



Universidad Nacional Autónoma de México

Escuela Nacional de Estudios Profesionales
A R A G O N

**Diseño Estructural de una
Compuerta Radial**

T E S I S
Que para obtener el Título de
Ingeniero Civil
P r e s e n t a n

LERIN ADALLA DAGOBERTO
MONTERO ROJAS JOSE ALFREDO

San Juan de Aragón, Edo. Méx. 1985



Universidad Nacional
Autónoma de México



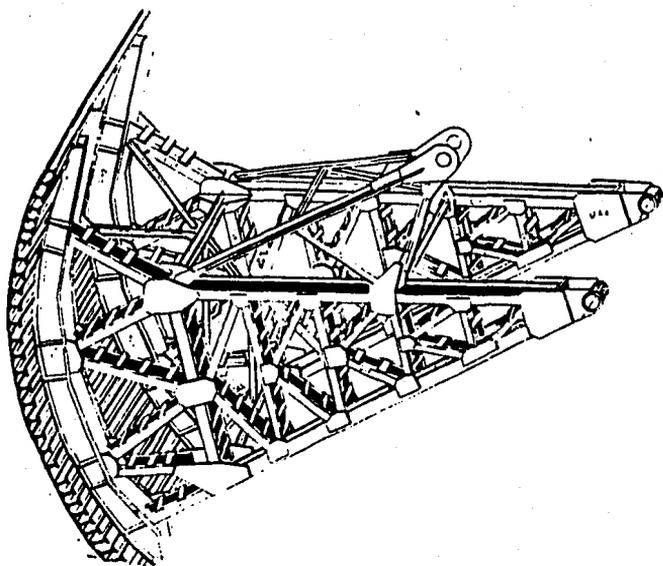
UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

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.

COMPUERTA RADIAL



I N D I C E

I.- INTRODUCCION	1
1.- Antecedentes	1
1.1.- Obras Hidráulicas	1
1.1.1.- Elementos constitutivos de un aprovechamiento - superficial	1
1.1.2.- Obra de control y exce- dencias	3
1.2.- Compuertas Hidráulicas	4
1.2.1.- Funciones y tipos	4
1.3.- Datos del proyecto	9
1.3.1.- Obra de excedencias ...	9
1.4.- Objetivo.....	11
II.- ESTRUCTURACION	12
2.1.- Antecedentes	12
2.1.1.- Compuertas radiales estruc- turadas a base de - largueros horizontales- y vigas curvas vertica- les	13
2.1.2.- Compuerta radial estruc- turada a base de costi- llas verticales y vigas maestras	13
2.1.3.- Compuerta radial estruc- turada a base de largue- ros horizontales, vigas curvas verticales y cu- bierta de espesor varia- ble	14
2.2.- Elementos estructurales de una compuerta radial	19

2.2.1.- Pantalla	19
2.2.2.- Vigas extremas	20
2.2.3.- Brazos	21
2.2.4.- Mecanismo de izaje	22
2.2.4.1.- Orejas y cadenas de izaje	23
2.2.4.2.- Armadura y ore-- jas	24
2.2.5.- Chumacera	25
III.- SOLICITACIONES	26
3.1.- Solicitaciones	26
3.1.1.- Acciones permanentes ..	26
3.1.2.- Acciones variables	26
3.1.3.- Acciones accidentales .	27
3.2.- Obtención del empuje hidrostá- tico sobre la compuerta	29
3.3.- Cargas accidentales	33
IV.- PREDISEÑO	39
4.- Antecedentes	39
4.1.- Pantalla o cubierta	41
4.2.- Largueros	46
4.3.- Vigas curvas extremas	51
4.4.- Armadura principal	59
4.5.- Brazos	65
V.- DISCRETIZACION DE LA ESTRUCTURA Y CARGAS - PARA SU ANALISIS POR COMPUTADORA	73
5.1.- Discretización de la estructu- ra	73
5.2.- Discretización de cargas	79
VI.- MODELOS ESTRUCTURALES ESTUDIADOS	82
6.1.- Elección del modelo estructu-- ral a emplear	82
6.2.- Combinaciones de carga y apoyo	85

6.3.- Tipos y propiedades de las secciones	89
VII.- INTERPRETACION DE ELEMENTOS MECANICOS	94
7.1.- Descripción	94
7.2.- Resumen de elementos mecánicos	97
7.2.1.- Largueros	97
7.2.2.- Vigas curvas verticales	101
7.2.3.- Brazos y armadura principal	103
7.2.4.- Tirantes del mecanismo de izaje	105
7.2.5.- Puntales perpendiculares a los brazos	105
7.2.6.- Contraventeo del mecanismo de izaje	106
VIII.- DISEÑO	107
8.1.- Diseño y revisión de secciones propuestas	107
8.1.1.- Pantalla	107
8.1.2.- Vigas curvas verticales	115
8.1.3.- Armadura principal	121
8.1.4.- Brazos	125
8.1.5.- Mecanismo de izaje	129
8.1.6.- Rodillos, remate inferior y sellos	131
8.1.6.1.- Rodillos	131
8.1.6.2.- Remate inferior.	134
8.1.6.3.- Sellos	136
8.2.- Conexiones	137
8.2.1.- Unión de la cubierta a los largueros	138
8.2.2.- Unión de los largueros con las vigas curvas ..	140

8.2.3.- Unión de la viga curva- con la armadura princi- pal	142
8.2.4.- Unión de la armadura -- principal con la armadu ra secundaria y brazos.	146
8.2.5.- Unión de la armadura -- principal con la armadu ra secundaria	146
8.2.6.- Unión de los brazos con el mecanismo de izaje y la armadura secundaria.	147
8.2.7.- Unión de los brazos y - el buje de la compuerta	147
8.2.8.- Diseño de las uniones - para las secciones com- puestas	148
8.2.8.1.- Viga curva	148
8.2.8.2.- Brazos	149

IX.- CONCLUSIONES 150

BIBLIOGRAFIA 156

CAPITULO I

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

Antes de iniciar el presente diseño, es necesario -- dar ciertos antecedentes, así como ubicar dentro de un -- sistema hidráulico una compuerta, sus diferentes funcio-- nes y tipos.

1.- ANTECEDENTES

1.1.- OBRAS HIDRAULICAS

Son un conjunto de estructuras construídas con el ob-- jeto de manejar el agua; con fines de aprovechamiento o -- defensa. De acuerdo a estos fines se clasifican en:

APROVECHAMIENTO

- A).- Abastecimiento de agua a poblaciones
- B).- Riego de terrenos
- C).- Producción de fuerza - motriz.
- D).- Navegación Fluvial
- E).- Entarquinamiento
- F).- Recreación

DEFENSA

- A).- Contra inundaciones
- B).- Contra azolve

1.1.1.- ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UN APROVECHAMIENTO SUPERFICIAL

Los elementos constitutivos de un aprovechamiento -- hidráulico, son generalmente siete y se describen a conti-- nuación:

- | | |
|-------------|--|
| 1.- Cuenca: | Area de captación o cuenca-hidrográfica de un río. |
| 2.- Presa: | Almacenamiento formado por una presa, en un sitio previamente escogido. Es aquí, donde se cambia el régimen- |

de escurrimiento natural, - al régimen artificial de la demanda. Es conveniente el citar que una presa consta de las siguientes partes: Vaso, cortina obra de desvío, obra de toma y obra de excedencias.

Siendo de gran importancia para el presente estudio esta última, ya que es aquí donde se encuentra la estructura motivo del presente trabajo.

3.- Presa de:
Derivación

Por medio de una presa se deriva el escurrimiento del río hacia el Sistema de Conducción y que por conveniencia a menudo se localiza a niveles superiores de los - del río.

4.- Sistema de:
Conducción

Puede estar formado por conductos abiertos o cerrados y son estos conductos, la estructura a través de la - cual se conduce el agua desde la derivación, hasta la zona de aprovechamiento.

5.- Sistema de:
Distribución

Se construye de acuerdo con el fin específico del aprovechamiento. Por ejemplo: Canales de riego por gravedad, tuberías a presión para plantas hidroeléctricas y poblaciones, etc.

6.- Utilización:
Directa del agua

La cual se efectúa también mediante elementos específicos, dependiendo del fin de

que se trate. Por ejemplo: Turbinas en el caso de plantas hidroeléctricas, tomas domiciliarias en el caso de abastecimiento de agua, o bien procedimientos directos de riego.

7.- Eliminación de:
Volúmenes

Esta eliminación se lleva a cabo por medio de un conjunto de estructuras especiales. Por ejemplo: Sistema de alcantarillado, drenes, o bien estructuras de desfoque en el caso de hidroeléctricas.

1.1.2.- OBRA DE CONTROL Y EXCEDENCIAS

Son estructuras que forman parte intrínseca de una presa cuya función es la de permitir la salida de volúmenes de agua excedente a los de aprovechamiento.

Lo anterior establece de manera tácita la condición de que previamente se haya satisfecho la capacidad de aprovechamiento de la presa; o sea que el vaso se encuentre lleno hasta su nivel de conservación, o máximo de operación, antes de que inicien los desfuegos.

Para poder regular la salida de volúmenes excedentes es necesario contar con una estructura adicional que hace las veces de válvula, con la cual se regulan y controlan las aguas excedentes; llamada compuerta hidráulica.

1.2.- COMPUERTAS HIDRAULICAS.

1.2.1.- FUNCIONES Y TIPOS.

En la actualidad las compuertas hidráulicas se utilizan para la regulación de gastos, como emergencia y cierre para mantenimiento. Se construyen de manera que el miembro de cierre quede por completo fuera del conducto, cuando la compuerta se encuentra completamente abierta.

Las compuertas hidráulicas, se diseñan de diferentes tipos con peculiaridades en su operación y en sus miembros de cierre, que permiten clasificarlas en tres grupos generales.

A).- COMPUERTAS DESLIZANTES.

En estas compuertas el mecanismo de cierre y obturación se mueve sobre superficies lisas deslizantes, que sirven a la vez como apoyo y sello.

Generalmente se construyen de acero colado y se usan en estructuras de canales, y en algunas obras de toma en presas o tanques de regulación. Para este último caso se pueden instalar una adelante de otra, una como emergencia y otra como regulación.

La hoja de la compuerta o elementos de obturación, se acciona mediante un mecanismo elevado, a través de un vástago o flecha de acero estirado en frío. La siguiente figura muestra un croquis de una instalación general de este tipo.

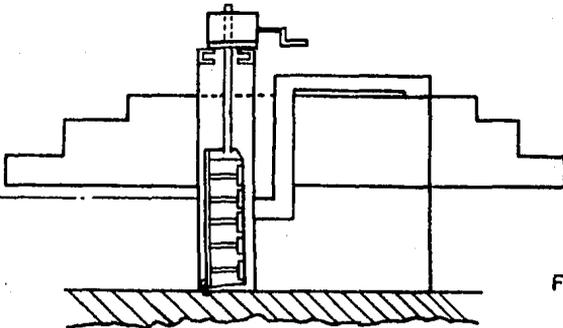


FIG. 1.2.1.A.

Una variante de compuertas deslizantes son las llamadas de aguja o sea una mampara para cierre temporal, o de emergencia de cualquier tipo de estructura. Se pueden --- construir de madera, de acero o de concreto reforzado, de pendiendo de el claro y cargas. Una compuerta de este ti po se muestra en el siguiente croquis.

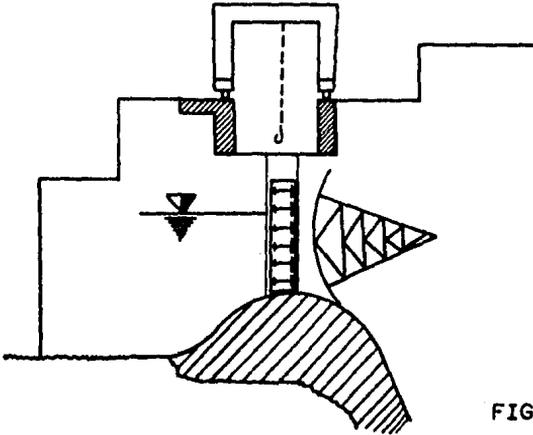


FIG. 1.2.1.A.1.

B).- COMPUERTAS RODANTES.

En estas compuertas el elemento de cierre u obtura-- ción se mueve en un tren de ruedas hasta el momento preci so de condición estanca, ya sea que la hoja quede sentada sobre el marco de apoyo o que siguiendo apoyada sobre las ruedas selle perimetralmente. El objetivo principal de - las ruedas es el de evitar la fricción que se presenta en tre la compuerta y el apoyo guía, ya que las compuertas - deslizantes presentan fricciones muy grandes, con lo que se requiere de mas potencia para su izaje, y en ocasiones también se dificulta el cierre, debido a que este se lo-- gra a través de la caída libre de la compuerta, unicamen te con su peso propio. Además el acero del apoyo y el de la compuerta deben de ser de diferente aleación, para evi tar que se suelten a grandes presiones.

Las compuertas rodantes se utilizan en obras de toma profunda, para el caso de emergencia y servicio, así como para cierre en la condición de reparación y mantenimiento en conductos de agua a presión. Ruedan a su condición de sello debido a su peso propio, y se izan con cadenas o cables por medio de gruas especiales. Generalmente se diseñan de modo que puedan izarse fuera de la superficie del agua, hasta una caseta de operación donde se les puede dar mantenimiento.

Este tipo de compuertas al igual que las deslizantes requieren de un mecanismo de izaje un tanto complicado y de gran potencia, con lo que su operación es lenta, y se necesita un amplio espacio vertical para su apertura total.

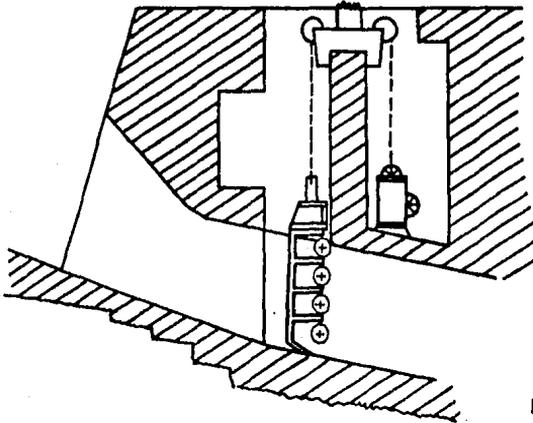


FIG. 1.2.1.b.

C).- COMPUERTAS RADIALES

Se llaman compuertas radiales debido a que tienen la forma de una porción de cilindro, y giran alrededor de un eje horizontal. Generalmente el agua actúa en el lado convexo, aún cuando en ocasiones la presión hidrostática ha sido aplicada en el lado cóncavo.

La presión hidrostática en la placa cilíndrica, se transmite a vigas horizontales o verticales, las cuales a su vez son soportadas por dos o más brazos radiales que

convergen en un perno de apoyo, el que se localiza en el eje del cilindro.

Este tipo de compuertas se usan en vertedores de presas para control, en canales de irrigación y fuerza motriz para regular el flujo, así como en obras de toma.

Las compuertas radiales también llamadas de segmento presentan las siguientes características que con frecuencia las hacen convenientes para el tipo de servicio de un vertedor de avenidas.

- .- Requieren de un mecanismo de izaje de relativa poca capacidad, pues durante la operación se cuenta con un punto de apoyo (El perno del eje de rotación), que permite el efecto de palanca de segundo orden.
- .- Seguridad y economía comprobadas.
- .- Cada compuerta requiere de dos chumaceras que generalmente son autolubrificantes, y están casi siempre arriba del agua, fácilmente accesibles.
- .- No requieren de nichos laterales ni de rieles pesados que deben instalarse con extrema precisión al construirse las pilas, por el contrario, las placas curvas del muro necesarias para compuertas radiales son ligeras y de fácil instalación.
- .- No presenta problemas de flotación si se hace coincidir el eje de rotación con el centro de arco del segmento; o por el contrario, pueden utilizarse la fuerza de flotación, con el fin de reducir la potencia necesaria para el izaje, o bien para disponer de compuertas de apertura automática. El siguiente croquis muestra una instalación general de este tipo.

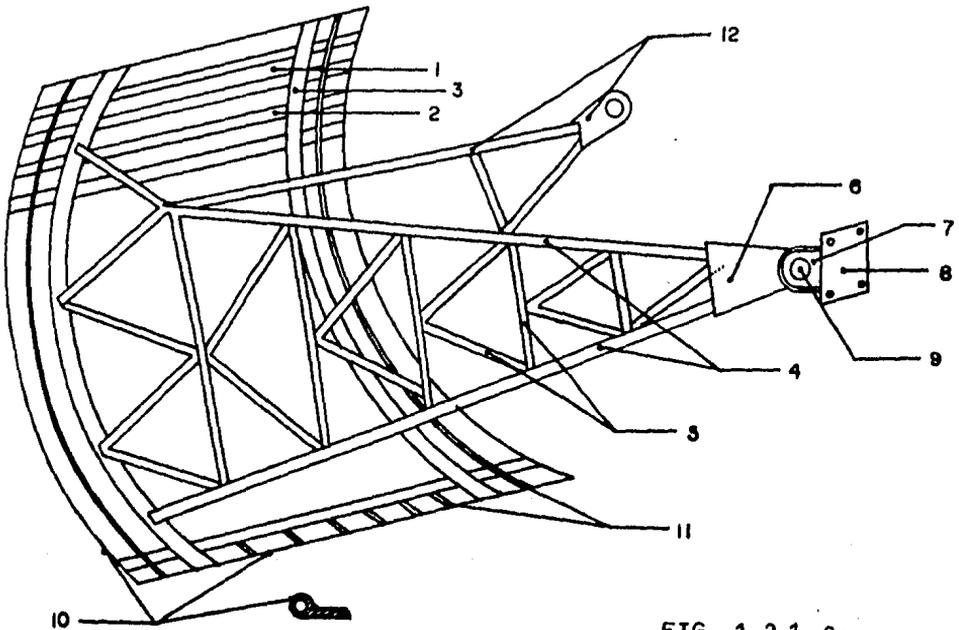


FIG. 1.2.1.c.

Los elementos de que consta una compuerta radial son los siguientes:

- 1.- Cubierta
- 2.- Largueros
- 3.- Vigas curvas (Extremas)
- 4.- Los brazos
- 5.- Contraviento
- 6.- Placas laterales en la unión de los brazos.
- 7.- Cubo de los brazos y buje.
- 8.- Soporte del perno.
- 9.- Eje o perno
- 10.- Sellos
- 11.- Atiesadores
- 12.- Orejas y mecanismo de izaje.

