



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO SISMICO DE UN PUENTE CONTINUO

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

RAUL RODRIGUEZ SKEWES

MEXICO , 1985



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.

DISEÑO SISMICO DE UN PUENTE CONTINUO

En éste trabajo se expone el comportamiento de una estructura de gran longitud cuando está sometida a los efectos de un sismo, así como el dimensionamiento de algunos elementos que lo integran.

Indice

Introducción

I. Antecedentes y datos generales del Puente.

II. Aspectos generales del análisis sísmico.

III. Diseño Estructural.

IV. Conclusiones y Recomendaciones.

I N D I C E

INTRODUCCION

I. ANTECEDENTES Y DATOS GENERALES DE PUENTE.

A. ANTECEDENTES

B. ANTEPROYECTO

1. Estudio Topohidráulico
2. Estudio Geotécnico

C. DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA

II. ASPECTOS GENERALES DEL ANALISIS SISMICO

A. ORIGEN DE LOS SISMOS

B. CONCEPTOS GENERALES

C. SISTEMAS DE UN GRADO DE LIBERTAD

D. SISTEMAS DE VARIOS GRADOS DE LIBERTAD

III. DISEÑO ESTRUCTURAL

A. INTRODUCCION

B. CALCULO ESTRUCTURAL

1. Estructura por Diseñar
2. Especificaciones por emplear
3. Características Geométricas
4. Selección de cargas por Analizar
5. Cálculo de Condiciones Básicas de Carga
6. Combinaciones de carga para Dimensionamiento
7. Acciones Mecánicas de Diseño
8. Dimensionamiento
9. Revisión de Condiciones de Servicio

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

TABLAS Y FIGURAS

APENDICE

INTRODUCCION

La actividad sísmica producida por fenómenos naturales , en especial la de movimientos de origen Tectónico , es decir , de los movimientos de la corteza terrestre que a través de la historia , en algunas zonas del mundo y en particular en nuestro país han sido la causa de la destrucción de muchas estructuras. Son motivos por los cuales han tenido especial importancia el estudio de estos fenómenos en la ingeniería. Los fenómenos sísmicos se han estudiado para conocer el comportamiento de las estructuras cuando estas quedan sometidas a las acciones de un sismo , de manera que se pueda predecir su comportamiento. Como resultado de estos estudios poder definir criterios de diseño que garanticen la seguridad de las estructuras.

En éste trabajo se presenta el análisis sísmico modal de una estructura de gran longitud , que en particular corresponde a la de un puente continuo . Se hará uso de éste análisis para el dimensionamiento de los elementos que forman parte de la subestructura de dicho puente.

ANTECEDENTES Y DATOS GENERALES DE PUENTE

A. ANTECEDENTES

En el estado de Tabasco se proyecta la construcción de una línea férrea , que comunique la terminal marítima de Los Bocas con el Sistema Ferroviario Nacional y los complejos petroquímicos de la zona.

La línea de ferrocarril proyectada tiene origen en la estación Chontalpa de los Ferrocarriles Unidos del Sur , al sur de Huianguillo y con destino a la terminal marítima , al noreste de la Ciudad de Paraiso Tab. Contando con un ramal que comunica los complejos petroquímicos de Cactus y Tabasco I en el estado de Chiapas . Dicho ramal cruza el Río Mezcalapa , para lo cual se proyecta un puente en este sitio.(ver fig. 1)

B. ANTEPROYECTO

Para este cruce se proponen varias alternativas de estructuración , en la que por menor tiempo de construcción se selecciono un puente continuo , construido con el procedimiento denominado de " Empuje Acompasado " , el que se describirá con más detalle posteriormente.

Para la selección y ubicación de esta estructura , así como para el diseño , se tomaron en cuenta dos estudios principal^{mente} : Topohidráulico y Geotécnico de los que a continuación se explica su contenido en forma breve.

1. Estudio Topohidráulico

a. Descripción de la Zona .- Se presenta una descripción de la zona donde se encuentra ubicada el puente , haciendo referencia a la climatología , hidrografía y divagaciones del Río Crijalva (del que forma parte el Río Mezcalapa). las obras de protección efectuadas para evitar los desbordamientos de éste. Aspectos generales del sistema hidroeléctrico del Río Crijalva , haciendo referencia a los puentes existentes a lo largo de este.

b. Estudios Topográficos y Batimétricos .- Se realizó un levantamiento topográfico y batimétrico de seis secciones perpendiculares al cauce , con el fin de obtener la estimación de el NAMO y NAME (nivel de aguas máximas ordinarias y extraordinarias correspondientemente), así como la sección o perfil donde se localiza el cruce.

c. Evaluación de gastos máximos para distintos períodos de retorno .- Los datos de gastos máximos fueron obtenidos a través de estudios realizados en esta zona, para el sistema hidroeléctrico del Río Crijalva y obtenido por varios métodos, de los resultados de estos métodos se eligió el más desfavorable.

d. Cálculo de elevaciones-capacidades en la sección del puente y determinación del nivel de aguas máximas extraordinarias .- Este cálculo se hizo tomando en cuenta la obstrucción del terraplen en la zona del cruce y la sección interna del puente, haciendo uso de las curvas gasto-elevación.

Conclusiones y recomendaciones .- Se dan recomendaciones para considerar, en la sección, el gasto de diseño; la socavación en la cimentación , el perfil de la sección del cruce, así como las elevaciones del NAMO y NAME . Estos resultados se muestran en la figura 2.

2.- Estudio Geotécnico

a. Descripción del Estudio .- Se efectuaron en la zona , siete sondeos, a lo largo del cruce, con una profundidad media de 26 m., y en base a éstos se determinaron las características del terreno.

b. Estratigrafía.- Se encontraron en la zona del cruce, en un promedio de 1,8 m. bajo el nivel del agua, una capa de arcilla orgánica arenosa de 1 a 2,9 m. de espesor; a una profundidad de 4 m., arena limpia media, subyaciendo a ésta una arcilla poco arenosa y a la profundidad de 21,0 m. un manto arenoso limoso, lo anterior se muestra en la figura 3.

c. Capacidad de carga.- Se hizo un análisis de capacidad de carga tomando en cuenta las cargas de ferrocarril ; se evaluaron varias alternativas de cimentación, en conclusión se emplearían cilindros desplantados a una profundidad de 10 a 14 m. bajo el nivel del terreno. Las capacidades de carga y profundidades de desplante de los cilindros se muestra en la figura 4.

d. Asentamientos.- Se evaluaron los asentamientos empleando la teoría de Terzaghi y la distribución de presiones de acuerdo a la teoría elástica de Boussinesq. Los resultados de este cálculo se presentan en la figura 5.

e. Socavación .- La socavación se estimó de acuerdo al método de Yaroslavtziev y de la J.A. Maza . Los valores de socavación para cilindros entre los 4 y 10 m. de diámetro se muestran en la figura 6.

C. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Sistema de puente empujado (Referencia 2). De acuerdo con el proceso constructivo de éste tipo de estructura , ofrece ventajas en tiempo de construcción, debido a que la sub-estructura y superestructura pueden ser construidas simultáneamente con un programa de obra adecuado.

La superestructura se construye en alguna, de las margenes del río o cruce, no requiriendo así, cimbras falsas o móviles, puesto que se emplea un sistema de prefabricación del puente en dovelas con una longitud de 17.3 m. cada una para este puente en particular; el tiempo de construcción es de una semana por dovela, incluyendo las etapas correspondientes a armado, colado, tensado de cables presforzados y empujado de la misma, estas etapas son representadas esquemáticamente en la figura 7, estas etapas de colado no podran ser suspendidas una vez iniciada la obra, hasta la terminación del puente.

La subestructura seleccionada, a base de columnas desplazadas sobre cilindros, se construirán por algún método convencional.

Como características específicas del sistema, se tienen los siguientes elementos de la superestructura: La nariz de lanzamiento, es una estructura metálica, colocada en el extremo del puente (primera dovela) como una extensión de éste, que sirve de liga de apoyo con las pilas, para evitar grandes deflexiones en la etapa constructiva, esta estructura es de una longitud de 30 m. en donde no se permitiran deformaciones laterales mayores de un centimetro para su correcto funcionamiento.

El patio de fabricación de dovelas, donde se efectúa la construcción se éstas en sus diferentes etapas deberá de cumplir con los requerimientos de nivelación precisos al igual que en las demás zonas que constituyen todo el sistema de maniobra de empujado.

El estribo de lanzado es una estructura colocada en la margen de fabricación de dovelas, que soportará las cargas longitudinales y verticales durante la etapa constructiva con respecto a la maniobra de empujado, ya que en este sitio estaran apoyados los gatos de lanzado. Durante la etapa de servicio el estribo resistira las fuerzas longitudinales debidas al frenaje y al siemo.

Los apoyos intermedios estarán formados por columnas desplantadas sobre cilindros, los que no admitiran deformaciones diferenciales entre ellos, mayores a un centimetro. De igual manera transversalmente no se admitiran desviaciones en los apoyos, mayores de un centimetro con respecto al eje del puente.

La unión entre la superestructura y subestructura, permite únicamente movimiento longitudinal, esto implica que las fuerzas transversales son tomadas totalmente por el apoyo y transmitidas al cilindro de cimentación.

Bases de diseño para el Puente.- Contiene la información requerida como punto de partida para el inicio del diseño y se expone a continuación como cuestionario.

a. Alcance.- El dimensionamiento de la cimentación del Puente bajo los efectos de las cargas actuantes en éste.

b. Localización.- País México, Estado de Tabasco

c. Características del Puente.- Puente para ferrocarril de una vía, considerado como una obra permanente y de construcción total.

d. Datos estructurales.- Longitud del Puente : 704 m.

Longitud entre apoyos : 52 m. entre claros centrales y 40 m. en los claros extremos. Ancho de la sección : 5 m.

Número de apoyos intermedios : 13

Número de tramos y su longitud : 12 de 52 m. y 2 de 40 m.

(ver figura 8 y 9)

Características de la Subestructura.-

Apoyos : Libres en el sentido longitudinal (guiados) y fijos en el sentido transversal al puente.

Apoyos con la cimentación : Empotrados

Dimensiones del cabezal : 4 x 2 x 0.8 m.

Forma de las columnas : Cuadadas

(ver figura 10)

Características de la Cimentación .-

Tipo de cimentación : Cilindros

(ver figura 11)

e. Especificaciones para diseño .- A.R.E.A. , C.F.E. y A.C.I.

Carga viva de Proyecto : COOPER E-72

Velocidad de viento : 160 km/hora.

Sismicidad : $c = 0.3$

Materiales por emplear.-

Superestructura : Concreto $f'_c = 350 \text{ kg/cm}^2$, acero de presfuerzo $f_{lr} = 19000 \text{ kg/cm}^2$ y acero de refuerzo $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

Subestructura y cimentación : Concreto $f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$ y acero de refuerzo $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

Los datos requeridos con relación a la topografía y mecánica de suelos , son obtenidos de los estudios Topohidráulico y de Geotécnia correspondientemente , Se expondran estos datos donde se requiera.

ASPECTOS GENERALES DEL ANALISIS SISMICO

A. ORIGEN DE LOS SISMOS

Los sismos son vibraciones que se producen en la corteza terrestre, debido principalmente a fenómenos de origen tectónico, volcánico, derrumbes, etc.

Los de origen tectónico, que son los que generan la mayor actividad sísmica en México, son debidos a la acumulación de energía de deformación de los grandes bloques de la corteza terrestre induciendo movimientos relativos. La distribución de este tipo de movimientos se realiza a través de fallas en zonas sísmicas definidas, como la del "Cinturon Circunpacífico", misma en la que se localiza la República Mexicana. (La distribución de placas se encuentra representada en la figura 12).

La actividad sísmica se genera a través de ondas que se distribuyen de manera diferente en los estratos, en zonas de gran extensión, localizadas normalmente entre 10 y 50 km. de profundidad con sus excepciones, que se han originado a 600 km. Estas ondas se originan con la excitación en un punto denominado "foco", y localizado verticalmente hacia la corteza terrestre, se encuentra otro punto denominado "Epicentro" o área "Epicentral"

que es la zona donde hay mayor disipación de energía.

Apartir del punto llamado "Foco", se generan principalmente dos tipos de ondas, que por la manera en que se propagan en el terreno son denominadas, "Longitudinales" (ondas P) y "Transversales" (ondas S).

B. CONCEPTOS GENERALES

Otros conceptos que se toman en cuenta en el estudio de los sismos son:

Intensidad.-Es una medida subjetiva de los efectos de un sismo, y se refiere al grado de potencia destructiva de un sismo en la localidad. En estos valores se encuentran involucrados, la distancia al Foco, la Geología de la zona, la Mecánica del Suelo, nivel de aguas freáticas, etc. Dentro de las escalas de intensidad se encuentran las de Mercalli (usada en México), Rossi-Forel, Cancani, Sieberg Medvedel, etc.

Magnitud.-Es la medida cuantitativa del tamaño de un sismo y es independiente del punto de observación, se calcula apartir de la amplitud de los sismogramas y es expresada en escala logarítmica por números decimales.

La escala de magnitud, es la de Richthor, definida como $M = \log A - \log A_0$. La magnitud M es el logaritmo común de la amplitud de traza en micras de un sismografo estandar, Wood-Anderson con amplificación de 2800, período natural de 0.8 seg. y coeficiente de amortiguamiento de 80 %. Instrumento colocado a 100 km. del epicentro (se emplea para distancias focales hasta 600 km.). La escala unificada de Gutenberg para distancias entre 600 y 2000 km., representado con la escala "m". La escala telesísmica para distancias alrededor de 12000 km.

De lo expuesto anteriormente se puede observar que los sismos producen efectos complicados e irregulares, por lo tanto no se puede predecir exactamente la duración e intensidad de los temblores futuros, de acuerdo con esto se han tomado en cuenta algunos conceptos para poder evaluar los efectos de los sismos en las estructuras.

Se efectúan investigaciones para la idealización de los temblores, por lo que la sismología ha implementado instrumentos de precisión para registrar el movimiento del suelo, siendo de utilidad para los investigadores, porque les ha permitido la forma de obtener la variación de las perturbaciones que afectan a las estructuras, con respecto al tiempo.

Los investigadores han utilizado diferentes técnicas, acudiendo a dispositivos mecánicos o simulando registros en computadoras, analógicas o digitales, otros han propuesto modelos estocásticos analíticos, de excitación para estudiar algunos parámetros. De los registros de la respuesta estructural, se idealiza un sismo como un movimiento horizontal del terreno, éste movimiento es registrado por un acelerograma que a su vez actúa sobre una estructura, de la que se conocen sus características.

Como al diseñar lo que le interesa al ingeniero, es saber como se comportara la estructura ante los sismos futuros, que difieren de los registrados; por esta razón se usan las respuestas máximas de varios acelerogramas, introduciendo esto, el concepto denominado "Espectro".

Los acelerógrafos representan las aceleraciones en tres ejes coordenados y están en funcionamiento con un mecanismo de disparo, el que se calibra a una aceleración, en la que el valor dependiera de la zona o tipo de registro que se quiera.

Para la calibración se toma en cuenta la relación entre el foco, sitio del registro y actividad sísmica; las características del terreno, mecanismo de generación del sismo (las fallas existentes).

Por medio de la digitización o proceso para obtener los puntos significativos de un acelerograma se pueden obtener velocidades y desplazamientos con respecto al tiempo como se indica en la figura 13.

Los espectros, en lo que se refiere a respuesta, se presentan las respuestas máximas, que dependen del período natural y el grado de amortiguamiento del sistema, como funciones del período

o frecuencia natural de ... estructuras simples, correspondiendo a cada una un valor. Se obtiene la respuesta máxima registrada, pudiendo ser ésta un desplazamiento angular o lineal, cortantes, aceleración absoluta etc.

Para diferentes acelerogramas se superponen los espectros de respuesta, la superposición de estos con una probabilidad dada, dan como resultado el " Espectro de Diseño".

La construcción de un espectro se elabora suponiendo una estructura de un grado de libertad, elástica y con amortiguamiento lineal que está sujeta a una aceleración descrita por un acelerograma de un temblor con componentes, aceleración-tiempo.

La ecuación de movimiento será:

$$x'' + 2c x' + \omega^2 x = -A(t)$$

Cuya solución para un desplazamiento máximo será:

$$S_d = \frac{1}{\sqrt{\omega^2 + c^2}} \int_0^t A(F) e^{-c(t-t)} \sin(t-t) / \max.$$

$$S_v = \left/ \frac{d S_d}{dt} \right/ \max \quad S_a = \left/ \frac{d^2 S_d}{dt^2} \right/ \max.$$

Con estos valores, para diferentes periodos se obtendrá el desplazamiento, la velocidad y la aceleración, para un valor constante de amortiguamiento.

C. SISTEMAS DE UN GRADO DE LIBERTAD

Antes de iniciar la explicación de los sistemas de un grado de libertad se darán algunos conceptos introductorios:

La Dinámica es la parte de la Mecánica que estudia la interacción de las masas y las fuerzas, así como su movimiento correspondiente, que está basado su estudio en las investigaciones experimentales de científicos, principalmente Newton, el que formuló las leyes de movimiento que llevan el mismo nombre y se describen a continuación.

Primera ley.- Si sobre una partícula de masa "M" no actúa ninguna fuerza, dicha partícula permanecerá en su estado de reposo o mantendrá su movimiento constante.

Segunda ley.- Una partícula sometida a la acción de una fuerza se mueve de manera que la razón de cantidad de movimiento lineal con respecto al tiempo, es igual a la fuerza.

Tercera ley.- En la actuación de dos partículas, una sobre otra, la fuerza ejercida por la primera sobre la segunda, es igual en magnitud y opuesta en sentido a la fuerza ejercida por la segunda sobre la primera.

De estas leyes se deduce que todos los cuerpos cuentan con inercia, y el movimiento de ésta puede estar representado por la siguiente expresión:

$$F = ma$$

En donde "F" es la acción que tiende a cambiar el movimiento, y sus unidades son de fuer^{za} (toneladas o kilogramos). "M" es la masa y se define como la relación de la fuerza actuante y la aceleración resultante, y sus unidades son (kg x seg²/ cm)
L. fuerza en el campo gravitacional sobre un cuerpo se denomina "W", y para el campo gravitacional de la tierra se especifica la aceleración de la gravedad "G" = 9.81 m/seg².

Definiremos a la rigidez "K" como (fuerza generalizada) necesaria para producir una deformación angular o lineal unitaria a una estructura.

Por ejemplo:



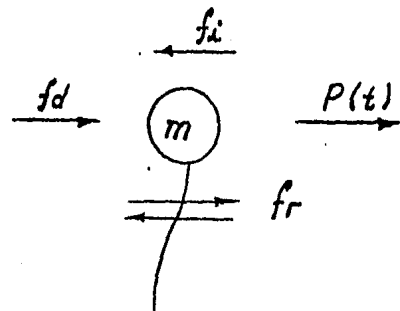
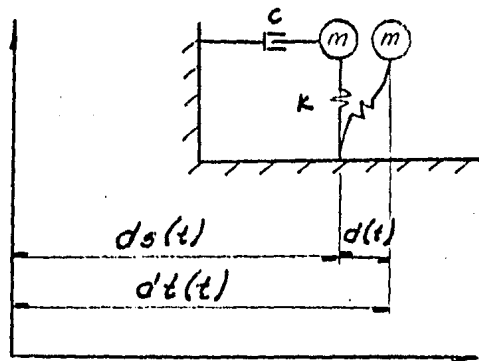
la rigidez $k = \frac{3 EI}{L^3}$ [Kg/cm]

la rapidez angular $\omega^2 = \frac{k}{m}$ [rad/seg]

la frecuencia $f = \frac{\omega}{2\pi}$ [1rad./seg]

el periodo $T = \frac{1}{f}$ [seg]

Sistemas de un grado de libertad



Para el equilibrio

$$f_i + f_d + f_r = P(t)$$

c = amortiguamiento

k = rigidez

m = masa

en donde

$$f_i = m \ddot{d}(t) = m \dot{s}(t) + m \ddot{d}(t)$$

$$f_d = c \dot{d}(t)$$

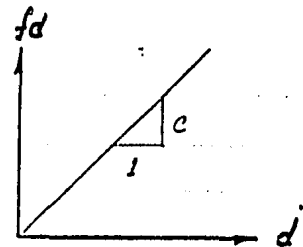
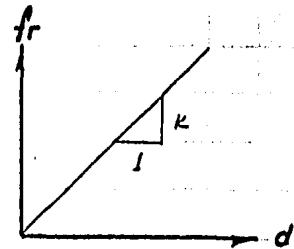
$$f_k = kd$$

sustituyendo

$$m \dot{s}(t) + m \ddot{d}(t) + c \dot{d}(t) + kd(t) = P(t)$$

de donde

$$\boxed{m \ddot{d} + c \dot{d} + kd = P - m \dot{s}}$$



Que es la ecuación de equilibrio dinámico, de un grado de libertad para un comportamiento elástico lineal con coeficientes constantes.

