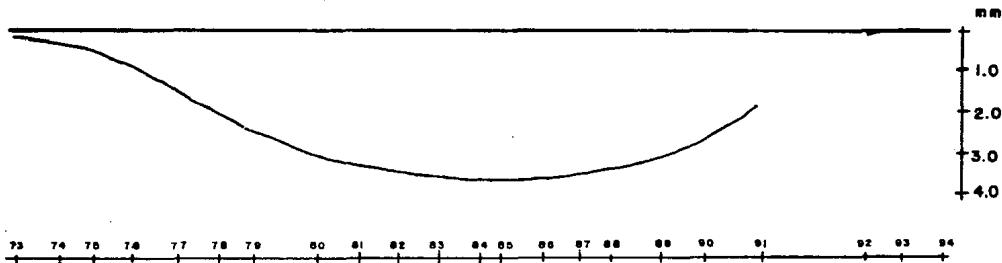
En las siguientes gráficas se muestran en detalle, los diagramas de momento y las deflexiones correspondientes a cada franja, indicando los momentos máximos, y su posición en una escala aproximada

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.

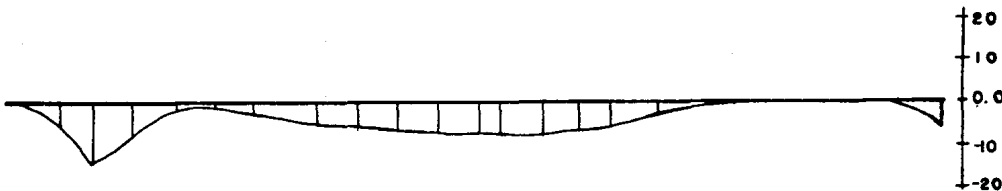
Finalmente es conveniente aclarar, que en algunos puntos de la losa, se dispara el valor del momento en ese lugar , observando que generalmente es en los empotramientos de los extremos y de los huecos, por lo que no se consideró necesario tomar estrictamente ese valor, ya que si se analizan los diagramas 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



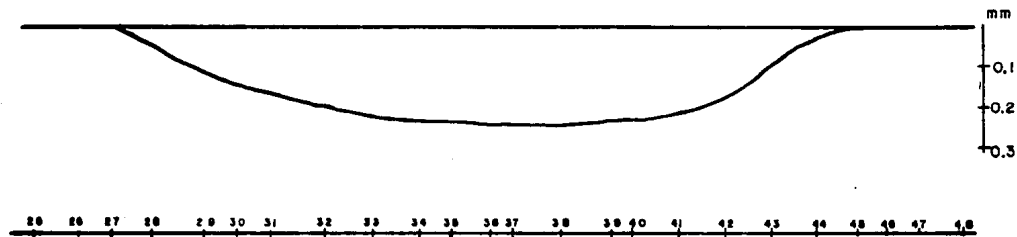
T-M



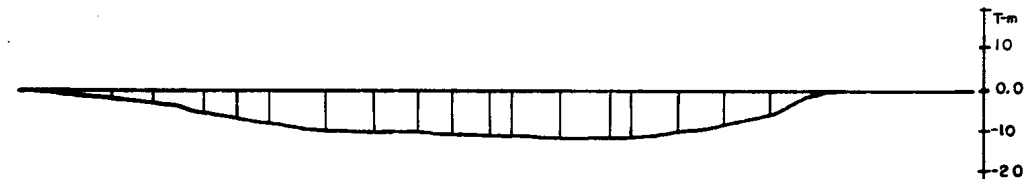
MOMENTOS

FRANJA I
LOSA ELEV. 953.60

DEFLEXIONES



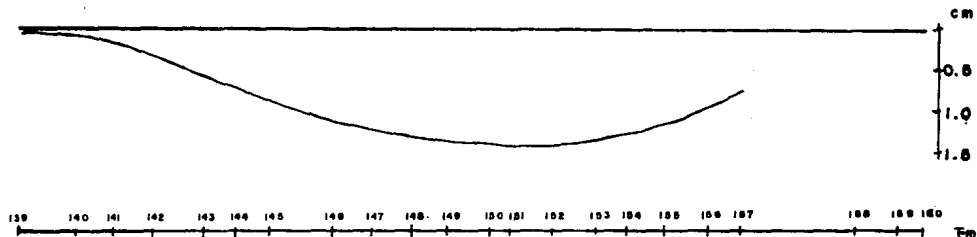
MOMENTOS



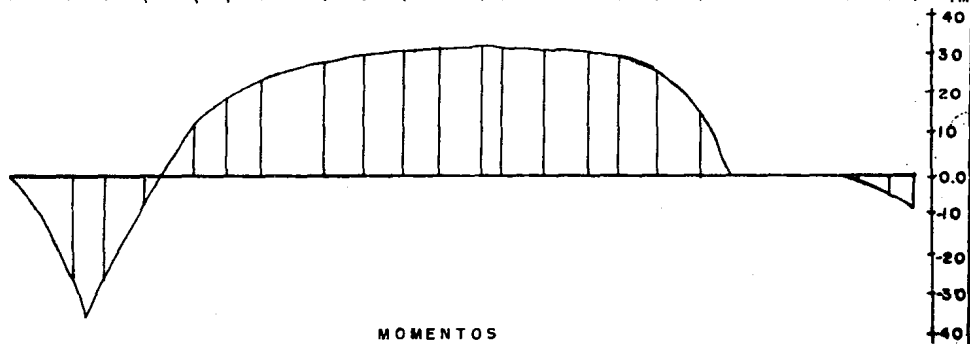
73

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

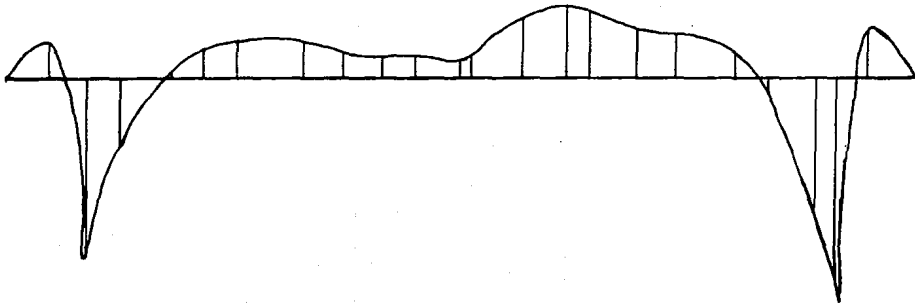
MOMENTOS

FLEX.