1.3.- DATOS DEL PROYECTO

Las dimensiones requeridas para el diseño estructural del presente estudio de compuerta radial, son las siguientes:

- a).- Ancho de la compuerta _____ a
- b).- Altura de la compuerta _____ H
- c).- Radio de la placa _____ R
- d).- Posición del perno, --
respecto al umbral --
de la compuerta _____ Y
- e).- Presión total en la -
compuerta cuya resul-
tante debe de pasar -
por el centro del per-
no _____ F

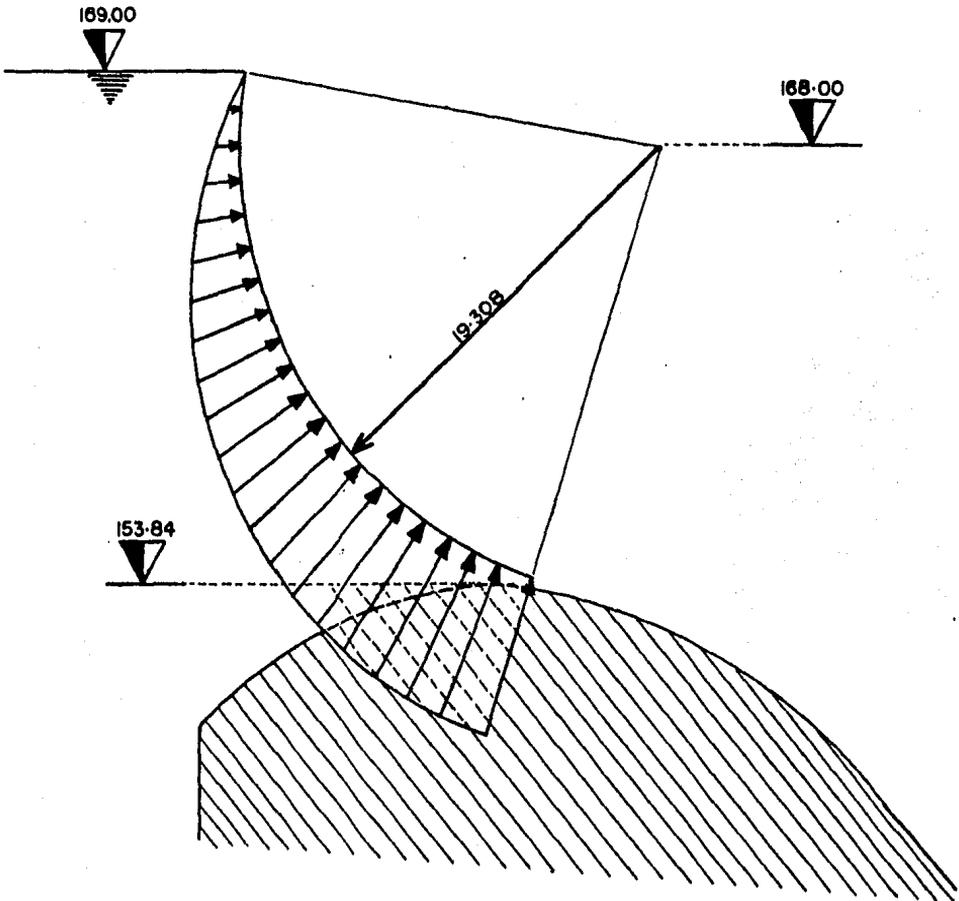
Los datos considerados para el presente trabajo fueron tomados del Sistema Hidroeléctrico del río Balsas, -- planta El Infiernillo en el Estado de Michoacán.

1.3.1.- OBRA DE EXCEDENCIAS

Está constituida por tres vertedores en túnel, cada-vertedor será operado por tres compuertas radiales. Ha sido proyectado para desalojar una avenida de entrada de $38,777 \text{ m}^3/\text{seg.}$, alcanzando el agua sobre su tránsito las elevaciones 176.80 msnm y 79.40 msnm aguas arriba y aguas abajo respectivamente; la apertura de las compuertas se iniciará al alcanzar el agua la elevación de 169.00 , desalojando $10,350 \text{ m}^3/\text{seg.}$ en total por los tres túneles. --- Después del tránsito de la avenida el nivel del agua descenderá hasta la elevación 167.50 msnm iniciándose entonces el cierre de las compuertas.

De acuerdo a los datos anteriores y a la geometría -
de la cortina se obtuvieron los siguientes datos:

Elev. del labio superior de la comp.	169.00 msnm
Elev. del labio inferior de la comp.	153.84 msnm
Elevación del muñón	168.00 msnm
Separación entre pilas	7.42 mts.
Radio	19.308 mts.



1.4.- OBJETIVO

Los esfuerzos de un ingeniero que diseña una estructura y de un constructor que construye la obra, están encaminados hacia el mismo fin, que es la creación de algo que sirva en una forma satisfactoria al fin a que está en caminata.

El presente trabajo muestra en forma breve el proceso para la ocupación de paquetes de análisis estructural para computadora, para analizar estructuras en el plano y en el espacio.

Actualmente se ha dado un gran auge a la ocupación de métodos de análisis estructural que requieren de la utilización de sistemas de ecuaciones lineales, cuya solución necesita la ayuda de métodos sofisticados y de largo proceso de solución, los que se han implementado en paquetes de computadora, de fácil utilización, que reducen el tiempo de proceso y permiten hacer varias consideraciones tanto en condiciones de apoyo como en combinaciones de carga.

El objetivo del presente trabajo es diseñar una estructura, que está condicionada geométrica y operativamente por la obra de control de excedencias, además, a varios tipos de solicitaciones tales como: peso propio, empuje hidrostático, sismo en el agua y estructura, así como también algunas combinaciones de éstas, variando además sus condiciones de apoyo de acuerdo a su proceso de operación.

Para poder cumplir con este objetivo, fué necesaria la recopilación de información de proyectos y trabajos anteriores al presente, así como recomendaciones, criterios de análisis, normas y manuales extranjeros, las cuales se han venido utilizando en el diseño de este tipo de estructuras.

CAPITULO II

E S T R U C T U R A C I O N

2.1.- ANTECEDENTES

Tomando como antecedentes las distintas compuertas radiales que se han construido en México, así como algunas recomendaciones y criterios de diseño, se procedió a definir la geometría de la compuerta. Cabe mencionar que la mayor parte de las compuertas que se han construido en México, son de diseño, criterio y normas extranjeras, por lo que tendremos que basarnos en éstos.

Existen distintos criterios para el diseño de compuertas radiales, generalmente todas coinciden en la misma geometría, variando únicamente la disposición de sus elementos de acuerdo a las solicitudes.

Anteriormente se mencionó que una compuerta radial recibe este nombre debido a que está formada por una pantalla que tiene la forma de un segmento de cilindro en donde la presión hidrostática actúa directamente sobre las placas de la pantalla, esta carga es transmitida a un encamado de vigas horizontales o verticales, las cuales a su vez transmiten esta carga a dos vigas extremas, éstas son soportadas por los brazos radiales que convergen en un perno que se apoya en el eje del cilindro. Una vez descrita brevemente la compuerta, citaremos los criterios más usuales para definir la geometría. La principal diferencia entre los distintos tipos de estructuración, radica en la disposición de los elementos de la pantalla, tratando de obtener el mejor funcionamiento de la estructura, el menor peso posible y la mayor economía, siempre dentro de los límites de seguridad que requiere una estructura de este tipo.

2.1.1.- COMPUERTAS RADIALES ESTRUCTURADAS A BASE DE LARGUEROS HORIZONTALES Y VIGAS CURVAS VERTICALES.

Esta compuerta tiene la cubierta formada toda de un solo espesor, con un encamado de vigas dispuestas horizontalmente, y espaciadas no uniformemente, sino según sea el diagrama de presiones hidrostáticas que para compuertas de superficie se presenta en forma triangular; Así, la separación de los largueros irá disminuyendo de arriba hacia abajo. Estos elementos se apoyan directamente en dos vigas verticales que siguen la curvatura de la cubierta y que están situadas una a cada lado de la compuerta. Por último cada viga se apoya en los brazos que pueden ser uno, dos, tres o más según el diseño elegido por el proyectista.

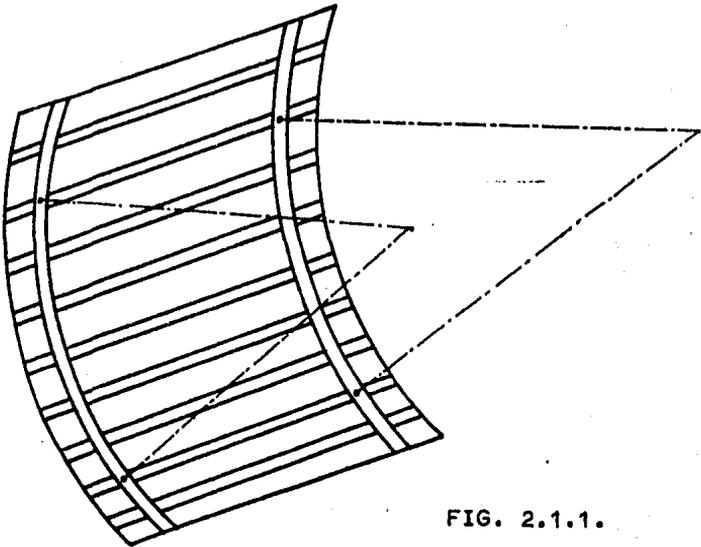


FIG. 2.1.1.

2.1.2.- COMPUERTA RADIAL ESTRUCTURADA A BASE DE COSTILLAS VERTICALES Y VIGAS MAESTRAS.

En esta segunda alternativa de compuerta radial, la-

cubierta presenta un espesor variable, mientras que los elementos en que se apoya, se espacian uniformemente y forman una encamada de vigas verticales que siguen la curvatura de la compuerta, estas costillas descansan en las vigas maestras, que son tantas como brazos haya de cada lado y dispuestas horizontalmente a todo lo ancho de la compuerta.

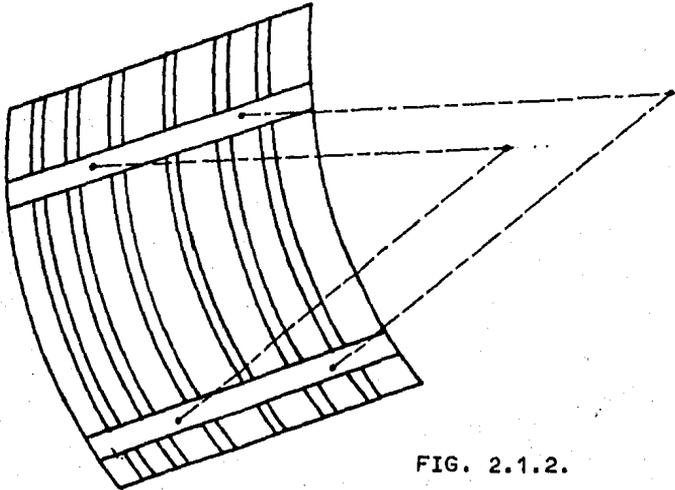


FIG. 2.1.2.

2.1.3.- COMPUERTA RADIAL ESTRUCTURADA A BASE DE LARGUEROS HORIZONTALES, VIGAS CURVAS VERTICALES Y CUBIERTA DE ESPESOR VARIABLE.

Estas compuertas tienen la cubierta formada por placas de espesor variable, ya sea en dos, tres, o mas espesores distintos, dependiendo de su tamaño y cargas actuales. Estas placas son soportadas por un encamado de vigas horizontales, de igual sección en cada tramo de igual espesor de placa, espaciadas según sea el diagrama de presiones. La sección de estas vigas será menor entre menor sea la presión hidrostática en estas zonas. Los elementos restantes funcionan de igual forma a lo expuesto en el primer criterio.

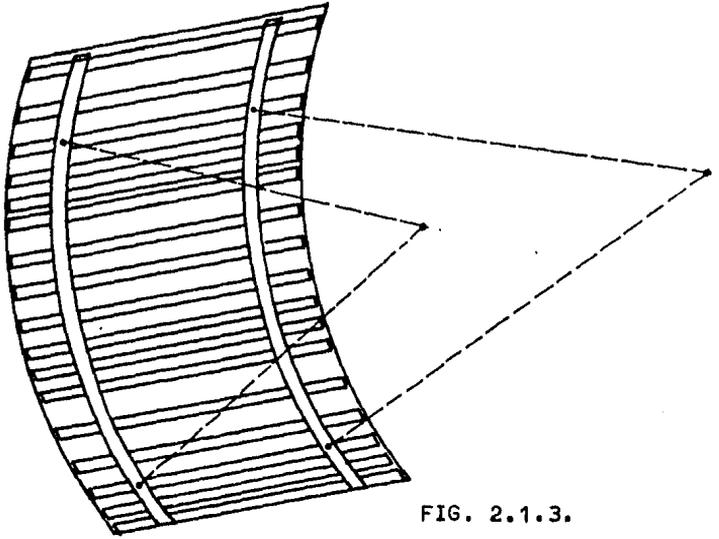


FIG. 2.1.3.

Un criterio que se utiliza frecuentemente para decidir que tipo de estructura elegir, es el siguiente: Para compuertas donde el ancho es mayor que su altura, estructurarse con costillas verticales y para compuertas donde la altura es mayor que el ancho, diseñese a base de largueros horizontales. Sin embargo, esta sugerencia que estadísticamente puede tenerse por buena, no necesariamente debe tomarse como norma de diseño, pues solo un estudio preliminar para cada caso de diseño en particular puede demostrar la solución más adecuada.

Por otro lado la solución más económica también debe de tomar en cuenta, la facilidad y sencillez en el proceso constructivo y de montaje, pues una diferencia en peso muy pequeña no puede aceptarse como definitiva sin antes analizar la solución más viable constructivamente, sin perder de vista también un buen funcionamiento estructural, siendo este último el que rige sobre los demás.

Para poder definir que tipo de estructuración seguir, se realizó un análisis preliminar en el que se consideraron las siguientes alternativas:

A).- ESTRUCTURACION CON COSTILLAS CURVAS VERTICALES-
Y VIGAS MAESTRAS.

El análisis de las costillas verticales se hizo considerandolas rectas y simplemente apoyadas en las vigas maestras; los apoyos que proporcionan las vigas maestras se colocaron de tal forma que compensarán los momentos -- provocados por los volados de los extremos con el momento máximo entre apoyos, ésto con el fin de obtener una sección más ligera y constante a todo lo largo del elemento; sin perder de vista que los brazos y por tanto las vigas maestras, deben estar centradas con la resultante del empuje hidrostático.

Como resultado de este análisis se observó que los elementos mecánicos de las costillas verticales eran muy grandes, debido a la separación entre apoyos, obteniéndose con ésto secciones muy grandes.

Como posible solución a lo anterior se dieron las siguientes alternativas:

a).- Reducir la longitud entre costillas verticales, ésto con el objeto de disminuir su ancho tributario y por tanto la carga actuante, aunque ésto soluciona en parte el problema, se presenta un incremento considerable en el peso de la compuerta, ya que al disminuir la longitud entre costillas se aumenta el número de éstas, solución que en vez de disminuir el peso de la estructura lo incrementa.

b).- Colocar apoyos intermedios adicionales entre las vigas maestras. Esto se consigue colocando otros brazos intermedios que sirvan de apoyo a una nueva viga maestra, o bien creando una armadura vertical entre los brazos, la cual servirá de apoyo a la viga maestra adicional.

En la primera alternativa de colocar brazos y vigas se encontró un inconveniente, ya que al disponer los

apoyos de las costillas de la manera mas conveniente se descentraron los brazos respecto a la resultante del empuje hidrostático, cargándose más el brazo adicional y variando las acciones en los otros brazos, incrementándose con esta solución de manera considerable el peso de la compuerta.

Colocar apoyos intermedios a base de una armadura -- vertical entre los brazos fué la segunda alternativa, aquí no hubo problemas para colocar los apoyos ya -- que los brazos se dispusieron simetricamente y los -- apoyos adicionales se colocaron donde se requerían -- sin causar diferencias entre las cargas de los brazos. Esta solución resultó ser más ligera que la anterior, ya que la armadura es de menor peso que los brazos, requiriéndose unicamente de la armadura y viga maestra adicional.

Como conclusión de esta estructuración se encontró -- que en las tres alternativas los elementos mecánicos son muy grandes, y al tratar de reducir éstos el peso de la -- compuerta aumenta.

B).- ESTRUCTURACION A BASE DE LARGUEROS HORIZONTALES Y VIGAS CURVAS VERTICALES

En esta segunda alternativa la pantalla se encuentra formada a base de largueros horizontales apoyados en dos vigas extremas, aprovechando los extremos de los largueros como volados para reducir al máximo la sección. La separación entre largueros está en función de la variación del diagrama de presiones, es importante mencionar -- que existe un punto en el cual es más conveniente aumentar el espesor de las placas que forman el forro de la -- pantalla que disminuir la separación entre largueros, ya que se incrementa el peso de la pantalla debido al aumento del número de largueros.

Al realizar el análisis de los largueros espaciados--según el diagrama de presiones y apoyados a una distancia $L/5$ para cada volado,, (Que es donde se compensan los mo--mentos), se encontraron elementos mecánicos pequeños que--nos conducen a secciones ligeras que debido a su separa--ción nos permiten variar el espesor del forro conforme al diagrama de presiones.

Las vigas extremas se analizaron suponiendolas rec--tas y apoyandolas simplemente en los extremos de los bra--zos, al igual que en el primer caso estos apoyos se colo--caron a modo de obtener la sección más ligera, aprovechan--do los dos extremos como volados y compensando los momen--tos provocados por éstos, con los que se presentan entre a--poyos, sin perder de vista la correcta disposición de los brazos respecto a la resultante del empuje hidrostático.-- Contando unicamente con dos apoyos para toda la viga se --encontraron elementos mecánicos muy altos; tomando como --referencia el análisis del inciso a), se dió solución a --esto implementando una armadura vertical entre los brazos con lo cual se puede colocar uno o más apoyos intermedios sin necesidad de otra viga maestra, reduciendose con es--tos apoyos las longitudes de la viga curva y por tanto --los elementos mecánicos.

Estos resultados reafirman la idea de que los elemen--tos sobre los que apoya la cubierta, costillas o largue--ros, deberán elegirse de manera que tengan la dimensión --más corta, ésto es; para compuertas donde el ancho sea --mayor que la altura se estructurará con costillas vertica--les y para compuertas en donde su altura es mayor que el--ancho, se diseñará a base de largueros horizontales.

En base a los resultados del preanálisis y recomenda--ciones antes mencionadas, se concluyó que la estructura--ción más adecuada para este caso es a base de largueros --horizontales y vigas curvas verticales; el aspectos cons--tructivo que también es importante para definir que es---

tructuración es la más económica, resulta ser igual para ambas partes, ya que su proceso constructivo y de montaje son similares, pudiéndose optar por cualquiera de las -- dos.