1.- Para vibración libre sin amortiguamiento: $P=0$, $\dot{s}=0$ y $c=0$

$$m \ddot{d}(t) + kd(t) = 0$$

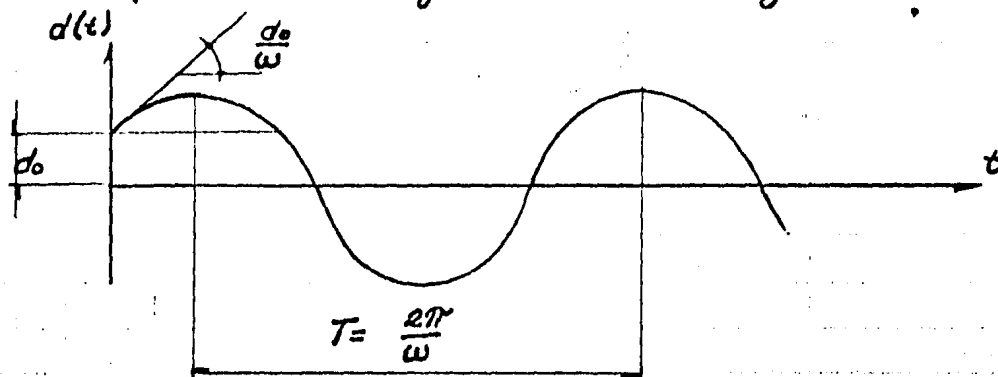
Cuya solución para las siguientes condiciones iniciales:

$$d(t=0) = d_0 \quad \text{y} \quad \dot{d}(t=0) = \dot{d}_0$$

$$d(t) = \frac{\dot{d}_0}{\omega} \sin \omega t + d_0 \cos \omega t \quad \text{o bien} \quad d(t) = \beta \sin(\omega t - \lambda)$$

$$\text{donde} \quad \beta = \frac{d_0}{\omega \cos \lambda} \quad \lambda = \frac{\dot{d}_0 \omega}{d_0}$$

La representación gráfica es la siguiente:



2.- Para la Vibración libre con amortiguamiento: $P=0$ y $d_0 = 0$

$$m d''(t) + c d'(t) + k d(t) = 0 \quad \Rightarrow \quad m D^2 + c D + k = 0$$

con la solución $\Gamma_1, \Gamma_2 = d(t) = \frac{-c \pm \sqrt{c^2 - 4km}}{2m}$

en la que se pueden obtener tres soluciones:

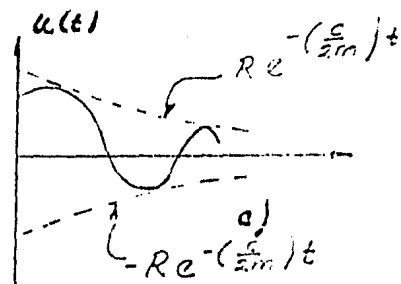
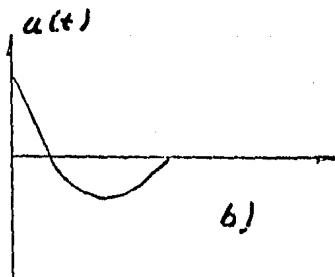
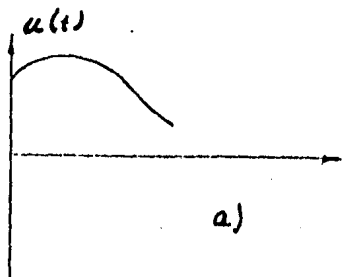
a) $c^2 - 4km > 0$ $u = A e^{\Gamma_1 t} + B e^{\Gamma_2 t}$ sobreamortiguado

b) $c^2 - 4km = 0$ $u = (A + Bt) e^{-(\frac{c}{2m})t}$ críticamente amortiguado

c) $c^2 - 4km < 0$ $u = (B \cos ut + A \sin ut) e^{-(\frac{c}{2m})t}$ periódico amortiguado

donde $u = \frac{\sqrt{4km - c^2}}{2m} > 0$

La representación gráfica:



El caso tercero periódico amortiguado se puede representar mediante:

$$R = \sqrt{A^2 + B^2} \quad \text{como} \quad u = R e^{-\left(\frac{c}{2m}\right)t} \cos(\mu t - \lambda)$$

$$\text{haciendo } B = d_0, \quad A = \frac{\dot{d}_0 + \frac{c}{2m} d_0}{\mu}$$

simplificando obtenamos para el movimiento cuasi-periódico T_d

$$\text{donde } T_d \cong T \left(1 + \frac{c^2}{8Km} \right)$$

3.- Para Vibración forzada sin amortiguamiento: $c = 0$

$$m\ddot{d}(t) + Kd(t) = P(t)$$

$$\text{cuya solución es: } d(t) = \frac{1}{m\omega} \int_0^t P(\tau) \sin(t-\tau) \Delta \tau$$

4.- Para Vibración forzada con amortiguamiento

$$m\ddot{d}(t) + c\dot{d}(t) + Kd(t) = p(t) \quad \text{cuya solución es:}$$

$$d(t) = \underbrace{\frac{1}{m\omega'} \int_0^t P(\tau) e^{-\gamma\omega'(t-\tau)} \sin \omega'(t-\tau) d\tau}_{(1)} + \underbrace{\frac{\dot{d}_0 + d_0\omega\gamma}{\omega'} \sin \omega't + d_0 \cos \omega't}_{(2)}$$

Donde el término (1) es denominado, Integral de Donhamel

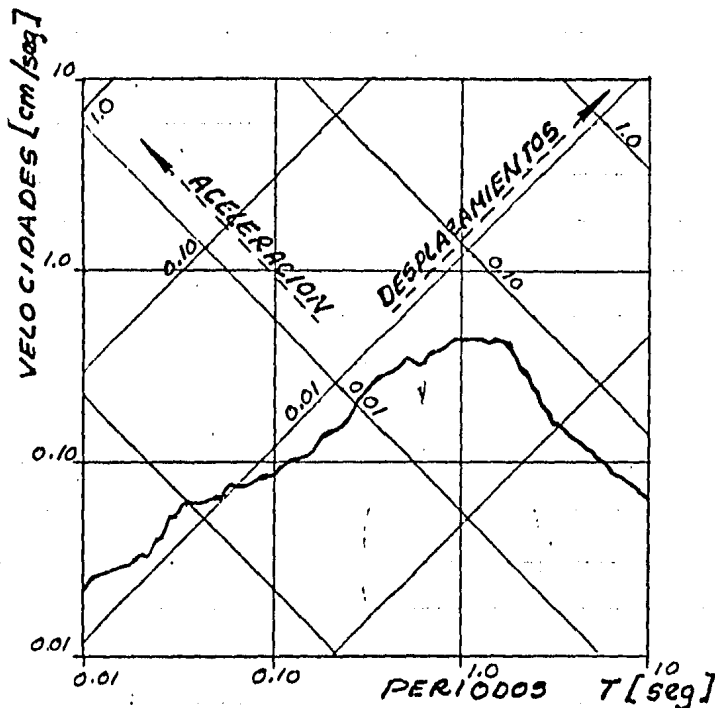
El término (2), no se toma en cuenta, por que después de algunos ciclos la función decrece.

Para efectos de un sismo, la ecuación quedará:

$$d(t) = \frac{1}{\omega'} \int_0^t \ddot{d}_s(\tau) e^{-\gamma m(t-\tau)} \sin \omega(t-\tau) d\tau$$

donde $d(t) = \frac{1}{\omega'} v [t, \gamma, \omega, \ddot{d}_s]$ (en función de la velocidad)

En la ecuación anterior donde y, w son propiedades de la estructura, la solución se pueda obtener por métodos numéricos, dentro de los cuales existen: B (Newmark), Wilson, Ran kuta, en donde para los efectos de Ingeniería Sísmica nos importará el " $d(t)$ " máximo, para una y constante, se calcula el desplazamiento máximo, para estructuras de diferente periodo.



De esta manera se encontraría el espectro de respuesta, que es la representación gráfica de la máxima respuesta estructuras de diferente periodo, de un grado de libertad y con coeficiente de amortiguamiento constante para un acelerograma.

D.- SISTEMAS DE VARIOS GRADOS DE LIBERTAD

Con diferencia de lo visto anteriormente, el sistema estará definido por varias masas.

La obtención de la respuesta máxima de un sistema de varios grados de libertad, para una vibración forzada con amortiguamiento, que es el caso de la excitación sísmica, se pueda obtener por los siguientes métodos:

- 1er. Método Paso a Paso
- 2o. Método Espectro de respuesta

Donde $M\ddot{D} + C\dot{D} + KD = d_s(t)MV$

Como $D_i = \phi q_i$ $M^* \ddot{Q} + C^* \dot{Q} + K^* Q = ds Y_i$

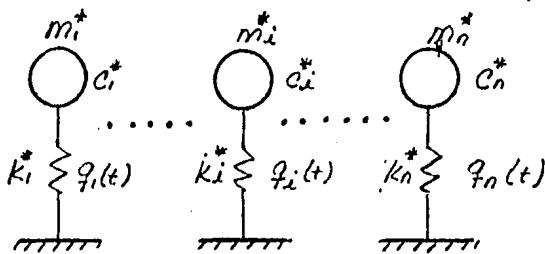
del análisis estático lineal, se pueda hacer la siguiente suposición:

$$[K - \omega^2 M] \phi = 0 \text{ partiendo de esto.}$$

1.- Método Paso a Paso

$$q_i(t) = \frac{Y_i}{m^* \omega^2} \int_0^t ds(\tau) e^{-\gamma \omega(t-\tau)} \text{sen } \omega'(t-\tau) d\tau$$

se obtendrá la respuesta de varias estructuras de un grado de libertad para un mismo acelerograma.



Obtenida la solución, tenemos:

$$q_i(t), D_i = \phi q_i(t) \Rightarrow$$

$$F_i = k D_i, V_i = S F_i \text{ y } H_i = H V_i$$

Y se obtendrá, el desplazamiento total, con la suma de cada uno de los desplazamientos, para cada modo.

$$D(t = t_i) = \sum_{i=1}^n D_i(t = t_i) = \sum_{i=1}^n \phi_i q_i(t = t_i)$$

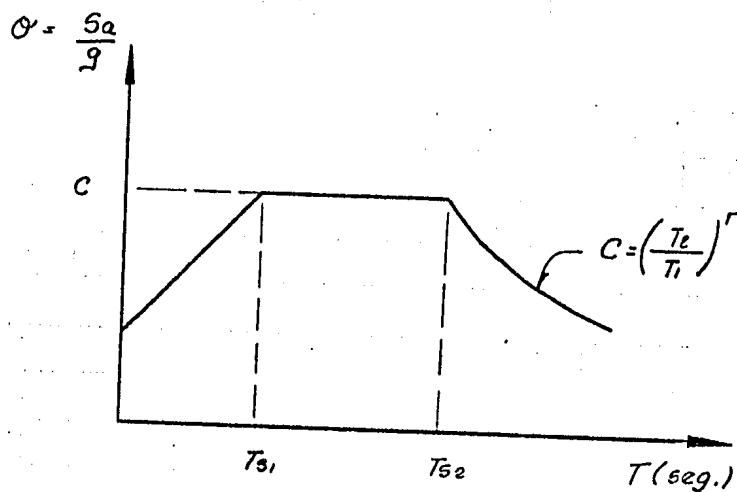
En general la respuesta: R

$$R(t = t_i) = \sum_{i=1}^n R_i(t = t_i)$$

2.- Método de Análisis Modal Espectral

$$q_i(t) = \frac{Y_i}{m^* \omega_i} S_v = \frac{Y_i}{m \omega_i^2} S_a$$

De donde para el modo "i" con un periodo "T_i" para un espectro de respuesta, tenemos:



$$q_i(t) = \frac{y_i}{m \cdot \omega_i^2} \cdot \theta(\text{máximo})$$

Y aplicando el principio de superposición, una vez obtenida la amplitud "q_i(t)/máx.":

$$D_i = D_i(t) \Big|_{\text{máx.}} = \phi \left[q_i(t) \right]_{\text{máx.}}$$

donde la respuesta R será R_i

y la superposición de efectos modales será:

$$R_{\text{máx.}}^2 = \sum_{i=1}^n R_{i,j}^2$$

obtenido a través de un método probabilístico cuando ω_i ≠ ω_j

DISEÑO ESTRUCTURAL

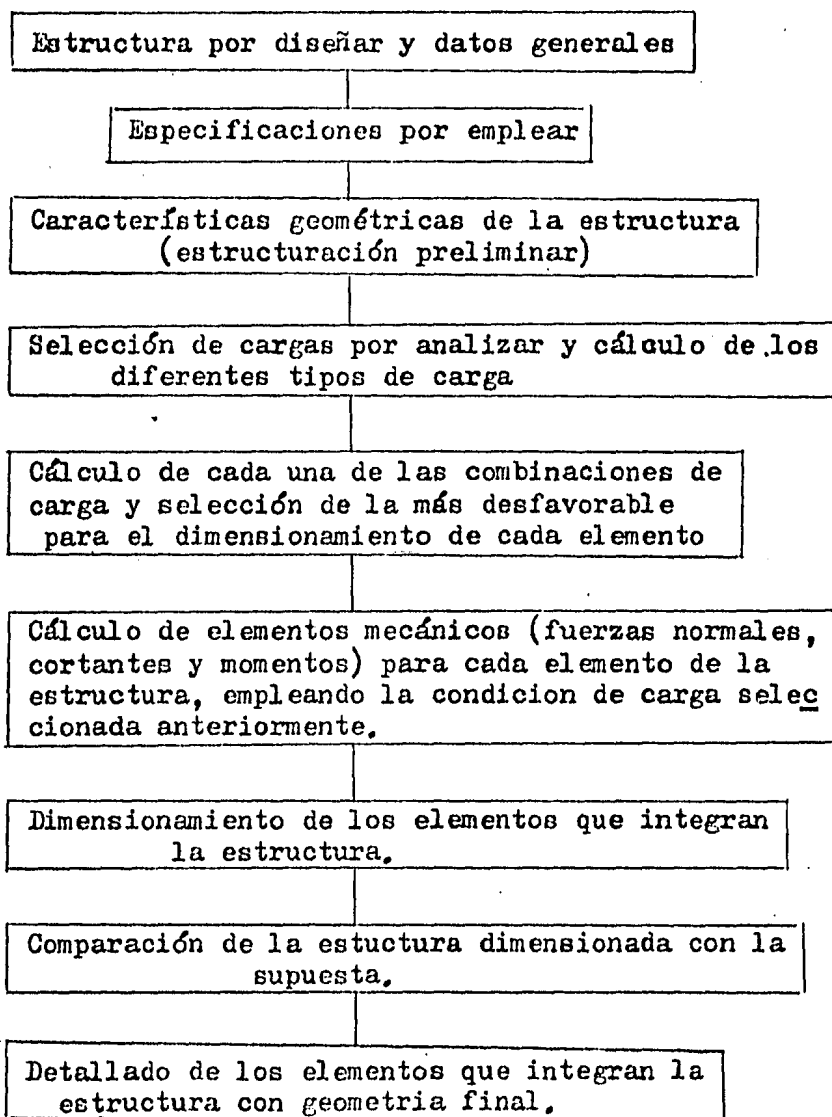
A. INTRODUCCION

En este tema daremos principal importancia, a los cálculos relacionados con el Análisis Sísmico de la estructura y el dimensionamiento de la subestructura.

Para poder establecer una secuencia de cálculo ordenada, se ha elaborado un diagrama de bloques, el cual está ideado para resolver, este caso en particular; pero puede ser empleado con algunos ajustes, al diseño de otro tipo de estructuras.

Dentro de la secuencia expuesta en los bloques, es de principal importancia hacer notar que el diseño es un proceso iterativo, en donde se propone un determinado modelo como punto de partida para el inicio de los cálculos, donde a través del análisis y el dimensionamiento, se llegan a obtener geometrías similares a las propuestas en el modelo, y de esta manera se considera terminado el diseño.

B. CALCULO ESTRUCTURAL



1. Estructura por diseñar.

Para este bloque se consideran algunos de los datos expuestos en el Tema I, relacionados principalmente con las características geométricas y los estudios Topohidráulico y Geotécnico.

2. Especificaciones por Emplear.

Dentro de las especificaciones que se usan para diseño de puentes en México, son las de los reglamentos de los Estados Unidos con lo que respecta al diseño de las estructuras, en este caso la superestructura se diseño con un sistema Europeo.

Con respecto al diseño de la subestructura y cimentación se emplean las especificaciones A.R.E.A. (American Railway Engineering Association).

Para consideraciones de los efectos del viento y sismo, se emplearán los manuales de diseño de la C.F.E. (Comisión Federal de Electricidad).

3. Características Geométricas de la Estructura y Estructuración Preliminar.

	Superestructura	Trabe sección cajon
Puente	Subestructura	Cabezal
		Pila
		Base
	Cimentación	Cilindro

(ver superestructura en fig. 14)

(ver subestructura en fig. 15)

(ver cimentación en fig. 16)

4 .- SELECCION DE LA CONDICION DE CARGA POR ANALIZAR Y CALCULO DE LAS DIFERENTES CCNDICIONES DE CARGA BASICAS.

Las combinaciones de carga básicas se describen a continuación , son tomadas de las especificaciones A.R.E.A. sección 2.2.4 , Ref.4.

COMBINACION	CM	CV	I	P	SU	V	VCV	FL	F	S	A	FT	CT	ϕ
I	1	1	1	1	1						1			100
II	0.8			0.8	0.8	0.8					0.8			125
III	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.4	0.8	0.8	0.8		0.8	0.8		125
IV	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8						0.8		0.8	125
V	0.71			0.71	0.71	0.71					0.71		0.71	140
VI	0.71	0.71	0.71	"	"	0.36	0.71	0.71			0.71	0.71	0.71	140
VII	0.75			0.75	0.75						0.75	0.75		133

CM carga muerta

FL frenaje longitudinal

CV carga viva

F fricción o expansión longitudinal de los apoyos

I impacto

S sismo

FC fuerza centrífuga

A flujo del agua

P presión de terreno

N presión de nieve

SU subpresión

FT fuerza lateral o serpenteo

V viento en la estructura

CT cambios de temperatura y retracciones del concreto

VCV viento sobre la carga viva

ϕ = esfuerzos permisibles en % (considerado implícitamente en la tabla)

* En estas condiciones de carga no se hace mención al procedimiento constructivo , que en particular para este puente son de importancia para el diseño de la superestructura.

Como anteriormente se ha dicho en este trabajo se dará solución estructural a la subestructura por lo que únicamente se verificarán las condiciones que pudieran afectar a ésta.

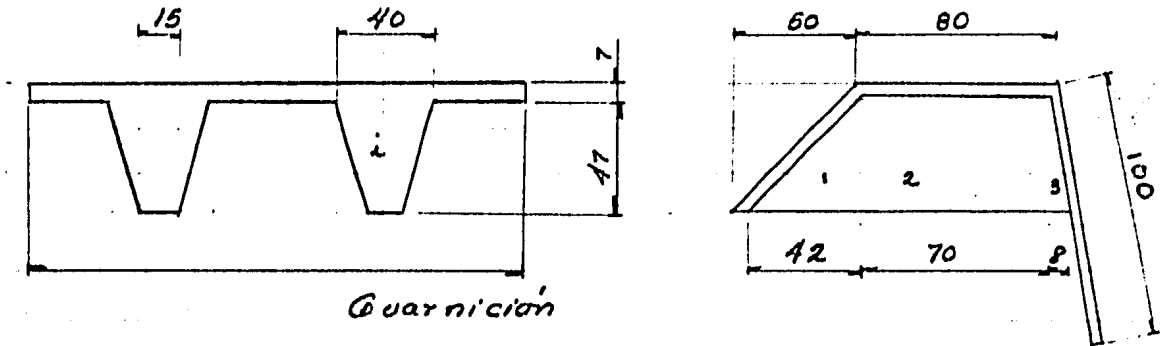
Se consideraron las combinaciones mas desfavorables : I , III y VII .