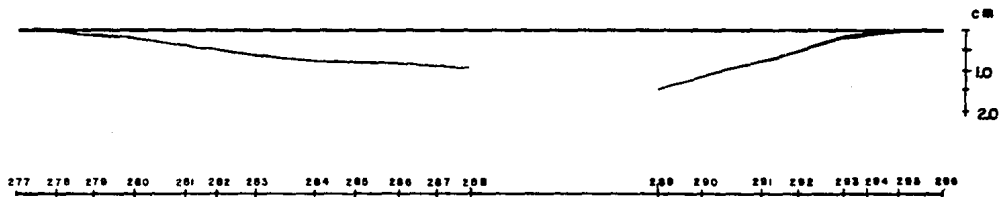
FRANJA 4

LOSA ELEV. 953.80

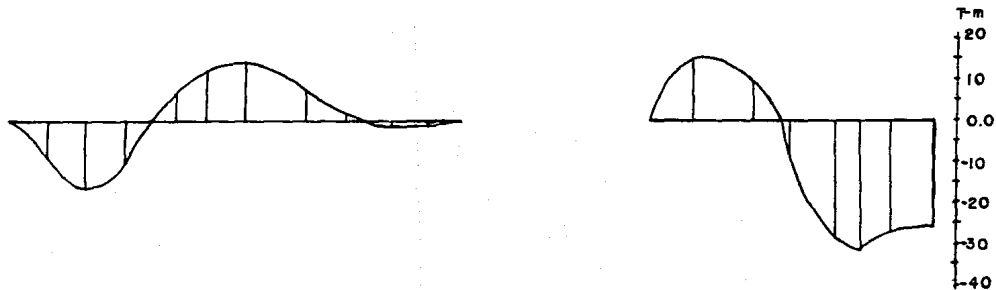
75



DEFLEXIONES



76



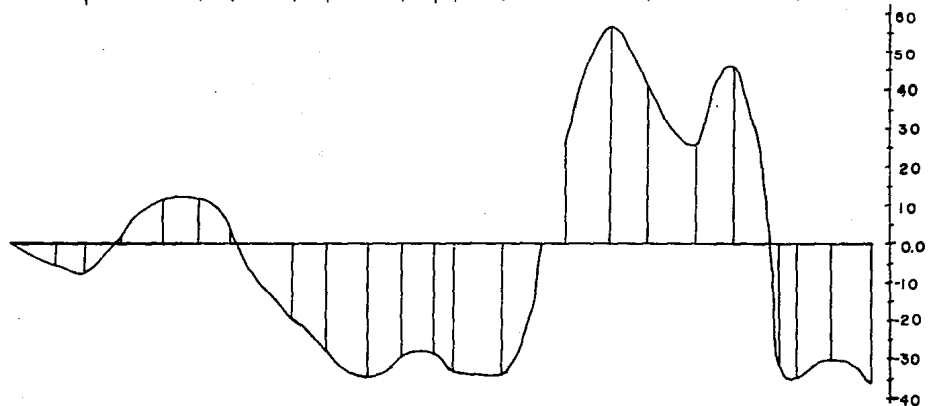
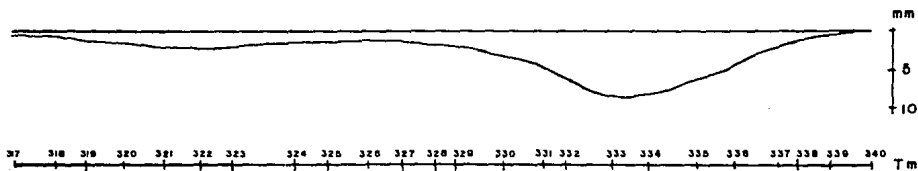
MOMENTOS

FLEX.

FRANJA 5

LOSA ELEV. 953.80

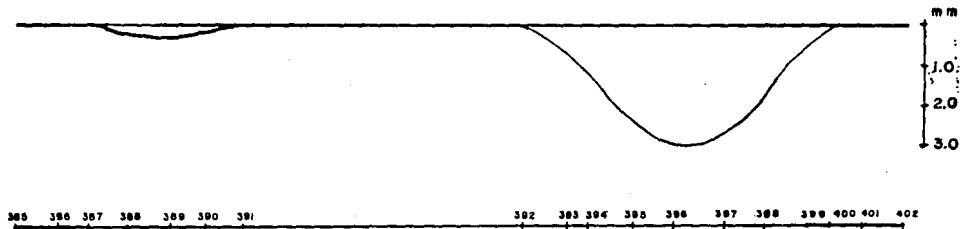
DEFLEXIONES



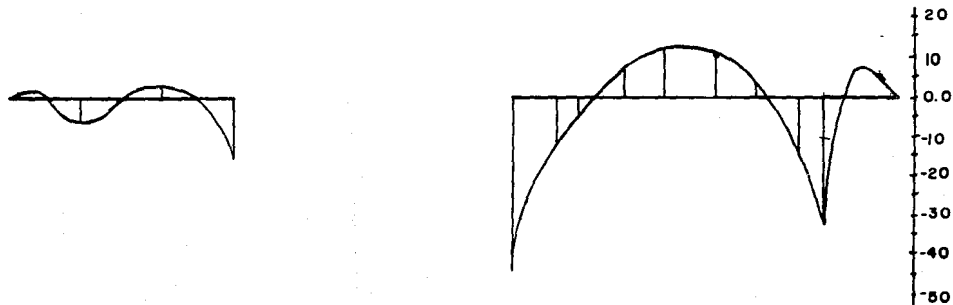
MOMENTOS
FLEX.

FRANJA 6
LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES

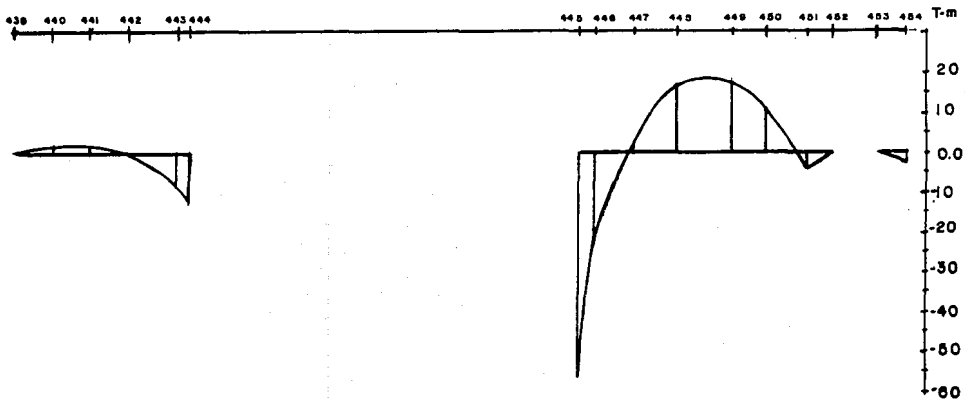


MOMENTOS
FLEX.



FRANJA 7
LOSA ELEV. 955.80'

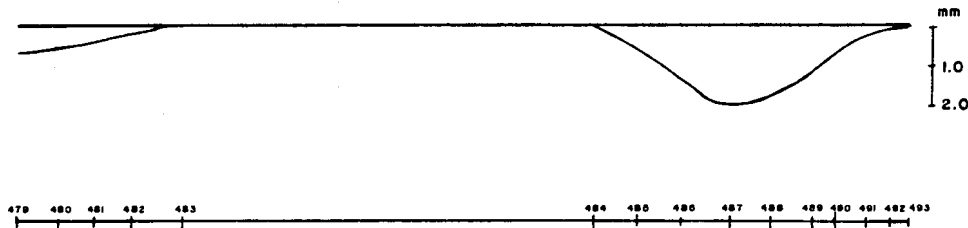
DEFLEXIONES



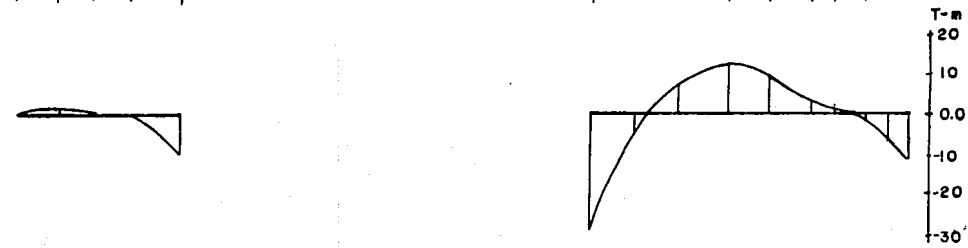
MOMENTOS
FLEX.

FRANJA 8
LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



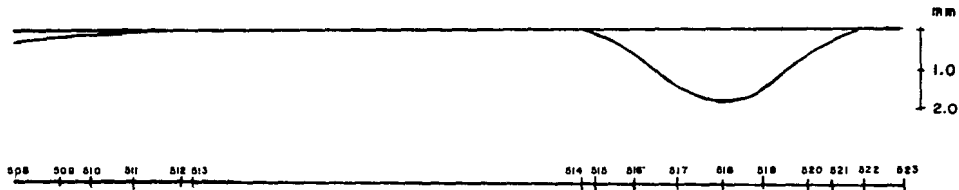
MOMENTOS FLEX.