A continuación se procede a citar los elementos constitutivos de una compuerta radial estructurada a base de largueros horizontales y vigas curvas verticales así como algunas de sus características y consideraciones para el análisis.

2.2.- ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE UNA COMPUERTA RADIAL.

2.2.1.- PANTALLA.

Será una estructura formada por placas de espesor variable, dicho espesor estará en función de la separación entre largueros horizontales y empuje hidrostático; el -- principal objetivo para la estructuración de la pantalla, consiste en encontrar un punto medio entre la separación de los largueros y el espesor de la placa; ya que si la -- separación entre largueros es muy grande el espesor de la placa aumenta, y si la separación entre largueros se reduce para disminuir el espesor de la placa, se requiere de una mayor cantidad de ellos, con lo que se puede ver que en ambos casos el peso de la pantalla aumenta.

El análisis de la cubierta (forro o placa), se hará considerando una franja vertical de ancho unitario y cargada con la presión hidrostática, apoyada simplemente sobre los largueros horizontales.

Los largueros se diseñarán dependiendo de la separación que obtengamos del análisis anterior, con lo que podemos obtener la carga tributaria por cada larguero. Se considera para el análisis que son vigas simplemente apoyadas en las vigas curvas extremas.

2.2.2.- VIGAS EXTREMAS

El cálculo de las vigas curvas verticales presenta otro problema muy especial, ya que para lograr la sección más ligera, se deben colocar los apoyos de ésta de una forma tal que esté soportada por los extremos de los brazos y por dos o más apoyos intermedios, estos apoyos se deben de colocar tratando de obtener una sección constante a todo lo largo de la viga.

La longitud entre los apoyos está en función de la variabilidad de la carga, por lo tanto en la parte más baja de la viga, donde la presión es mayor, la separación entre apoyos será menor, e irá aumentando conforme la presión disminuye.

Generalmente, y con el objeto de aprovechar la sección estructural al máximo, la parte superior e inferior de las vigas extremas, están formadas por dos volados, con una longitud relativamente corta, procurando que el momento máximo negativo provocado por los volados, sea igual al momento máximo positivo que se presenta entre apoyos.

Las vigas extremas al igual que la cubierta, siguen la curvatura de un segmento de cilindro, debido a esta geometría tiene la capacidad de tomar parte del empuje hidrostático como un esfuerzo normal, además esta curvatura proporciona cierta rigidez que le ayuda a disminuir los efectos de flexión cuando la carga actúa en la cara cóncava del cilindro. Generalmente para quedar dentro de los límites de seguridad y facilitar su diseño, se considera la viga como recta, tomando para el análisis, su longitud de arco. El análisis se hará tomando la viga como recta, es decir desdoblándola y considerándola como simplemente apoyada en los extremos de los brazos y apoyos intermedios, cargada con el empuje hidrostático correspondiente.

2.2.3.- BRAZOS.

El diseño y cálculo de los brazos demanda mucha atención por la diversidad y magnitud de las cargas a que están sujetos, siendo grave para la compuerta y la presa, - cualquier falla que se pudiera presentar.

Para poder dimensionar esta parte, es preciso determinar su longitud y localización. Así, la longitud de -- los brazos será función de la distancia disponible entre la cubierta y el perno de la compuerta, reduciéndose el - peralte y los patines de las vigas extremas y los largue-- ros horizontales, así como la longitud de la placa que -- forma la unión de los brazos con la chumacera. Esta últi-- ma deberá suponerse tomando en cuenta una longitud que ri-- gidice convenientemente la unión y que facilite la cons-- trucción, el montaje y la aplicación de soldadura en la - parte que se requiera.

Los brazos se diseñan normalmente para los esfuer-- zos combinados siguientes; los cuales no necesariamente - se presentan en todos los casos.

- 1.- Compresión axial debido a la presión hidrostática.
- 2.- Flexión alrededor del eje de mayor momento de -- inercia transmitido por las vigas horizontales.
- 3.- Flexión debido a la fricción entre el buje del - cubo y el eje o perno de la compuerta, respecto-- al menor momento de inercia.
- 4.- Flexión debido al movimiento lateral de la com-- puerta .
- 5.- Flexión alrededor del eje de menor momento de -- inercia, debido al peso propio de la compuerta.

Generalmente los brazos son las cuerdas de una arma-- dura, las cuales se inician en el perno o eje de la com-- puerta y van divergiendo hacia la pantalla. Los brazos -- normalmente se hacen pasar centrados con respecto a la re

sultante del empuje hidrostático, ésto con el fin que los dos brazos o cuerdas de la armadura estén sometidos a la misma carga, evitándose con esto los posibles problemas de flotación.

Otra variable que interviene para definir la posición de los brazos, suele ser la cantidad de apoyos intermedios que se requieran para soportar las vigas curvas extremas, ya que como se mencionó en el inciso anterior hay que colocar tantos apoyos como sea posible, con el fin de reducir la sección de las vigas extremas, sin incrementar demasiado el peso de la estructura.

Los brazos se unen entre sí por medio de montantes y diagonales, con lo que se forman las armaduras; los montantes se colocan a modo de restringir la longitud de pandeo respecto al eje de menor momento de inercia, esta longitud entre montantes debe ser tal que se igualen las relaciones de esbeltez respecto a los dos momentos de inercia, ya que en el eje de mayor momento de inercia, no hay posibilidad de arriostrarlos, a menos que se coloque otra armadura horizontal adicional.

2.2.4.- MECANISMO DE IZAJE

Son dos los criterios más usuales para el diseño del mecanismo de izaje, el más común es el formado por orejas y cadenas, el cual presenta ciertos inconvenientes como son:

- 1.- Vibraciones en la cadena al izar la compuerta.
- 2.- Presión adicional sobre la pantalla debido al contacto que se presenta entre la cadena y la pantalla al tirar de la cadena.
- 3.- El mecanismo se encuentra aguas arriba de la pantalla, con lo que queda cubierta totalmente por el agua y presenta ciertas dificultades operativas, constructivas y de mantenimiento.

Otro criterio es, formar una armadura secundaria, la

cual se encuentra situada aguas abajo de la pantalla, --- uniendo los dos brazos o más de la compuerta. La armadura está formada por secciones metálicas comunes, y es --- accionada por cadenas o directamente con un servomotor.

A continuación, se exponen brevemente los dos casos.

2.2.4.1.- A).- OREJAS Y CADENAS DE IZAJE.

La oreja es el mecanismo de enganche que permite --- izar o bajar la compuerta mediante un cable o cadena, --- accionado por un malacate desde el puente de maniobras, - situado éste inmediatamente arriba de la compuerta y cla- reando entre pilas.

Las orejas normalmente son dos, colocadas a los ex- tremos y en la parte inferior de la pantalla, es recomen- dable que coincidan o que estén lo más próximo posible a- los brazos inferiores, pues así se consigue una mejor --- transmisión de esfuerzos.

Las orejas se construyen de una placa metálica recor- tado en tal forma como su nombre lo dice. Un orificio -- permite la entrada del primer eslabón de la cadena. Para que las placas que forman los eslabones no tengan contac- to directo con las orejas desgastandolas prematuramente, - se colocan arandelas de bronce, las cuales son mas resis- tentes al rosamiento.

Para el diseño de las orejas es necesario saber la - fuerza que va a resistir, la cual corresponde al peso de- la compuerta, mas la fuerza de fricción entre el buje y - el perno, así como también la fricción generada entre los sellos y guías laterales.

Se recomienda diseñar para la condición más desfavo- rable que ocurre cuando se rompe una cadena.

La cadena en realidad no se diseña puesto que exis- ten tamaños estandares para las distintas cargas.

Para absorber la presión que las cadenas ejercen so- bre la pantalla, y para impedir la fricción directa sobre ésta, deberán colocarse sobre-placas en todas las zonas -

donde apoyan las cadenas.

Para evitar las vibraciones en las cadenas, se recomienda forrar las cadenas con fundas de materiales especiales que impidan un libre movimiento lateral.

2.2.4.2.- B).- ARMADURA Y OREJAS

Este mecanismo está formado por un sistema de barras de perfiles estructurales comunes, los cuales sirven de unión entre los brazos y forman una especie de contravientos en la parte posterior de la pantalla.

Esta armadura generalmente se compone por el contraviento antes mencionado y por cuatro tirantes que forman un triángulo en el espacio, los cuales sujetan los brazos superiores de la compuerta, y convergen en un punto en el espacio, donde se unen por medio de una o dos orejas, este punto en el espacio se localiza tras la pantalla y sobre los brazos, a una distancia conveniente de acuerdo a la geometría y cargas. En algunas ocasiones los tirantes se encuentran sometidos a compresión debido a efectos de flotación en la compuerta; donde se puede ver la importancia que tiene el hecho de hacer pasar los brazos de la -- compuerta centrados con la resultante del empuje hidrostático. En algunas ocasiones se aprovecha este efecto de - flotación para contar con compuertas de operación automática, los cuales se accionan automáticamente al llegar el nivel del agua a la altura deseada.

Al igual que en el Sistema de cadenas, es necesario saber que fuerzas van a actuar sobre las orejas y las --- barras de la armadura, esto se hace considerando el peso de la compuerta y las fricciones entre el buje y el perno y la de los sellos laterales.

2.2.5.- CHUMACERA

En la siguiente descripción debe de entenderse por - chumacera, al conjunto formado por el perno y su soporte, así como el cubo de los brazos con su buje, el cual concentra la carga de éstos en el eje o perno alrededor del cual va a girar.

El eje de la compuerta se revisará para la acción de una carga concentrada, la cual corresponde a la carga --- transmitida por los brazos y que es igual a la mitad de - la presión hidrostática.

La transmisión de la carga de los brazos al perno se hace por medio de placas laterales que apoyan directamente sobre un cubo; estas placas tienen además la función - de unir los brazos que forman las cuerdas de la armadura.

Cuando la compuerta es grande se recomienda hacer el soporte del eje por medio de placas soldadas. El soporte podrá rigidizarse mediante atezadores interiores, los -- cuales no deben estorbar el movimiento del cubo y de las - placas de unión, generalmente estas placas se encuentran - sujetas a una trabe que clarea entre pilas mediante an--- clas metálicas, las cuales se encuentran sujetas a un es- fuerzo combinado de tensión y cortante.

CAPITULO III

SOLICITACIONES

3.1.- SOLICITACIONES

Para realizar el análisis de cualquier estructura es necesario saber a que acciones estará sujeta en sus procesos de construcción, transportes, montaje y operación, -- así como los imprevistos o cargas accidentales que se presenten en su vida útil para cierta probabilidad de falla.

Aparentemente es la etapa mas sencilla, sin embargo ofrece el inconveniente de la incertidumbre que tiene su determinación.

En una compuerta radial donde cualquier falla puede causar problemas severos, se deben tomar en cuenta todas las posibles variables que intervengan. Al igual que todas las estructuras estará sujeta a distintas acciones, - las cuales se mencionan a continuación:

3.1.1.- ACCIONES PERMANENTES

Son aquellas que obran sobre la estructura en forma continua y su posición y magnitud no cambian con el tiempo. En el caso particular de una compuerta se considera como carga permanente el peso de la estructura y todos -- sus elementos constitutivos, siendo ésto algo relativo ya que en su proceso de operación la posición de la estructura cambia.

3.1.2.- ACCIONES VARIABLES.

Reciben este nombre debido a que su magnitud y posición varían con el tiempo, y se deben fundamentalmente al peso de personas, mobiliario, equipo, etc., las cuales varían durante la utilización de la estructura. En el análisis de una compuerta radial son estas las mas importantes, debido a que el empuje hidrostático que obra sobre -

la pantalla determina la disposición y magnitud de sus elementos estructurales. Esta acción va aumentando conforme el vaso se va llenando hasta alcanzar el agua la elevación deseada, es en este punto cuando esta acción toma su valor máximo.

Cuando se comienza a izar la compuerta se presenta otra carga variable, se considera dentro de ellas debido a que su magnitud toma un valor cero cuando la compuerta se apoya en el labio inferior, y toma su máximo valor cuando el vaso se halla lleno y se iza la compuerta.

Otros efectos que también pueden intervenir son los provocados por cambios de temperatura, contracciones, vibraciones provocadas por el servomotor y cadenas y acciones dinámicas producidas por el paso del flujo sobre el labio inferior de la compuerta, las cuales merecen ser consideradas en algunos casos.

3.1.3.- ACCIONES ACCIDENTALES.

Estas últimas se caracterizan porque se desconoce el momento en que van a actuar así como su magnitud y frecuencia, la intensidad de estas acciones pueden ser superiores a cualquier valor conocido, tomándose éste en base a datos y ocurrencias probabilísticas.

Representan un accidente en la vida de la estructura y su control queda fuera del alcance del proyectista.

Entre las principales acciones de este tipo, se pueden mencionar las siguientes:

Efectos por sismo; que son acciones dinámicas que se producen en la estructura debido a un sismo, a pesar de ser acciones dinámicas se transforman a cargas estáticas para facilitar su manejo en los análisis, estas acciones se manifiestan de dos formas en una compuerta radial, la primera y más importante es un incremento en el empuje hidrostático debido al movimiento del agua, la segunda como una aceleración de la masa de la estructura en el sentido del sismo.

El empuje hidrostático es una carga variable, que para facilitar el análisis de la estructura se tomará -- como una carga permanente, que adquiere su máximo valor cuando el agua llega a su nivel de almacenamiento. (Que siempre estará abajo del labio superior de la compuerta). No queremos decir que ésta sea una condición extraordinaria, ya que esta carga se presenta cuando en la compuerta se llegó al nivel máximo de almacenamiento.

Otra acción permanente a considerar en el análisis es la carga muerta, que incluye el peso propio de los elementos estructurales, o nó, que van actuar de manera permanente sobre la estructura, tal es el caso de los largueros, cubierta, brazos, sellos, mecanismos de izaje etc.

Los efectos producidos por sismos son acciones dinámicas que generalmente para facilitar su manejo se convierten a cargas estáticas, tratando de crear efectos similares a ésta.

En el análisis de presas se consideran efectos sobre éstas, debido al movimiento del agua ante la presencia del sismo, el mismo criterio se usa para considerar las acciones del agua sobre la compuerta; esta solicitud se reduce a un incremento en el empuje hidrostático este empuje adicional sigue la trayectoria de una parábola, tomando un valor de cero en donde la profundidad es nula y va aumentando conforme la profundidad es mayor. -

Los efectos que causa el sismo sobre la estructura se consideran como una aceleración de la masa de ésta en el sentido del sismo, con lo que obtenemos otra solicitud que es igual al peso de la estructura multiplicado por su coeficiente sísmico y obrando en la dirección del mismo.

Para poder analizar la estructura por computadora se necesita conocer la geometría, cargas actuantes, propiedades prismáticas tentativas de sus elementos constituti

vos y condiciones de apoyo; con lo que se vé claramente la necesidad de realizar un prediseño que nos proporcione estos datos.

La primera parte de este capítulo se enfoca a la obtención del empuje hidrostático, su resultante, magnitud, dirección y sentido, ya que para el análisis a través de medios tradicionales se requiere de esta información; y es a partir de esta sollicitación que se determina la geometría de la estructura y disposición de sus elementos.

En la segunda parte del capítulo se obtendrá el diagrama de empujes hidrodinámicos sobre la compuerta; el cual se aplicará únicamente en el análisis por computadora.

La discretización de las cargas generadas por el empuje del agua se aplicarán en los puntos nadales que se obtengan del modelo de la pantalla, concentrándose en éstos las cargas producidas por su área tributaria; las cuales siempre serán normales a la pantalla y radiales, descomponiéndose después de acuerdo a un sistema global de coordenadas.

Es importante mencionar que no se aplican factores de carga, debido a que el diseño se hará utilizando esfuerzos admisibles de trabajo. A continuación se obtendrán las cargas actuantes sobre la compuerta.

3.2.- OBTENCION DEL EMPUJE HIDROSTATICO SOBRE LA COMPUERTA.

Para determinar las cargas sobre la cubierta se requieren los siguientes datos:

- 1.- Ancho de la compuerta ----- B = 7.42 mts.
- 2.- Altura de la compuerta ----- A = 15.16 mts.
- 3.- Radio del arco que forma la compuerta ----- R = 19.308 mts.
- 4.- Altura del perno o eje de la compuerta. ----- a = 14.16 mts.

- 5.- Altura superior arriba del eje de la compuerta. ----- $b = 1.00$ mts.
- 6.- Altura de carga sobre el apoyo de la compuerta. ----- $H = 15.16$ mts.
- 7.- Angulo del arco activo (Donde actúan las cargas hidrostáticas) de la compuerta arriba de la horizontal. Que pasa por el eje de la compuerta, el cual se obtiene de la relación $\text{sen } \alpha = b/R$. ----- $\alpha = 2.9688^\circ$
- 8.- Angulo del arco de la compuerta abajo de la horizontal que pasa por el eje de ésta, se obtiene de la relación $\text{sen } \theta = a/R$. ----- $\theta = 47.17006^\circ$
- 9.- Angulo total de la cubierta activa de la compuerta, se obtiene de $\phi = |\alpha| + |\theta|$ ----- $\phi = 50.13886^\circ$
- 10.- Peso volumétrico del líquido (agua). ----- $= 1000$ kg/m³
- 11.- Longitud del arco activo de la cubierta -
 $L = R \phi$ ----- $L = 16.896$ mts.

Estos datos se muestran en la siguiente figura.

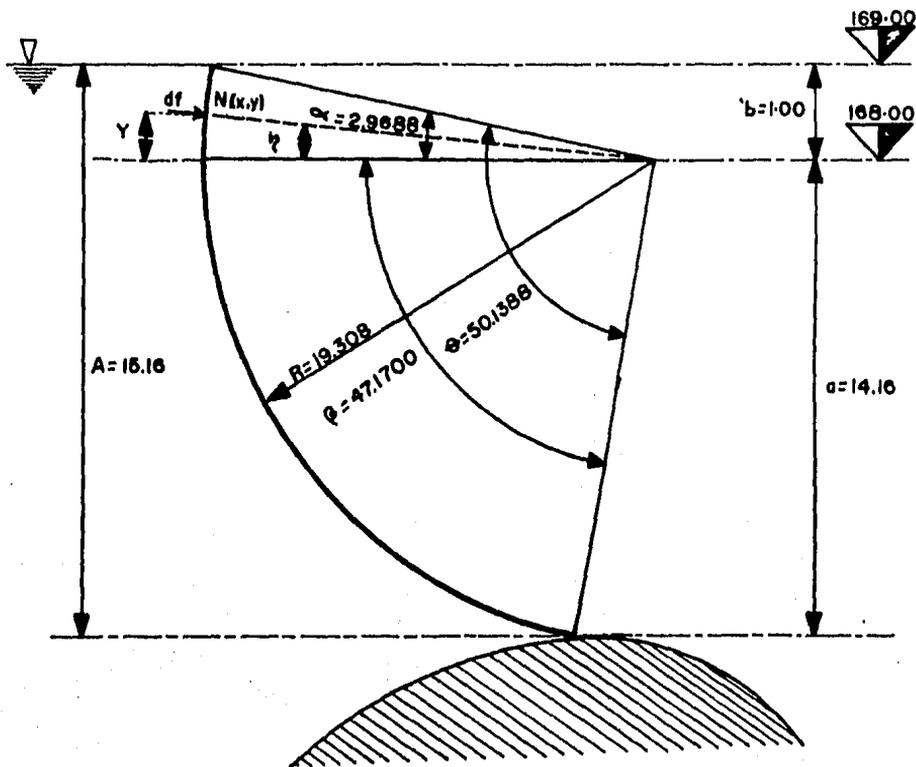


FIG. 3.2.1.