5. Cálculo de Condiciones Básicas de Diseño

a. Carga Muerta "CM"

Cálculo del peso propio de la superestructura por metro lineal.

a.1. Cálculo del peso, por metro lineal de guarnición:



Guarnición

$$\text{Longitud de losa} = 0.70 + 0.80 + 1.0 = 2.5 \text{ m.}$$

$$\text{Volumen } 1 = 1.0 \times 0.07 \times 2.5 = 0.175 \text{ m}^3/\text{m}$$

$$\text{Área } 2 = (0.15 + 0.40) \times 0.47 \div 2 = 0.118 \text{ m}^2$$

$$\text{Volumen } 2 = 0.118 \times 0.42 \div 2 = 0.0248 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen } 3 = 0.118 \times 0.70 = 0.0828 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen } 4 = 0.118 \times 0.08 \div 2 = 0.0047 \text{ m}^3$$

$$\text{Suma de volúmenes} = 0.2873 \text{ m}^3$$

$$w \text{ de guarnición} = 0.2873 \times 2.4 = \underline{0.69 \text{ T/m}}$$

a.2. Cálculo del peso por metro lineal de balasto y durmientes rieles y accesorios (sección 2.2.3.b ref. 4):

$$w \text{ balasto y durmientes} = 1.922 \text{ T/m}^3$$

$$w \text{ rieles y accesorios} = 0.30 \text{ T/m}$$

$$\text{Volumen de balasto} = \left[(4.50 + 3.40) \times 0.30 \div 2 \right] + 0.17 \times 4.9 = 1.916 \text{ m}^3$$

$$w \text{ balasto + durmientes} = 1.916 \times 1.922 = 3.68 \text{ T/m.}$$

$$w \text{ bal. + dur, rieles y accesorios} = 3.68 + 0.30 = \underline{3.98 \text{ T/m}}$$

a.3. Cálculo del peso por metro lineal de la sección:

$$\begin{aligned} \text{Área de la sección} &= 3.0 \times 0.35 + 3.0 \times 0.40 + 2.0 \times 3.25 \times 0.35 \\ &+ 4.0 \times 0.16^2 \div 2 + 2.0 \times (0.25 + 0.35) \times 1 \div 2.0 + (0.30 + 0.25) \times 0.17 \div 2.0 = 5.216 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$W \text{ de la sección} = 5.216 \times 2.4 = \underline{12.52 \text{ T/m}}$$

$$W_{\text{cm superestructura}} = 0.69 + 3.98 + 12.52 = \underline{17.19 \text{ T/m}}$$

a.4. Cálculo del peso de diafragmas:

$$\text{Diafragma sobre pila } W_p = [(2.30 \times 3.25) - 0.80^2] \times 2.4 = \underline{14.14 \text{ T.}}$$

$$\text{Diafragma sobre aribo } W_a = 2.30 \times 3.25 \times 2.0 \times 2.40 = \underline{26.64 \text{ T.}}$$

a.5. Cálculo del peso del cabezal:

$$W_{\text{cabezal}} = 2.50 \times 4.0 \times 0.80 \times 2.40 = \underline{19.20 \text{ T.}}$$

a.6. Cálculo del peso de columnas:

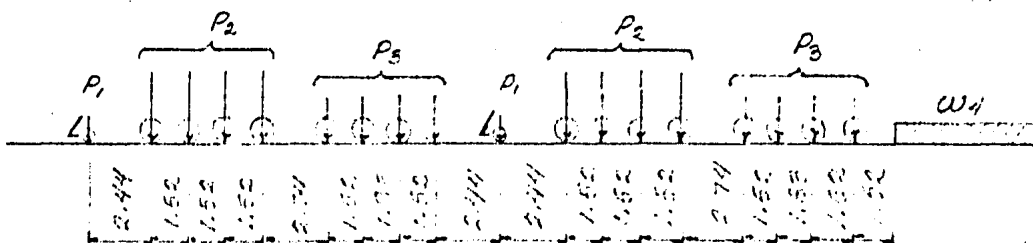
$$W_{\text{columna}} = 1.20^2 \times 3.0 \times 2.40 = \underline{10.37 \text{ T}}$$

a.7. Peso de apoyos:

$$W_{\text{apoyo}} \approx \underline{0.70 \text{ T}}$$

b. Carga Viva "cv"

La carga viva corresponde al tren de cargas de una máquina COOPER E-72 (de acuerdo a la Parte 2. e. 2 ref. 4) se indica a continuación:



$$P_1 = 16.93 \text{ T.}$$

$$P_2 = 32.66 \text{ T.}$$

$$P_3 = 21.23 \text{ T.}$$

$$W_4 = 10.71 \text{ T./m.}$$

Aplicando el tran de cargas descrito anteriormente se obtienen las siguientes cargas vivas :

Apoyos	Descarga vertical máx.	Descarga vertical mín.
Pilas del eje 2 al 14	922.0 T. *	-186.0 T. *
Estribos eje 1 y 15	353.0 T. *	92.0 T. *

* Datos proporcionados por el diseñador de la superestructura.

c. Cálculo del Factor de Impacto "I"

El impacto no se considera, como fuerza actuante para el diseño de los elementos que integran la subestructura.

d. Cálculo de la Presión del Terrazo "P"

El cálculo se mostrará posteriormente, dentro del análisis sísmico, y la modelación de la estructura, debido a que forma una parte importante de este cálculo y estar íntimamente relacionados.

e. Cálculo de la Subpresión "SU"

La subpresión es una fuerza que no se presenta en la estructura, debido a que la cimentación (cilindro) estará llena de agua durante todas las etapas en que actúan las diferentes condiciones de carga, a las que está expuesta.

f. Cálculo del Empuje del Viento Sobre la Superestructura "V"

Se empleará básicamente la ref. 3 para el cálculo de las fuerzas de viento, tomando en cuenta la ref. 4 para la aplicación de éstas.

La estructura se encuentra clasificada dentro del GRUPO "A"

en lo que respecta a su destino.

Se clasifica como TIPO "1", por su respuesta a los efectos del viento.

Se encuentra localizada en la ZONA "4" (Fig. 1.1 ref. 5)

De la tabla I.1 velocidades regionales $V_R = 160.0$ km/hora.

La velocidad básica se obtiene a partir de V_R , modificada por un factor K , que depende de la topografía del sitio, que en este caso se considera como campo abierto y terreno plano

$$V_B = K V_R = 1.0 \times 160 = 160 \text{ km/hora}$$

Considerando la altura de la estructura $z < 10.0$ m. en nuestro caso.

$$V_z = V_B$$

La obtención de la velocidad de diseño $V_D = F_R V_B$ en donde F_R es el factor de ráfaga, que para estructuras del TIPO 1 es igual a 1.0.

$$V_D = 160 \text{ km/hora.}$$

Cálculo de la presión de viento:

$$P = 0.0048 \phi e V_D^2 \quad \text{donde "e" es el coeficiente de empuje}$$

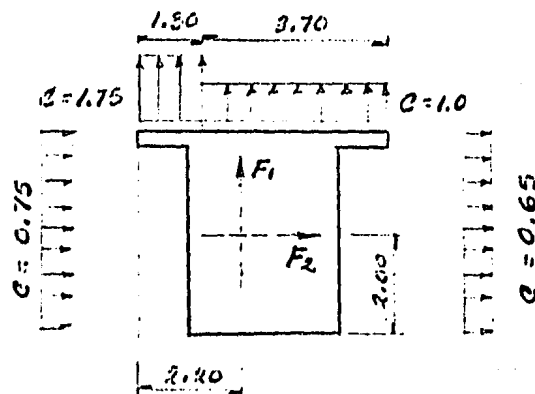
$$\phi = \frac{B+h}{B+2h} \quad \text{donde "h" es altura sobre el nivel del mar donde se encuentra localizada la estructura en km.}$$

$$h = 0.03$$

$$\phi = \frac{8+0.03}{8+0.06} = 0.996$$



$$e = 0.75 + 0.65 = 1.43$$



Distribución de presiones.

$$P_1 = 0.0048 \times 0.996 \times 1.75 \times 160^2 = 224.0 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_2 = 0.0048 \times 0.996 \times 1.00 \times 160^2 = 128.0 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_3 = 0.0048 \times 0.996 \times 1.43 \times 160^2 = 183.0 \text{ Kg/m}^2$$

$$A_1 = 1.3 \times 52.0 = 67.6 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 3.7 \times 52.0 = 192.4 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 4.0 \times 52.0 = 208.0 \text{ m}^2$$

$$F_1 = 224 \times 67.6 + 192.4 \times 128.0 = 39\,769.0 \text{ Kg.}$$

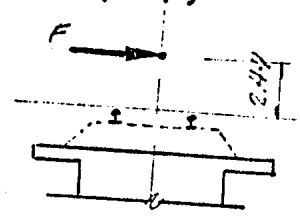
$$F_2 = 208.0 \times 183.0 = 38\,064.0 \text{ Kg.}$$

$$X = [224.0 \times 67.6 \times 1.3 \div 2 + 192.4 \times 128.0 \times (2.70 \div 2 + 1.3)] 39769 = 2.2 \text{ m.}$$

g. Carga de Viento Sobre la Carga Viva "vev"

Se considera una carga lineal igual a 446 Kg/m, aplicada a 2.44 m. arriba del nivel del riel, horizontal y en dirección perpendicular al centro de línea del tran (ref. 4)

$$F = 446.0 \times 52.0 = 23\,192 \text{ Kg.}$$



h. Cálculo del Frenaje Longitudinal "FL"

La fuerza de frenaje es considerada como un 15% de la carga viva, pero considerando que el tipo de apoyos intermedios, que se comportan como libras, con una transmisión de el 10% de las fuerzas longitudinales a éste, y por lo tanto dicha fuerza es muy pequeña.

De donde las fuerzas longitudinales son las siguientes.

Pilas de ejes	2	al	14	31.3 T. *
Estribas de eje	1	y	15	7.5 T. *

* Datos proporcionados por el diseñador de la superestructura.

i. Cálculo de la Fuerza de Fricción o Expansión Longitudinal de los Apoyos. "F"

Por las características de los apoyos, no será considerada.

j. Cálculo de los efectos Sísmicos "S"

Al igual que el cálculo de la presión del terreno; se dejará para el final de esta sección el cálculo, de manera que se pueda integrar con mayor claridad.

k. Cálculo del Empuje Debido al Efecto del Agua "A"

En el estudio topohidráulico, se contemplan 4 alternativas para el cruce del ferrocarril dentro del río.

Cada una de estas alternativas, considera principalmente diferentes relaciones de área hidráulica y perímetro mojado, esto implica que se tengan propuestas, 4 longitudes de puente.

Alternativa	Longitud Aproximada
-------------	---------------------

1	900 m.
---	--------

2	840 m.
---	--------

3	770 m.
---	--------

4	550 m.
---	--------

Verificando estas longitudes con las del puente, como ninguna de estas se ajusta a la longitud del puente; pero se calcularán las características hidráulicas con esta longitud, se compararán los resultados, con los de la alternativa 3 del estudio topohidráulico, por ser la de mayor semejanza.

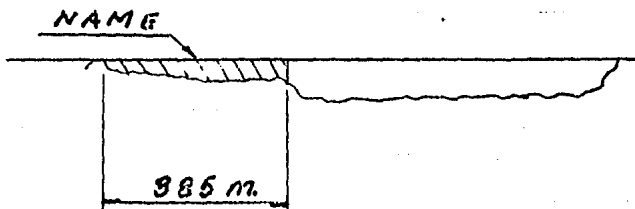
Para este cálculo se tomarán los datos de topografía que correspondan al perfil de la línea de ferrocarril que pasa por el río.

Coordenadas de la zona de la margen izquierda del río.

Coordenadas del cruce en la boca del puente

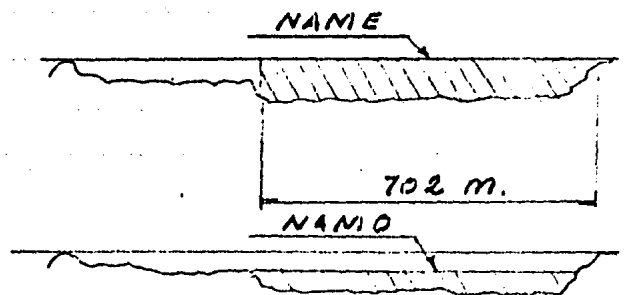
distancia	elevación
0.0	24.5
20.0	22.3
40.0	22.0
40.0	23.0
53.0	22.4
60.0	24.0
198.0	23.5
226.0	21.4
255.0	21.4
259.0	24.1
276.0	24.1
301.0	21.5
385.0	23.3
385.0	24.5
0.0	24.5

distancia	elevación
0.0	24.5
0.0	23.9
33.0	21.7
155.0	24.0
155.0	18.3
300.0	20.2
385.0	19.0
403.0	20.8
520.0	20.8
610.0	18.5
683.0	19.2
702.0	24.5
0.0	24.5



Area hidráulica = 574 m²
 Perímetro mojado = 320 m.

Se calculará la velocidad del agua para condiciones normales del cauce. (se empleará para las condiciones de carga que no incluyen al viento).



NAME
 Area hidráulica = 2854 m²
 Perímetro mojado = 709 m.

NAME
 Area hidráulica = 1518 m²
 Perímetro mojado = 547 m.

Aplicando la fórmula para canales abiertos $Q = \frac{1}{n} A r^{2/3} s^{1/2}$

Tomando datos de "s" y "n" del estudio topohidráulico.

$$n = 0.040 \quad s = 0.00049 \quad r_h = \frac{Ah}{Pm} = \frac{1518}{547} = 2.78 \text{ m.}$$

$$Q = \frac{1}{0.04} \times 1518 \times 2.78^{2/3} \times 0.00049^{1/2} = 1659 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1659}{1518} = 1.10 \text{ m/seg. (para la elevación NAMO)}$$

Para la condición de velocidad del agua, en una avenida (se empleará para los condiciones de carga que incluyan viento) Se considera para esta condición, que el río se desborda; o sea que la elevación del agua será la de una de los muelles (elevación 25.0 m.)

$$\text{Area hidráulica} = 2859 + 574 + (0.5 \times 1061) = 3963 \text{ m.}^2$$

$$\text{Perímetro mojado} = 709 + 320 + (2 \times 0.5) = 1030 \text{ m.}$$

$$\text{Radio hidráulico} = \frac{3963}{1030} = 3.848 \text{ m.}$$

$$Q = \frac{1}{0.04} \times 3963 \times 3.848^{2/3} \times 0.00049^{1/2} = 5385 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Haciendo pasar el gasto "Q" por la sección hidráulica bajo el puente.

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{5385}{2859} = 1.88 \text{ m/seg.}$$

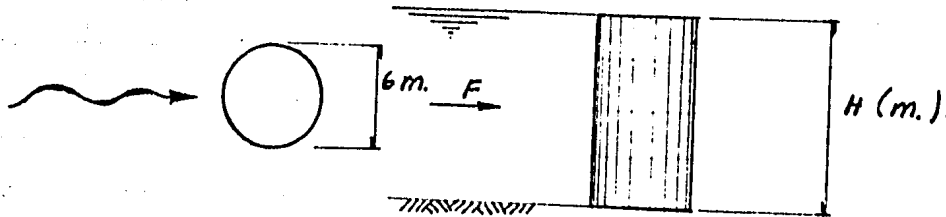
Se comparó este dato de velocidad obtenido, con el de al estudio topohidráulico, se vio que no hay variación significativa y por lo tanto se considera este dato correcto.

Del estudio topohidráulico :

Alternativa	Area hidráulica [m ²]	Velocidad media [m/seg]
1	4320	1.74
2	4190	1.79
3	4010	1.87
4	3480	2.16

Vs. 1.88

El empuje del flujo del agua será (ref. 6 tema 13) :



Se pueda valorar la fuerza "F" que esta actuando en el cilindro :

$$F = \frac{\omega}{g} (v_2 - v_1) \quad \rho_0 = 1000 \text{ Kg/m}^3 \quad g = 9.81 \text{ m/seg}^2$$

$$v_2 = 1.88 \text{ m/seg} \quad v_1 = 0$$

$$\omega = 1000 \times 6 \times h = 6000 h$$

Para la condición del NAME : $F = \frac{6000 h}{9.81} \times 1.88 = 1150 h \text{ Kg.}$

Para la condición del NAMO : $F = \frac{6000 h}{9.81} \times 1.10 = 673 h \text{ Kg.}$

l. Cálculo de la Presion de Nieve. "N"

No existe.

m. Cálculo de la Fuerza Lateral (Serpentao) "FT"

Se considerará como 1/4 de la fuerza del eje más pasado

y aplicado en la base del riel.

$$F = \frac{32.66}{4} = 8.16 T.$$

n. Cálculo de las fuerzas por Cambios de Temperatura "CT"

Este efecto no se considerará, debido a que los característicos del apoyo los fuerzas son pequeñas.

j. Cálculo de los Efectos Sísmicos "S"

Debido a las condiciones estructurales del puente (con relación a la continuidad) y la importancia en cuanto al costo de la obra, se consideró necesario hacer un análisis más detallado del comportamiento de la estructura, bajo los efectos de un sismo.

Dentro de la obtención de esfuerzos o fuerzas que actúan sobre la subestructura, tenemos el Método Estático y el Método Dinámico.

Para nuestro caso se seleccionó el Método Dinámico, el que a diferencia del Estático toma en cuenta los efectos de amplificación de esfuerzos debidos a la continuidad del Puente.

Los resultados obtenidos con este análisis se compararán con el Método Estático únicamente para efectos de revisión.

Análisis Dinámico Modal

Para este análisis se considerará la siguiente secuencia de cálculo:

- j.1. Modelación de la estructura y datos de partida.
- j.2. Propiedades geométricas de los elementos.
- j.3. Cálculo de la longitud de empotramiento de los cilindros.

- j.4. Codificación para cálculo numérico por computadora.
- j.5. Interpretación de resultados.
- j.6. Comparación de resultados.

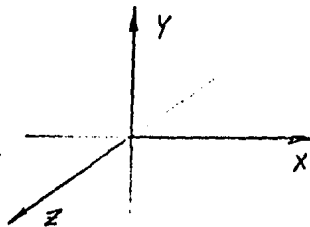
j.1. Modelación de la estructura y datos de partida.

Para la modelación de la estructura, contando con datos de su geometría y elementos que la integran. Se debe disponer del manual de operación del programa que se esté empleando para la elaboración del análisis.

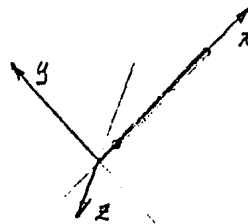
Para nuestro caso se empleó el programa para diseño de estructural en ingeniería STRUDL.

Dentro de los elementos importantes que se consideran para el uso de este programa, en lo que se refiere a la modelación son los que se refieren a los ejes de referencia:

Ejes generales



Ejes locales



Por lo tanto, de acuerdo con esta convención de ejes se denominaron los elementos que forman la estructura (barras y nudos) y se encuentran representados en la fig. 18.

Con lo que respecta a los datos de partida que se deberán tomar en cuenta, son los siguientes:

a. Espectro sísmico, que fué tomado del Manual de la Comisión Federal de Electricidad; para una estructura localizada en la Zona "C" y un suelo Tipo II, cuyo espectro se encuentra representado en la fig. 19.

b. Modulo de elasticidad de la estructura, que valores diferentes para la superestructura y la subestructura. Se calculan de acuerdo con las siguientes expresiones:

$$E_c = 10\ 000 \sqrt{f'_c}$$

$$G = 0.4 E_c \text{ (modulo de cortante)}$$

Superestructura

$$f'_c = 350 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_c = 1.87 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$$

$$G = 0.74 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$$

Subestructura

$$f'_c = 200 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_c = 1.41 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$$

$$G = 0.56 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$$

c. Masas que se aplican en los nudos:

Carga muerta de superestructura = 17.834 T/m.

Carga muerta del cabecal = 15.56 T.

Las masas que se aplicarán en los nudos (parte superior de las pilas)

Nudo 2 y 26 $M = [17.834 \times (20 + 52 \div 2) + 15.56] \times 1000 = 835\ 724 \text{ Kgf.}$

Nudo 4 al 24 $M = [17.834 \times 52.2 + 15.56] \times 1000 = 942\ 728 \text{ Kgf.}$

Nudo 28 $M = [17.834 \times 20 + 30.72] \times 1000 = 387\ 400 \text{ Kgf.}$

j. 2. Cálculo de propiedades geométricas de los elementos.