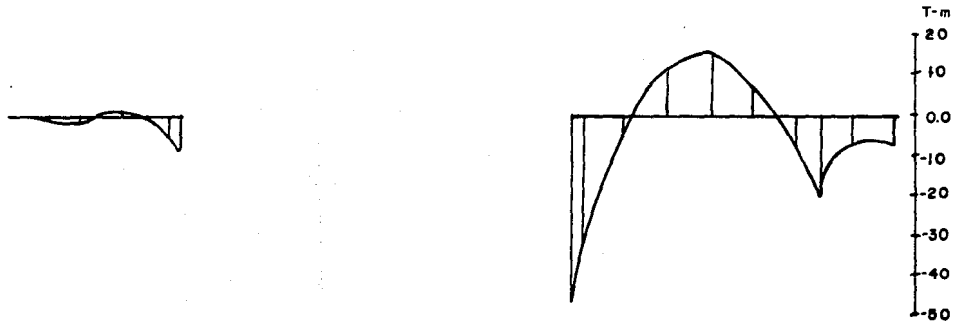
FRANJA 9
LOSA ELEV. 953.80

80

DEFLEXIONES



18

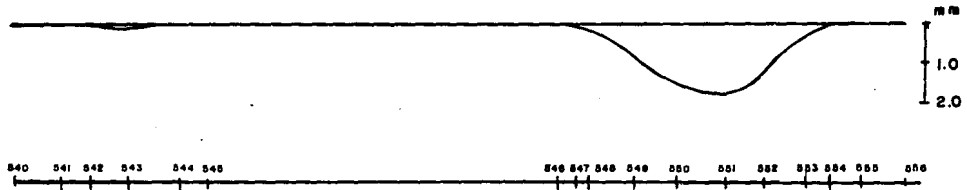


MOMENTOS
FLEX.

FRANJA 10

LOSA ELEV. 953.60

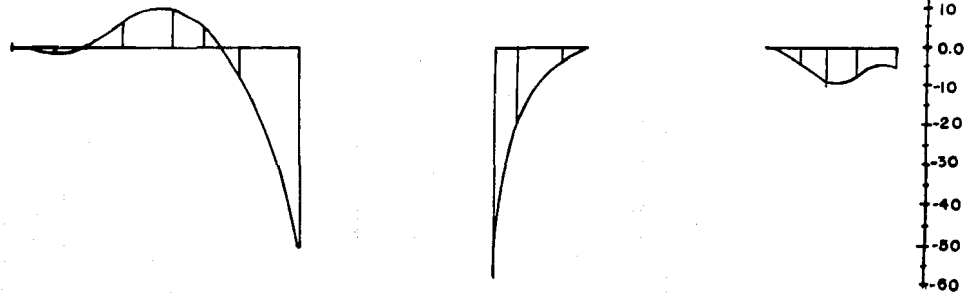
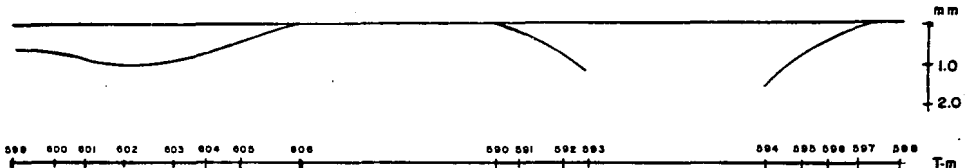
DEFLEXIONES



MOMENTOS
FLEX.

FRANJA II
LOSA ELEV. 953.80

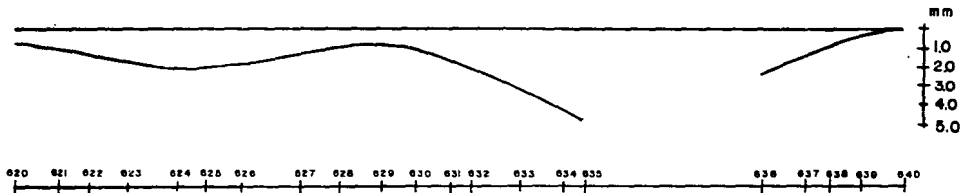
DEFLEXIONES



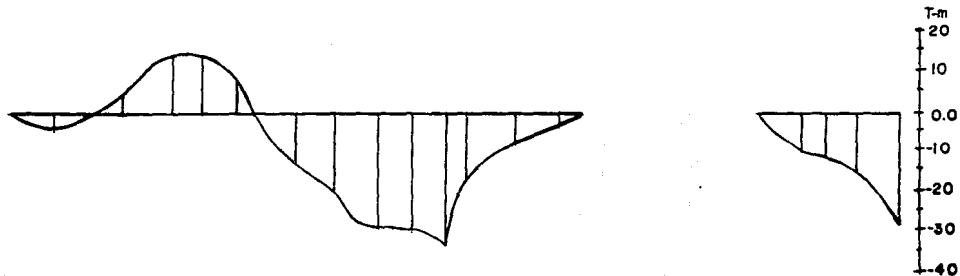
MOMENTOS
FLEX.

FRANJA 12
LOSA ELEV. 955.80

DEFLEXIONES



84



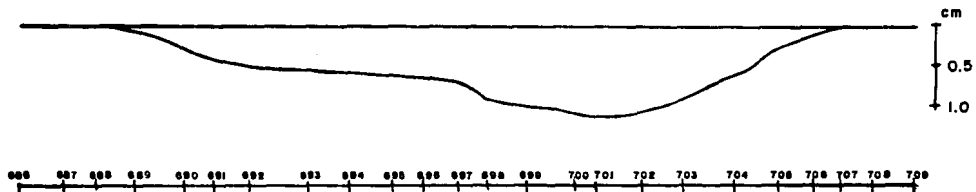
MOMENTOS

FLEX.

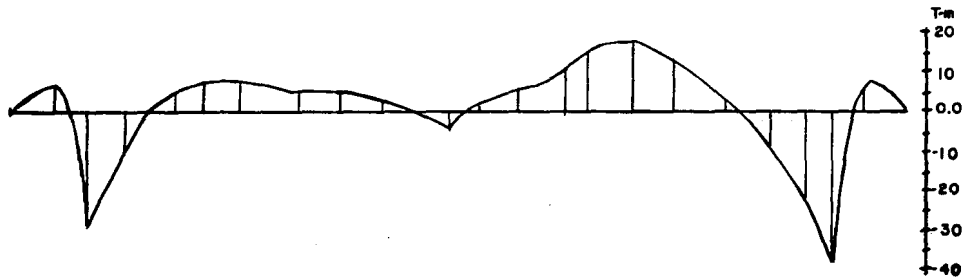
FRANJA 13

LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



58

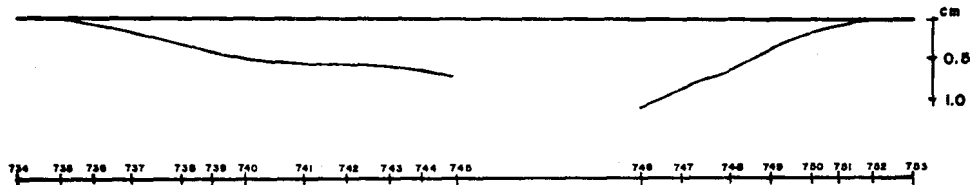


MOMENTO

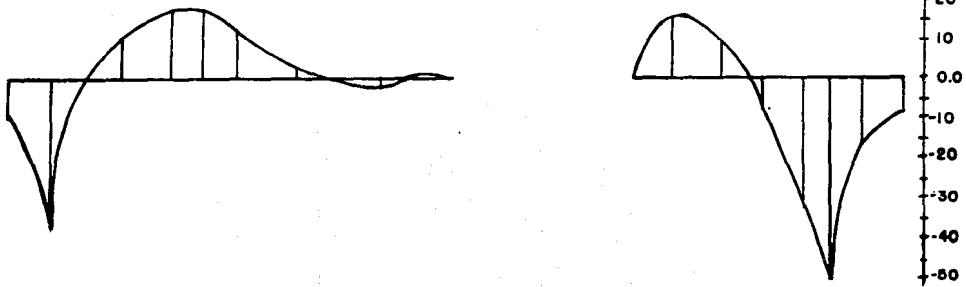
FLEX.