La determinación de la carga se obtiene en referencia a un sistema de ejes coordenados, tomando como origen de éste el perno o eje de la compuerta, considerando como positivas las abscisas de derecha a izquierda y las ordenadas positivas de abajo hacia arriba perpendiculares a la horizontal, los ángulos serán positivos en el sentido de las manecillas del reloj.

A continuación se desarrollan las ecuaciones de empuje hidrostático para cualquier punto N del segmento -- del cilindro.

La presión media ejercida sobre un área plana es -- igual al peso volumétrico del líquido por la profundidad del centro de gravedad de la superficie; esto es $P = \gamma H$,

que para un punto N de coordenadas (X,Y), cuyo radio forma un ángulo con el eje X vale:

$$P = \gamma (R \operatorname{sen} \alpha - y)$$

$$\text{como } y = R \operatorname{sen} \eta$$

$$P = \gamma (R \operatorname{sen} \alpha - R \operatorname{sen} \eta) \text{ ----- (1)}$$

Para un elemento de cubierta de longitud $dl = R d\eta$, se ejerce una fuerza diferencial sobre el área $P B dl$ o sea:

$$df = P B dl = P B R d\eta$$

Sustituyendo ésto en la ecuación (1)

$$df = B R \gamma (R \operatorname{sen} \alpha - R \operatorname{sen} \eta) d\eta$$

Factorizando:

$$df = B R^2 \gamma (\operatorname{sen} \alpha - \operatorname{sen} \eta) d\eta$$

Que proyectando sobre los ejes OX y Oy se tienen:

$$df_x = -B R^2 \gamma (\operatorname{sen} \alpha \cos \eta - \operatorname{sen} \eta \cos \eta) d\eta \text{ -----(2)}$$

$$df_y = -B R^2 \gamma (\operatorname{sen} \alpha \operatorname{sen} \eta - \operatorname{sen}^2 \eta) d\eta \text{ -----(3)}$$

Integrando estas dos ecuaciones entre $\eta = \eta$ y $\eta = \gamma$ se tiene:

$$F_x = \frac{-B R^2 \gamma}{2} (\operatorname{sen} \alpha - \operatorname{sen} \eta)^2 \text{ -----(4)}$$

$$F_y = \frac{B R^2 \gamma}{2} (\operatorname{sen} \alpha \cos \alpha - \operatorname{sen} \eta \cos \eta - 2 \operatorname{sen} \alpha \cos \eta + (\alpha - \eta)) \text{ -----(5)}$$

Sustituyendo estas últimas ecuaciones $\eta = -\beta$, obtendremos las fuerzas para toda la compuerta:

$$F_x = \frac{-B R^2 \gamma}{2} (\operatorname{sen} \alpha + \operatorname{sen} \beta)^2 \text{ -----(6)}$$

$$F_y = \frac{B R^2 \gamma}{2} (\operatorname{sen} \alpha \cos \alpha - \operatorname{sen} \beta \cos \beta - 2 \operatorname{sen} \alpha \cos \beta + \alpha - \beta) \text{ -----(7)}$$

La fuerza resultante se obtiene haciendo:

$$F_R = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

Y el ángulo que forma esta respecto a la horizontal es:

$$\operatorname{tang} \zeta = F_y / F_x$$

Tomando los valores de los ángulos en radianes así-

como los senos y cosenos procedemos a encontrar la resultante del empuje hidrostático:

$$F_x = \frac{1000 (7.42) (19.308)^2}{2} (0.0517921 + 0.733375)^2$$

$$F_x = 852\ 651 \text{ kgs.}$$

$$F_y = \frac{1000 (7.42) (19.308)^2}{2} (0.0517922 - 0.498566 + \\ - 0.0704192 + 0.875088)$$

$$F_y = 494\ 902 \text{ kgs.}$$

La resultante será:

$$FR = \sqrt{(852651)^2 + (494\ 902)^2}$$

$$FR = 985\ 871 \text{ kgs.}$$

Y el ángulo que forma respecto a la horizontal es:

$$\text{tang } \alpha = \frac{494\ 902}{852\ 651} = 0.58042$$

$$\text{tang}^{-1} \alpha = 30.132^\circ$$

3.3.- CARGAS ACCIDENTALES.

Los sismos imparten aceleraciones a la estructura y a las cargas que obran sobre ella, estas cargas producen efectos horizontales y verticales adicionales. Para determinar las fuerzas totales debidas a un sismo, deberá determinarse la intensidad o aceleración provocada por éste. La aceleración se expresa como porcentaje de la fuerza de gravedad.

Como consecuencia de este efecto son dos las acciones involucradas a considerar en el análisis.

La primera acción es la carga generada por la aceleración de la masa de la estructura, la cual se puede determinar con la siguiente expresión:

$$P = Ma = \frac{w}{g} \alpha g = \alpha w$$

Donde:

P = Fuerza sísmica horizontal.

a = Aceleración del sismo

g = Aceleración de la gravedad

w = Peso de la estructura

α = Relación a/g

Este efecto se considera unicamente en en análisis por computadora, en el cual cada elemento contribuye a esta acción, multiplicando su peso por el coeficiente α y actuando esta carga en el sentido del sismo.

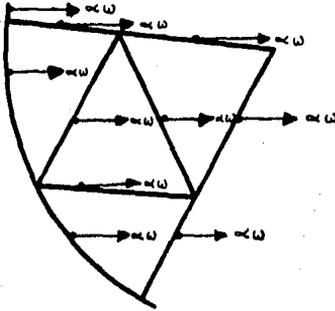


FIG. 3.3.1.

En esta figura se muestra el efecto de la aceleración de la masa de la estructura en la dirección en que obra el sismo.

Debido a sus condiciones de frontera se considera como condición más desfavorable cuando el sismo actúa en la dirección del empuje hidrostático, conduciéndose esta carga a través de todos sus elementos y transmitiéndose finalmente hasta el perno de apoyo de la compuerta.

La obtención de estas cargas no se presenta, debido a que el paquete de análisis estructural las genera automáticamente al proporcionarle el coeficiente α y la dirección en que actuarán.

La segunda carga accidental que se considera en el análisis por computadora es la que se presenta debido al

movimiento del agua, este efecto es un incremento en el empuje hidrostático, incremento que no es constante ni de variación lineal; esta variación se obtiene con la siguiente expresión:

$$P_{ew} = c \alpha w h$$

Donde:

c = Coeficiente adimensional para la magnitud y distribución de presiones.

α = Relación de la aceleración del sismo a la aceleración de la gravedad.

w = peso unitario del agua en kilogramos por metro-cúbico.

h = Profundidad total del agua en el vaso, en mts.-

y = Distancia vertical de la superficie del embalse a la elevación que se estudie, en metros.

El coeficiente dimensional c está definido en función del talud del parámetro y de su valor máximo c_m .

$$c = \frac{c_m}{2} \left[\frac{y}{h} \left(2 - \frac{y}{h} \right) + \sqrt{\frac{y}{h} \left(2 - \frac{y}{h} \right)} \right]$$

Esta información fue tomada de las publicaciones -- "Portland Cement Association".- Presas pequeñas de concreto, Capítulo II, Edit. Limusa.- 1978.

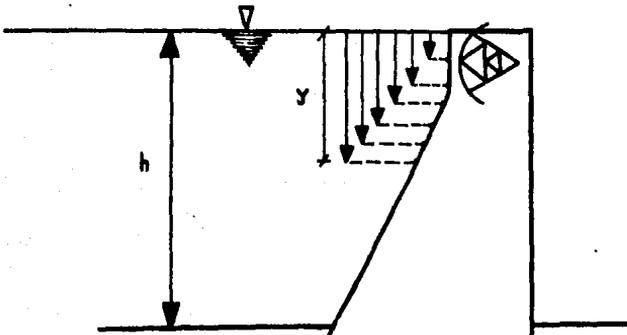


FIG. 3.3.2.

La aceleración a correspondiente a la zona de Infiernillo Michoacán es de 384.06 cm/seg^2 , a partir de la cual obtendremos el coeficiente α .

$$\alpha = 384.06 \text{ cm/seg}^2 / 981 \text{ cm/seg}^2$$

$$\alpha = 0.39$$

El peso del líquido, en este caso agua será:

$$w = 1 \text{ ton/m}^3$$

La profundidad del agua en el vaso:

$$H = 129 \text{ mts.}$$

Valor máximo de cm

$$cm = 1$$

Conociendo estos datos obtenemos los valores de P_{ew} que conforman el diagrama de empujes hidrodinámicos, el cual queda en función únicamente de la variable "y", cuyos valores se tomaron de la estructuración de la pantalla; variando desde $y=0$ hasta $y=15.16$ mts., correspondiente a la altura de la compuerta.

y (mts)	c (adimensional)	p (ton/m ²)
y1 = 0.0000	c1 = 0.00000	p1 = 0.0008
y2 = 0.0950	c2 = 0.01992	p2 = 0.00738
y3 = 0.6750	c3 = 0.05630	p3 = 0.01480
y4 = 1.3650	c4 = 0.08306	p4 = 0.04421
y5 = 2.0750	c5 = 0.10527	p5 = 0.08498
y6 = 2.7580	c6 = 0.12398	p6 = 0.13335
y7 = 3.3790	c7 = 0.13954	p7 = 0.18388
y8 = 3.9190	c8 = 0.15222	p8 = 0.23265
y9 = 4.4700	c9 = 0.16453	p9 = 0.28680
y10 = 5.0890	c10 = 0.17772	p10 = 0.35272
y11 = 5.6890	c11 = 0.18989	p11 = 0.42131
y12 = 6.2390	c12 = 0.20080	p12 = 0.48664
y13 = 6.7777	c13 = 0.21109	p13 = 0.55798
y14 = 7.3087	c14 = 0.22096	p14 = 0.62982
y15 = 7.8307	c15 = 0.23041	p15 = 0.70366
y16 = 8.3507	c16 = 0.23961	p16 = 0.78035

y17 = 8.8507	c17 = 0.24826	p17 = 0.85693
y18 = 9.3507	c18 = 0.25675	p18 = 0.93630
y19 = 9.8387	c19 = 0.26488	p19 = 1.01637
y20 = 10.2987	c20 = 0.27241	p20 = 1.09400
y21 = 10.7587	c21 = 0.27982	p21 = 1.17409
y22 = 11.2187	c22 = 0.28712	p22 = 1.25623
y23 = 11.7787	c23 = 0.29587	p23 = 1.35913
y24 = 12.3387	c24 = 0.30446	p24 = 1.46508
y25 = 12.7587	c25 = 0.31082	p25 = 1.54660
y26 = 13.1527	c26 = 0.31671	p26 = 1.62450
y27 = 13.5347	c27 = 0.32236	p27 = 1.70158
y28 = 13.9167	c28 = 0.32796	p28 = 1.78000
y29 = 14.2987	c29 = 0.33350	p29 = 1.85976
y30 = 14.6487	c30 = 0.33852	p30 = 1.93396
y31 = 14.9987	c31 = 0.34350	p31 = 2.00930
y32 = 15.1600	c32 = 0.34570	p32 = 2.00439

En la siguiente figura se muestra la geometría de la pantalla, en donde cada punto representa el centroide de los largueros horizontales, en los que se concentrará la carga del empuje hidrostático e hidrodinámico para -- realizar el análisis por computadora. bajo esta carga -- adicional. La obtención de las cargas concentradas en -- cada nudo se hará en el capítulo correspondiente a la -- discretización de la estructura y cargas.

EMPUJE HIDRODINAMICO

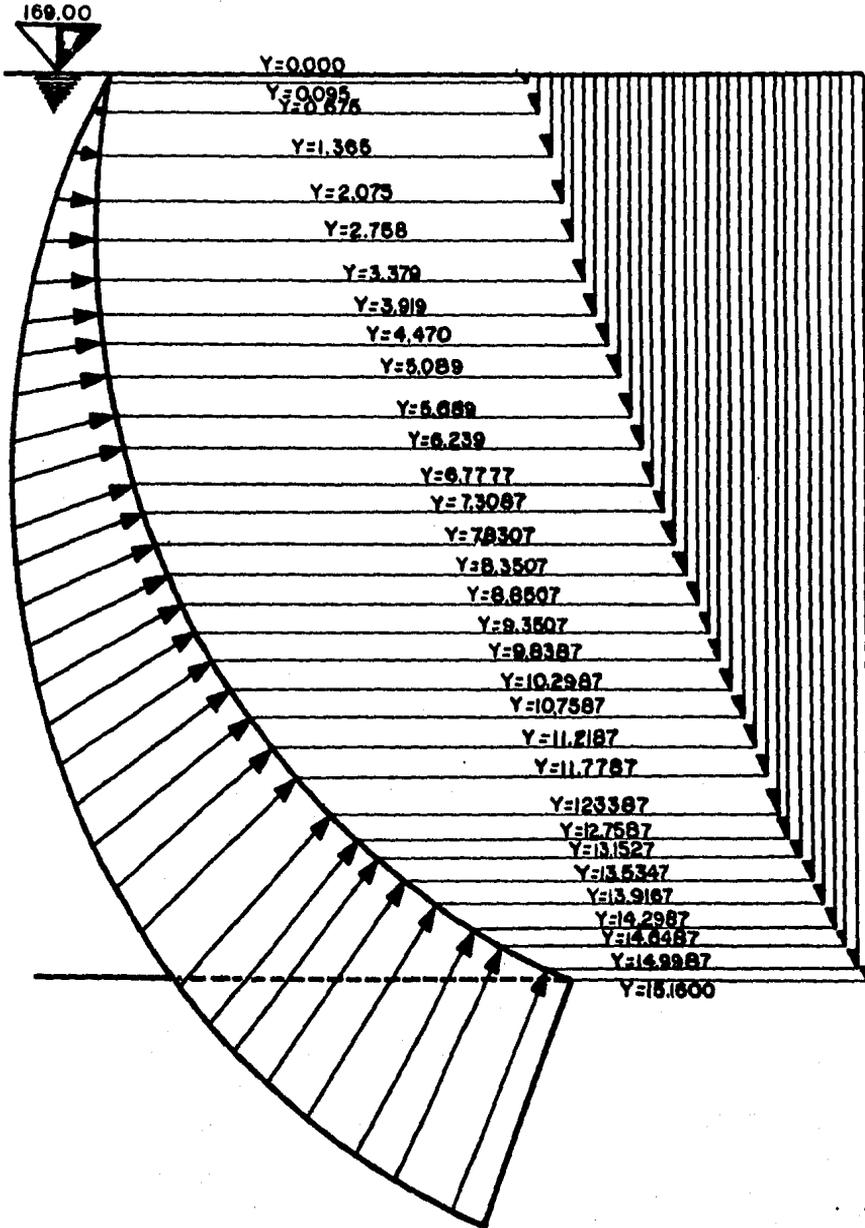


FIG. 3.3.3.

CAPITULO IV

P R E D I S E Ñ O

4.- ANTECEDENTES

A grandes rasgos el problema del diseño estriba en dar forma a una estructura que cumpla una función, con un grado de seguridad razonable y que en condiciones de trabajo tenga un comportamiento adecuado. Además debe cumplir otro requisito como son el mantener un costo dentro de los límites económicos y satisfacer algunas exigencias estéticas.

El problema no es sencillo, para darle solución se debe usar la intuición y experiencia, apoyando éstas en el análisis, experimentación y normas existentes; con lo que se puede afirmar que los problemas de diseño no son de solución única sino de solución razonables.

En la determinación de los elementos constitutivos de una estructura, es necesario saber cuales son las solicitaciones que se presentarán en su vida útil, y la forma en que actuarán éstas.

Una vez planteado el problema estructural, supuestas las solicitaciones y definidas las dimensiones generales del proyecto, es necesario ensayar diversas estructuraciones para encontrar la más adecuada. Después de elegir una estructuración tentativa se idealiza para estudiarla bajo las solicitaciones a que está sujeta.

El prediseño de la compuerta parte de una idealización típica, que consiste en la descomposición de la estructura espacial en estructuras planas, con el objeto de simplificar su análisis, y como primer ensayo para definir la geometría y secciones estructurales.

A partir de este prediseño se obtienen las secciones estructurales, y su disposición, las que formarán la com

puerta para analizarla nuevamente como una estructura en el espacio y poder determinar los efectos que se presentan al considerar la continuidad de sus elementos y condiciones reales de apoyo.

Se han definido las dimensiones generales y las cargas actuantes, así como el criterio general de estructuración y algunas recomendaciones. Antes de iniciar el análisis y diseño estructural se fijará el criterio y -- normas a seguir.

En todo momento se aplicará la teoría elástica. El criterio que se utilizará en el diseño será el de esfuerzos permisibles de trabajo, que consiste esencialmente en encontrar las acciones internas (carga axial, momentos flexionantes, fuerza cortante y torsión), inducidas en todos los elementos de la estructura, causados por -- las sollicitaciones de servicio o de trabajo que actúan -- sobre éstos, las que se calculan por medio de un análisis elástico. Se determinan después los esfuerzos producidos en las distintas secciones por las acciones internas, por métodos también basados en hipótesis elásticas. Los esfuerzos de trabajo así calculados deberán mantenerse por debajo de ciertos esfuerzos permisibles que se -- consideran aceptables.

Los esfuerzos permisibles que se consideran en este diseño serán tomados de las especificaciones del American Institute of Steel Constructions (A.I.S.C.).

Los perfiles laminados, placas de acero y tornillos que se requieran serán tomados del catálogo de Altos Hornos Mexicanos, S.A. (A.H.M.S.A.).

Se utilizará acero que cumpla las normas A.S.T.M.A-36 con límite de fluencia $F_y=2530 \text{ Kg/cm}^2$ en todos los -- elementos, excepto donde se indique lo contrario.

Para la soldadura se seguirán las normas A.W.S. (American Welding Society).