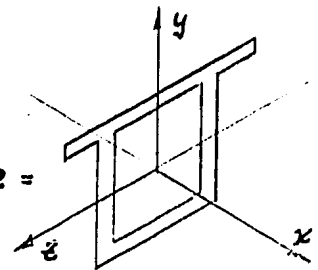
Propiedades de la superestructura:

Area:

$$A_x = 3.0 \times 0.35 + 5.0 \times 0.40 + 2.0 \times 2.35 \times 0.35 +$$

$$+ 4 \times 0.15 \div 2 + 2(0.25 + 0.35) \times 1.0 \div 2 + (0.30 + 0.25) \times 0.17 \div 2 =$$

$$A_x = 5.216 \text{ m}^2$$



Momento de inercia I_x

$$\bar{y} = [1.05 \times 3.825 + 1.2 \times 0.20 + 2.275 \times 2.025 + 0.045 \times 2.025 + 0.60 \times 3.85] \div 5.2$$

$$\bar{y} = 2.16 \text{ m.}$$

Elemento	A	y	y - \bar{y}	y ² = (y - \bar{y}) ²	A y ²	I
1	1.05	3.825	1.665	2.772	2.911	0.011
2	1.20	0.20	-1.96	3.842	4.610	0.016
3	2.275	2.025	-0.135	0.018	0.041	2.000
4	0.045	2.025	-0.135	0.018	0.001	0
5	0.60	2.025	1.69	2.856	1.714	0.005
Sumas					9.277	2.084

$$I_z = 9.277 + 2.034 = 11.311 \text{ m}^4$$

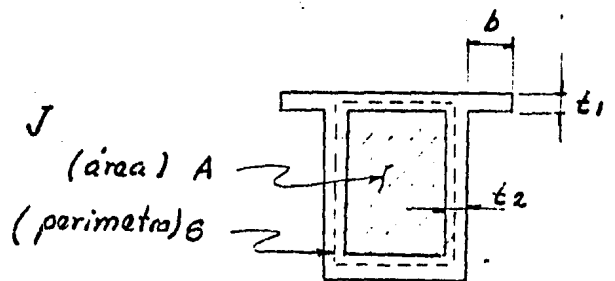
Momento de inercia I_y

Elemento	A	$x - \bar{x}$	$x^2 = (x - \bar{x})^2$	Ax^2	I
1	1.05	0	0	0	0.788
2	1.20	0	0	0	0.900
3	2.275	1.325	1.756	3.994	0.023
4	0.045	-	-	-	-
5	0.60	1.97	3.89	2.334	0.023
		sumas		6.328	1.735

$$I_y = 6.328 + 1.735 = 8.063 \text{ m}^4$$

Cálculo de la constante de Torsion J

de la ref 1 $J = \frac{2bt_1^3}{3} + \frac{4A^2}{\frac{g}{t_2}}$



$$b = 1.0 \text{ m}, \quad t_1 = 0.30 \text{ m}, \quad t_2 = 0.35 \text{ m}.$$

$$A = 3.65 \times 2.65 = 9.673 \text{ m}^2 \quad g = 2(3.65 + 2.65) = 12.60 \text{ m}.$$

$$J = \frac{2 \times 1.0 \times 0.3^3}{3} + \frac{4 \times 9.673^2}{\frac{12.60}{0.35}} = 0.018 + 10.39 = 10.414 \text{ m}^4$$

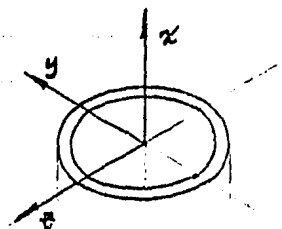
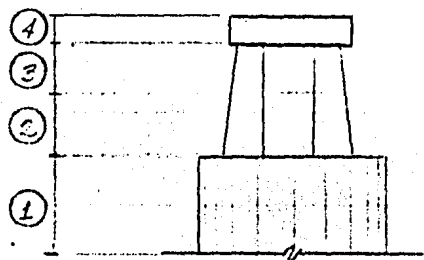
Propiedades de la subestructura:

Sección 1 (cilindro)

$$A_x = \pi \times 5 \times 1.0 = 15.708 \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = \pi \times 5^3 \times 1.0 \div 8 = 49.08 \text{ m}^4$$

$$I_x = J = \frac{\pi d^3 t}{4} = \pi \times 5^3 \times 1.0 \div 4 = 98.17 \text{ m}^4$$

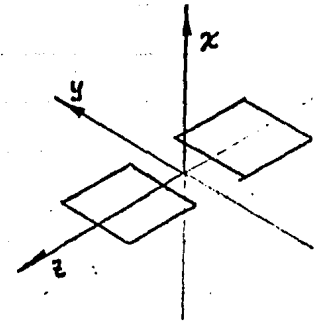


Sección 2 (columna)

$$A_x = 1.25^2 \times 2 = 3.125 \text{ m}^2$$

$$I_y = 3.125 \times 1.0^2 + 2 \times 1.25^4 \div 2 = 3.532 \text{ m}^4$$

$$I_z = 2 \times 1.25^4 \div 12 = 0.407 \text{ m}^4$$



Sección 3 (columna)

$$A_x = 1.15^2 \times 2 = 2.645 \text{ m}^2$$

$$I_y = 2.645 \times 1.0^2 + 2 \times 1.15^4 \div 12 = 2.937 \text{ m}^4$$

$$I_z = \frac{2 \times 1.15^4}{12} = 0.292 \text{ m}^4$$

Para el programa se tomo la sección 2 y 3 como una sola sección con características medias (promedio).

$J = 2C + 2Ad^2$ donde la constante $C = 0.141$ en secciones cuadrados.

Sección 2 $I_x = J = 0.282 \times 1.25^2 + 2 \times 1.25^2 \times 1.0^2 = 3.566 \text{ m}^4$

Sección 3 $I_x = J = 0.282 \times 1.15^2 + 2 \times 1.15^2 \times 1.0^2 = 3.018 \text{ m}^4$

Para la sección promedio : $A_x = 2.885 \text{ m}^2$ $I_y = 3.235 \text{ m}^4$
 $I_z = 0.350 \text{ m}^4$ $I_x = 3.292 \text{ m}^4$

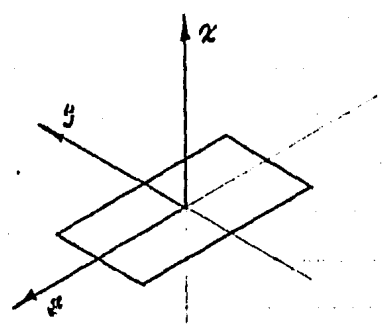
Sección 4 (cabazal)

$$A_x = 2 \times 4.0 = 8.0 \text{ m}^2$$

$$I_y = \frac{bh^3}{12} = \frac{2 \times 4^3}{12} = 10.67 \text{ m}^4$$

$$I_z = \frac{bh^3}{12} = \frac{4 \times 2^3}{12} = 2.67 \text{ m}^4$$

$$I_x = J = \frac{bh^3}{3} = \frac{2 \times 4^3}{3} = 42.67 \text{ m}^4$$



j.3. Cálculo de la longitud de empotramiento de los cilindros Debido a que los apoyos de la estructura se encuentran empotrados en el terreno; pero el terreno no produce en el cilindro un empotramiento ideal en la superficie, y por lo tanto, para modelar la estructura no se hace directamente, si no que se puede recurrir tentativamente a dos métodos; uno es simulando una serie de resortes que soportan axial y lateralmente el cilindro, con una rigidez que dependerá de las características del terreno, que se encuentra en contacto con la estructura, como se muestra en la fig. 20.

En nuestro caso no fué posible emplear este método, debido a que la información contenida en el estudio Geotécnico, no es muy detallada y no se tienen datos para calcular la rigidez del terreno.

El otro método consiste en tratar de encontrar una longitud teórica, de empotramiento de cilindros, que con los datos que se tienen, es la forma más práctica para modelar la estructura. Para el cálculo de la longitud de empotramiento, se empleará el método descrito en la ref. 3, procediendo de la siguiente manera;

Se determinará si el cilindro se considera como largo o corto, y dependiendo de esto, se podrá emplear el método correspondiente para el cálculo de las constantes de rigidez del terreno.

Cilindro Corto	$L \leq 2T$	$L \leq 2R$	$L =$ longitud del cilindro.
Cilindro Largo	$L \geq 4T$	$L \geq 3.5R$	

En donde las constantes de rigidez T y R se determinan con las siguientes expresiones.

$$R = 4 \sqrt{\frac{EI}{kB}} \quad T = \sqrt{\frac{EI}{R_h}} \quad K = \frac{K_1}{1.5}$$

Considerando un suelo medianamente duro $K_1 = 2750 \text{ T/m}^3$

$\therefore K = 1834 \text{ T/m}^3$ $B =$ ancho de la pila (cilindro)
 $R_h = 509 \text{ T/m}^3$ (coeficiente del modulo de variación para suelos poco cohesivos)

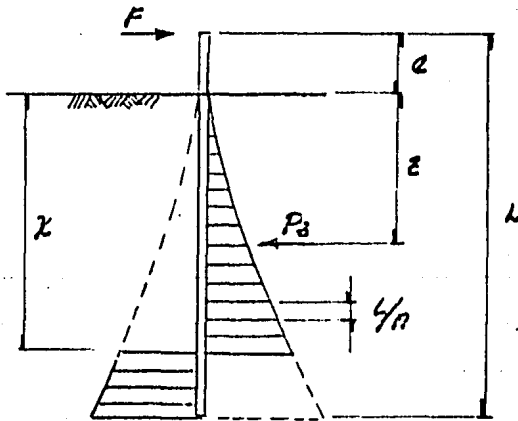
$$L = 13.5 \text{ m.} \quad E = \frac{14.1 \text{ T/m}^2}{\times 10^6} \quad I = \frac{\pi d^3 t}{8} = 49.08 \text{ m}^4$$

$$R = \sqrt[4]{\frac{49.08 \times 14.1 \times 10^5}{1894 \times 6}} = 8.9 \text{ m.}$$

$$T = \sqrt[4]{\frac{49.08 \times 14.1 \times 10^5}{509}} = 10.69 \text{ m.}$$

Como $L \leq 2R$ y $L \leq 2T$ el cilindro se considera corto.

A continuación se empleará el método de Brinch Hansen's ref. 3 para el cálculo de la resistencia última, para pilas rígidas cortas. Brevemente, el método consiste en localizar un punto donde la suma de momentos debida al empuje pasivo del terreno respecto, a la superficie del terreno es igual a cero, como a continuación se ilustra. (en el apéndice se encuentra información más detallada del método).



$$P_z = P_0 z K_{qs} + C K_{ca}$$

$$P_0 z = \gamma' h$$

$$K_{qs}, K_{ca} = \text{constantes}$$

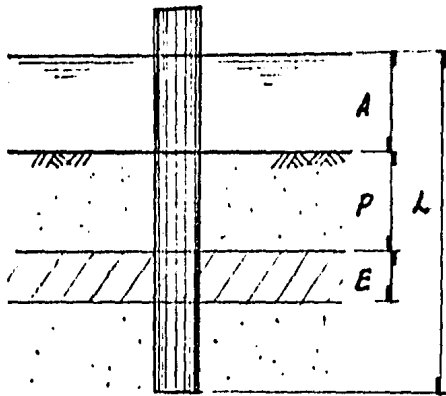
$$C = \text{cohesión}$$

La longitud x se encontrará a partir de la siguiente igualdad:

$$\sum_{z=0}^{z=x} P_z \frac{L}{n} (e+z) B = \sum_{z=x}^{z=L} P_z \frac{L}{n} (e+z) B$$

Tomaremos los siguientes datos, para el cálculo de la longitud "x" en cada cilindro.

EVE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
L	13.5	13.5	12.5	13.5	11.5	12.5	13.5	13.0	12.5	12.0	11.5	11.5	12.0	12.0	13.0
P	4.0	9.0	4.0	3.5	7.0	7.5	3.5	6.5	5.5	6.0	7.5	7.5	3.0	7.5	-
E	3.0	3.0	1.5	3.0	2.0	3.0	3.0	2.5	2.0	2.0	2.5	2.0	2.0	3.0	-
A	0	0	0	0	4.5	4.0	3.5	4.0	3.0	3.0	2.0	3.0	5.0	4.5	-



A continuación se calculará la longitud de uno de estos cilindros.

Cilindro Eje (2)

$L = 13.5 \text{ m.}$

Tabla de cálculo manual

SECCIONES	z_i	z_i/B	P_{oi}	K_q	K_c	C	P_{zi}	$P_{zi}Z$	ACUM. SUP.	ACUM. INF.
1	0.5	0.08	0.89	3.9	-	0	3.47	1.7	1.7	
2	1.5	0.25	2.66	4.0	-	0	10.64	15.9	17.6	
3	2.5	0.42	4.43	4.1	-	0	18.16	45.4	63.1	
4	3.5	0.58	6.20	4.2	-	0	26.04	91.1	154.2	
5	4.5	0.75	7.97	4.3	-	0	34.27	154.2	308.4	
6	5.5	0.92	9.74	4.4	-	0	42.86	235.7	544.1	
7	6.5	1.08	11.51	4.4	-	0	50.64	329.1	873.2	
8	7.5	1.25	13.28	4.5	-	0	54.76	448.2	1321.4	
9	8.5	1.42	16.09	-	5.6	8	44.00	374.0	1691.4	
10	9.5	1.58	16.82	-	5.6	8	44.80	225.6	1221.0	
11	10.5	1.75	18.59	-	5.7	8	45.60	449.8	2599.9	
12	11.5	1.92	20.36	7.3	-	0	146.63	1709.2	4309.1	-
13	12.5	2.08	22.13	7.3	-	0	161.55	2019.3	6328.5	4438.7
14	13.5	2.25	23.89	7.5	-	0	179.21	2419.3	-	2419.3

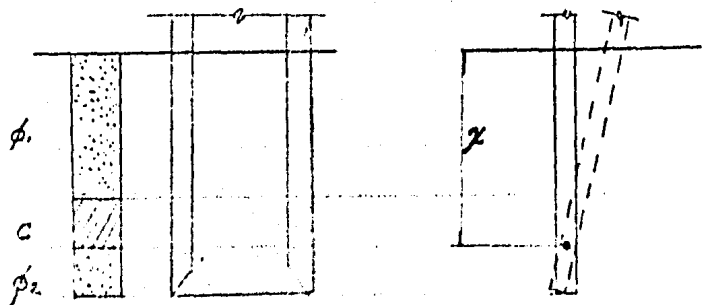
$P_{oi} = \gamma h = 1.77 h$

K_q, K_c (fig. 6.21 ref. 3)

$\phi_1 = 25 \quad C = e \quad \phi_2 = 30$

\therefore Para el cilindro

$Z \approx 12.0 \text{ m.}$



PROGRAMA PARA CALCULO DE
CNC DE EMPOTRAMIENTO DE PILOTES

DE SECCIONES- 14 LONG. DE PILOTE 19.5 Mts.
CNC DE PILOTE 6 Mts.

DISTRIBUCION DE LAS ESTRATOS.

ESTRATO	PESO VOL. (TON./M ³)	ANGULO DE CONJESION (GRAD.)	PROFUNDIDAD (MTR.)
1.77	35	9	9
1.77	9	9	10
1.77	32	9	19.5

PLANO DE CALCULO

Z	Z1/2	Ka	Kc	Q ₁	Q ₂
1.400140	1.999971	4.220000	7.99701	0.500000	9.01040
1.240140	1.041971	4.410000	9.79004	0.50010	11.0104
0.41971	1.01700	4.58000	10.07004	4.000007	10.5515
0.075	5.005	4.7275	11.0007	5.07075	30.2400
1.00000	7.00014	4.95000	12.0007	7.00004	37.0134
5.00000	1.000000	4.97010	12.0007	9.00000	10.0017
1.00000	1.04404	5.00007	13.000	11.00041	55.4454
7.00014	1.00505	5.10000	15.0005	12.0000	20.4070
0.10010	1.00007	5.00000	16.0000	14.00077	30.0010
0.10070	1.50070	9	4.01000	10.0145	30.7051
10.105	1.0075	9	4.0004	17.0010	34.0000
11.0000	1.01001	9	4.40040	10.000	35.0057
10.0000	0.00000	7.00000	25.4000	31.0040	104.050
10.0170	0.10004	7.70155	37.0100	23.0415	170.0

PRODUCTO	Z1	% Z1	COLUMENOS SUB	COLUMENOS TNC	DIFERENCIA
1.74170	1.74170		7405.04	7404.0	
10.0000	10.1051		7407.0	7000.00	
47.1001	65.0005		7007.00	7000.0	
35.0101	100.550		7040.7	7100.15	
104.001	300.700		7045.00	6000.01	
047.045	700.007		7000.40	6510.10	
050.700	004.110		6005.01	5014.40	
100.111	1404.50		6401.00	6077.00	
000.000	0000.0		6001.41	6000.01	
000.000	0001.04		6000.14	6001.0	
000.005	0005.10		6004.1	6000.01	
000.107	0004.00		4710.05	1010.00	
1077.10	5004.05		4011.00	700.000	
0004.1	7405.04		0004.1	5071.05	

ESTADO DE EMPOTRAMIENTO = 10.9500 MTR.

Como los resultados de las longitudes de empotramiento fueron obtenidas manualmente, se describen los resultados a continuación:

EJE	LONG.(m.)	No. de BARRA
2	12.25	15
3	10.75	16
; 4	12.10	17
5	10.20	18
6	11.30	19
7	8.50	20
8	7.75	21
9	11.10	22
10	10.70	23
11	10.40	24
12	10.50	25
13	10.50	26
14	10.50	27
15	9.50	15


j.4. Codificación para el cálculo numérico por computadora.

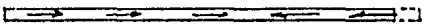
La codificación de los datos de entrada para el programa no se requirió, debido a que se empleó una terminal, y los datos fueron tomados directamente de los cálculos manuales.

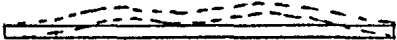
j.5. Interpretación de resultados.

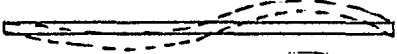
En las hojas de codificación se muestran resultados de fuerzas axiales, cortantes y momentos flexionantes. Son mostrados los resultados, con el criterio de la suma de valores absolutos, de los efectos de cada uno de los modos; como la raíz cuadrada de la suma de cuadrados. También los desplazamientos, para cada uno de los modos, de los cuales no se incluyen todos los resultados, por ser muy extenso el listado.

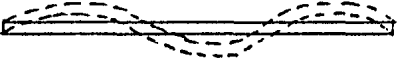
A continuación se expone gráficamente los resultados de los primeros diez modos de vibración, de la estructura, con respecto a los desplazamientos. El número de modos que se emplearon, para obtener los efectos resultantes, en la estructura fueron 84, obtenidos con el programa " STRUDL ".

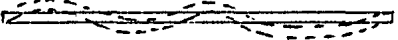
 Primer modo

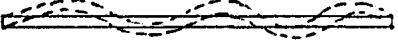
 Segundo modo

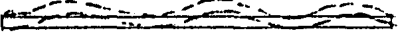
 Tercer modo

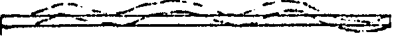
 Cuarto modo

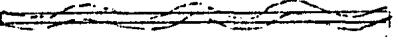
 Quinto modo

 Sexto modo

 Séptimo modo

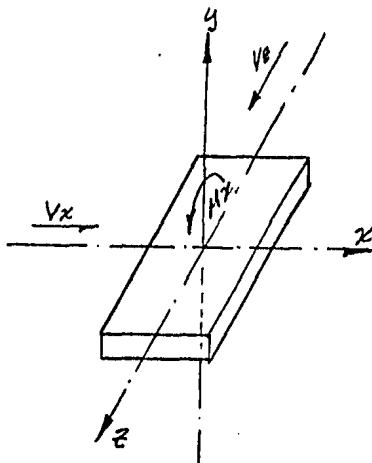
 Octavo modo

 Noveno modo

 Décimo modo

Haciendo una inspección de los resultados, del listado tenemos que los efectos de mayor magnitud se presentan en el elemento número 19, cuyos nudos extremos son el 10 y 11, correspondientemente al cilindro localizado, en el eje número 6 en el que se describen los resultados a continuación,

No. de elemento	No. de nudo extremo	Cortante Z (ton.)	Torsión (ton.m)	Momento Flexionante (ton.m)
19	11	203.990	20.974	3 472.197
19	10	203.990	20.974	107.754



$$V_x = 0.0$$

$$V_z = 203.99 \text{ Ton.}$$

$$M_z = 495.95 \text{ Ton.m}$$

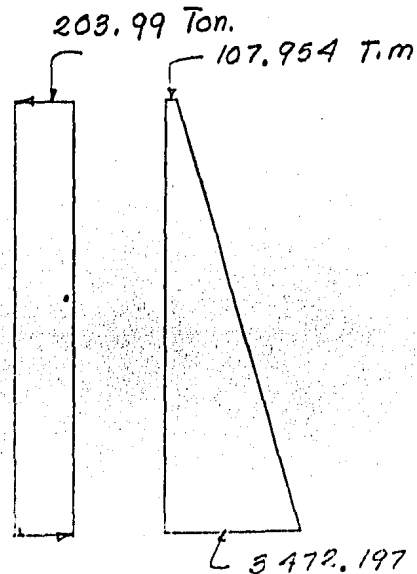
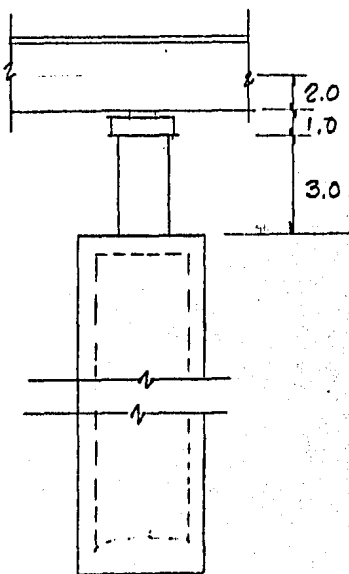


DIAGRAMA DE CORTANTES

DIAGRAMA DE MOMENTOS

J. 6. Comparación de resultados.

Análisis estático:

$$W \text{ superestructura} = 17.19 \text{ T/m}$$

$$W \text{ diafragmas intermedios} = 14.14 \text{ T.}$$

$$W \text{ diafragma extremo} = 26.64 \text{ T.}$$

$$W \text{ cabezal} = 19.20 \text{ T.}$$

De acuerdo con el espectro de diseño $C = 0.30$

Para el tipo de estructura

$Q = 2$ en sentido transversal.

$Q = 1$ en sentido longitudinal.

Análisis en sentido transversal:

Como únicamente se están considerando los efectos sobre el cabezal, éste no se considerará en el análisis.

$$W_{\text{total}} = 52.0 \times 17.19 + 14.14 = 908 \text{ T.}$$

$$\text{Fuerza sísmica} = 908 \times 0.3 \div 2 = 136 \text{ T.}$$

Análisis en sentido longitudinal:

$$W_{\text{total}} = 704 \times 17.19 + 13 \times 14.14 + 26.64 = 12312 \text{ T.}$$

$$\text{Fuerza sísmica longitudinal} = 12312 \times 0.3 \div 1 = 3694 \text{ T.}$$

Tabla comparativa de resultados.