FRANJA 14
LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



98



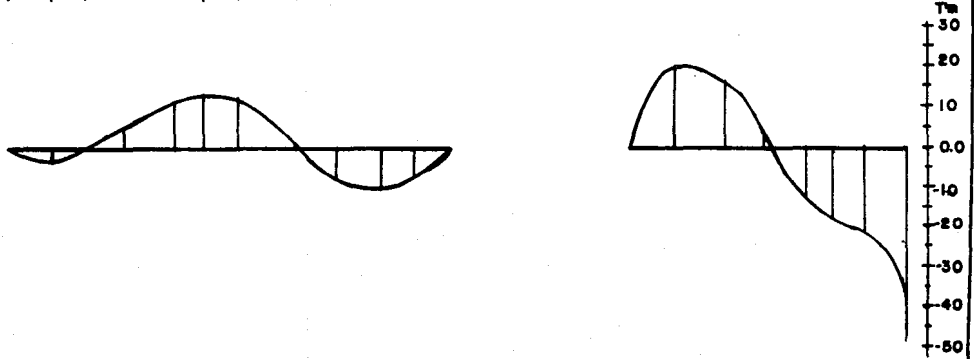
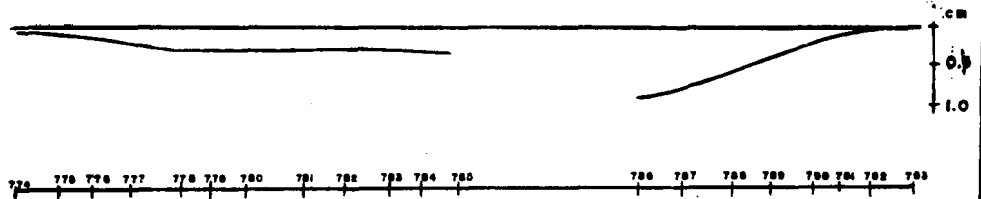
MOMENTOS

FLEX.

FRANJA 15

LOSA ELEV. 953.80

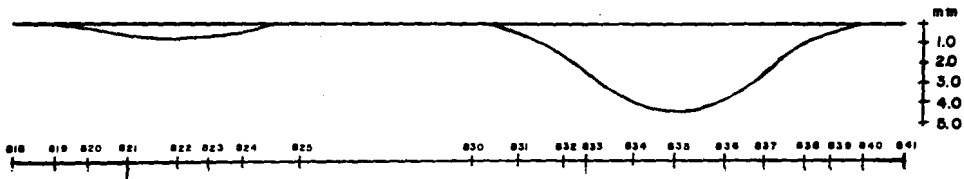
DEFLEXIONES



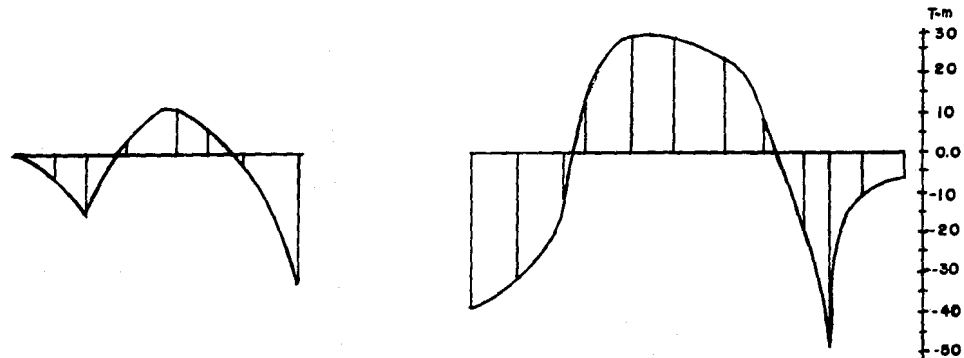
MOMENTOS
FLEX.

FRANJA 16
LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



88

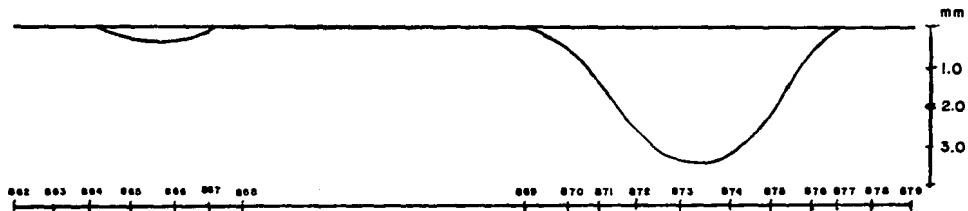


MOMENTOS

FLEX.

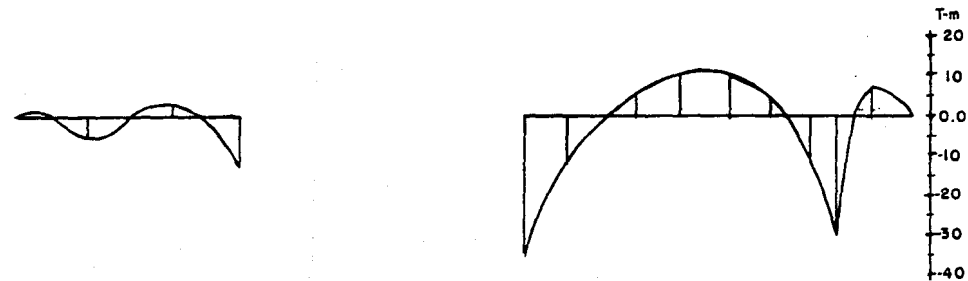
FRANJA 17
LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



MOMENTOS

FLEX.



FRANJA 18
LOSA ELEV. 933.80

08

DEFLEXIONES

mm



7-m

30

20

10

0.0

-10

-20

-30

-40

-50

-60

-70

-80



MOMENTOS

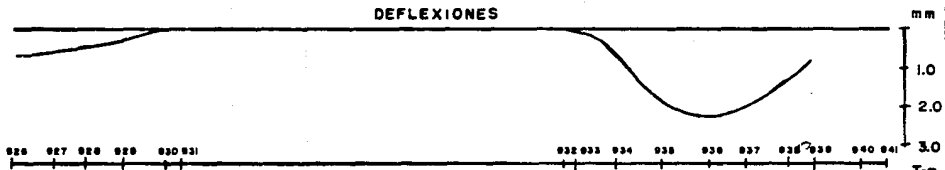
FLEX.

FRANJA 19

LOSA ELEV. 953.80

06

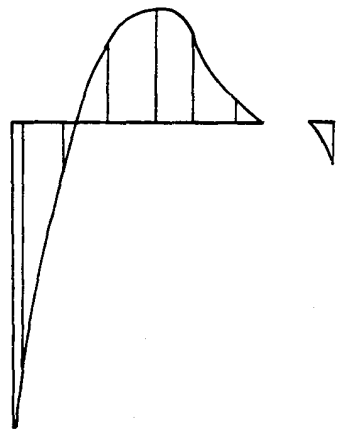
DEFLEXIONES



926 927 928 929 930 931

932 933 934 935 936 937 938 939 940 941

mm
1.0
2.0
3.0

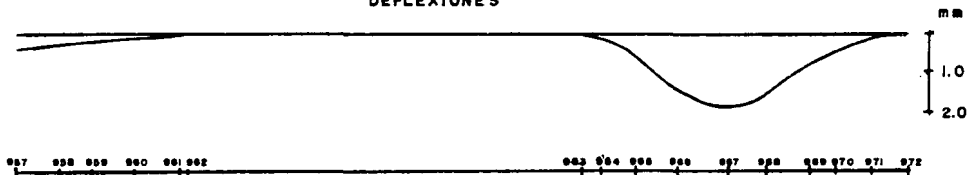


T-m
30
20
10
0.0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80

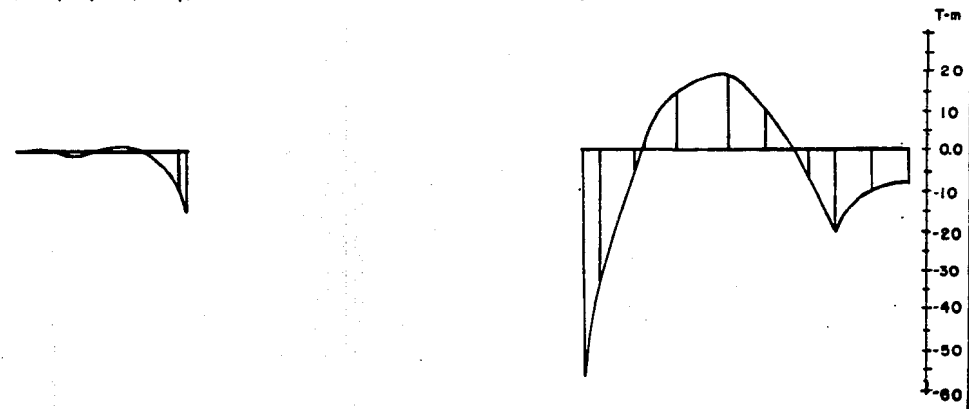
MOMENTOS
FLEX.