Así mismo se seguirá para el análisis algunas reco-

mendaciones de las publicaciones EM 1110-2-2702 desing - of spillway tainter gates.- headquarters, departament of the army. Pertenecientes al cuerpo de ingenieros del ejercito americano, y de las publicaciones Valves, Gates, and Steel Conduits.- Departament of Interior.- Bureau -- Reclamations.

En el presente capítulo se definirán las secciones- aproximadas de la estructura de una manera muy sencilla, diseñándose finalmente estos elementos y sus juntas con los datos que nos proporcionará el análisis por computadora, teniendo como marco de comparación los resultados- obtenidos de la idealización típica de la compuerta.

4.1.- PANTALLA O CUBIERTA.

La pantalla o cubierta es una estructura formada -- por placas de espesor variable que siguen la configura-- ción de un segmento de cilindro, las cuales soportan las acciones del empuje del agua, transmitiendo esta carga a un encamado de vigas dispuestas horizontalmente, apoyan- dose estas últimas sobre dos vigas curvas extremas.

El espesor de las placas varía de acuerdo al diagra- ma de presiones y a la separación de los largueros hori- zontales que le proporcionan apoyo. Para determinar el- espesor de la placa se debe encontrar un equilibrio en-- tre la separación de los largueros y el espesor de la -- placa, ya que si la separación entre apoyos es muy gran- de, se requiere de una placa de gran espesor para sopor- tar el empuje del agua, y si se reduce demasiado esta se- paración para disminuir el espesor de la placa se necesi- ta de una mayor cantidad de largueros, aumentandose en - ambos casos el peso de las secciones empleadas.

Para determinar el punto de equilibrio se hizo un - análisis preliminar de pesos, el cual se presenta a con- tinuación, en este análisis se consideran algunas reco-- mendaciones del manual del Ejercito Mexicano.

El espesor mínimo de la cubierta será de 6.4 mm ---- (1/4"), variando con la profundidad en octavos de pulgada y procurando no sobrepasar 19.1 mm (3/4").

Como primera consideración se supondrá que la placa es una viga doblemente empotrada, cargada con la presión del agua correspondiente, de acuerdo a la profundidad don de se halle situada, la separación entre apoyos estará en función de la profundidad y está por definirse.

Para comenzar esta secuencia de cálculo se propuso - una separación entre apoyos de 40 cms., considerando esta longitud como adecuada constructivamente, conociendo el - valor de la separación entre apoyos se procede a encon--- trar la profundidad en la cual una viga doblemente empo--- trada, con longitud de $l = 40$ cms. y de sección 1/4", re--- siste el empuje del agua.

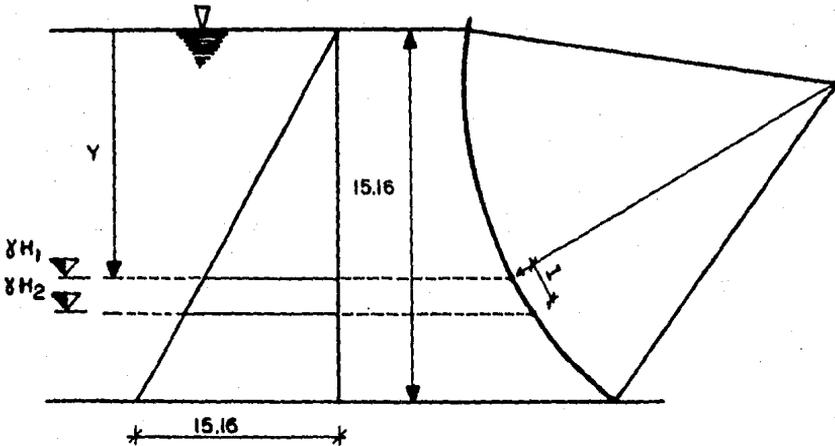
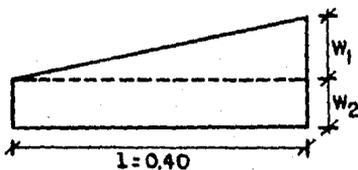


FIG. 4.1.1.

Aislando el tramo de 40 cms. para su estudio tenemos lo siguiente:



Siendo:

$$w_1 = \gamma H_1 \quad \text{Ton/m}$$

$$w_2 = \gamma H_2 = H_1 \gamma \quad \text{Ton/m}$$

$$l = 0.40 \text{ mts.}$$

El momento máximo para esta viga se presenta en el apoyo B.

$$M \text{ max} = \frac{W_1 l^2}{12} + \frac{W_2 l^2}{20} \text{ -----(1)}$$

Conociendo el valor de "l" y la pendiente del diagrama de presiones, determinamos el valor de W_2 .

$$W_2 = 0.897 (0.40) = 0.3588 \text{ ton/m}$$

Sustituyendo el valor de W_2 en la ecuación (1) e igualando el momento máximo con el momento resistente de una placa de un 1/4" de espesor y ancho unitario obtenemos el valor de W_1 .

El momento resistente para una placa de 1/4", utilizando valores de esfuerzos permisibles de 0.6 de f_y es de 0.103 T-M.

$$0.103 = \frac{W_1 (0.40)^2}{12} + \frac{0.3588 (0.40)^2}{20}$$

$$W_1 = 7.51 \text{ ton/m} \quad \text{Siendo } y = 7.51 \text{ mts.}$$

Donde "y" es la profundidad a la cual la placa de 1/4" doblemente empotrada resiste el empuje del agua. Conociendo el empuje sobre este tramo se estimaron los apoyos, siendo estos los largueros horizontales; en un análisis preliminar se estimó el peso de los apoyos en 35.47 kg/m.

Con estos datos se calcula el peso de la sección para un largo unitario.

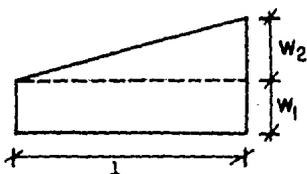
o- Cantidad de apoyos por metro: $1/0.40 = 2.5$ apoyos.

1.- Peso de apoyos por metro = $2.5 \times 35.47 = 88.675$ kg/m

2.- Peso de la placa por metro = $1(47.498) = 47.498$ kg/m

Peso de la sección por metro 136.173 kg/m

Conjuntamente a este análisis se revisó otra sección pero con un espesor de 3/8" bajo las mismas condiciones y a la misma profundidad. Siendo mayor el momento resistente para esta nueva sección, se determinó la longitud entre apoyos para aprovecharla al máximo obteniéndose el siguiente resultado:



$$W_1 = 7.509 \text{ ton/m}$$

$$W_2 = 1(0.897) \text{ ton/m}$$

$$M \text{ max} = \frac{W_1 l^2}{12} + \frac{W_2 l^2}{20}$$

Igualando M max al momento resistente para una sección de espesor de 3/8", y conociendo W obtenemos el valor de la longitud entre apoyos a esta profundidad.

$$0.230 = \frac{7.509 l^2}{12} + \frac{0.897 l^3}{20}$$

Entonces:

$$l = 60 \text{ cms.}$$

Para esta solución se procedió de igual forma que en el caso anterior, y se estimó un peso de:

$$\frac{100}{60} = 1.66 \text{ apoyos}$$

- 1.- Pesos de apoyo por metro = $1.66 \times 35.47 = 59.116 \text{ k/m}$
- 2.- Peso de la placa por metro = $1(71.209) = 71.209 \text{ k/m}$
- Peso de la sección por metro = 130.325 k/m

Donde podemos observar que la solución de colocar una sección de 3/8" en las mismas condiciones que una de 1/4" es más ligera, siendo más conveniente optar por la segunda alternativa. Para encontrar el punto en el cual se equilibra esta diferencia entre pesos, se fué aumentando la separación entre apoyos de la placa de 1/4", con lo que se disminuye la profundidad y por tanto el empuje del agua, como consecuencia de esto la separación entre los

apoyos para la solución de 3/8" bajo las mismas condiciones aumenta, incrementándose el peso de la sección. Los datos de estas iteraciones se resumen en la siguiente tabla:

ITER. No.DE	PLACA ESPEJOR	LONG./ APOYOS	PROF. MTS.	PESO KG.	SECCION MAS LIGERA
1	1/4"	0.40	7.51	136.173	
	3/8"	0.60	7.51	130.325	PL 3/8"
2	1/4"	0.50	4.67	118.438	PL 1/4"
	3/8"	0.74	4.67	119.179	PL 3/8"
3	1/4"	0.60	3.11	106.378	PL 1/4"
	3/8"	0.86	3.11	112.491	
4	1/4"	0.70	2.12	98.169	PL 1/4"
	3/8"	1.05	2.12	105.027	

En la primera columna de la tabla se enumeran las iteraciones, en la siguiente columna se indica el espesor de la sección utilizada en el análisis de las vigas bajo las mismas condiciones de carga. La separación propuesta para la placa de 1/4", y la distancia entre apoyos que trae como consecuencia de ésta para la sección de 3/8" de pulgada, se muestran en la columna 3, en la cuarta columna podemos ver la profundidad y por tanto la carga empleada para el análisis. De la quinta y sexta columna podemos concluir que el punto de equilibrio buscado para las dos alternativas en iguales condiciones de trabajo y peso, es de 50 cms.

Para determinar el siguiente cambio de sección entre placas de 3/8" y 1/2" se siguió el mismo criterio, encontrándose una separación entre apoyos mínima para la sección de 3/8" en 45 cms.

Una vez conocida la separación entre apoyos y la profundidad, se procedió a desdoblar la viga y a distribuir los apoyos intermedios restantes para nuevamente hacer un análisis, pero considerando la continuidad de las

placas. Después de varias alternativas llegamos a la siguiente distribución, la cual se presenta en la figura - 4.1.2., donde se presentan además los resultados del análisis.

Con la distribución propuesta revisamos la sección para cada tramo de placa.

Para el primer tramo de espesor 1/4" el momento máximo es $M = 0.120$ Ton/m.

$$fb = \frac{M}{S_x} \quad Fb = 0.6 Fy = 15200 \text{ Ton/m}^2$$

$$15200 = \frac{0.120}{S_x} \quad S_x = \frac{0.120}{15200} = 7.84 \text{ cms}^3$$

$$S_x = \frac{bT^2}{6} \quad T = \sqrt{6S_x}; T = 6.8 \text{ mm} = 1/4"$$

Siendo "T" el espesor requerido para la placa. En el segundo y tercer tramo se revisó de igual forma, con lo que comprobamos que la distribución anterior es correcta.

Tramo 1 Long. = 4.593 mts. sección 1/4"

Tramo 2 Long. = 7.179 mts. sección 3/8"

Tramo 3 Long. = 5.125 mts. sección 1/2"

Estimándose un peso para la cubierta de 9.36 Ton.

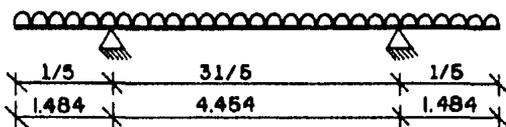
4.2.- LARGUEROS

Los largueros o vigas horizontales soportan la carga que actúa sobre la cubierta como cargas distribuidas, transmitiéndolas después como cargas concentradas a las vigas curvas verticales.

Para su análisis se consideran como simplemente apoyadas, con una carga uniformemente repartida de acuerdo a su área tributaria, la cual varía de acuerdo a la profundidad en que se halla.

Tratando de obtener elementos mecánicos más pequeños en las vigas, se busca aprovechar los volados en los extremos, colocando sus apoyos de una forma tal que el mo

mento provocado por los volados sea en valor absoluto aproximadamente igual al momento máximo entre apoyos, esto se logra situando los apoyos a $1/5$ de la longitud total a partir de los extremos de la viga horizontal, como se muestra en la siguiente figura:



Para el diseño de la viga bajo estas condiciones, - se elaboró la siguiente tabla en donde se presenta un resumen de los resultados:

LAR- GUERO	CARGA TON/M	MOMENTO TON - M	CORTANTE TON	MODULO DE SECC. CM3	SECCION IPR
1	0.072	0.099	0.160	6.513	254x102x7
2	0.416	0.573	0.926	37.697	254x102x7
3	0.878	1.208	1.954	79.470	254x102x7
4	1.335	1.837	2.972	120.855	254x102x7
5	1.703	2.344	3.791	154.210	254x102x7
6	1.882	2.590	4.189	170.390	254x102x7
7	2.022	2.783	4.501	183.092	305x165x10
8	2.522	3.471	5.614	228.355	305x165x10
9	3.105	4.274	6.911	281.184	305x165x10
10	3.329	4.582	7.410	301.447	305x165x10
11	3.504	4.823	7.800	317.304	305x165x10
12	3.753	5.166	8.354	339.868	305x165x10
13	3.909	5.380	8.701	353.947	305x165x10
14	4.056	5.583	9.026	367.303	305x165x10
15	4.163	5.730	9.267	376.974	305x165x10
16	4.329	5.958	9.636	391.973	305x165x10
17	4.483	6.170	9.979	405.921	305x165x10
18	4.622	6.362	10.289	418.553	305x165x10

LARGUERO	CARGA TON/M	MOMENTO TON.- M	CORTANTE TON	MODULO DE SECC. CM ³	SECCION IPR
19	4.748	6.535	10.569	429.934	305x165x10
20	4.860	6.689	10.818	440.066	305x165x10
21	5.607	7.717	12.481	507.697	356x171x10
22	6.426	8.845	14.304	581.908	356x171x10
23	6.609	9.097	14.712	598.486	356x171x10
24	6.776	9.326	15.083	613.987	356x171x10
25	6.927	9.534	15.419	627.237	356x171x10
26	7.066	9.726	15.729	639.868	356x171x10
27	7.328	10.086	16.312	663.553	356x171x10
28	7.303	10.052	16.256	661.316	356x171x10
29	7.250	9.979	16.138	656.513	356x171x10
30	7.171	9.870	15.963	649.342	356x171x10

TABLA 4.2.1.

Los largueros 7, 20 y 27 se revisarán por cortante-
debido a que es aquí donde se presenta el cortante máxi-
mo para cada tipo de sección.

1.- Larguero 7 Area del alma --- 13.94 cm²

2.- Larguero 20 Area del alma --- 19.32 cm²

3.- Larguero 27 Area del alma --- 22.95 cm²

$$fv7 = \frac{4.501 \times 10^3}{13.94} = 323 < 1012 \text{ Kg/cm}^2$$

$$fv20 = \frac{6.53 \times 10^3}{19.32} = 338 < 1012 \text{ Kg/cm}^2$$

$$fv27 = \frac{16.312 \times 10^3}{22.95} = 710 < 1012 \text{ Kg/cm}^2$$

Aceptandose como buena la estructuración y seccio-
nes propuestas.

El peso de los largueros para esta solución es el -
siguiente:

IPR - 254 x 102 x 7 = 22.4 Kg/m

IPR - 305 x 165 x 10 = 40.3 Kg/m

$$\text{IPR} - 356 \times 171 \times 10 = 44.7 \text{ Kg/m}$$

$$\begin{aligned} 7 \text{ IPR} \times 7.42 \text{ mts} \times 22.4 \text{ kg/m} &= 1163.456 \text{ kg.} \\ 13 \text{ IPR} \times 7.42 \text{ mts} \times 40.3 \text{ kg/m} &= 3887.338 \text{ kg.} \\ 10 \text{ IPR} \times 7.42 \text{ mts} \times 44.7 \text{ kg/m} &= \underline{3316.740} \text{ kg.} \\ \text{Peso total de los largueros} &= 8367.534 \text{ kg.} \end{aligned}$$

A continuación se describe brevemente la tabla ----

4.2.1.:

- 1.- En esta columna se muestra el número total de largueros que se presentan a lo largo de la pantalla.
- 2.- Aquí se indica la carga uniformemente repartida para cada larguero en ton/m.
- 3.- En esta columna se presenta el momento máximo en la viga al centro del claro, con el cual se diseñará.
- 4.- La columna 4 muestra el cortante crítico para cada larguero, con estos valores se revisó para el cortante admisible; en donde se debe cumplir que:

$$f_v = \frac{V}{A_{\text{alma}}} \leq 0.4 F_y = F_v$$

Donde:

f_v = Esfuerzo cortante actuante.

V = Cortante máximo en la viga

A_{Alma} = Area del alma de la sección.

F_v = Esfuerzo admisible al cortante.

- 5.- Conociendo el momento máximo y utilizando un esfuerzo admisible de $0.6 f_y$ en la fórmula de la escuadría, se determinó el módulo de sección requerido para cada viga; considerando que la placa de la pantalla restringe el pandeo del patín en compresión. Este resultado se muestra en la columna 5.

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

Donde:

$f_b = F_b = 0.6 F_y$ Esfuerzo admisible a la flexión.

M = Momento máximo en la viga

S = Módulo de sección.

6.- En la columna 6 se determinó la sección requerida de acuerdo a la columna anterior; del manual A.H.M.S.A. se eligió el perfil que cumple con el módulo de sección requerido para cada viga.- Se propusieron perfiles comerciales IPR. Al definir la sección para cada viga se trató de uniformizar el tipo de sección para tener la menor variación posible de éstas. Se propusieron tres tipos de perfiles distintos.

4.3.- VIGAS CURVAS EXTREMAS

El diseño de este elemento presenta otro problema especial, pues para lograr la sección más económica, se deben de colocar los apoyos de ésta creando dos volados en los extremos superior e inferior, procurando que el momento máximo negativo provocado por éstos sea igual al momento máximo positivo entre apoyos intermedios.

Estos apoyos son proporcionados por los extremos de los brazos; para que estos últimos reciban igual carga, deberán disponerse simétricamente respecto a la resultante de presiones hidrostáticas.

Este análisis algo complejo nos conduce a la siguiente secuencia de cálculo:

Ya conocidas las fuerzas resultantes y si línea de acción, se fijarán los apoyos de cada viga a una distancia $L/2$ de la resultante, siendo "L" la distancia entre apoyos y que está por determinarse.

Para el análisis de la viga se considera que es recta y su longitud es la longitud de arco de la -- pantalla donde obra el empuje hidrostático, esta -- condición es más desfavorable que la real, debido a que se desprecia el efecto de curvatura que le proporciona cierta rigidez adicional a la flexión cuando la carga actúa en la cara cóncava de la pantalla.

Como primer intento para diseñar las vigas extremas se consideró una viga simplemente apoyada en dos puntos, partiendo de la suposición de que serán dos los brazos en que se apoye ésta, para esta condición (viga doblemente apoyada con carga triangular), se encontraron los momentos en el centro del claro, así como en el apoyo donde debe ocurrir el momento máximo negativo provocado por los volados, -- estos momentos están en función de "L", y siendo -- que deben ser iguales sus magnitudes, se igualaron y se despejó de la ecuación la variable "L", la -- cual nos define la distancia entre apoyos.