	Análisis Estático	Análisis Dinámico
Sismo Transversal	136 T.	204 T. + Momento
Sismo Longitudinal	3694 T.	1563 T.

$$\text{El momento transversal} = 496 \text{ T.m}$$

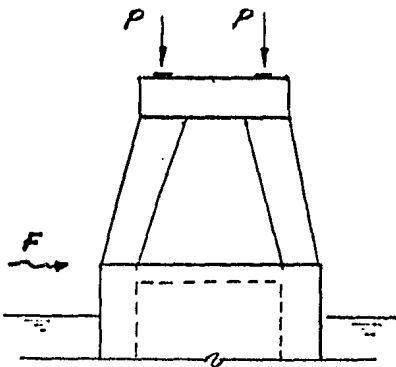
6. Combinaciones de Carga para Dimensionamiento

Partiendo de la geometría inicial, se observa que existen algunas desventajas al apoyar las columnas en la parte central del cilindro, una de ellas es, que al apoyarse en la tapa, ésta requiere un gran paralte y estaría trabajando siempre a flexión y cortante.

La geometría que se propone, y modifica la anterior tiene las siguientes ventajas:

- Las pilas se apoyarán directamente en las paredes del cilindro.
- La losa no requerirá un paralte muy grande, debido a que no hay descargas de las columnas directamente sobre ella.
- Las pilas al estar inclinadas, tienen mayor eficiencia, para resistir, las cargas laterales, debido a que las cargas laterales son transmitidas axialmente en las columnas.

Combinación de carga GRUPO I (CM + CV + I + P + GU + A)
 $\phi = 100\%$



$$P = 995.7 \text{ T.}$$

$$F = 3.4 \text{ T.}$$

"I"

$$\text{Impacto} = 0.0$$

"CM"

$$W_{\text{superestructura}} = 17.19 \times 52.0 = 893.9 \text{ T.}$$

$$W_{\text{diafragmas}} = 14.14 \text{ T.}$$

$$W_{\text{cabezal}} = 19.2 \text{ T}$$

$$W_{\text{columnas}} = 10.97 \text{ T.}$$

$$W_{\text{apoyos}} = 0.70 \text{ T.}$$

$$\Sigma W = 949.4 \text{ T} \Rightarrow P_1 = 474.7 \text{ T.}$$

"CV"

$$W_{\text{máx}} = 9.22 \text{ T.} \Rightarrow P_2 = 461 \text{ T.}$$

"A"

Considerando una altura de tirante de agua 5m.

$$F = 673 \times 5 = 3,365 \text{ kg.}$$

Combinación de carga GRUPO III (CH+CV+I+P+SU+0.5V+VCV+FL+F+A+FT)
 $\phi = 125\%$

"CH"

$P_1 = 474.7 \text{ T}$

"CV"

$P_2 = 461.0 \text{ T}$

"I"

$I = 0.0$

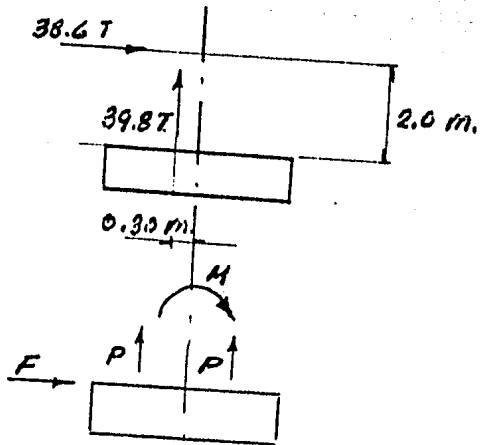
"P"

No se considera.

"SU"

$F_{su} = 0.0$

"V"

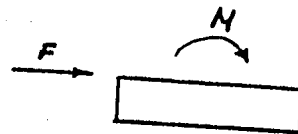


$P = 39.8 \div 2 = 19.9 \text{ T}$

$F = 38.6 \text{ T}$

$M = 38.6 \times 2 + 39.8 \times 0.3 = 89.1 \text{ T.m}$

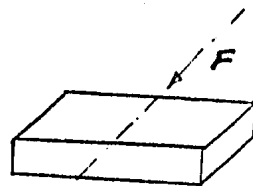
"VCV"



$F = 29.2 \text{ T}$

$M = 29.2 \times (2.44 + 0.47) = 65.5 \text{ T.m}$

"FL"

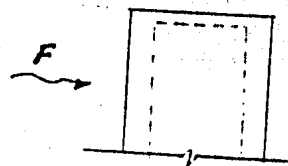


$F = 31.32 \text{ T}$

"F"

$F_f = 0.0$

"A"



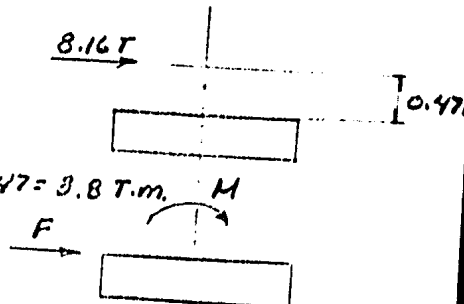
$F = 1150 \times 5 = 5750 \text{ kg} = 5.8 \text{ T}$

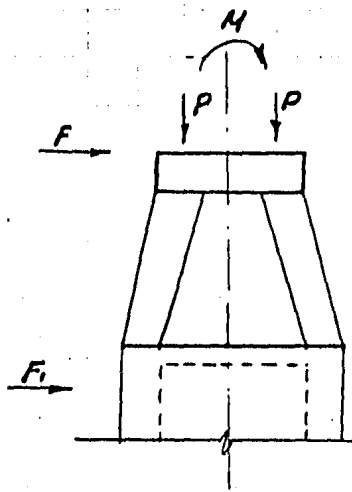
"FT"

8.16 T

$F = 3.16 \text{ T}$

$M = 3.16 \times 0.47 = 3.8 \text{ T.m}$





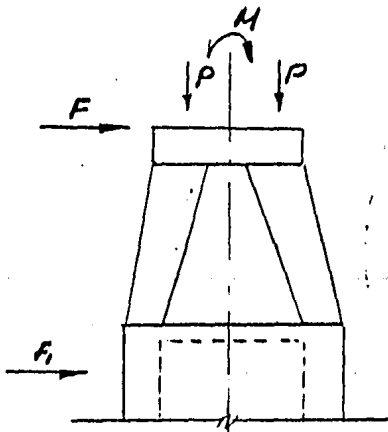
$$P = 474.7 + 461 - 19.9 \times 0.5 = 925.8 \text{ T.}$$

$$F = 38.6 \times 0.5 + 23.2 + 8.16 = 50.7 \text{ T.}$$

$$M = 89.5 \times 0.5 + 67.5 + 3.8 = 116.1 \text{ T.}$$

$$F_i = 5.8 \text{ T.}$$

Combinación de carga GRUPO VII (CH + P + SU + S + A)



$$P = 474.7 \text{ T.}$$

$$F = 204.0 \text{ T.}$$

$$M = 496.0 \text{ T.}$$

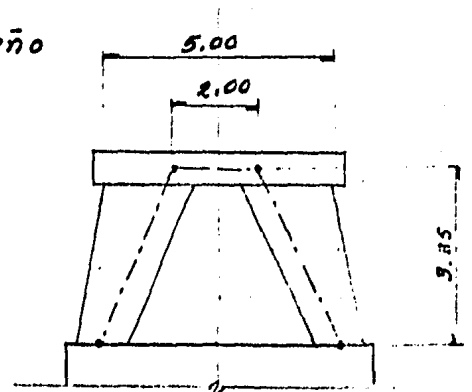
$$F_i = 3.4 \text{ T.}$$

Por inspección de las 3 condiciones de carga analizadas, se determina que, la condición mas desfavorable corresponde a la del GRUPO VII en la que se encuentra involucrado el efecto del sismo.

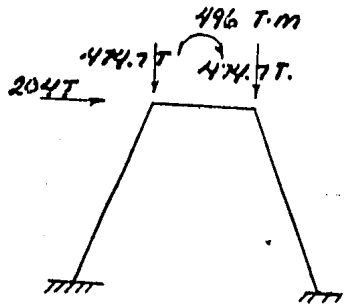
7. Acciones Mecánicas de Diseño

Cálculo de elementos mecánicos para la condición de carga seleccionada.

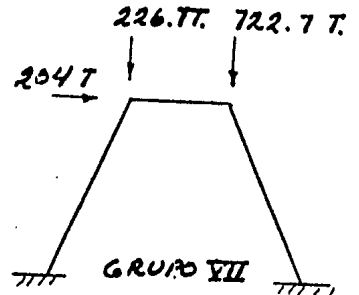
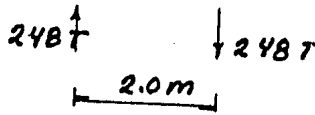
Geometría →



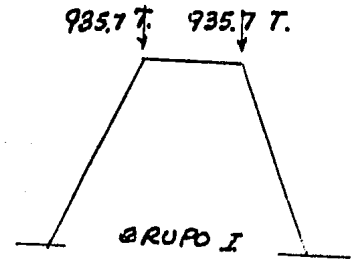
Cargas que actúan en el marco: (GRUPO VII)
 El momento actuante se transformará para simplificar el análisis, en un par que actúa sobre los apoyos; suposición que es válida, debido a que el momento es transmitido únicamente en los apoyos.



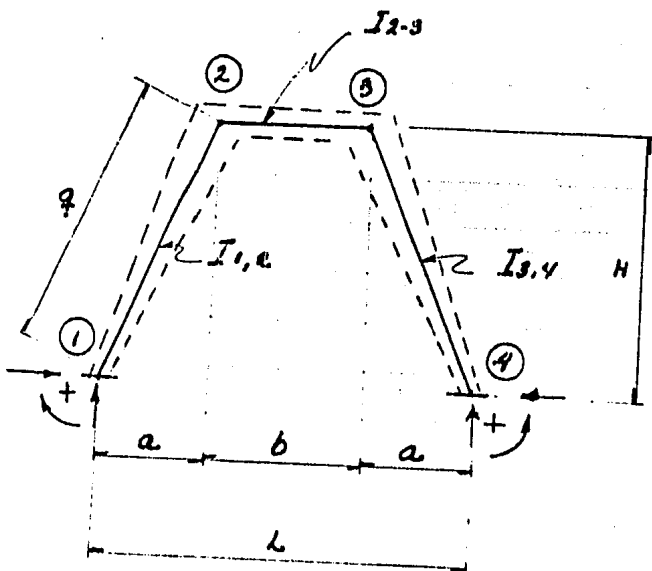
$$Q = \frac{M}{d} = \frac{496}{2} = 248 \text{ T}$$



Para el dimensionamiento de el refuerzo de tensión en la losa, debido al "coco" se empleará la condición de carga del grupo I

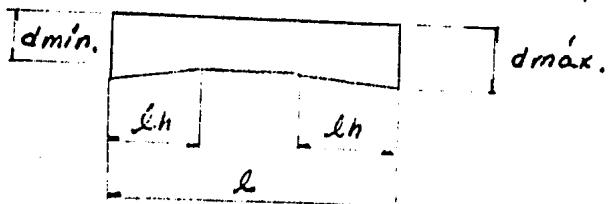


El cálculo de elementos mecánicos, se obtendrán, basados en la ref. 7.



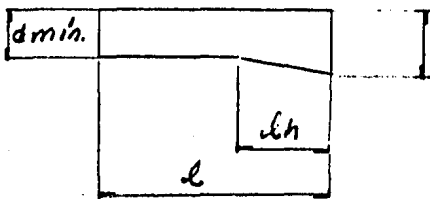
- $a = 1.5 \text{ m.}$
- $b = 2.0 \text{ m.}$
- $l = 5.0 \text{ m.}$
- $H = 3.35 \text{ m.}$
- $q = 3.67 \text{ m.}$

Cálculo de las constantes:
 d_{1-2} ; d_{2-1} ; β_{1-2} ; d_{2-3} y β_{2-3}



$$v = \frac{lh}{L} = \frac{1}{2} = 0.50 \quad t = \left(\frac{d_{\min.}}{d_{\max.}} \right)^3 = \left(\frac{0.7}{0.7} \right)^3 = 1.0$$

de la gráfica 1 $\alpha_{2-3} = 4$ de la gráfica 2 $\beta_{2-3} = 2$



$$v = \frac{lh}{L} = 1 \quad t = \left(\frac{d_{\min.}}{d_{\max.}} \right)^3 = \left(\frac{1.0}{1.85} \right)^3 = 0.16$$

de la gráfica 5 $\alpha_{1-2} = 2.45$

de la gráfica 6 $\alpha_{1-2} = 1.00$ y $\beta_{1-2} = 0.75$

$$I_{1-2 \text{ mín.}} = \frac{bh^3}{12} = \frac{2.5 \times 0.95^3}{12} = 0.179 \text{ m}^4$$

$$I_{2-3 \text{ mín.}} = 2.8 \times 0.7^3 + 12 = 0.08 \text{ m}^4$$

$$\phi = \frac{I_{1-2 \text{ mín.}}}{I_{2-3 \text{ mín.}}} \cdot \frac{b}{g} = \frac{0.179 \times 2.0}{0.08 \times 3.67} = 1.216$$

$$\Theta_{1-2} = \alpha_{1-2} + \alpha_{2-1} + 2\beta_{1-2} = 2.45 + 1.0 + 2 \times 0.75 = 4.95$$

$$\Theta_{2-3} = 2(\alpha_{2-3} + \beta_{2-3}) = 2(2 + 4) = 12$$

$$A = \frac{\beta_{1-2}}{\alpha_{1-2}} = \frac{0.75}{2.45} = 0.306$$

$$B = 2\Theta_{1-2} + \phi\Theta_{2-3} = 2 \times 4.95 + 1.216 \times 12 = 24.493$$

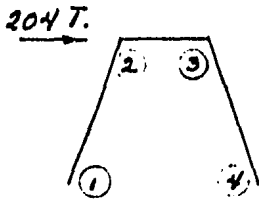
$$D = \frac{4.2}{b} \left[\alpha_{1-2} \left(1 + \frac{a}{b} \right) + \beta_{1-2} \right] + \Theta_{1-2} + \phi(\alpha_{2-3} - \beta_{2-3})$$

$$D = \frac{4 \times 1.5}{2.0} \left[2.45 \left(1 + \frac{1.5}{2} \right) + 0.75 \right] + 4.95 + 1.216(4 - 2) = 20.24$$

$$F = B - \frac{2(\alpha_{1-2} + \beta_{1-2})^2}{2.45} = 24.493 - \frac{2(1.45 + 0.75)^2}{2.45} = 16.134$$

$$G = \frac{1}{D} \left[\alpha_{2-1} + \frac{L}{b} \beta_{1-2} + \phi(\alpha_{2-3} - \beta_{2-3}) \right] = \frac{1}{20.24} \left[2.45 + \frac{5}{2} \times 0.75 + 1.216 \times 2 \right]$$

$$G = 0.334$$



$$M_1 = -\frac{Ph}{2} = -\frac{204 \times 0.334 \times 3.35}{2} = -114 \text{ T.m}$$

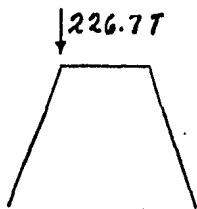
$$M_2 = \frac{Pbh(1-g)}{2L} = \frac{204 \times 2.0 \times 3.35(1-0.334)}{2 \times 5} = 91 \text{ T.m}$$

$$M_4 = 114 \text{ T.m} \quad M_3 = -91 \text{ T.m}$$

$$H_1 = -\frac{P}{2} = \frac{204}{2} = -102 \text{ T} \quad V_4 = \frac{Ph}{L}(1-g) = \frac{204 \times 3.35}{5}(1-0.334) = 91 \text{ T}$$

$$H_4 = 102 \text{ T}$$

$$V_1 = -91 \text{ T}$$



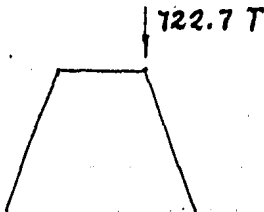
$$M_1 = -\frac{Pa}{2} = \frac{226.7 \times 0.334 \times 1.5}{2} = -56.8 \text{ T.m}$$

$$M_2 = \frac{Pab(1-g)}{2L} = \frac{226.7 \times 1.5 \times 2}{2 \times 5} \times 0.666 = 45.3 \text{ T.m}$$

$$M_4 = 56.8 \text{ T.m} \quad M_3 = -45.3 \text{ T.m}$$

$$H_1 = H_4 = \frac{Pa}{2h} = \frac{226.7 \times 1.5}{2 \times 3.35} = 50.8 \text{ T}$$

$$V_4 = \frac{Pa(1-g)}{L} = \frac{226.7 \times 1.5 \times 0.666}{5.0} = 45.3 \text{ T} \quad V_1 = P - V_4 = 181.4 \text{ T}$$



$$K = \frac{722.7}{226.7} = -3.188$$

$$M_1 = K M_2 = +181.1$$

$$M_2 = -144.4$$

$$M_4 = +181.1$$

$$M_3 = 144.4$$

$$H_1 = H_4 = 162.0 \text{ T}$$

$$V_1 = 144.4 \text{ T}$$

$$V_4 = 578.3 \text{ T}$$

Superposición de efectos: (GRUPO VII)

$$M_1 = -114.0 - 56.8 + 181.1 = 10.3 \text{ T.m}$$

$$M_4 = 10.3 \text{ T.m}$$

$$M_2 = 91.0 + 45.3 - 144.4 = -8.1 \text{ T.m}$$

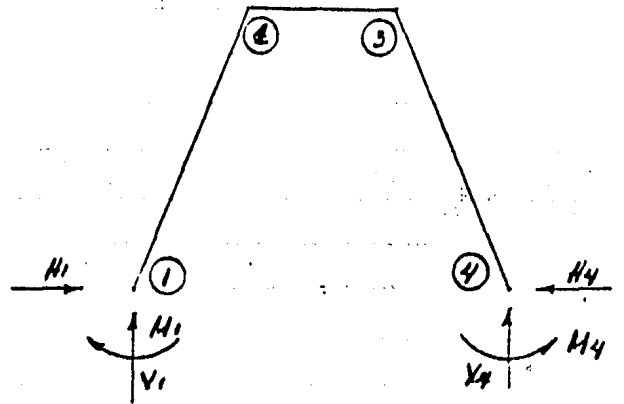
$$M_3 = 8.1 \text{ T.m}$$

$$H_1 = -102 + 50.8 + 162.0 = 110.8 \text{ T.}$$

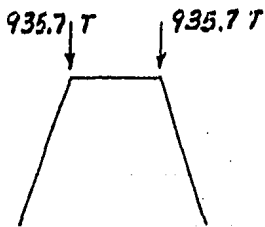
$$H_4 = 102 + 50.8 + 162.0 = 314.8 \text{ T.}$$

$$V_1 = -91.0 + 181.4 + 144.4 = 234.8 \text{ T.}$$

$$V_4 = 91.0 + 45.3 + 578.3 = 714.6 \text{ T.}$$



Cálculo de elementos mecánicos para el GRUPO I

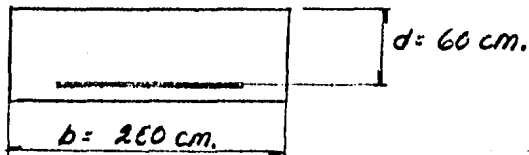


$$V_1 = V_2 = P = 935.7 \text{ T.}$$

$$H_1 = H_2 = \frac{P a}{h} = \frac{935.7 \times 1.5}{3.35} = 419 \text{ T.}$$

8. Dimensionamiento

a) Dimensionamiento del cableal:



empleando No. 6 $A_s = 2.85 \text{ cm}^2$

$$S = \frac{2.85 \times 100}{21} = 13.6 @ 13$$

Colocando acero mínimo por flexión

empleando No. 8 $A_s = 5.07 \text{ cm}^2$

$$\rho = 0.0035$$

$$A_s = 0.0035 \times 250 \times 60 = 52.5 \text{ cm}^2$$

$$21 \text{ cm}^2/\text{m.}$$

$$S = \frac{5.07 \times 100}{21} = 24.1 @ 2.5$$

$$M_3 = A_s f_s j d$$

Si empleamos concreto $f'_c = 200 \text{ Kg/cm}^2$ y acero $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$

$$f_c = 0.4 f'_c = 80 \text{ Kg/cm}^2 \quad f_s = 1700 \text{ Kg/cm}^2$$

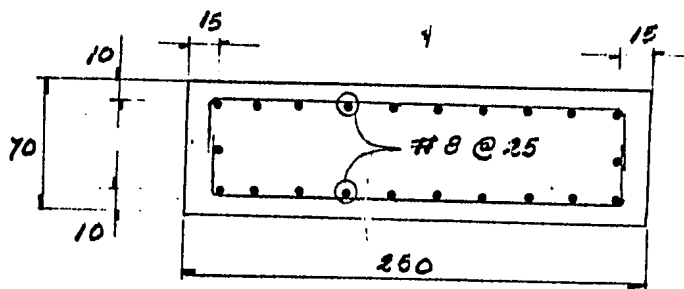
constantes elásticas $n = \frac{E_s}{E_c} = 12 \quad k = \frac{1}{1 + \frac{f_s}{n f_c}} = 0.565$

$$j = 1 - \frac{k}{3} = 0.81$$

como el momento máximo se presenta con sismo $f_s = 1.83 \times 1700 = 2261 \text{ Kg/cm}^2$
cálculo del momento resistente de la sección:

$$\text{No. de barras} = \frac{250 - 25}{25} = 9 \text{ barras} \quad A_s = 9 \times 5.07 = 45.63 \text{ cm}^2$$

$$M_s = 45.63 \times 2261 \times 0.81 \times 60 = 50.14 \times 10^5 \text{ Kg} \cdot \text{cm} \gg M_2 \text{ y } M_3$$



← Croquis de armado de cabezal.