FRANJA 20.
LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



mm
1.0
2.0

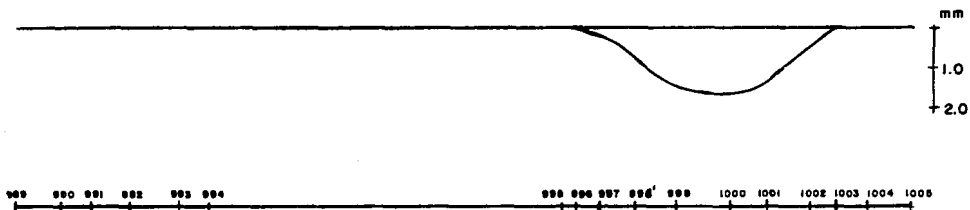


T-m
20
10
0.0
-10
-20
-30
-40
-50
-60

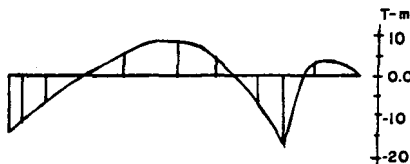
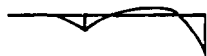
MOMENTOS
FLEX.

FRANJA 21
LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



93



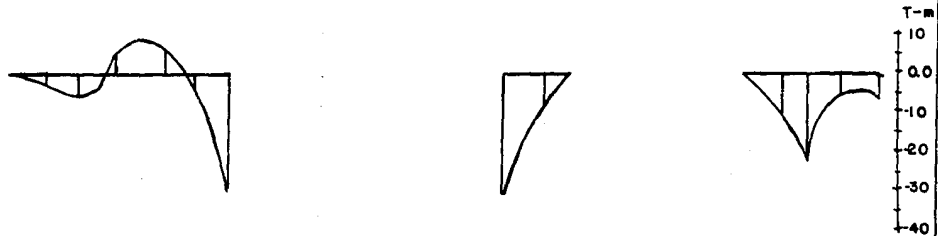
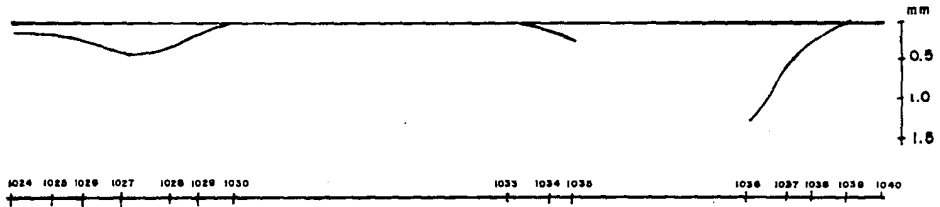
MOMENTOS

FLEX.

FRANJA 22

LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



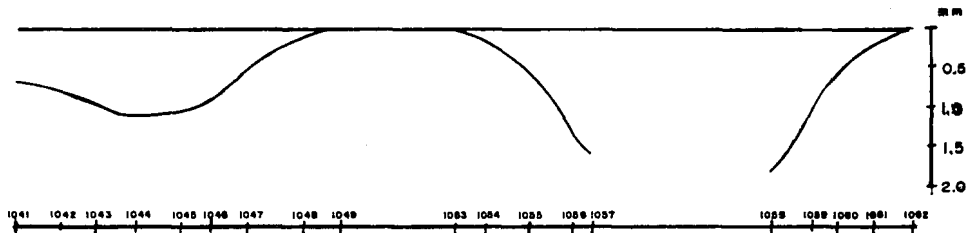
MOMENTOS

FLEX.

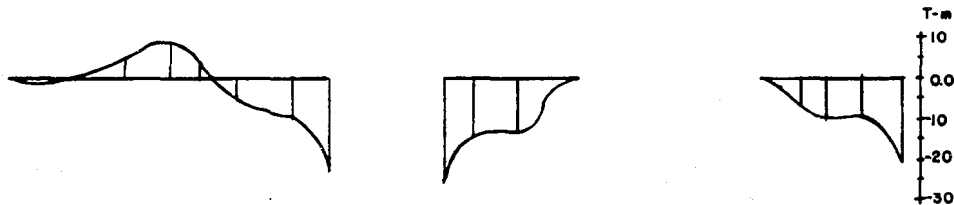
FRANJA 23

LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



95



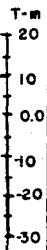
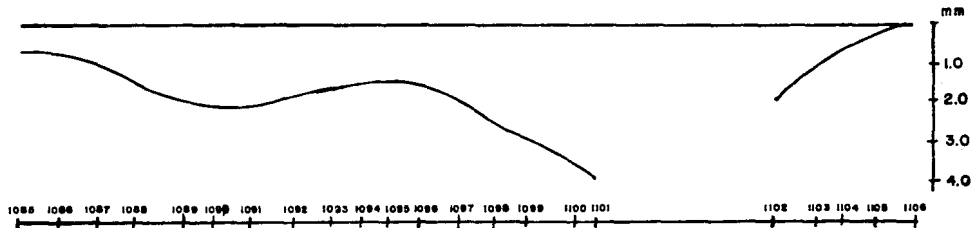
MOMENTOS

FLEX.

FRANJA 24

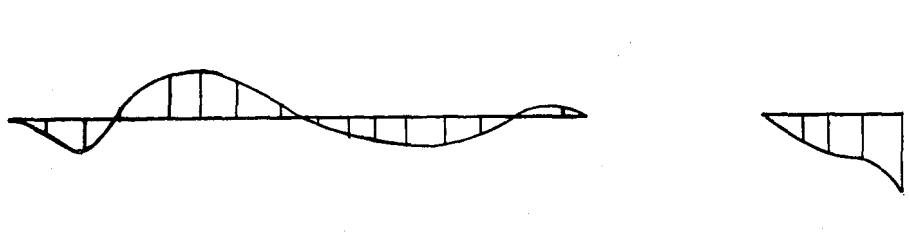
LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



MOMENTOS

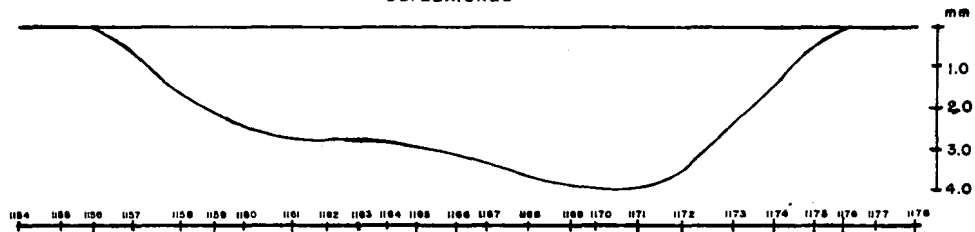
FLEX.



96

FRANJA 25
LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



MOMENTOS

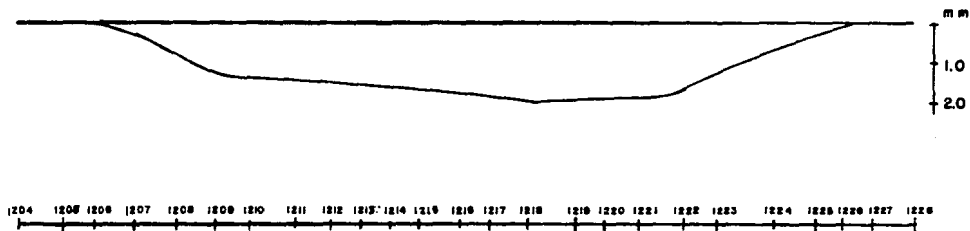
FLEX.



FRANJA 26

LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



MOMENTOS

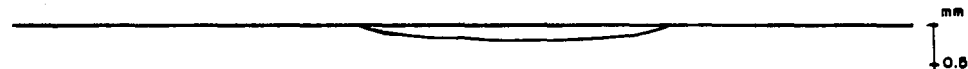
FLEX.