A partir de esta consideración se obtuvieron -- los elementos mecánicos de las vigas extremas, procediendo después a diseñar los elementos resistentes para el buen funcionamiento de la estructura. -- Como consecuencia de que la longitud entre apoyos -- es muy grande, los elementos mecánicos obtenidos -- son también grandes, lo que trae como consecuencia secciones estructurales muy pesadas, pudiendo reducir éstas, si la separación entre apoyos se disminuye.

Como solución a este problema se colocaron apoyos intermedios entre los brazos de la compuerta, -- sin perder de vista que estos últimos deben seguir equiristando lo mismo respecto a la resultante de -- presiones.

Tomando como base la máxima abertura entre brazos, y sin perder de vista que se deben de aprovechar los dos extremos de la viga como volados, se pensó en colocar un apoyo intermedio entre los brazos, el cual reduce en cierta proporción el problema, ya que el momento provocado por el extremo superior de la viga es muy grande, y no se puede disminuir esta longitud, a menos que se varíe la abertura del brazo superior, esto se logra creando una armadura secundaria que nos permita interrumpir la longitud del brazo y disminuir la longitud del volado superior, como se muestra en la siguiente figura.

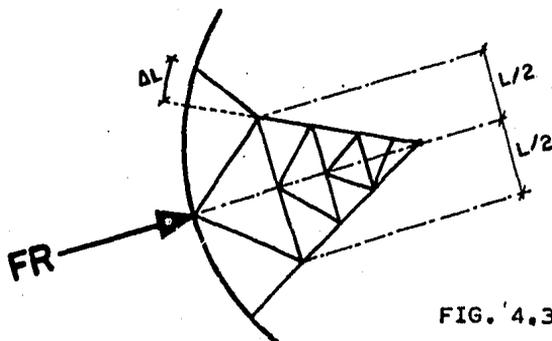


FIG. 4.3.1.

Tratando nuevamente de colocar los apoyos para igualar los momentos, se encontraron aún elementos mecánicos muy grandes. Se colocó entonces otro apoyo intermedio, el cual será proporcionado de igual forma que en el caso anterior, siendo parte de una armadura secundaria que nos permite mover el apoyo del extremo superior y de este nuevo apoyo. La estructuración de esta nueva armadura debe distribuir la misma carga a los dos brazos.

Después de varias alternativas se llegó a la siguiente distribución de apoyos, en la cual no se cumplió al 100% la sugerencia de compensar los momentos positivos y negativos, ya que hay otras va-

riables que afectan la colocación de estos apoyos - como son: La máxima abertura entre brazos, y dar -- una geometría adecuada a la armadura secundaria para que la carga que transmita a los brazos sea i-- gual para ambos.

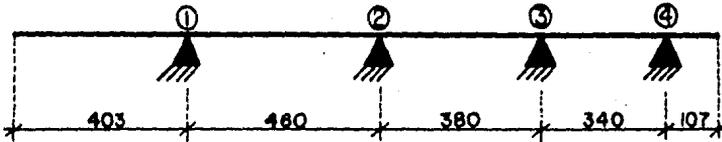


FIG. 4.3.2.

El análisis de las vigas extremas se realizó considerándolas como rectas y apoyadas en cuatro puntos, cargadas con el diagrama de presiones.

A continuación se presenta el resumen del análisis de las vigas extremas usando el método de Cross, es a -- partir de estos resultados que se diseñó la viga.

La sección que se obtenga de este diseño se someterá a una nueva revisión, tomando como elementos para su revisión los datos que se obtengan del análisis por computadora, para considerar los efectos de continuidad en la estructura.

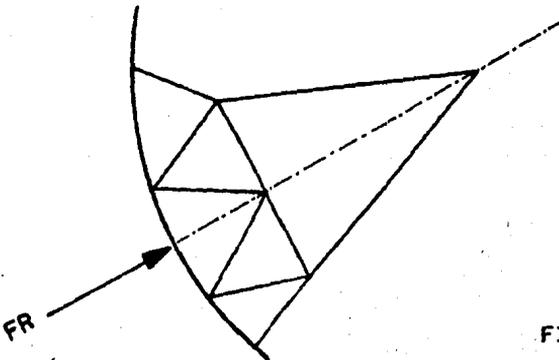


FIG. 4.3.3.

ANALISIS

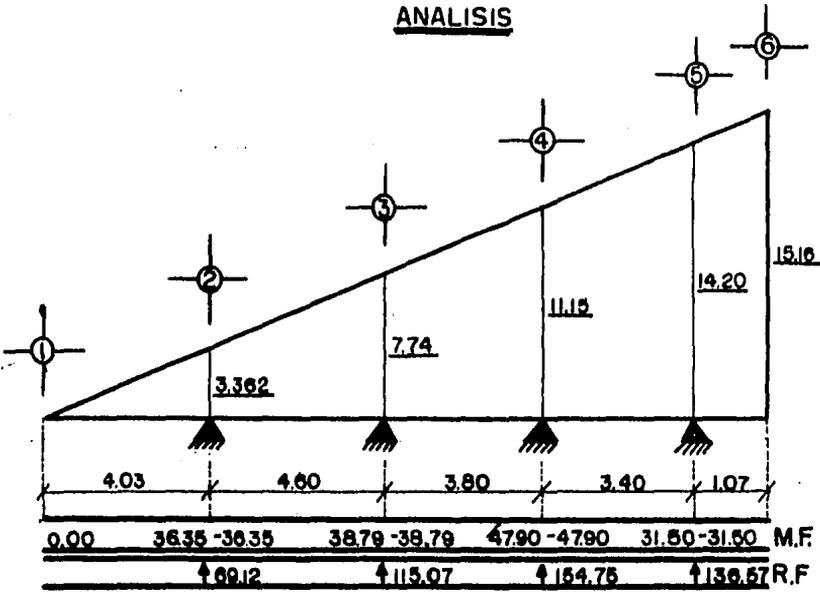


FIG. 4.3.4.

MOMENTO FLEXIONANTE

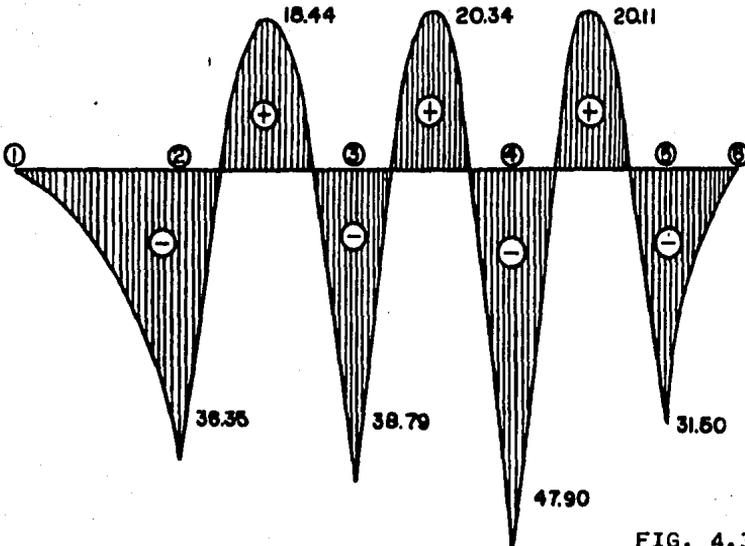


FIG. 4.3.5.

FUERZA CORTANTE

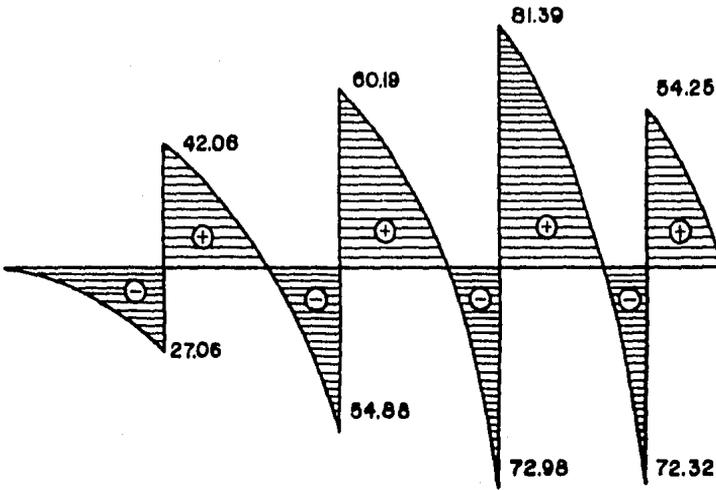
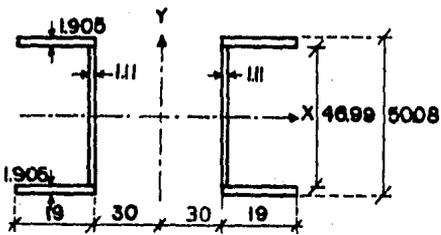


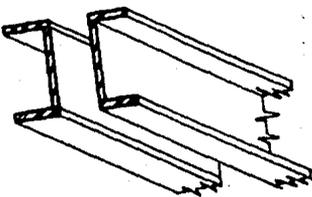
FIG. 4.3.6

Una vez obtenidos los elementos mecánicos se procede a dimensionar la sección, proponiéndose lo siguiente:



PROPIEDADES

$AT = 248.18 \text{ cm}^2$	$Sx = 4159 \text{ cm}^3$
$I_{xx} = 105640 \text{ cm}^4$	$Sy = 6662 \text{ cm}^3$
$I_{yy} = 326474 \text{ cm}^4$	
$r_x = 20.63 \text{ cm}$	
$r_y = 36.26 \text{ cm}$	



En esta sección se dejó una separación entre canales de 60 cms. correspondiente a las dimensiones tentativas del brazo, el cual se ubicará entre las dos canales, la unión entre el brazo y la viga curva se hará a través del alma para no transmitir efectos de flexión a los brazos.

Es importante mencionar que en el prediseño de este elemento no se diseñarán juntas ni otro por el estilo, - debido a que la sección definitiva se diseñará a partir de los resultados del análisis por computadora.

El peralte de la viga en los extremos se irá reduciendo conforme el diagrama de momentos.

Conociendo los elementos mecánicos que obran sobre la viga se procede a obtener los esfuerzos provocados -- por éstos en la sección crítica, la cual se encuentra en el apoyo No. 4.

Para una viga sujeta a flexocompresión se debe cumplir que:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1$$

Donde:

f_a = Esfuerzo actuante en compresión

F_a = Esfuerzo admisible a compresión

f_b = Esfuerzo actuante debido a la flexión

F_b = Esfuerzo admisible a flexión.

En el análisis de la armadura principal se encontró una fuerza a tensión de 65.84 ton. en la barra 2-3, con esto y la flexión que se presenta en este tramo se procederá a revisar la sección propuesta:

Momento máximo = 38.79 t-m

Fuerza a tensión = 65.84 ton.

El esfuerzo actuante a tensión será:

$$f_t = \frac{65840}{248.18} = 265.29 \text{ kg/cm}^2$$

El esfuerzo permisible a tensión según el manual -
AISC.

$$F_t = 0.6 f_y = 1520 \text{ kg/cm}^2$$

Donde:

$$f_t \leq F_t$$

El esfuerzo admisible a flexión se tomará como 0.6-
 $F_y = 1520 \text{ kg/cm}^2$.

El esfuerzo actuante a flexión será:

$$f_b = \frac{M}{S_x} = \frac{38.79 \times 10^5}{4199} = 932.68 \text{ kg/cm}^2 < F_b$$

De acuerdo a la fórmula de interacción tenemos:

$$\frac{f_t}{F_t} + \frac{f_b}{F_b} = 0.79 < 1$$

La sección con mayores esfuerzos de compresión y momento arrojó los siguientes datos: $M = 47.9 \text{ ton/m}$ y carga axial = 22 ton., se encuentra entre los apoyos 3 y 4- con una longitud entre éstos de 3.80 mts. Considerando un factor $K = 1$ obtendremos los esfuerzos a compresión:

$$\frac{K_1}{r} = \frac{1(380)}{20.63} = 18.42 \quad F_{ax} = 1459.5 \text{ kg/cm}^2$$

Revisando para la longitud de toda la viga respecto al eje "y":

$$\frac{K_1}{r} = \frac{1690}{36.26} = 46.61 \quad F_{ay} = 1317.1 \text{ kg/cm}^2$$

El esfuerzo actuante será:

$$f_a = \frac{22\,000}{248.18} = 88.64 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{f_a}{F_a} = \frac{88.64}{1317.1} = 0.07 < 0.15$$

Como $0.07 < 0.15$ se utilizará la siguiente fórmula según el manual AISC.

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} = 0.07 + \frac{1146.91}{1520} = 0.82 < 1$$

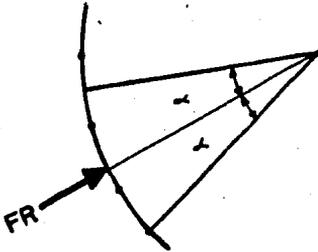
Por lo tanto se acepta la sección como correcta.
El esfuerzo cortante admisible será igual a 0.4 de F_y .

Se debe cumplir que f_v esfuerzo actuante $\leq 0.4 F_y$.

$$f_v = \frac{81390}{112.77} = 721.73 < 1012 \text{ kg/cm}^2$$

4.4.- ARMADURA PRINCIPAL

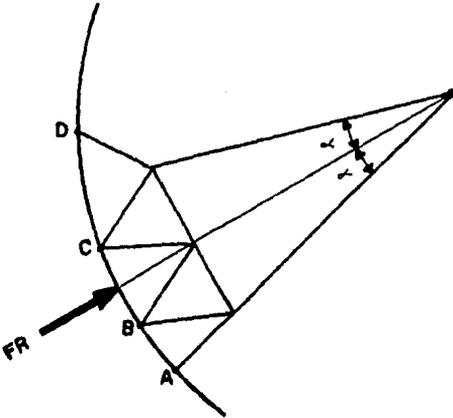
Del diseño de la viga curva vertical se determinó la posición de sus apoyos, teniendo como restricción la posición de los brazos de la compuerta, condición que debe cumplir que la carga actuante sobre ellos sea igual.- Como consecuencia de esto se fijó el brazo inferior sobre el apoyo "A" correspondiente al volado inferior, con esto la abertura del brazo superior debe tener la misma distancia respecto a la resultante del empuje hidrostático, obteniéndose la siguiente disposición.



Siendo $\alpha = 14^\circ$ el ángulo que forman los brazos -- respecto a la resultante

FIG. 4.4.1.

Observándose que el brazo superior no coincide con ningún apoyo de la viga curva. Para lograr esta unión -- y cumplir además que la carga entre los brazos se distribuya equitativamente, se pensó en colocar una armadura cuya geometría se presenta a continuación:



Donde podemos ver que la -
abertura de los brazos no -
vari6.

FIG. 4.4.2.

Para determinar las fuerzas a que est6n sometidos -
los elementos de esta estructura, se idealiz6 como una -
armadura plana de peralte constante, cargada nodalmente -
en los puntos A, B, C, y D con las reacciones de la viga
curva, esta idealizaci6n se presenta a continuaci6n, as6
como una tabla que resume los resultados del an6lisis:

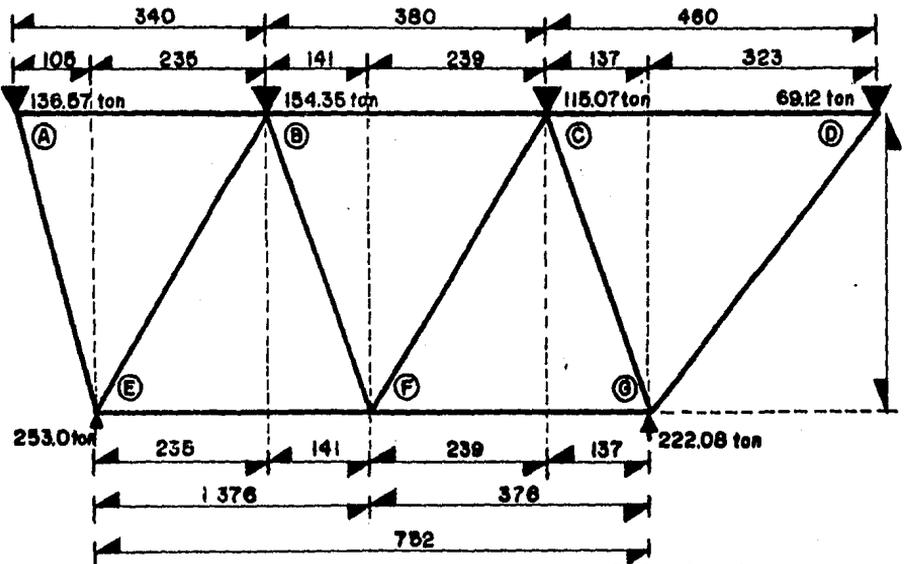


FIG. 4.4.3.-

Armadura principal idealizada, suponiendo un peralte ---
constante.

ELEMENTO	LONGITUD (cm)	FUERZA (ton)	SECCION PROPUESTA
A - B	340	-42.30	VIGA CURVA*
B - C	380	+22.68	VIGA CURVA*
C - D	460	-65.86	VIGA CURVA*
A - E	355	+142.97	2CPS □ 254x77.04
E - B	412	+141.71	2CPS □ 254 x 77.04
B - F	367	+41.03	2CPS □ 152.4 x 54.79
F - C	415	-46.35	2CPS □ 152.4 x 54.79
C - G	366	+164.98	2CPS □ REF 254 x 77.04
G - D	468	+95.48	2CPS □ 254 x 77.04
E - F	376	-38.43	2CPS □ 152.4 x 54.79
F - G	376	+4.04	2CPS □ 152.4 x 54.79

+COMPRESION
-TENSION

* EL RESULTADO DE ESTOS
SE CONSIDERA EN EL DI
SEÑO DE LA VIGA CURVA.

TABLA 4.4.1.

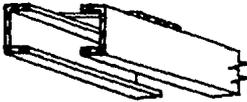
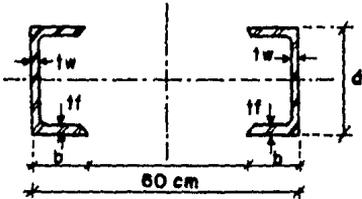
Resúmen del análisis de la armadura y secciones de sus miembros.

En la tabla anterior se proponen las secciones que resisten las acciones del empuje hidrostático, a continuación se presenta brevemente un resúmen de la elección de éstos.

En la sección que se propuso para la viga curva vertical se previó un espacio de 60 cms. entre los canales que forman ésta. En donde se hará la conexión de estos elementos. Conociendo esta restricción se decidió estructurar la armadura por medio de secciones cajón, formadas por dos canales CPS. Tratando siempre de tener la menor cantidad de secciones diferentes, se estandarizó la sección para tantos miembros como fué posible.