Dimensionamiento de las columnas:

Elementos mecánicos en la base de la columna.

GRUPO VII

GRUPO I

$$M = 10.3 \text{ T.m.}$$

$$M = 0$$

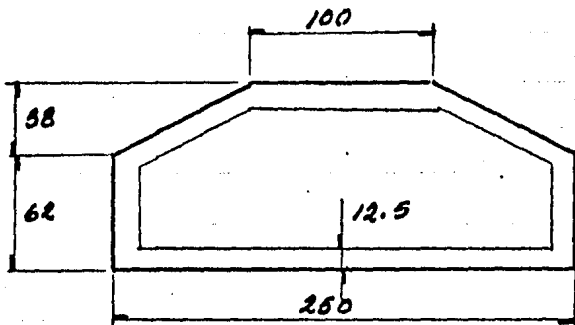
$$H = 314.8 \text{ T. (cortante)}$$

$$H = 419.0 \text{ (cortante)}$$

$$V = 714.6 \text{ T. (compresión)}$$

$$V = 935.7 \text{ (compresión)}$$

Dado a que los momentos flexionantes, actuantes en la columna son muy pequeños, se dimensionará para la condición de cortante por fricción; que es la que rige para diseño (Sección 2.29.4 Ref. 4)



$$\text{Area} = (250 + 100) \times 38 \div 2 + (62 - 12.5) \times 250 = 19\,025 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_a = \frac{419\,000}{19\,025} = 22.02 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_c = 0.09 f'_c = 22.5 \text{ Kg/cm}^2 > \sigma_a \therefore \checkmark$$

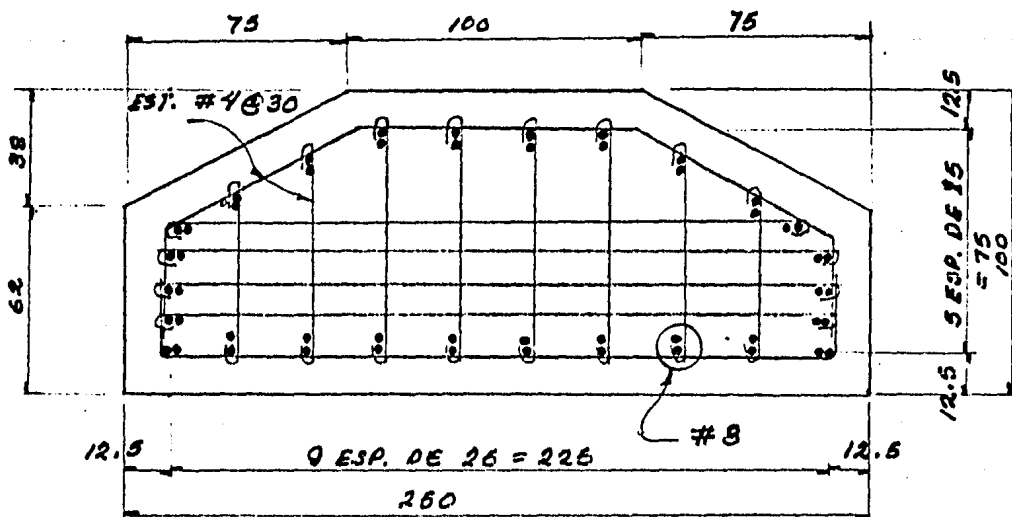
sección de columna (en la base) $\therefore \sigma_c \leq 25.3 \text{ Kg/cm}^2$

$$A_{ef} = \frac{V}{f_s \mu} = \frac{419\,000}{1700 \times 1.4} = 176 \text{ cm}^2$$

empleando varillas No. 8

$$\text{empleando } 40 \quad A_s = 201.6 \text{ cm}^2 > 176 \therefore \checkmark$$

Requis de armado de la columna:



CORTE EN LA BASE DE LA PILA

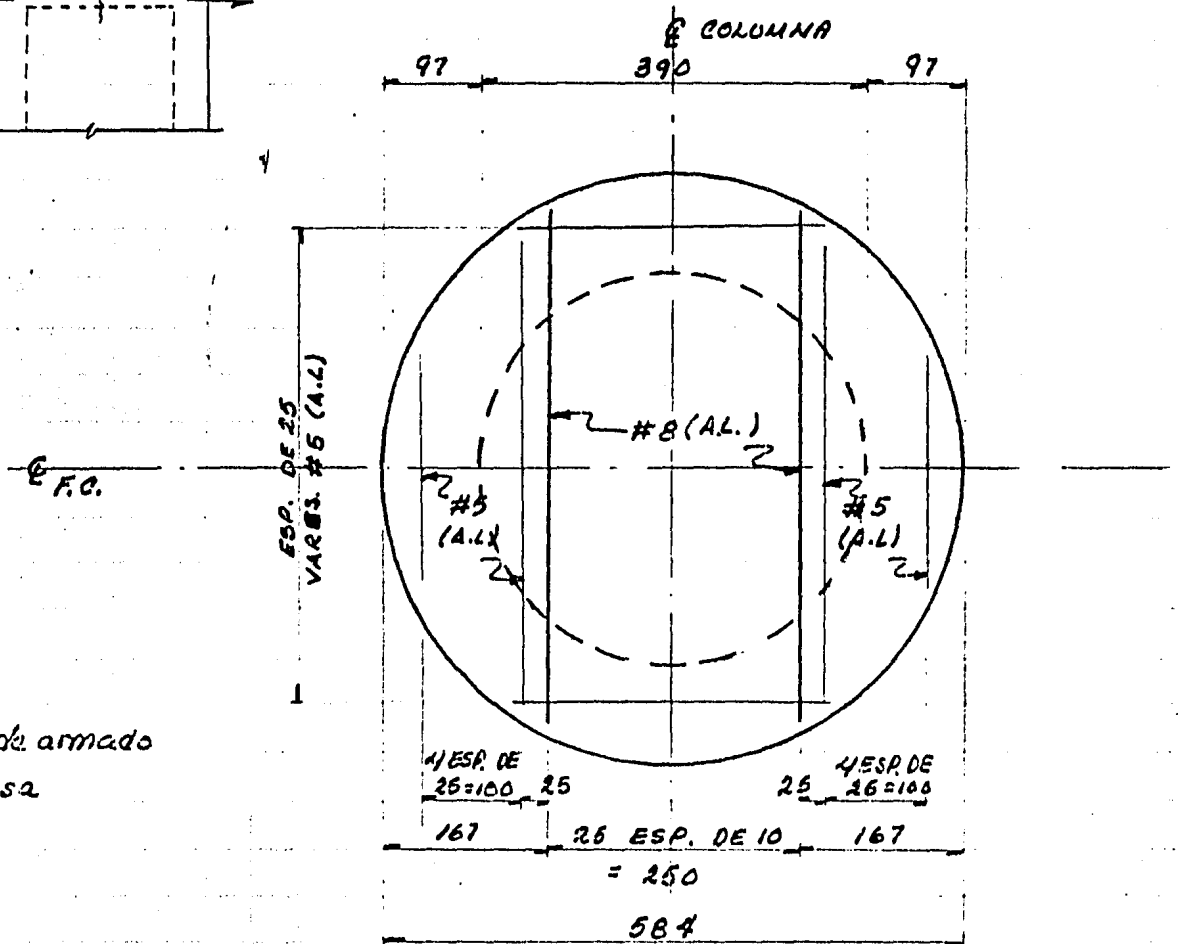
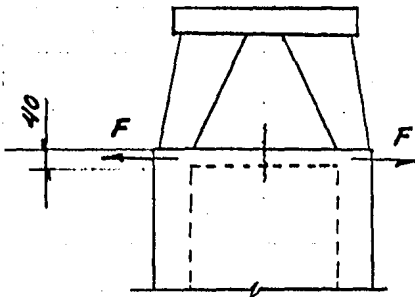
Dimensionamiento de la losa.

Se dimensionará para resistir las fuerzas de coceo, debidas a la acción de las cargas del grupo I, que serán tomadas por el acero de refuerzo en tensión.

$$F = 419 \text{ T.}$$

$$Asr = \frac{419000}{1700} = 246.5 \text{ cm}^2$$

$$\text{Empleando } \#8 \quad N_o = \frac{246.5}{5.07} = 48.6 \text{ varillos.}$$



Croquis de armado de losa

PLANTA TAPA DE CILINDRO

Dimensionamiento de cilindro.

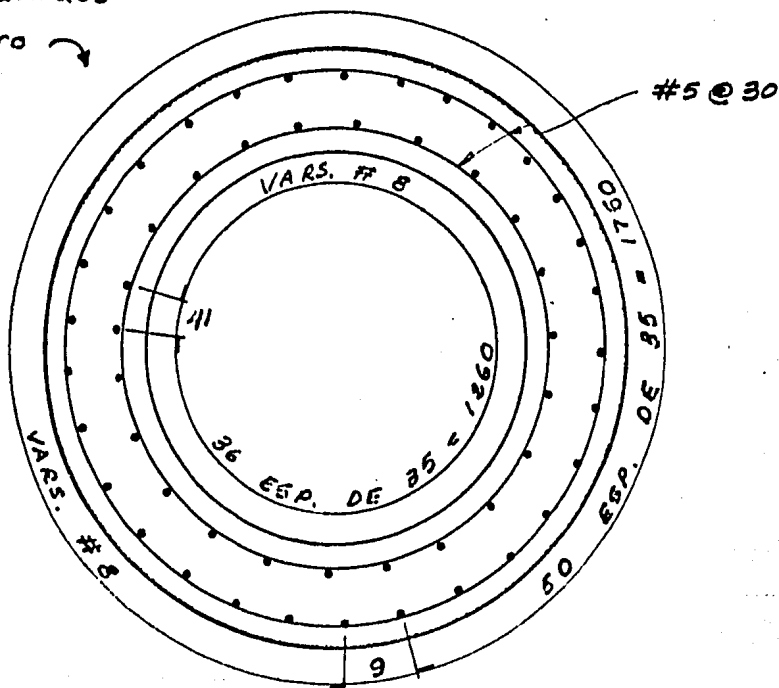
Debido a que la geometría del cilindro se adaptó, al procedimiento constructivo empleado. Las dimensiones de éste, estructuralmente son sobradas para las cargas que están actuando; por lo que se armará por temperatura:

$$A_{\text{cilindro}} = \frac{\pi \times 5.84^2}{4} = \frac{\pi \times 3.90}{4} = 14.84 \text{ m}^2 = 148\,400 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 148\,400 \times 0.003 = 445.2 \text{ cm}^2$$

Empleando varillas del No. 8 $N_b = \frac{445.2}{5.07} = 87.81$ barras, se colocaron 88

Croquis de armado del cilindro



CORTE TRANSVERSAL DEL
CILINDRO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se describe la importancia que tienen los fenómenos sísmicos, en cuanto a los daños que pueden ocasionar a las estructuras, los métodos que se han desarrollado para el estudio de estos fenómenos, con relación al comportamiento de las estructuras, que permite considerar procedimientos de cálculo expeditos, para lograr que las estructuras sean seguras y mantengan condiciones de servicio adecuadas a las necesidades específicas de cada estructura.

Por esta razón es de gran importancia en el diseño el tener conocimiento del comportamiento de una estructura cuando actúa un sismo.

En este trabajo se cuantifican los efectos sísmicos en una estructura para puentes, que consiste en una solución isostática para eliminar la transmisión del efecto dinámico, sobre todo para facilitar la construcción.

tud de las acciones actuantes y resistencia de dicho elemento.

3. Otros aspectos importantes que no se relacionan directamente con el diseño estructural, se mencionan a continuación:

a. La selección de la estructura por emplear depende también del procedimiento constructivo, en este caso se seleccionó el sistema de construcción de puentes denominado "Empujado Acompasado" en donde el tiempo de construcción es más corto que otros sistemas propuestos, aunque el costo de la estructura es superior. Por lo que podemos concluir que no siempre se emplea la estructura más barata desde el punto de vista estructural, sino de economía global, por el uso de la obra un año antes y los beneficios de sus servicios.

b. Por otra parte se recomienda en la medida de lo posible, sistemas constructivos de uso común, pues con relación a los equipos, materiales, recursos humanos y elementos que se deseen emplear, se puedan disponer fácilmente. Evitando con esto depender de técnica extranjera, que puede deteriorar la ingeniería nacional con su consecuente fuga de divisas.

c. La importancia de las diferentes ramas de la ingeniería que existen como una serie de conocimientos aislados, que en este caso se reúnen y se relacionan para la solución de un problema específico, la ingeniería Estructural, Hidráulica, Mecánica de Suelos, Topografía etc. por pequeña que sea su participación, es esencial para la solución de un problema de esta naturaleza.

La determinación de estos efectos fué en base a un análisis dinámico y se comparo con la solución estática.

1. En el análisis dinámico se hace notar el efecto de amplificación, en el sentido transversal de la estructura, donde se encontró que las fuerzas cortantes superan en un 50 % a las obtenidas con el análisis estático. Adicionalmente se observo el momento en la parte superior debido al cabeceo de la estructura, denominado efecto de segundo orden.

En base a lo anterior, se recomienda el empleo de un análisis dinámico modal cuando se tengan estructuras continuas en donde una de sus dimensiones sea mucho mayor que la otra.

2. Por otra parte podemos mencionar algunos aspectos, que se recomienda tomar en cuenta para el diseño de las estructuras, aunque no se relacionen específicamente con el diseño sísmico.

a. Un aspecto importante es adecuar el diseño a un mismo reglamento o manual; o tratar de mantener una congruencia entre las solicitaciones y el dimensionamiento, ya que los factores de carga y de reducción deben tener una congruencia que puede variar al mezclar. Por tanto en la medida de lo posible se recomienda como criterio de diseño emplear un solo manual o reglamento.

b. Otra consideración que hay que tomar en cuenta, es que el diseño es un procedimiento iterativo, donde se parte de una estructuración preliminar e hipótesis de su comportamiento. Y se llegará a obtener la estructura final, cuando las características de la resultante sean similares a la propuesta.

c. Si se pretende diseñar un elemento cualquiera, sera necesario tener un conocimiento de su comportamiento en lo que se refiere a las acciones que actúan sobre éste, a su resistencia interna para mantener condiciones de seguridad y servicio adecuadas. Dicho de otra manera se recomienda no emplear formulas o procedimientos de cálculo desconocidos, cuando no se tenga idea de la magni-

R E F E R E N C I A S

- 1.- J.T.Oden, "Mechanics of Elastic Structures"
Mc. Graw Hill, pag.50.
- 2.- Leonhard, Andra, Baur, "Bundesrepublik Deutschland"
Germany (telex. 7.22461) .
- 3.- M.J. Tomlinson, "Pile Design and Construction Practice"
Viewpoint Publications, 1977.
- 4.- Manual de la "American Railway Engineering Association"
1979.
- 5.- C.W. Dunham, "Cimentaciones de Estructuras", Mc. Graw Hill
1979.
- 6.- V.Leontovich, "Porticos y Arcos", CECSA, 1981.
- 7.- "Manual de Diseño de Obras Civiles, CFE, Diseño por Sismo"
1979.
- 8.- "Manual de Diseño de Obras Civiles, CFE, Diseño por Viento"
1979.

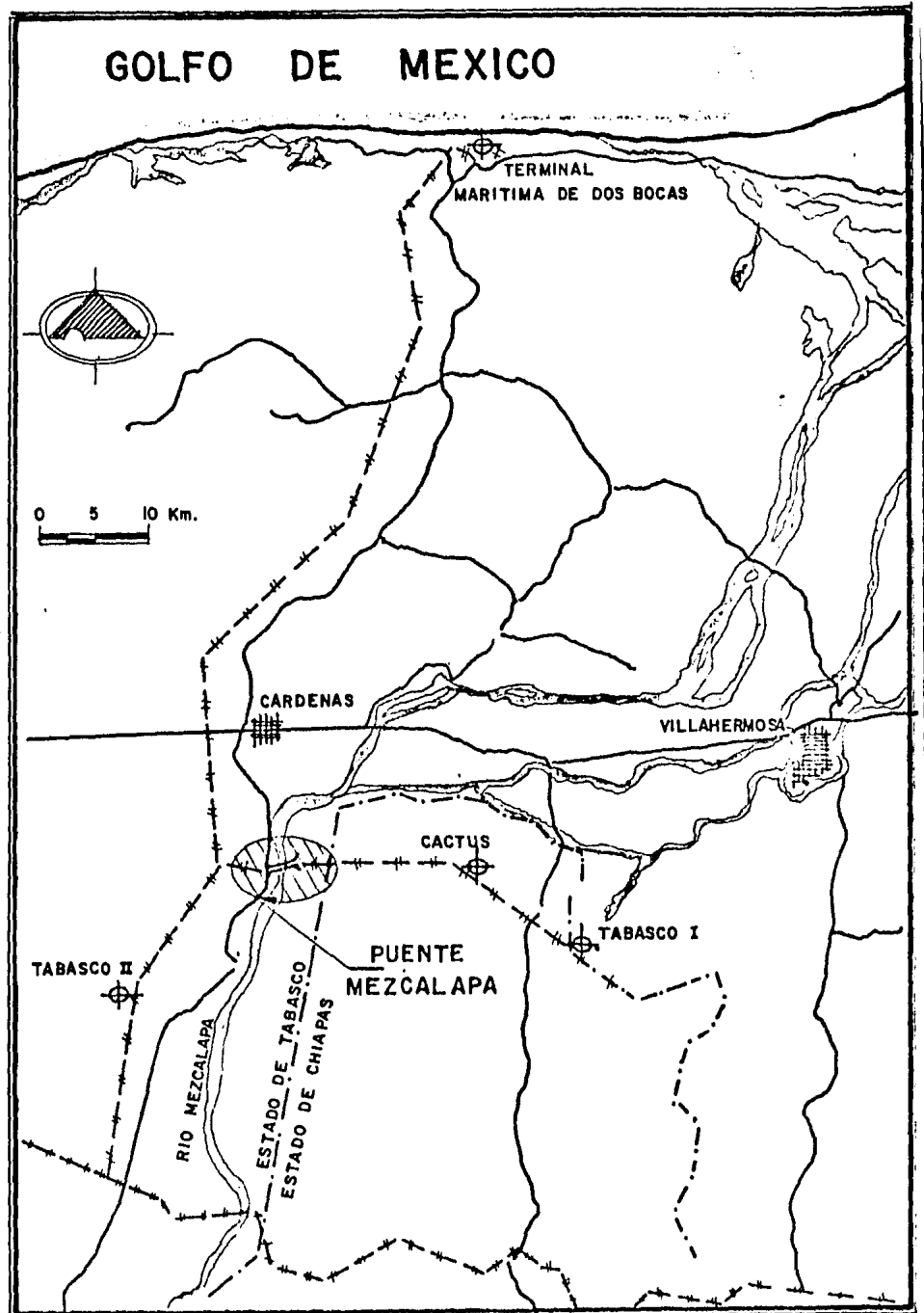


Figura No. 1

CROQUIS DE LOCALIZACION

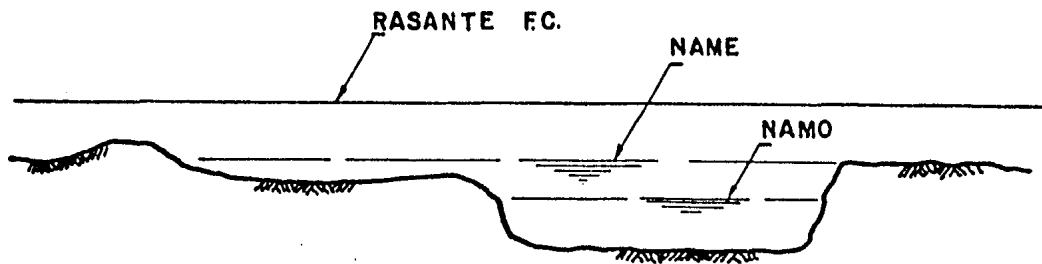


Figura 2 PERFIL DEL CAUCE EN LA LINEA DE CRUCE

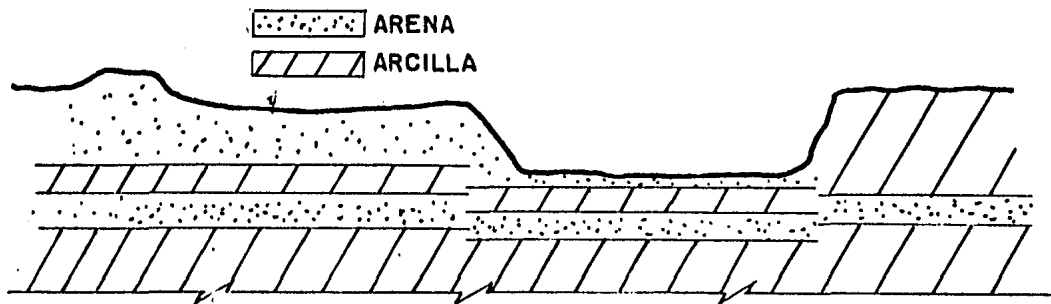
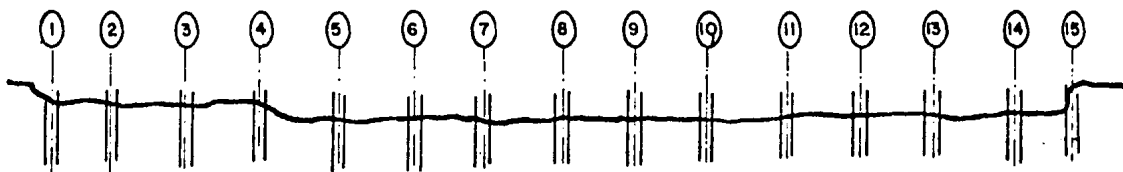


Figura 3 PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL CRUCE



CILINDRO EJE No.	1 al 6, 9 y 10				7, 8, 11, 12, 13 y 14			
PROF DE DESPLANTE EN M.	13.5	14.0	14.5	15.0	8.50	9.0	9.5	10.0
CAPACIDAD EN TON.	3780	3860	3940	4015	4080	4180	4250	4330

Figura 4 CAPACIDAD DE CARGA Y NIVEL DE DESPLANTE DE CILINDROS DE CIMENTACION, CON 6 m. DE DIAMETRO Y UN FACTOR DE SEGURIDAD FS=3.0

EJE DE CILINDRO	ASENTAMIENTO en cm. DIFERENCIAL INMEDIATO	ASENTAMIENTO en cm. DIFERENCIAL POR CONSOLIDACION
1 - 2	1.1	1.9
3 - 4	0.8	0.8
7 - 8	1.6	3.9
10 - 11	0.8	2.6
14 - 15	0.9	0.3

Figura 5 ASENTAMIENTOS DIFRENCIALES EN CILINDROS DE CIMENTACION.