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

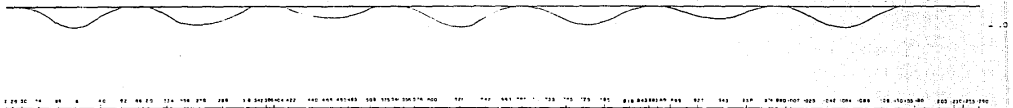
FLEX.

66

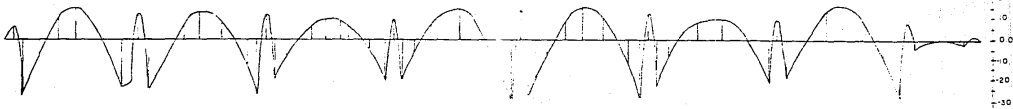
FRANJA 28

LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240 260 280 300

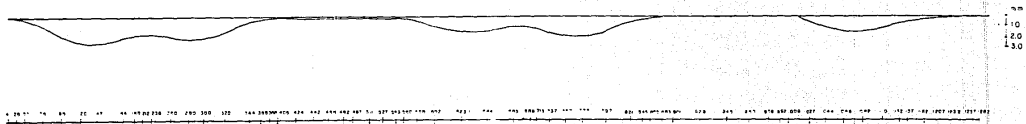


MOMENTOS

FLEX

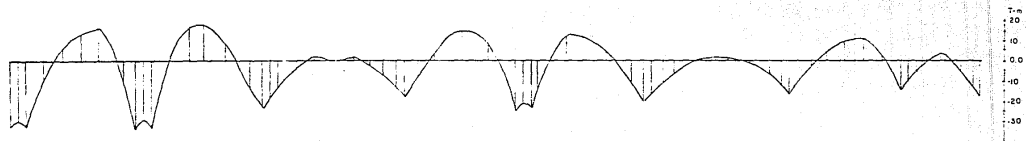
FRANJA A
LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES



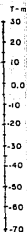
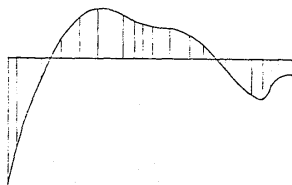
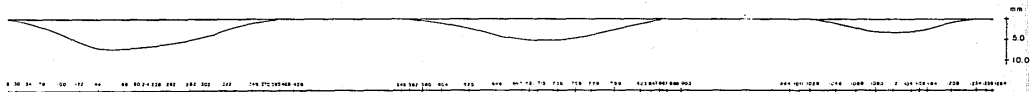
MOMENTOS

FLEX



FRANJA B
LOSA 953.80

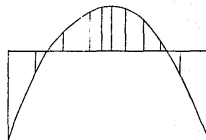
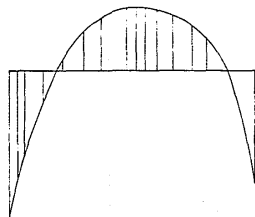
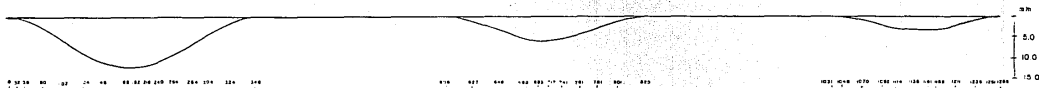
DEFLEXIONES



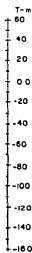
MOMENTOS
FLEX.

FRANJA C
LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES

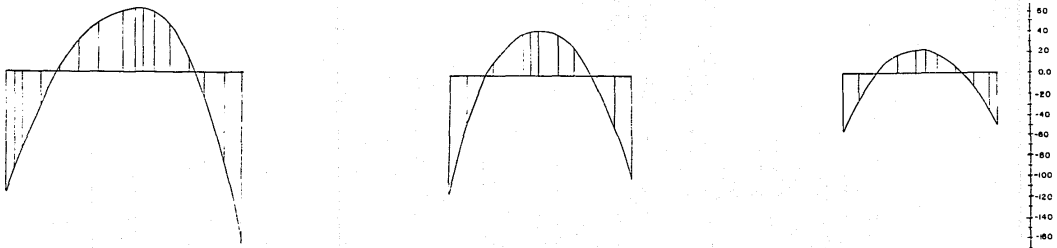
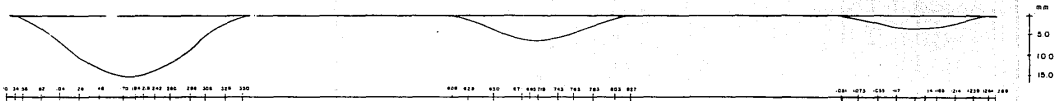


MOMENTOS
FLEX.



FRANJA D
LOSA ELEV. 953.60

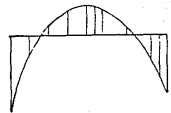
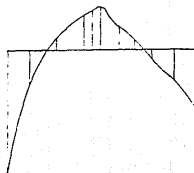
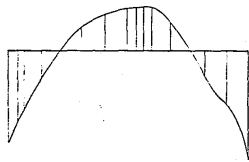
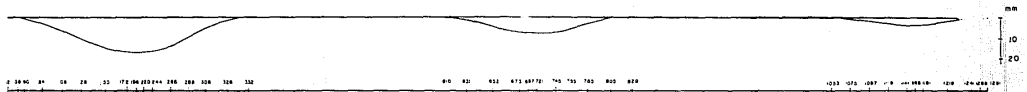
DEFLEXIONES



MOMENTOS
FLEX.

FRANJA E
LOSA ELEV. 955.80

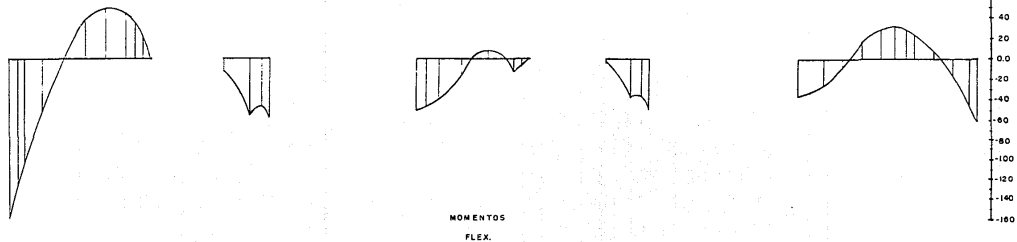
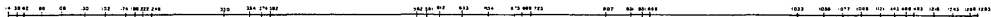
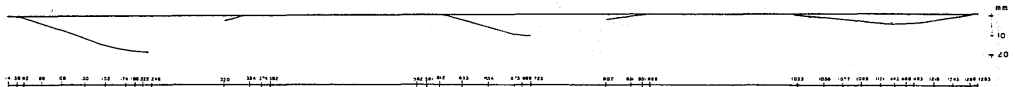
DEFLEXIONES



MOMENTOS
FLEX.

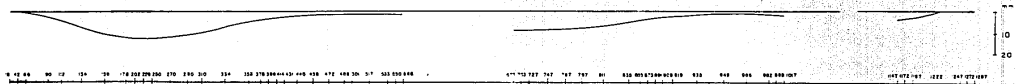
FRANJA F
LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES

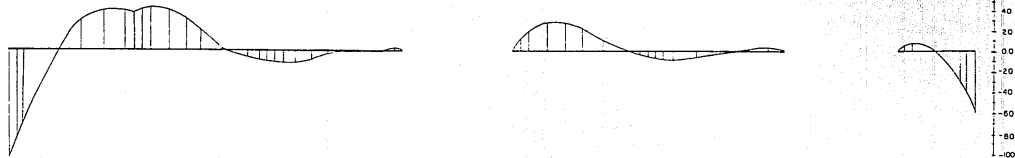


FRANJA G
LOSA ELEV. 953.80

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

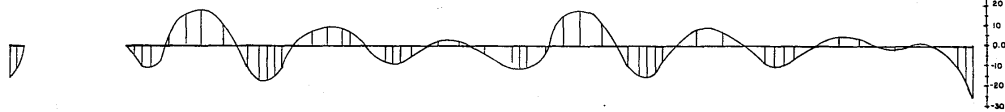
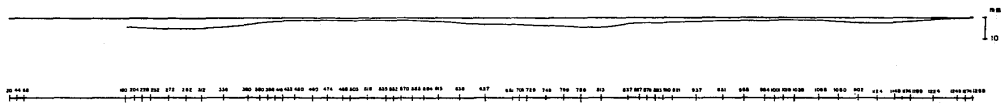


MOMENTOS

*LEX.