Para los elementos E - F, F - G, B - F, y F - C, se tomó el elemento con mayor longitud y carga para el diseño de éstos, proponiéndose la siguiente sección:

Elemento F - C Long. = 415 cms. P = 46.35 Ton.



$$\begin{aligned} A &= 49.12 \text{ cms}^2 \\ d &= 152.4 \text{ mm} \\ b &= 54.79 \text{ mm} \\ t_f &= 8.71 \text{ mm} \\ t_w &= 11.10 \text{ mm} \\ I_x &= 1440.2 \text{ cms}^4 \\ I_y &= 40527.0 \text{ cms}^4 \\ r_x &= 5.4 \text{ cms} \\ r_y &= 28.72 \text{ cms} \end{aligned}$$

Conociendo el radio de giro de la sección, se procede a obtener la relación de esbeltez para determinar su esfuerzo admisible a compresión, el cual se tomó de las tablas del manual A.H.M.S.A., Cap. II, pág. 23, 24.

$$\begin{aligned} K l / r_x &= 415 / 5.41 = 76.71 & F_{ax} &= 1105 \text{ Kg/cm}^2 \\ K l / r_y &= 415 / 28.72 = 14.45 & F_{ay} &= 1473 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

El esfuerzo actuante $f_a = P/A$

$$f_a = 46350 / 49.12 = 943.60 \text{ Kg/cm}^2 < F_{ax}, F_{ay}$$

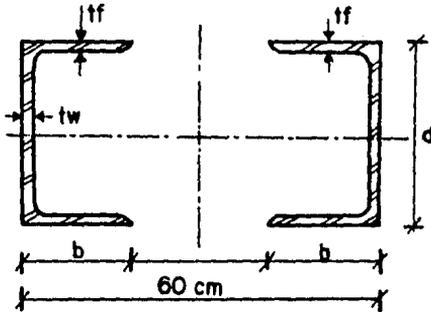
Aceptándose la sección como correcta.

De los elementos A - E, G - D y E - B, se escogió - el último elemento para el diseño, debido a su longitud y que las diferencias de cargas son mínimas.

Elemento E - B Long. = 412 cms. P = 141.71 Ton.

Para estos miembros se propuso la siguiente sección:

$$\begin{aligned} A &= 113.80 \text{ cms}^2 \\ d &= 254 \text{ mm} \end{aligned}$$



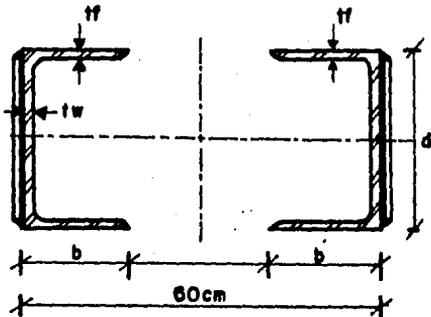
b =	77.04	mm
tf =	11.07	mm
tw =	17.09	mm
I _x =	8574.00	cm ⁴
I _y =	91791.00	cm ⁴
r _x =	8.68	cm
r _y =	28.40	cm

$$Kl/r_x = 412 / 8.68 = 47.46 ; F_{ax} = 1311 \text{ kgs/cm}^2$$

$$Kl/r_y = 412 / 28.40 = 14.50 ; F_{ay} = 1473 \text{ kgs/cm}^2$$

$$f_a = 141710 / 113.8 = 1245 \angle F_{ax}, F_{ay}$$

El elemento más cargado resultó ser el C - 6. no en contrándose en el manual A.H.M.S.A. una sección CPS comercial para soportar esta fuerza, se optó por reforzar un canal de iguales dimensiones a la anterior, con una placa de 6" x 1/2" a todo lo largo de la sección, sus propiedades son las siguientes:



A =	171.86	cm ²
d =	254.00	mm
b =	77.04	mm
tf =	11.07	mm
tw =	17.09	mm
I _x =	11103	cm ⁴
I _y =	133634.26	cm ⁴
r _x =	8.04	cm
r _y =	29.17	cm

$$Kl/r_x = 366 / 8.04 = 45.52 ; F_{ax} = 1320 \text{ kgs/cm}^2$$

$$Kl/r_y = 366 / 29.17 = 12.54 ; F_{ay} = 1481 \text{ kgs/cm}^2$$

$$f_a = 164980 / 171.86 = 959.97 \angle F_{ax}, F_{ay}$$

Una vez revisadas las secciones compuestas se analizarán individualmente para cada canal, con una carga P/2, previendo una falla individual.

Para la sección de los elementos A - E, E - B y ---
G - D, se tomaron los siguientes datos:

Elemento = E - B Long. = 412 cms. P = 141.72/2

Propiedades de un CPS 254 x 77.04

$$A = 56.90 \text{ cms}^2$$

$$I_x = 4287.2 \text{ cms}^4$$

$$I_y = 163.94 \text{ cms}^4$$

$$r_x = 8.68 \text{ cms.}$$

$$r_y = 1.79 \text{ cms.}$$

$$K1/r_x = 47.42$$

$$F_{ax} = 1337 \text{ kgs/cm}^2$$

$$K1/r_y = 241.39$$

$$F_{ay} = 179.3 \text{ kgs/cm}^2$$

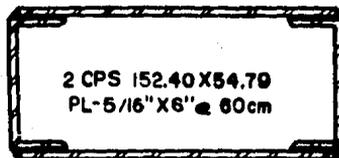
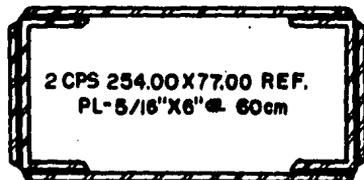
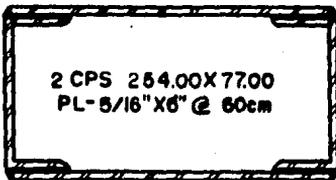
$$f_a = 70.855/56.9 = 1245 \text{ kgs/cm}^2 \geq 179.3 \text{ kgs/cm}^2$$

Se puede ver que debido a su esbeltez respecto al eje "y" es muy grande, y habrá que reducirla. Se pensó en colocar placas para unir los canales entre sí y que a su vez sirvan de arriostamiento, tratando de igualar las relaciones de esbeltez se colocaron las placas a cada -- 60 cms. obteniéndose los siguientes resultados.

$$K1/r_y = 60/1.7 = 35.29 ; F_a = 1379 \geq 1245 \text{ kgs/cm}^2$$

Aceptándose como solución la colocación de placas.-
Para las dos secciones restantes se procedió de igual manera fijándose esta longitud en 60 cms.

En un análisis preliminar se estimó la sección de las placas en 6" x 5/16", quedando finalmente las siguientes secciones:



4.5.- BRAZOS

El diseño de los brazos es un problema muy especial, demanda de mucha atención debido a la diversidad de sollicitaciones a que están sujetos, siendo grave para la compuerta y para el funcionamiento de la presa cualquier falla que se pueda presentar.

Como primer paso para analizar los brazos debemos -- definir su longitud; la cual es función de la distancia - disponible entre la armadura principal y el perno o eje - de la compuerta, reduciendo la longitud de las placas de unión de los brazos.

La localización de los brazos viene como consecuen-- cia de la distribución de los apoyos de la viga curva --- vertical y de la armadura principal, obteniéndose la si-- guiente disposición de éstos.

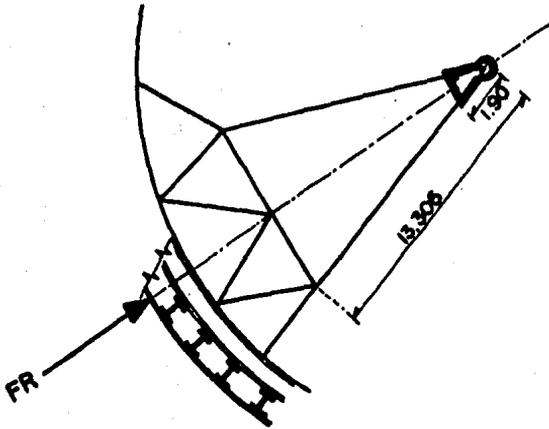


FIG. 4.5.1.

Siendo entonces la longitud del brazo igual al radio de la compuerta, descontando el espesor de la placa de la pantalla, los peraltes de los largueros y viga curva vertical, así como la longitud de los montantes de la ----

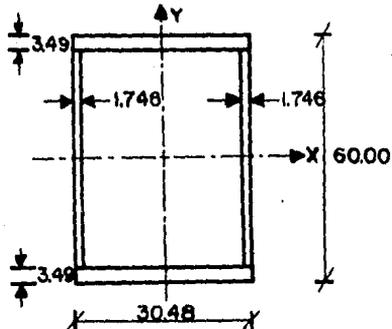
armadura principal y las placas de unión de los brazos, suponiéndose estas últimas de 1.90 mts.

$$L = 19.308 - 0.0127 - 0.35 - 0.55 - 3.19 - 1.9 = 13.305 \text{ mts}$$

Para iniciar el análisis es necesario proponer una sección del brazo, para tal efecto las especificaciones del Cuerpo de Ingenieros Americanos recomienda las siguientes maneras de diseñarlos:

- o- Utilizando secciones compactas de patines anchos y por consiguiente pesados.
- o- Utilizando secciones de patines anchos más ligeras, pero reforzando con cubre placas solamente donde los momentos son altos.
- o- Usando secciones en cajón.
- o- Usando secciones de patines anchos más ligeros conjuntamente con un sistema de contraventéos -- que se extienden a todo lo largo, hasta el cubo.

Finalmente se optó por una sección en cajón cuya sección se muestra a continuación:



$$A = 397.89 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 213431 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 54734 \text{ cm}^4$$

$$S_x = 7114 \text{ cm}^3$$

$$S_y = 3591 \text{ cm}^3$$

$$r_x = 23.16 \text{ cm}$$

$$r_y = 11.73 \text{ cm}$$

Como ya anteriormente se mencionó la compuerta tendrá dos brazos en ambos lados, los que debido a su disposición reciben igual carga.

Una vez conocidos los esfuerzos a que estará sujeta la sección se revisa para que cumpla las especificaciones del manual A.I.S.C., para elementos sujetos a flexo-compresión.

En la introducción se plantearon las sollicitaciones a que están sujetos los brazos y se revisan a continuación.

A).- COMPRESION DEBIDO A LA PRESION DEL AGUA

La carga axial sobre cada brazo será igual a la resultante del empuje hidrostático dividida entre cuatro brazos y descompuesta en la dirección del mismo.

$$P = \frac{985871}{4\cos 14} = 254013 \text{ ton.}$$

B).- FLEXION TRANSMITIDA AL BRAZO POR LA VIGA CURVA VERTICAL

Debido a que la conexión del brazo con este elemento se hace a través del alma de la sección, no se considera este efecto.

C). FLEXION DEBIDO A LA FRICCION ENTRE EL BUJE Y EL PERNO DE LA COMPUERTA

Para aplicar este efecto se utiliza la siguiente fórmula:

$$M_F = Pu\phi/2$$

Donde:

M_F = Momento debido a la fricción

P = Carga Axial

u = Coeficiente de fricción entre el buje y el eje de la compuerta o perno. Cuando se prevén ranuras lubricantes como en este caso se recomienda usar un coeficiente de 0.3.

ϕ = Diámetro del perno, el cual se supondrá de 40-centímetros.

Sustituyendo estos valores en la expresión anterior

$$M_F = 1524072 \text{ kgs-cms}$$

Actuando respecto al eje "y" de la sección.

D).- FLEXION PRODUCIDA POR EL DESPLAZAMIENTO LATERAL DE LA COMPUERTA

Considerando el brazo parte de un marco, se estimó que el momento producido al desplazarse la estructura será $M_d =$:

$$M_d = 6 EI d / L^2$$

Donde:

M_d = Momento debido a un desplazamiento lateral.

E = Módulo de elasticidad del acero $2.039 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

L = Longitud total del brazo en donde se desplaza, o sea hasta el buje. $L = 15.20 \text{ mts.}$

I = Momento de inercia alrededor del eje de acción

$$I_x = 213\,431 \text{ cms.}^4$$

d = Desplazamiento admisible. Se debe considerar la holgura entre la superficie deslizante de la compuerta y la pila, la cual se supondrá de 0.5 cms.

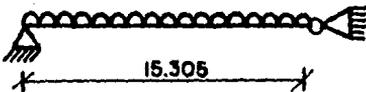
Sustituyendo todos estos valores tenemos que:

$$M_d = 565\,078 \text{ kgs-cm}$$

E).- FLEXION DEBIDA AL PESO PROPIO

El peso de la sección propuesta es de 3.12 kgs./cm.

Considerando que el brazo se flexiona en 17.3 mts. obtenemos el momento debido a su peso:



$$M = \frac{WL^2}{8} = \frac{3.12(1730)^2}{8}$$

$$M = 1\,167\,231 \text{ kg-cm}$$

Actuando respecto al eje "y" de la sección.

El efecto debido al tirón del mecanismo de izaje, en un análisis preliminar fué muy bajo comparado con el empuje del agua, por tal motivo se desprecia.

Conociendo ya los elementos mecánicos que actúan sobre los brazos se obtendrán los esfuerzos debidos a éstos; los que se revisarán para efectos combinados de fle

xión en dos direcciones y carga axial, siendo éstos los siguientes:

My = Flexión debido a: La fricción del buje + peso propio. = 2 691 303 kg-cm

Mx = Flexión debido al desplazamiento lateral = ---
565 078 kg-cm

P = Carga axial debido a la presión del agua = ---
254 012 kgs.

Para la revisión de la sección propuesta se seguirá lo especificado en el manual A.I.S.C.

Cuando $f_a/F_a \geq 0.15$

$$\frac{f_a}{F_a} = \frac{cm \ fbx}{\left[1 - \frac{f_a}{F_e'x}\right] F_b} + \frac{cm \ fby}{\left[1 - \frac{f_a}{F_e'y}\right] F_b} \leq 1$$

Y adicionalmente:

$$\frac{f_a}{0.6 F_y} + \frac{fbx}{F_b} + \frac{fby}{F_b} \leq 1$$

Donde:

f_a = Esfuerzo actuante a compresión

F_a = Esfuerzo permisible a compresión

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(kl/r)^2}{2Cc^2}\right] F_y}{F.S}$$

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

$$F.S. = \frac{5}{3} + \frac{3 \ kl/r}{8Cc} - \frac{(kl/r)^3}{8 \ Cc^3}$$

fbx = Esfuerzo actuante en la dirección "x" = M_x/S_x

F_b = Esfuerzo admisible a flexión.

$$F_e' = \frac{10480000}{(kl/r)^2} \quad (\text{En esta expresión "l" es la longitud real sin arriostamiento en el plano de flexión, "r" es el radio de giro correspondiente.})$$

cm = Coeficiente de variación del momento (Se fijó en 0.85)

Primero analizaremos el esfuerzo admisible a compresión respecto a los dos radios de giro.

Para el radio de giro en "x", la longitud libre es igual a 13.30 mts.

$$Kl/r_x = 1330/ 23.16 = 57.4 ; Fa = 1245 \text{ kg/cm}^2$$

Para el radio de giro en "y" se pensó en colocar -- montantes que unan los brazos, formandose así una armadura, la longitud entre montantes será de 3.00 mts. Tomando esta longitud como longitud libre respecto a "y", tenemos:

$$Kl/r_y = 300/ 11.73 = 25.57 ; Fa = 1426 \text{ kg/cm}^2$$

El esfuerzo actuante será:

$$fa = 254\ 012/397.89 = 638.39 \text{ kg/cm}^2$$

Tomando como esfuerzo admisible el menor obtenemos:

$$\frac{fa}{Fa} = \frac{638.39}{1\ 245} = 0.512$$

$$Fa = 1\ 245$$

Los esfuerzos debidos a flexión se revisan a continuación:

$$fbx = 565\ 078/ 7\ 114 = 79.43 \text{ kg/cm}^2$$

$$fby = 2691\ 303/ 3\ 591 = 749.47 \text{ kg/cm}^2$$

$$F'ex = \frac{10\ 480\ 000}{(57.4)^2} = 3\ 180$$

$$F'ey = \frac{10\ 480\ 000}{(25.57)^2} = 16\ 028.75$$

Aplicando estos valores en las expresiones para flexión obtenemos el valor del esfuerzo admisible.

Respecto al eje "x"

$$\frac{0.85 (79.43)}{0.8 (1520)} = 0.055$$

Respecto al eje "y"

$$\frac{0.85 (749.46)}{0.96 (1\ 520)} = 0.436$$

Finalmente:

$$0.512 + 0.055 + 0.436 = 1$$

Adicionalmente:

$$\frac{638.39}{1\ 520} + \frac{79.43}{1\ 520} + \frac{749.46}{1\ 520} = 0.965$$

Aceptando la sección como correcta.

El esfuerzo cortante que se presenta en esta sección es mínimo por lo que no se revisa.

Como anteriormente se mencionó se colocará un sistema de contravientos para reducir la longitud de pandeo de los brazos en la dirección "y" de la sección, formándose así otra armadura, en la cual los brazos serán las cuerdas. Del análisis anterior sabemos que la separación de los largueros es de 300 cm., quedando finalmente la siguiente geometría para los brazos.

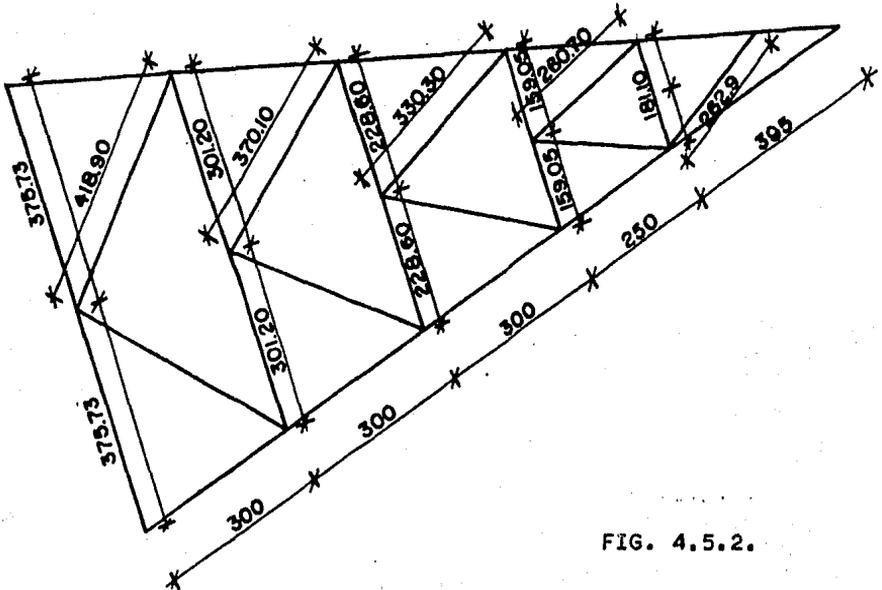


FIG. 4.5.2.