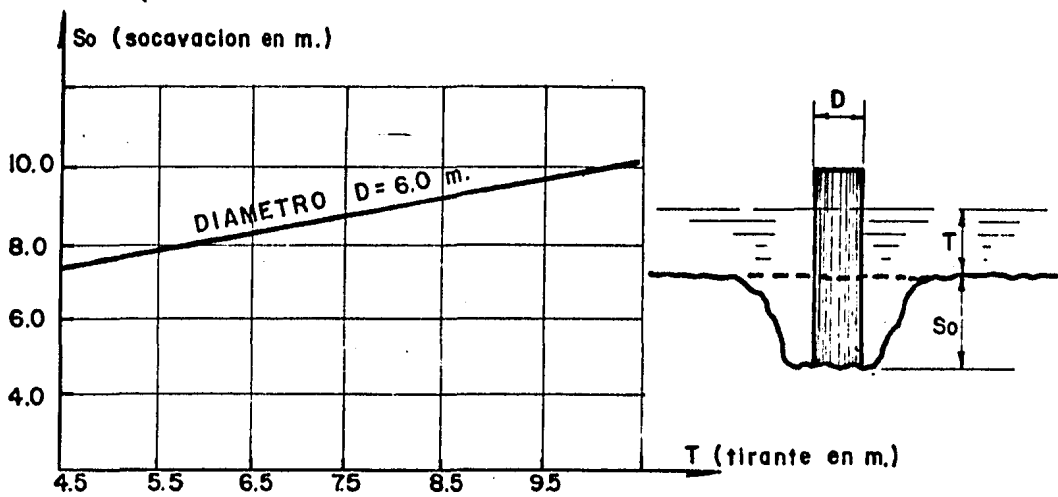


Figura 6 SOCAVACION EN CILINDROS

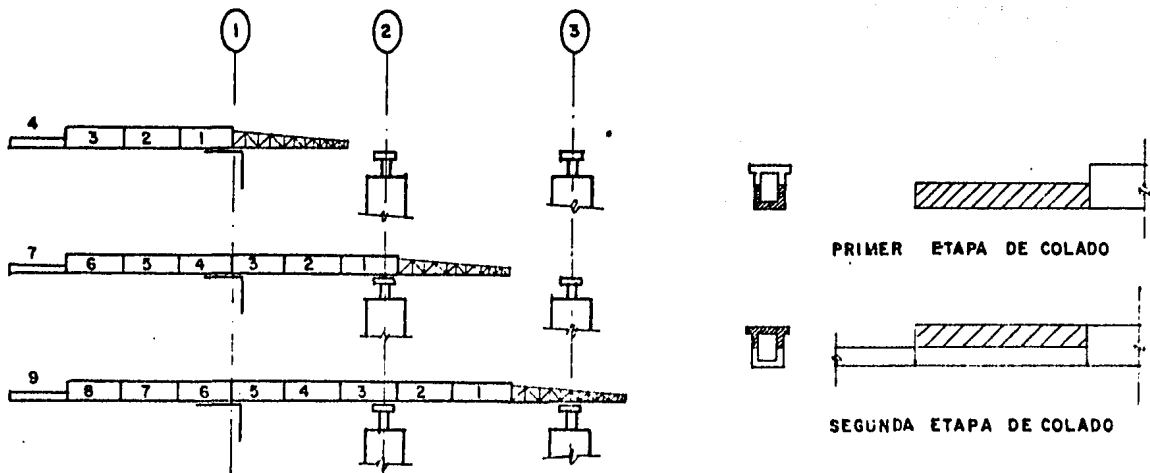


Figura 7 ETAPAS DE COLADO DE DOVELAS

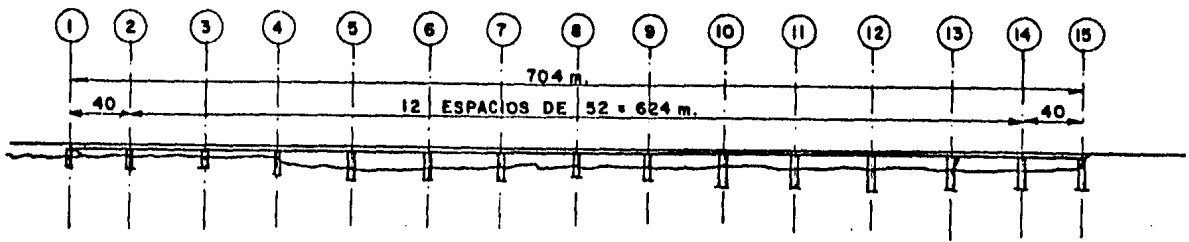


Figura 8 CROQUIS DEL PUENTE

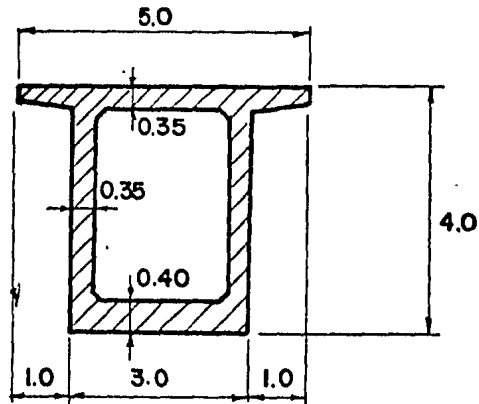


Figura 9 SECCION DE LA SUPERESTRUCTURA

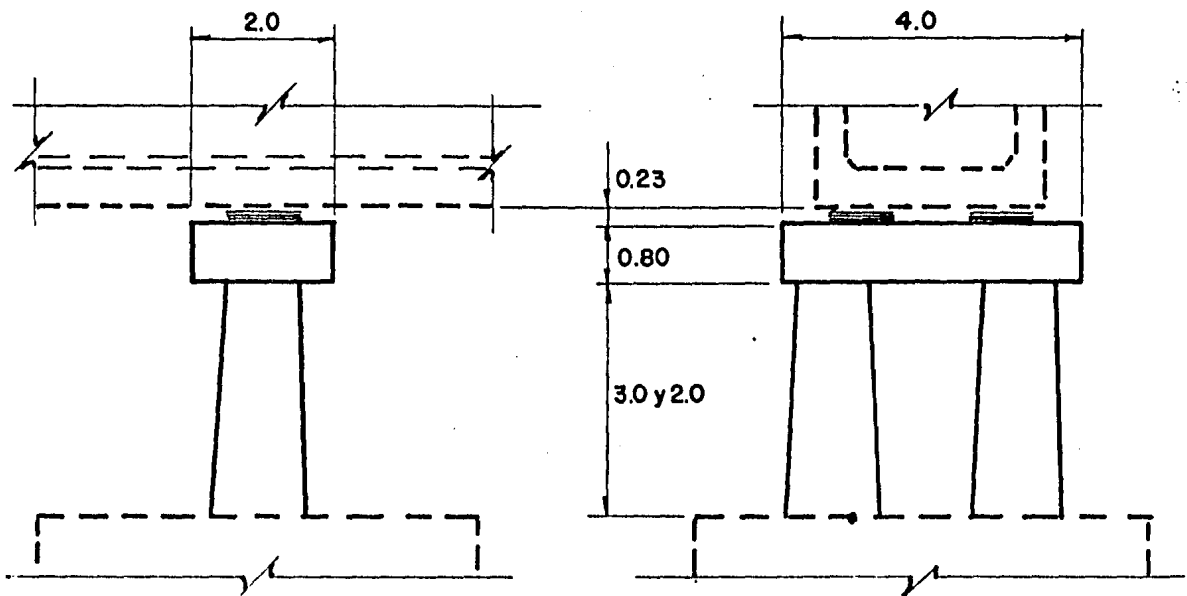


Figura 10 CROQUIS DE SUBESTRUCTURA

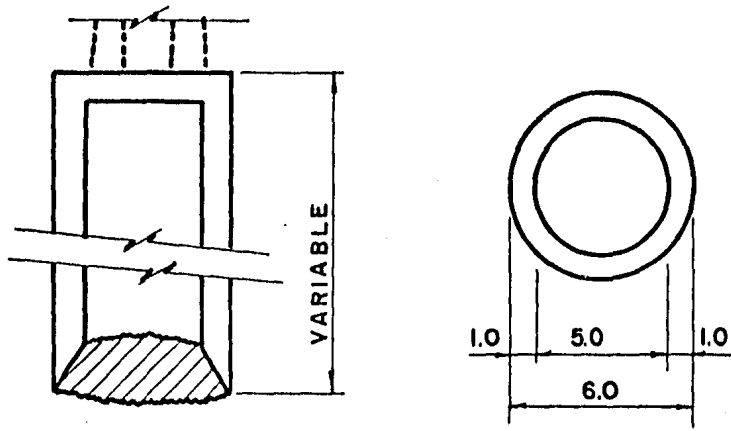


Figura 11 CROQUIS DE CILINDRO

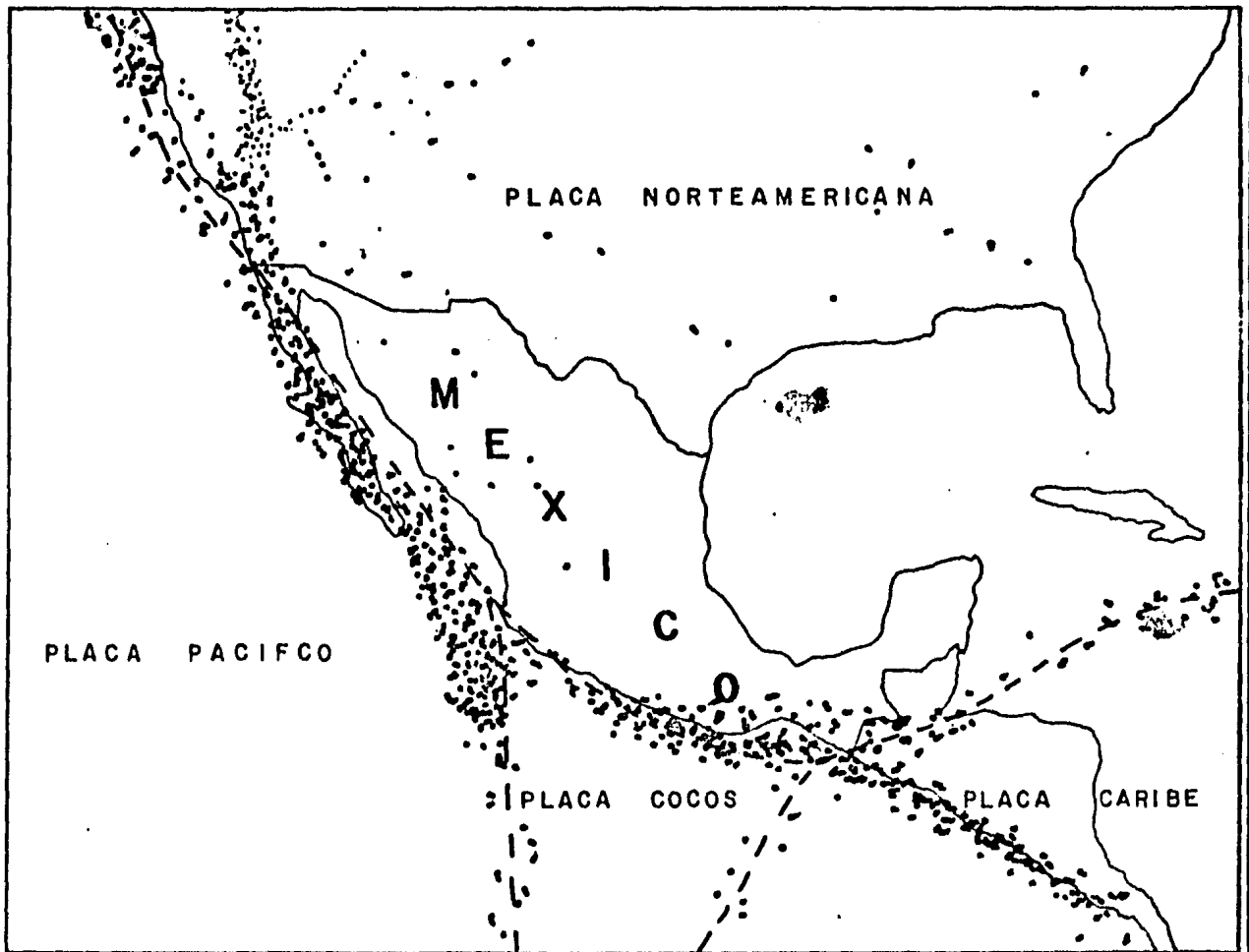


Figura 12 LOCALIZACION DE PLACAS

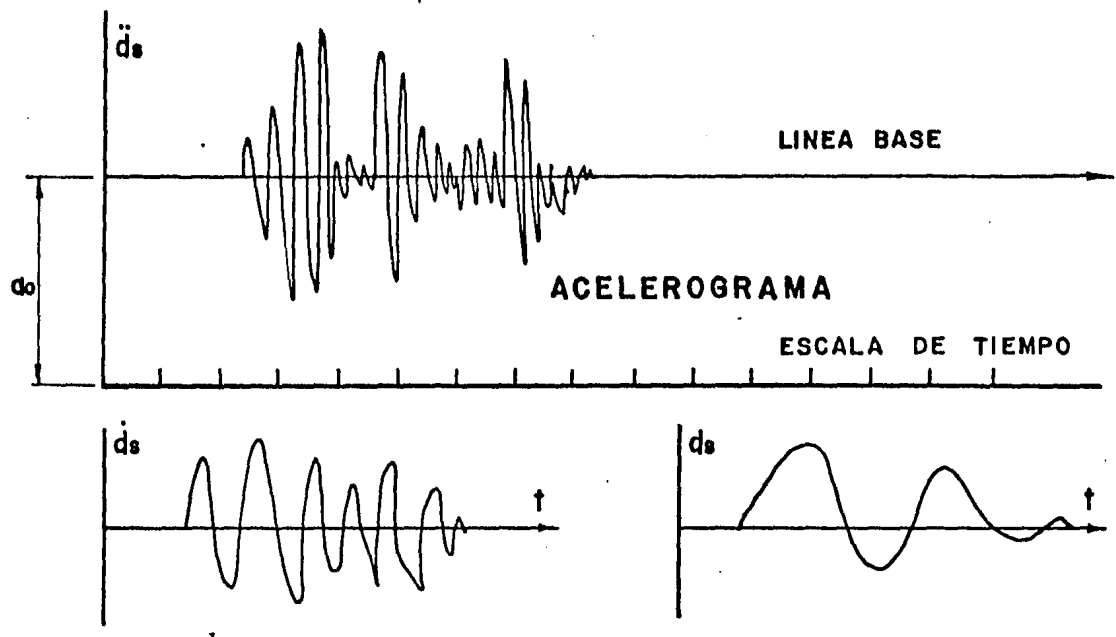
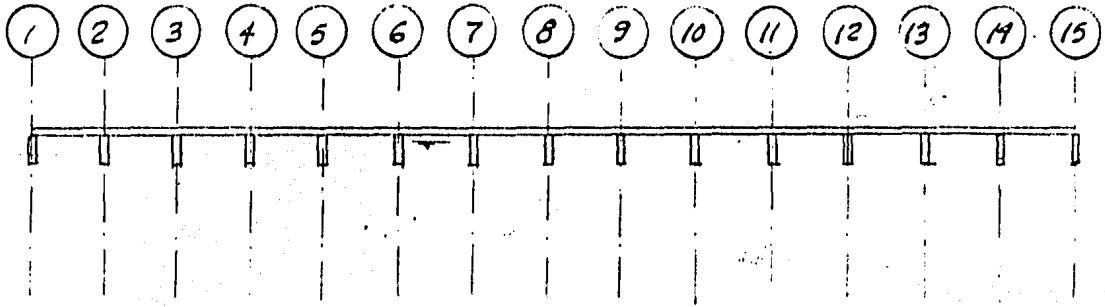
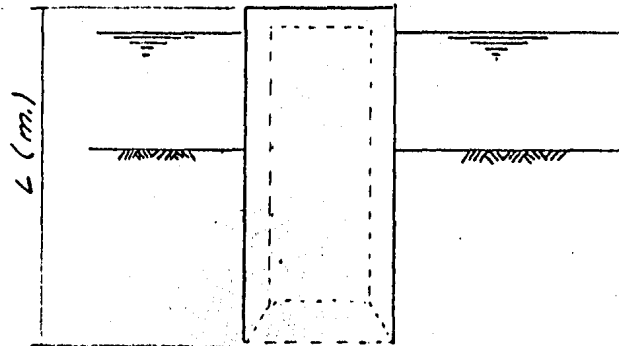


Figura 13 REPRESENTACION GRAFICA DE LOS SISMOS



CROQUIS DE LA PROFUNDIDAD DE DESPLANTE
DE CILINDROS

EJE	LONGITUD "L"
1	13.5
2	13.5
3	12.5
4	13.5
5	11.5
6	12.5
7	13.5
8	13.0
9	12.5
10	12.0
11	11.5
12	11.5
13	12.0
14	12.0
15	13.0



Las longitudes de los cilindros anteriormente desc^ritas
fueron tomadas de el estudio preliminar de Geotécnia.

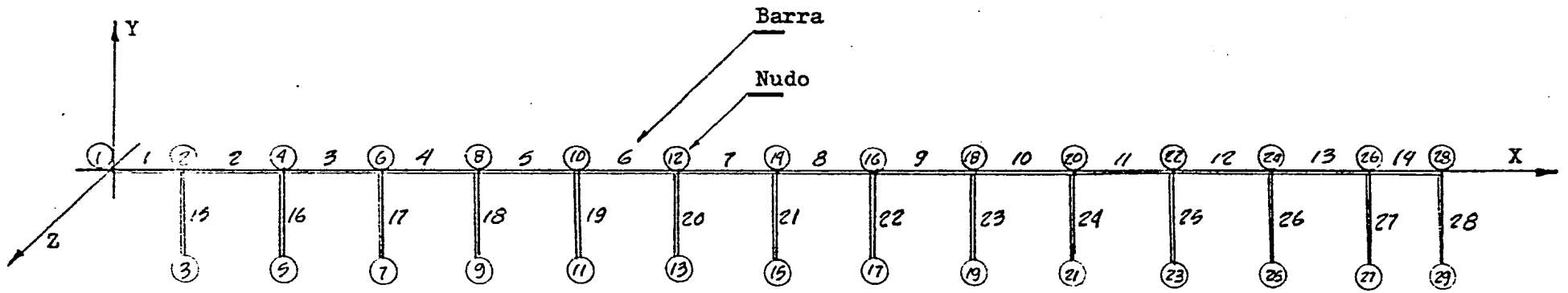


Figura No. 1 ESTRUCTURACION

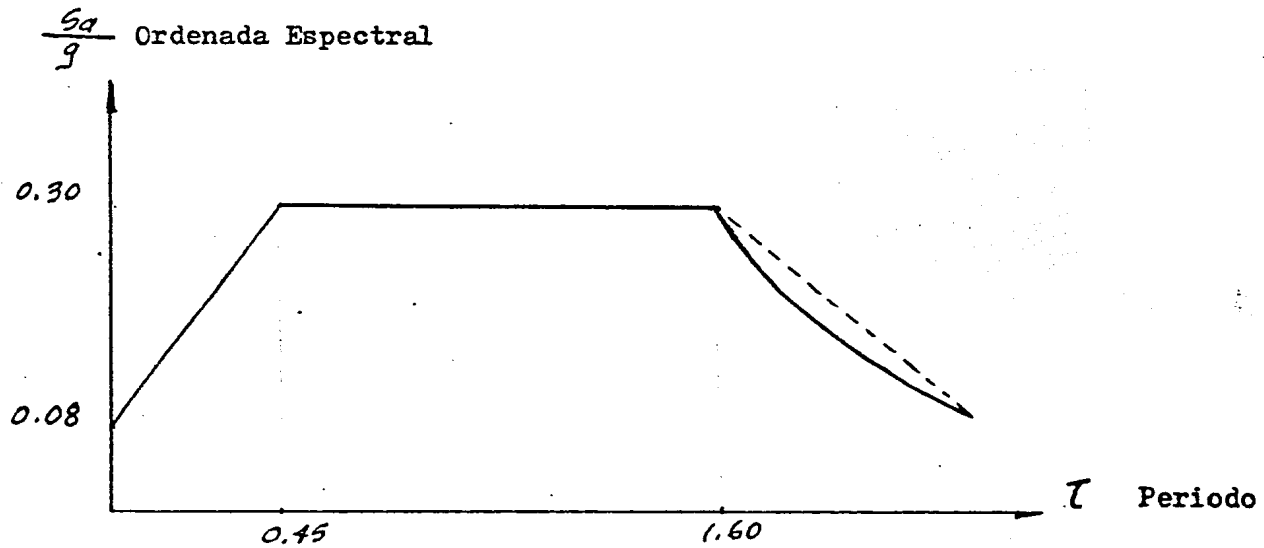


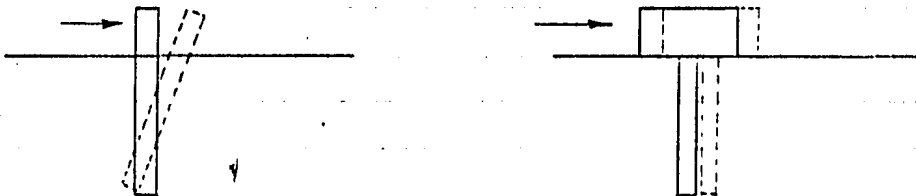
Figura No.2 ESPECTRO SISMICO

RESUMEN REFERENCIA 3

La resistencia última de una pila cuando actúa carga lateral, y donde la deflexión interviene, es un comportamiento complicado en la estructura semi-rígida y al suelo, el cual se deforma plásticamente y elásticamente.