FRANJA I
LOSA ELEV. 953.60

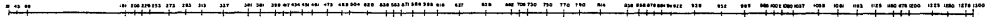
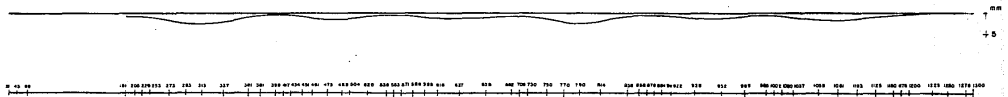
DEFLEXIONES



MOMENTOS
FLEX.

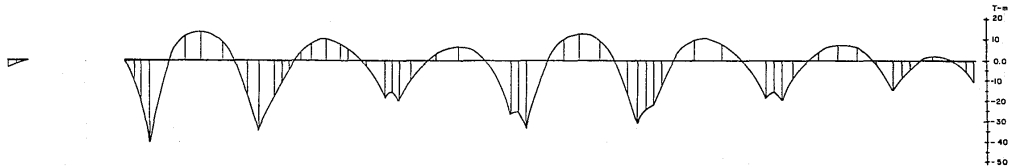
FRANJA J
LOSA ELEV. 955.00

DEFLEXIONES



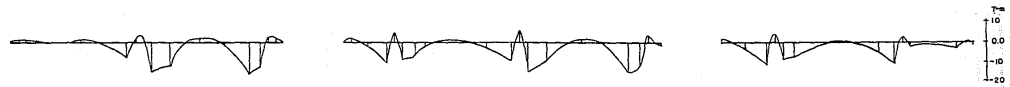
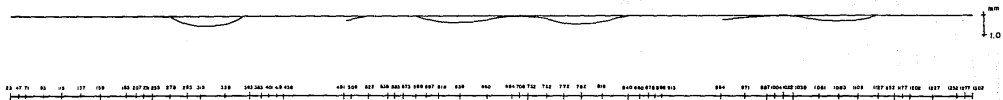
NOMENTOS

FLEX.



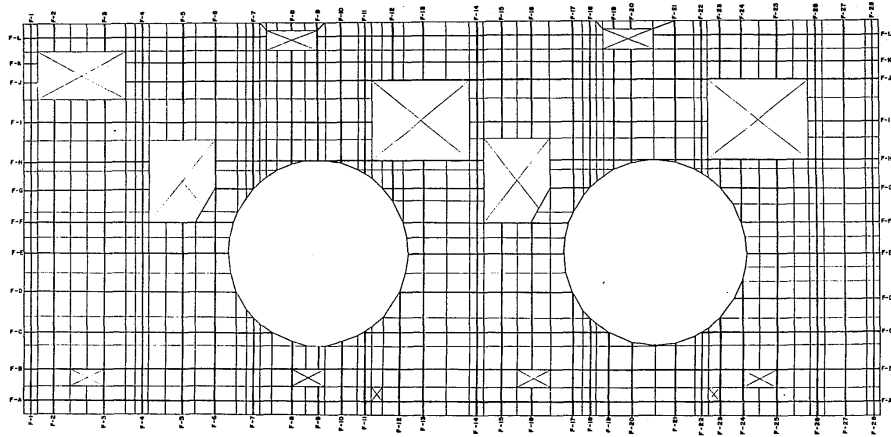
FRANJA K
LOSA ELEV. 953.80

DEFLEXIONES

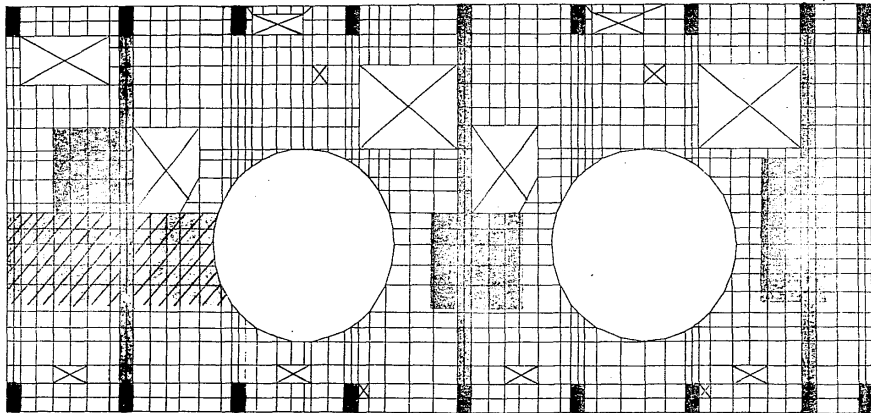


MOMENTOS
FLEX.

FRANJA L
LOSA ELEV. 953.80



U L S A	
TESIS PROFESIONAL	
ING. CIVIL	
CARLOS A. STAVOLI A.	
FRANJAS DE DISEÑO	
LOSA ELEV. 05500	
1991	PLANO 8



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

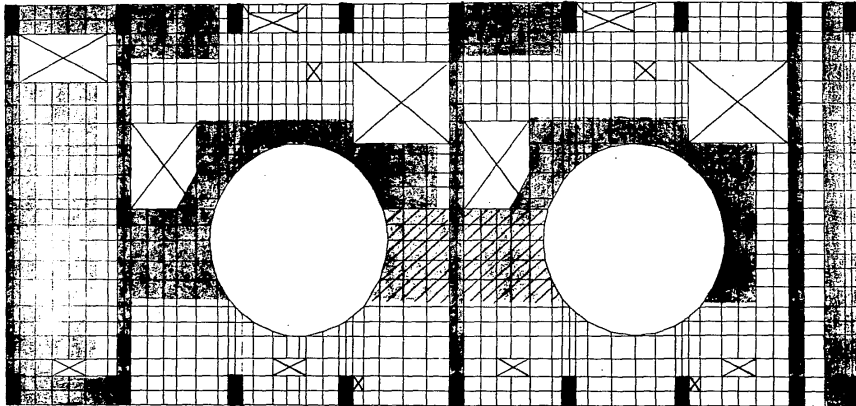
3/4" @ 20 + 3/4" @ 20

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

COLUMNS

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

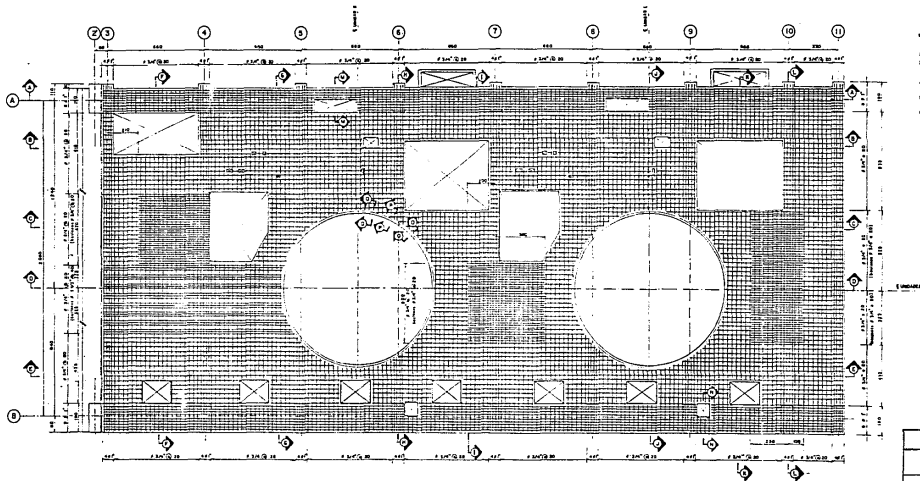
■ 3/4" @ 20 + 3/4" @ 20

■ 3/4" @ 20 + 1/2" @ 40

■ COLUMNAS

ARMADO NEGATIVO (LECHO SUPERIOR)

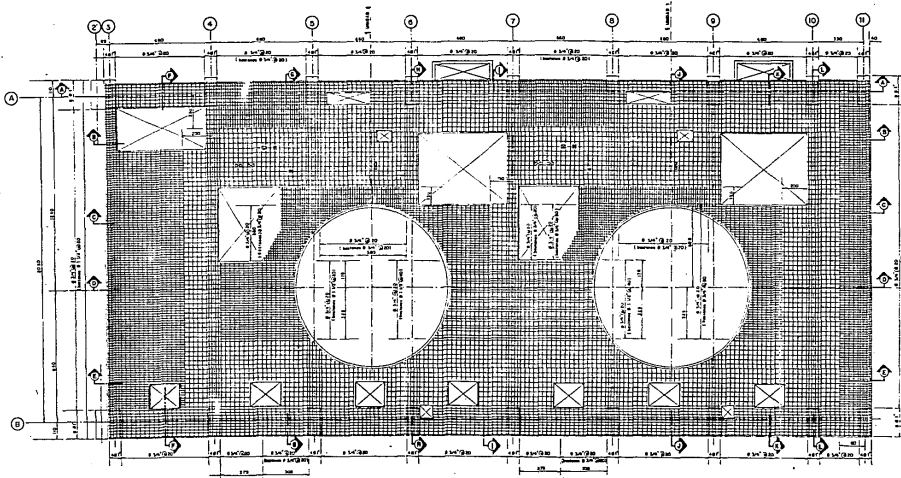
U L S A	
TESIS PROFESIONAL	
ING. CIVIL	
CARLOS A. STAVOLI A.	
ARMADO	
PRELIMINAR	
1991	PLANO 10



LECHO INFERIOR
(armados)

- NOTAS
1. ACERQUES EN EL ESPESOR BANDA DE BORDO 25 CM. ANCHO.
 2. ACERQUES EN INTERIO.
 3. HORMIGÓN: 1500 KG/M³.
 4. PARA VIGILAR Y TRABAJAR DEBEN LAS RECOMENDACIONES DEL DISEÑO DEL ALFOMBA ARMADA.
 5. EN TRABAJOS DEAS DEL NO. 2 DEL ACERO SE DEBE USAR EN BANDA DE BORDO 25 CM. ANCHO.
 6. TODAS LAS BARRAS DE HORMIGÓN DEBEN SER BARRAS ESTIRADAS.

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. EXCEPTO DONDE SE MENCIONE OTRO UNIDAD
 2.- ELONGACIONES EN METROS.
 3.- VER NOTAS EN HOJA 7.

LECHO SUPERIOR
 (ARMADO)

U L S A

INGENIERIA CIVIL

TESIS PROFESIONAL

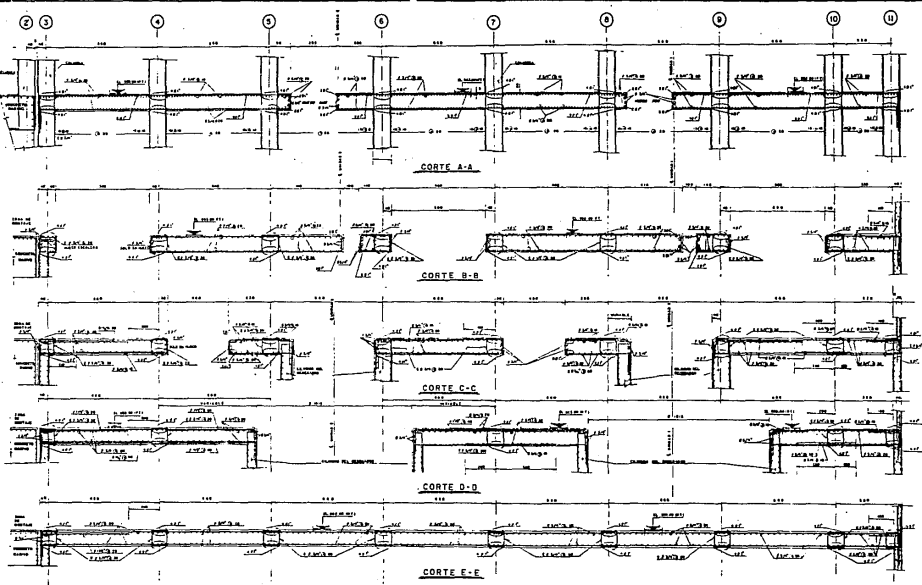
Carlos Antonio Stávali Alcántara

CASA DE MAQUINAS

LOSA ELEV. 953.80

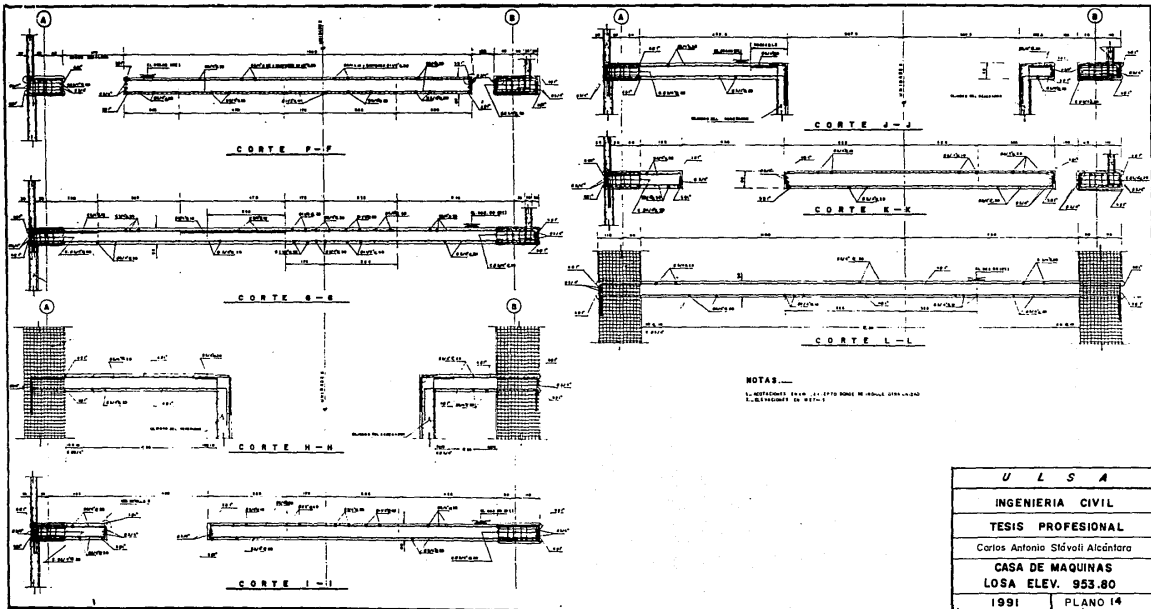
1991

PLANO 12



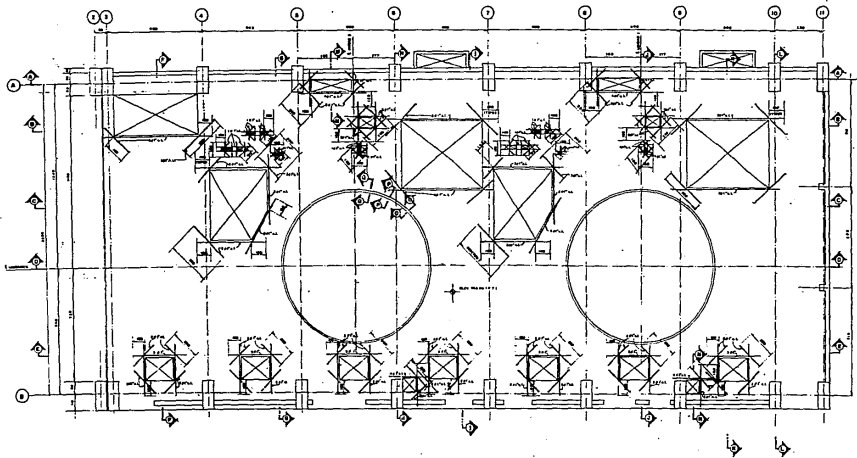
NOTA
 1. REPRESENTACION EN SECCIONES, EXCEPTO DONDE SE MUESTRE OTRO
 CASO
 2. ELEVACIONES EN METROS

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



NOTAS.—
 L. NOTACIONES DE ACUERDO A LA NORMA DE DISEÑO DE ACEROS PARA CONCRETO.
 L. DIMENSIONES EN METROS.

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. |