Para el caso de una pila no restringida en el extremo, la carga es tomada por la superficie del suelo; pero ésta ejerce una deformación que es transmitida por medio de esfuerzos a suelos más profundos.

Para pilas rígidas no restringidas en el extremo, la relación L/ancho 12 ó 10 determina que se desarrolla una fuerza pasiva en la superficie del suelo, que cuando la resistencia de la fuerza pasiva es excedida, la pila rígida tenderá a rotar.



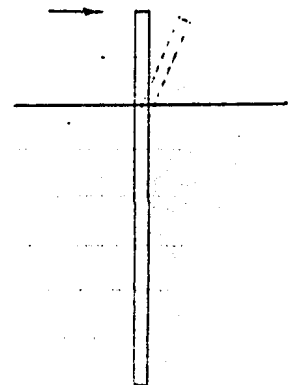
En el caso de que el extremo sea rígido se tendrá traslación, y para las pilas de mayor longitud, se desarrollará una capacidad pasiva infinita y la falla ocurre en el pilote donde el momento flexionante es máximo, debido a que el extremo de la pila se deforma antes de fallar.

En el caso de pilas largas se deberá aplicar un factor de seguridad a la falla y una revisión de los desplazamientos.

La determinación del comportamiento del pilote dependerá de la rigidez de éste. En el cual se determinará si la falla es por rotación o flexión.

Los resultados no son muy exactos empleando estos métodos, debido a las variaciones del suelo.

Para cimentaciones importantes que están expuestas a cargas laterales grandes, es conveniente hacer pruebas de campo en los extremos de las pilas.



PROGRAMA PARA EL CALCULO DE LA LONGITUD DE EMPOTRAMIENTO

Para el cálculo de las longitudes de empotramiento para pilotes o pilas expuestas a cargas laterales se consideran los siguientes datos:

- L (longitud del pilote)
- B (ancho del pilote)
- δ°, ϕ, c (características de los estratos)
- N (número de segmentos por dividir el pilote)

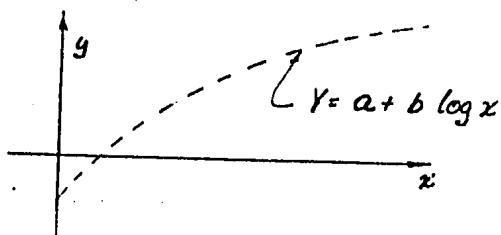
Datos de entrada para el programa

- Z_i (profundidad)
- Z_i / B (relación)
- K_c, K_q (constantes que depende de c y Z_i/B)
- $P_{bi} = \delta^{\circ} h_i, P_{zi} = P_{bi} K_q + c K_c$ y $P_{zi} Z_i$
- z profundidad del suelo donde $\Sigma M = 0$

Datos para cálculos internos

Para calcular los valores de K_q y K_c que aparecen en las gráficas, se desarrollaron dos expresiones matemáticas, las cuales se obtuvieron de la siguiente manera:

Se tabularen valores de las gráficas que corresponden aproximadamente a una curva de una función logarítmica.



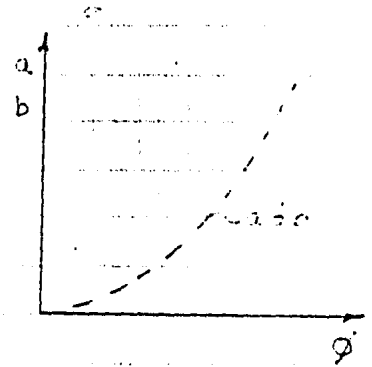
ϕ	Z/B	K_q
5°	0.5	0.20
	5	0.45
10°	0.5	1.0
	5	1.5
15°	0.5	1.7
	5	2.7
20°	0.5	2.6
	5	4.2
25°	0.5	3.8
	5	6.2
30°	0.5	4.9
	5	9.0
35°	0.5	7.0
	5	15.0
40°	0.5	12.0
	5	20.0

$$K_q = a + b \log(1 + Z/B)$$

0.2	0.32
1.0	0.64
1.7	1.24
2.6	2.06
3.8	3.08
4.9	5.27
7.0	10.23
12.0	12.85

Como los valores de K_q y K_c son mayores que cero, se propone el valor de $x = (1 + z)$, los valores de las constantes son obtenidos por un método de regresión matemática en donde "a" es el valor inicial tabulado.

ϕ	5	10	15	20	25	30	35	40
a	0.2	1.0	1.7	2.6	3.8	4.9	7.0	12.0
b	0.32	0.64	1.29	2.06	3.08	5.27	10.28	12.85



Graticando los valores de "a" y "b" se aproximan a una curva del tipo exponencial.

$$y = R x^5$$

Aplicando un método similar al anterior se obtienen las siguientes expresiones para obtener los valores de "a" y "b".

$$a = 0.01215 \phi^{1.81075} \quad b = 0.02369 \phi^{1.51276}$$

de las anteriores expresiones se pueda calcular el valor Kg :

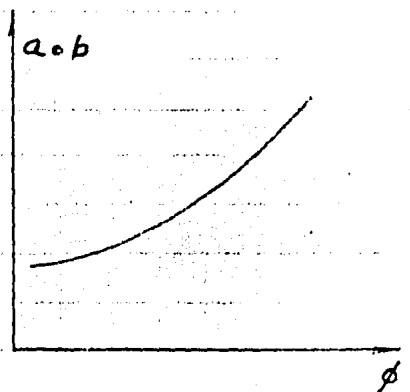
$$Kg = 0.01215 \phi^{1.81075} + 0.02369 \phi^{1.51276} \log(1 + z/b)$$

Esta expresión está tabulada en el programa uno, donde se aprecia que existe una variación de los valores obtenidos, con respecto a los que aparecen en las gráficas. Esta variación no excede un 5%.

A continuación se determinará la expresión que define al valor de Kc

$$Kc = a + b \log(1 + z/b)$$

ϕ	Kc	2.0	6.68
0°	}	2.5	7.84
5°		3.0	9.77
10°		4.5	12.21
15°		5.0	16.71
20°		6.0	26.99
25°		7.0	42.41
30°		10.0	64.25
35°			



De acuerdo con los valores obtenidos se observa que los constantes "a" y "b" se aproximan a una curva del tipo exponencial de base "e"

$$y = R e^{5x}$$

La expresión final para el cálculo de K_c :

$$K_c = 2.02946 e^{0.04410 \phi} + 5.49368 e^{0.0639 \phi} \log (1 + z/\theta)$$

los valores están tabulados en el programa 2.

Posteriormente se procedió al cálculo de las longitudes de empotramiento, para lo cual se elaboró el programa tres en el que se obtiene una tabla de cálculo.

En las hojas que están a continuación, se presentan los resultados obtenidos en el programa uno y dos, donde se pueden comparar los resultados con los gráficos de la ref. tres.

Posteriormente se encuentran los listados, que corresponden al método de obtención de la longitud de empotramiento requerida en el Diseño Estructural.

PROGRAMA # 1

VALORES DEL COEFICIENTE * K_q *

Valor de K_q para FI= 5 grados

K _q 0 =	.323994
K _q 1 =	.33533
K _q 2 =	.352967
K _q 3 =	.385765
K _q 4 =	.412956
K _q 5 =	.434373
K _q 6 =	.452473
K _q 7 =	.469151
K _q 8 =	.481991
K _q 9 =	.494352
K _q 10 =	.505543

Valor de K_q para FI= 12 grados

K _q 0 =	1.785826
K _q 1 =	1.81986
K _q 2 =	1.15392
K _q 3 =	1.2323
K _q 4 =	1.32587
K _q 5 =	1.36615
K _q 6 =	1.4373
K _q 7 =	1.48254
K _q 8 =	1.52281
K _q 9 =	1.55731
K _q 10 =	1.58924

Valor de K_q para FI= 15 grados

K _q 0 =	1.63731
K _q 1 =	2.25537
K _q 2 =	2.31724
K _q 3 =	2.49524
K _q 4 =	2.6323
K _q 5 =	2.7451
K _q 6 =	2.84128
K _q 7 =	2.9241
K _q 8 =	2.99537
K _q 9 =	3.06216
K _q 10 =	3.12113

Valor de K_9 para $FI= 20$ grados

$K_9 0$	=	2.75587
$K_9 1$	=	3.41958
$K_9 2$	=	3.89724
$K_9 3$	=	4.28228
$K_9 4$	=	4.59399
$K_9 5$	=	4.85994
$K_9 6$	=	5.09732
$K_9 7$	=	5.31499
$K_9 8$	=	5.5176
$K_9 9$	=	5.70998
$K_9 10$	=	5.89446

Valor de K_9 para $FI= 25$ grados

$K_9 0$	=	4.12949
$K_9 1$	=	5.03329
$K_9 2$	=	5.6815
$K_9 3$	=	6.16789
$K_9 4$	=	6.5851
$K_9 5$	=	6.93841
$K_9 6$	=	7.23996
$K_9 7$	=	7.49589
$K_9 8$	=	7.71372
$K_9 9$	=	7.8949
$K_9 10$	=	8.04261

Valor de K_9 para $FI= 30$ grados

$K_9 0$	=	5.74479
$K_9 1$	=	6.95957
$K_9 2$	=	7.69444
$K_9 3$	=	8.13235
$K_9 4$	=	8.48632
$K_9 5$	=	8.78222
$K_9 6$	=	9.03235
$K_9 7$	=	9.24614
$K_9 8$	=	9.42422
$K_9 9$	=	9.57611
$K_9 10$	=	9.70226

Valor de K_9 para $FI= 35$ grados

$K_9 0$	=	7.58448
$K_9 1$	=	9.13255
$K_9 2$	=	10.2435
$K_9 3$	=	10.9048
$K_9 4$	=	11.3222
$K_9 5$	=	11.6027
$K_9 6$	=	11.8523
$K_9 7$	=	12.08
$K_9 8$	=	12.2936
$K_9 9$	=	12.4873
$K_9 10$	=	12.6599

Valores de K₁ para H₁ = 20 Oe

K ₁	0.000000
K ₂	0.000000
K ₃	0.000000
K ₄	0.000000
K ₅	0.000000
K ₆	0.000000
K ₇	0.000000
K ₈	0.000000
K ₉	0.000000
K ₁₀	0.000000
K ₁₁	0.000000
K ₁₂	0.000000
K ₁₃	0.000000
K ₁₄	0.000000
K ₁₅	0.000000
K ₁₆	0.000000
K ₁₇	0.000000
K ₁₈	0.000000
K ₁₉	0.000000
K ₂₀	0.000000

Valores de K₁ para H₁ = 25 Oe

K ₁	0.000000
K ₂	0.000000
K ₃	0.000000
K ₄	0.000000
K ₅	0.000000
K ₆	0.000000
K ₇	0.000000
K ₈	0.000000
K ₉	0.000000
K ₁₀	0.000000
K ₁₁	0.000000
K ₁₂	0.000000
K ₁₃	0.000000
K ₁₄	0.000000
K ₁₅	0.000000
K ₁₆	0.000000
K ₁₇	0.000000
K ₁₈	0.000000
K ₁₉	0.000000
K ₂₀	0.000000

Valores de K₁ para H₁ = 30 Oe

K ₁	0.000000
K ₂	0.000000
K ₃	0.000000
K ₄	0.000000
K ₅	0.000000
K ₆	0.000000
K ₇	0.000000
K ₈	0.000000
K ₉	0.000000
K ₁₀	0.000000
K ₁₁	0.000000
K ₁₂	0.000000
K ₁₃	0.000000
K ₁₄	0.000000
K ₁₅	0.000000
K ₁₆	0.000000
K ₁₇	0.000000
K ₁₈	0.000000
K ₁₉	0.000000
K ₂₀	0.000000

Valores de K₁ para H₁ = 35 Oe

K ₁	0.000000
K ₂	0.000000
K ₃	0.000000
K ₄	0.000000
K ₅	0.000000
K ₆	0.000000
K ₇	0.000000
K ₈	0.000000
K ₉	0.000000
K ₁₀	0.000000
K ₁₁	0.000000
K ₁₂	0.000000
K ₁₃	0.000000
K ₁₄	0.000000
K ₁₅	0.000000
K ₁₆	0.000000
K ₁₇	0.000000
K ₁₈	0.000000
K ₁₉	0.000000
K ₂₀	0.000000

LISTADO DE PROGRAMAS

PROGRAMA # 1

```
PRINT CHR$(31); " VALORES DEL COEFICIENTE * Ka *"  
DIM K(20)  
FOR I=1 TO 25 STEP 5  
PRINT "  
PRINT "  
INPUT "ENTER"/  
PRINT CHR$(30)TAB(15); "Valor de Ka para F1"/;I;" grados"  
PRINT "  
FOR J=0 TO 10  
K(J)=(0.01215*(I-1.31075)+(0.02359*(I-1.51275)*LOG(1+J)/LOG(12)))  
PRINT TAB(22)"Ka"/J=""/K(J)  
NEXT J  
NEXT I
```

PROGRAMA # 2

```
PRINT CHR$(31); " VALORES DEL COEFICIENTE * Kc *"  
DIM K(20)  
FOR I=1 TO 25 STEP 5  
PRINT "  
PRINT "  
INPUT "ENTER"/  
PRINT CHR$(30)TAB(15); "Valor de Kc para F1"/;I;" grados"  
PRINT "  
FOR J=0 TO 10  
K(J)=(0.02216*(I-1.31075)+(0.04000*(I-1.51275)*LOG(1+J)/LOG(12)))  
PRINT TAB(22)"Kc"/J=""/K(J)  
NEXT J  
NEXT I
```

```

1 CLR
2 PRINT CHR*(30)
3 PRINT "DATOS"
4 INPUT "NUMERO DE SEGMENTOS D=";D
5 INPUT "LONG. DE PILOTE EN MTS. L=";L
6 INPUT "ANCHO DEL PILOTE EN MTS. B=";B
7 INPUT "NUMERO DE ESTRATOS N=";N
8 DIM P(N+3)
9 P(N+1)=0
10 DIM G(N)
11 DIM F(N)
12 DIM C(N)
13 FOR I=1 TO N
14 PRINT "ESTRATO NO.;"I"
15 INPUT "PROFUNDIDAD (MTS.)=";P(I)
16 INPUT "PESO VOLUMETRICO (T/M3)=";G(I)
17 INPUT "ANGULO DE FRICCION (GRAD.)=";F(I)
18 INPUT "COHESION (T/M2)=";C(I)
19 P(N)=L
20 NEXT I
21 PRINT "CORRECCION DE DATOS"
22 INPUT " 'SI' O 'NO' ";X*
23 IF X*="SI" THEN 130
24 G=D+3
25 DIM Z(G)
26 DIM R(G)
27 DIM S(G)
28 DIM P0(G)
29 DIM K0(G)
30 DIM K(G)
31 DIM ZB(G)
32 DIM PZ(G)
33 DIM PR(G)
34 Z(1)=L/(D*2)
35 FOR I=2 TO D
36 Z(I)=Z(I-1)*CL/D
37 NEXT I
38 FOR I=1 TO D
39 ZB(I)=Z(I)/B
40 NEXT I
41 J=0
42 I=1
43 J=J+1
44 IF J=N THEN 480
45 IF Z(I)>P(J) THEN 380
46 C0(I)=C(J)*Z(I)
47 K0(I)=( (.01215*F(J)*C1.81075)+( .02369*F(J)*C1.51276)*((LOG(1+ZB(I)))/LOG(10)))
48 C=ZB(I)
49 V=F(J)
50 K0(I)=( (.00046*EXP(.04428*V))+(5.43368*EXP(.0659*V))*((LOG(1+0)/LOG(10)))
51 PZ(I)=P0(I)*K0(I)+K0(I)*C0(I)
52 PR(I)=PZ(I)*Z(I)
53 I=I+1

```

```

4 IF I>D THEN 480
5 GOTO 390
6 S(D)=0
7 A(0)=0
8 FOR I=1 TO D
9 A(I)=A(I-1)+PR(I)
10 NEXT I
11 S(D+1)=0
12 FOR I=0 TO 1 STEP -1
13 S(I)=S(I+1)+PR(I)
14 NEXT I
15 DIM D1(G)
16 FOR I=1 TO D
17 D1(I)=ABS(A(I)-S(I))
18 NEXT I
19 I=0
20 I=I+1
21 IF D1(I)>D1(I+1) THEN 585
22 V=Z(I)
23 GOTO 600
24 GOTO 570
25 CLS
26 PRINT "IMPRIMIR DATOS          *DATOS*"
27 PRINT "IMPRIMIR TABLA DE CALCULO  *TABLA*"
28 PRINT "IMPRIMIR LONG. DE EMPOTRAMIENTO *LEMP*"
29 PRINT "DATOS NUEVOS          *NDATOS*"
30 PRINT "PARAR PROGRAMA        *ALTO*"
31 INPUT "SALIDA =";A$
32 IF A$="DATOS" THEN R=1
33 IF A$="TABLA" THEN R=2
34 IF A$="LEMP" THEN R=3
35 IF A$="NDATOS" THEN R=4
36 IF A$="ALTO" THEN R=5
37 ON R GOTO 1000,1100,1200,40,1300
38 LPRINT
39 LPRINT "DATOS"
40 LPRINT "No. DE SEGMENTOS=";D,"LONG. DE PILOTE ";L;"mts."
41 LPRINT "ANCHO DE PILOTE ";R;"mts."
42 LPRINT
43 LPRINT "CARACTERISTICAS DE LOS ESTRATOS"
44 LPRINT TAB(1)"ESTRATO";TAB(15)"PESO VOL.";TAB(25)"ANGULO FI";TAB(35)"COHI
";TAB(45)"PROFUNDIDAD"
45 LPRINT ;TAB(15)"(TON./M3)";TAB(25)"(GRAD.)";TAB(35)"(TON./M2)";TAB(45)"(
";
46 FOR I=1 TO M
47 LPRINT TAB(1);TAB(15)G(I);TAB(25)F(I);TAB(35)C(I);TAB(45)P(I)
48 NEXT I
49 GOTO 600
50 LPRINT
51 LPRINT "TABLA DE CALCULO"
52 LPRINT TAB(1)"NUM.";TAB(13)"Z1";TAB(23)"Z1/B";TAB(33)"Kq";TAB(43)"Kc";TAB
";TAB(53)"R=1";TAB(63)"R=1"
53 FOR I=1 TO D

```

```

40 LPRINT TAB(1);TAB(10)Z(I);TAB(20)ZB(I);TAB(30)KQ(I);TAB(40)KQ(I);TAB(50)
>TAB(60)PZ(I)
45 NEXT I
46 LPRINT
47 LPRINT TAB(1)"No. "TAB(5)"PRODUCTO Pz1 * Z1";TAB(25)"ACUMULADO SUP";TAB(45)
UMULADO INF";TAB(50)"DIFERENCIA"
48 FOR I=1 TO 0
49 LPRINT TAB(1);TAB(8)P(I);TAB(30)P(I);TAB(50)S(I);TAB(63)DI(I)
52 NEXT I
52 GOTO 500
59 LPRINT
60 LPRINT "LONGITUD DE EMPOTRAMIENTO ="IV "MTS."
10 GOTO 600
80 END

```