Para uniformizar secciones y facilitar la unión entre los brazos y los montantes, se pensó en colocar secciones tipo cajón igual a los elementos de la cuerda inferior de la armadura principal, secciones que se revisarán posteriormente con los resultados del análisis por computadora.

Observando las distintas compuertas radiales que se han construido en México, se optó por colocar un mecanismo de izaje, después de varias alternativas se obtuvo la siguiente geometría, la cual es función del peso de la compuerta, su punto de aplicación y su distancia al eje sobre el que gira. La ubicación de éste sobre los brazos se presenta a continuación:

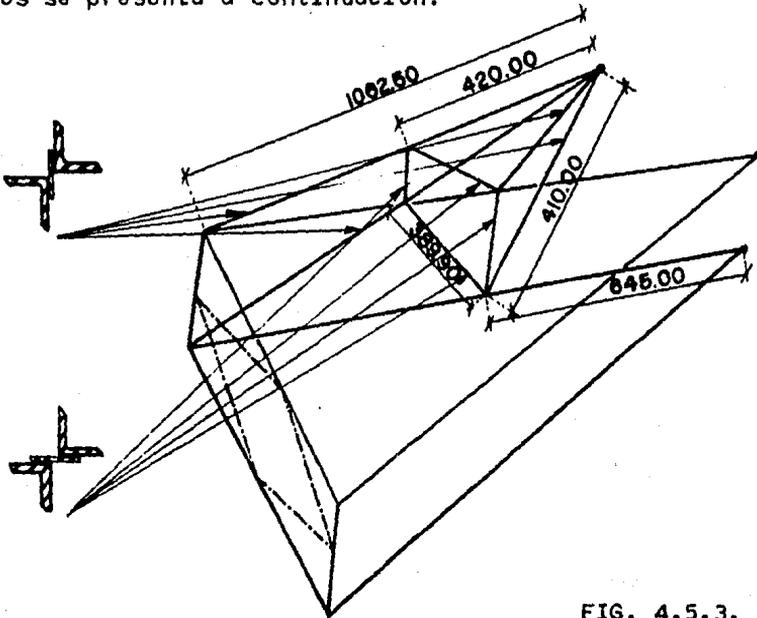


FIG. 4.5.3.

En un análisis preliminar se estimaron las secciones del mecanismo de izaje, las cuales se muestran en la figura anterior. Se revisarán nuevamente con los resultados del análisis por computadora bajo las dos condiciones; apoyada en el labio inferior y colgada del mecanismo de izaje.

CAPITULO V

DISCRETIZACION DE LA ESTRUCTURA Y CARGAS PARA SU ANALISIS POR COMPUTADORA

5.1.- DISCRETIZACION DE LA ESTRUCTURA

En el presente capítulo se describe brevemente el procedimiento a seguir para utilizar el paquete de análisis estructural SAP V. La idealización de la estructura parte de algunas consideraciones generales, y se describen a continuación:

- 1.- La geometría de la estructura será referida a un sistema de ejes cartesianos llamado Sistema-Global.
- 2.- Las propiedades prismáticas de los elementos, serán definidas a partir de los ejes locales de cada sección, cuya convención se dará posteriormente.
- 3.- Todas las cargas que actúan sobre la estructura serán aplicadas sobre los elementos y referidas a sus ejes locales, a menos que se indique lo contrario.
- 4.- Los elementos viga de la estructura se representarán por medio de su eje longitudinal, el cual pasa por el centroíde de la sección y en el cual se consideran concentradas sus propiedades prismáticas.
- 5.- Todos los elementos viga son rectos. Para dar una curvatura se reducirá la longitud de éstos tanto como se quiera afinar el análisis.
- 6.- Aunque el elemento que se describe no se interrumpa físicamente, se determinará su longitud en donde haya unión con otro elemento o bien donde exista un cambio de sección y pendiente.

- 7.- La continuidad entre elementos será la de un nudo rígido, a menos que se indique lo contrario.
- 8.- Los resultados que se obtengan del análisis se-
rán referidos al sistema de ejes locales de la-
sección, y las unidades de estos elementos mecá-
nicos vienen como consecuencia de los datos que
se suministraron para la geometría y cargas.

Las consideraciones arriba descritas son las más importantes, otras no generales, se mencionarán conforme - se vayan necesitando.

La idealización de la estructura se obtuvo a partir de los resultados del prediseño. Las cargas que actúan sobre la compuerta se determinaron a través de los dia-
gramas de presiones del agua.

Se entenderá por corrida todo el proceso de análi-
sis que desarrolla la computadora para cada condición de cargas y apoyo.

En la siguiente figura se muestra una vista lateral de la estructura en donde aparecen los ejes centroidales de las secciones que forman la compuerta.

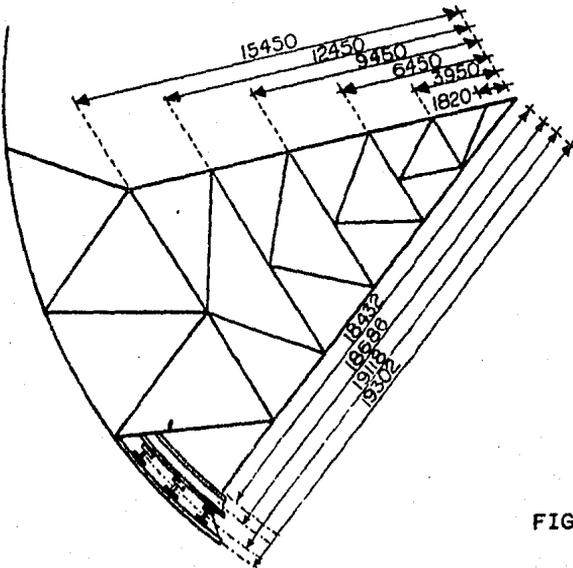


FIG. 5.1.1.

Para determinar la posición de los puntos nodales de la estructura, necesitamos fijar previamente un sistema de ejes coordenados, cuyo origen situaremos entre los dos brazos y sobre el eje de la compuerta, esto con el fin de facilitarnos la descripción y detectar fácilmente cualquier falla al suministrar la geometría y cargas, ya que estamos creando dos partes simétricas. El tercer eje radial será paralelo a la horizontal. En la siguiente figura se muestran la convención de ejes:

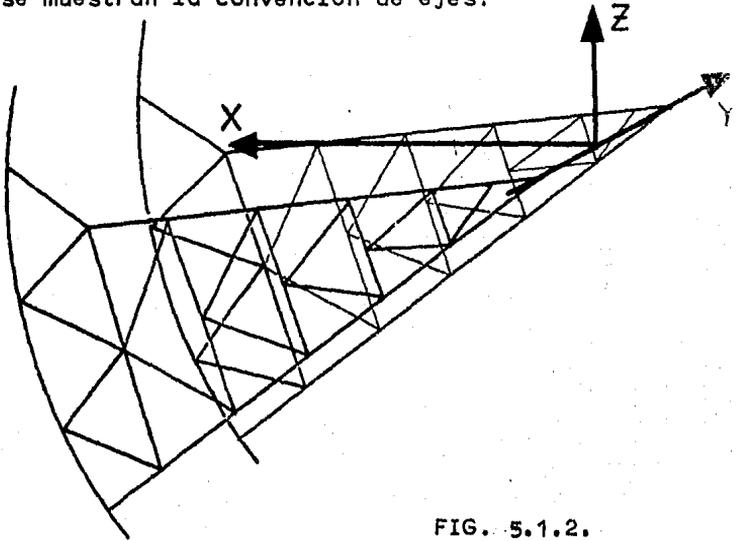
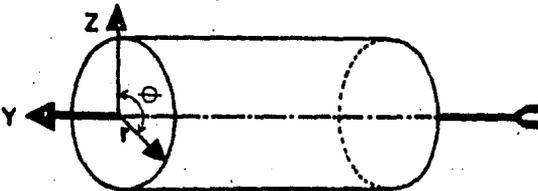


FIG. 5.1.2.

Se tomó esta distribución debido a que el paquete de análisis tiene la siguiente restricción para utilizar --- coordenadas polares, las cuales son más convenientes para definir la geometría.



Donde "Y" es el eje longitudinal del cilindro, " θ " es el ángulo que forma el radio respecto a un eje perpendicular al eje "Y" y "r" es la longitud a la que se encu-

entra el punto a definir.

Una vez definidos los puntos nodales que conforman la estructura, se etiquetan numericamente, tratando de que la numeración de los nudos sean lo más próximo posibles.

A continuación se limitarán los elementos y se etiquetarán numericamente de acuerdo a su nudo inicial y final, determinándose así su incidencia. Esta incidencia determina a su vez el eje uno local de la sección como se muestra en la figura siguiente:



El sentido positivo del eje se tomará de acuerdo a la incidencia. El origen del sistema coordenado local se fijará en el nudo "i". Para determinar los ejes 2 y 3 de la sección que nos definen sus propiedades prismáticas, se procede de la siguiente forma:

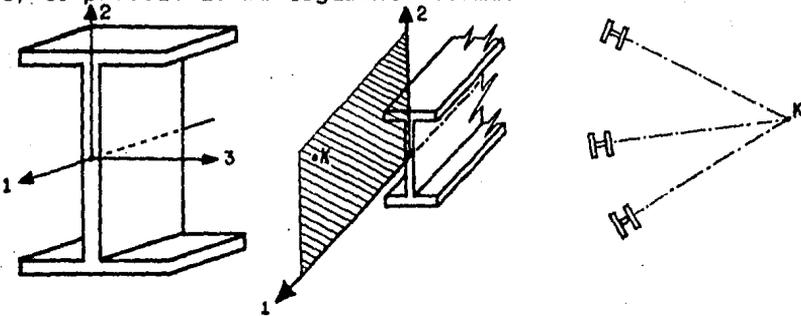


FIG. 5.1.3

Tomando como referencia una sección "I" como la que se muestra en la figura 5.1.3., se fijarán arbitrariamente, pero de acuerdo a su geometría los ejes 2 y 3; para orientar la sección y por tanto sus propiedades prismáticas respecto a los ejes globales, se tiene que definir un punto auxiliar "K" el cual debe estar incluido en el plano que forman el eje "1" y "2", este punto puede estar sobre el eje "2" pero nunca en el eje "1", para ilustrar

trar ésto se tomaron los largueros de la pantalla, donde podemos ver que debido a que las secciones están orientadas radialmente, el punto "K" para cualquiera de éstos - es el origen del cilindro. El punto "K" puede ser o nó - un nudo de la estructura.

La aplicación de los puntos arriba descritos se muestra graficamente en las siguientes figuras:

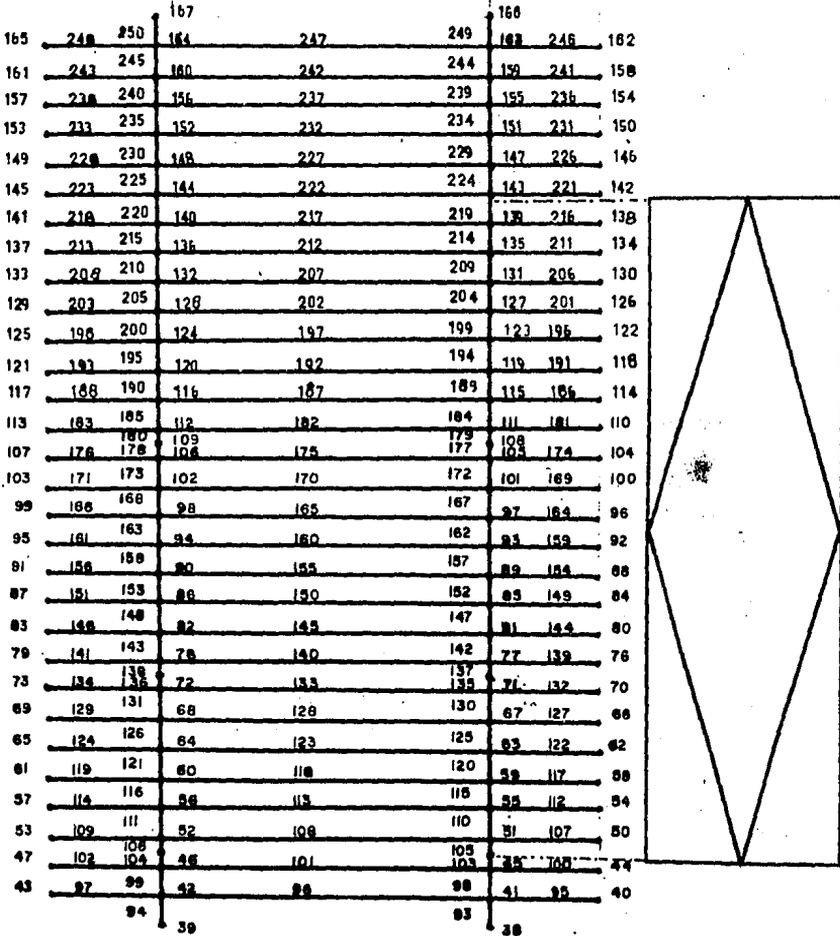


FIG. 5.1.4.

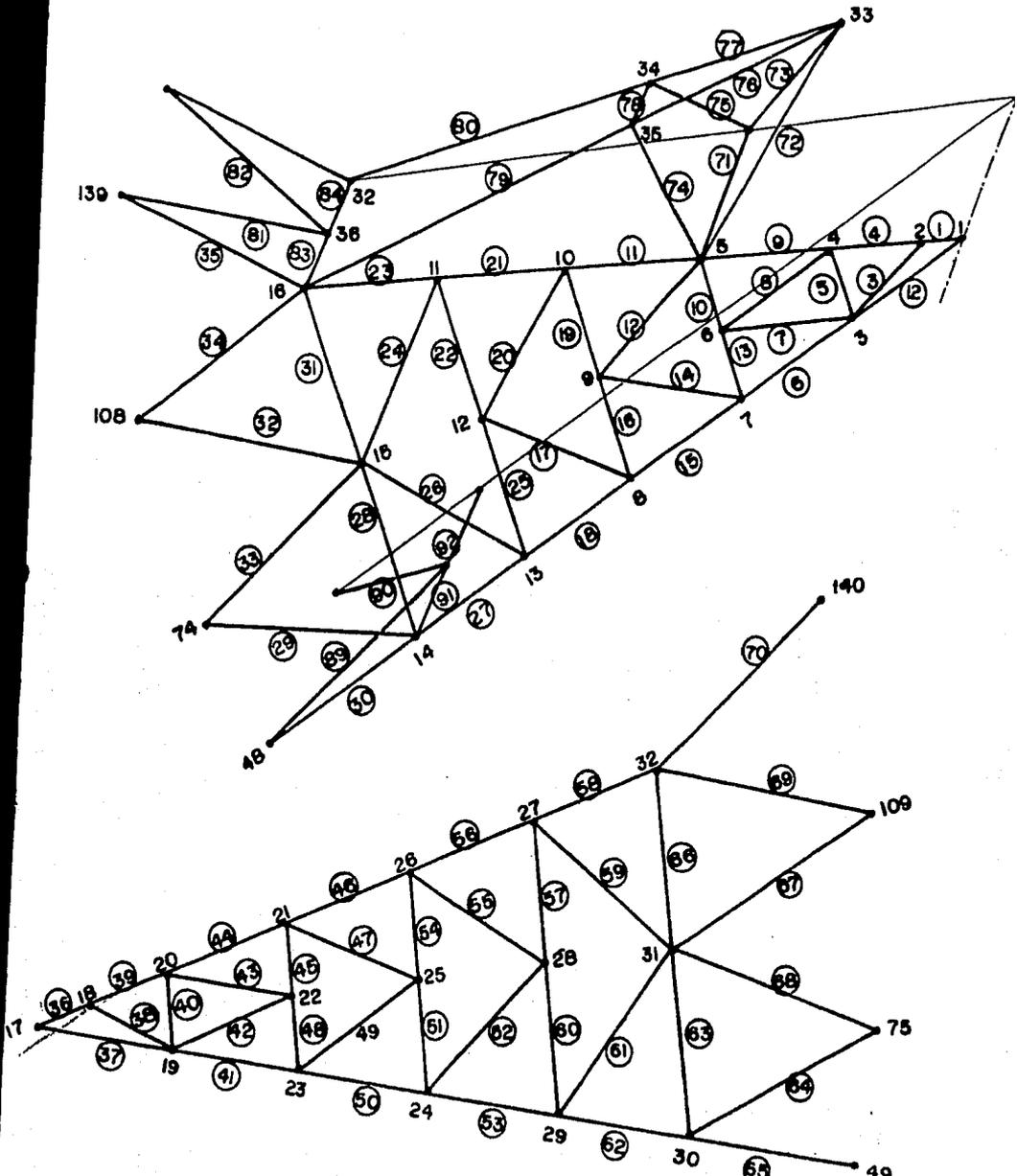


FIG. 5.1.5.

Debido a que los ejes centroidales de las secciones de la viga curva extrema y los largueros no coinciden, -- se obtuvo un punto medio entre éstas, haciendo coincidir en este nuevo eje las dos secciones, siendo además este -- eje, donde se conectan los elementos de la armadura principal.

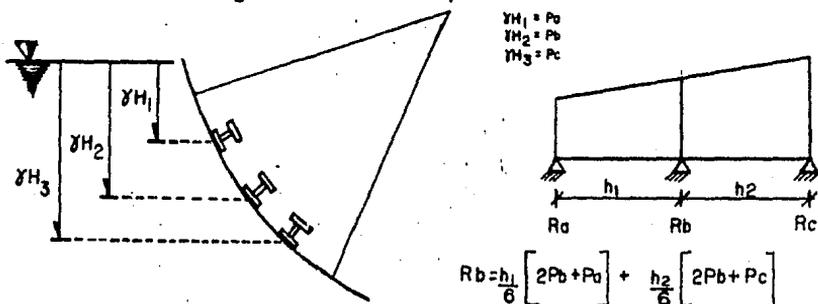
5.2.- DISCRETIZACION DE CARGAS

Conociendo ya la geometría y propiedades de la estructura se determinaron las cargas debidas al empuje -- del agua, ya que las debidas al peso propio se generan -- automaticamente por el paquete de computadora.

De la estructuración de la cubierta conocemos la -- profundidad a la que se encuentran los largueros horizontales y aplicando el método de la reacción equivalente, -- podemos obtener la carga uniformemente distribuida para -- cada larguero.

Debido a que los largueros están orientados radialmente a los ejes globales y que las cargas actúan igualmente radiales, se aplicarán las cargas referidas al eje local de las secciones.

A continuación se presenta la aplicación del método de la reacción equivalente para encontrar la carga uniforme sobre un larguero de la compuerta.



$$R_b = \frac{h_1}{8} [2P_b + P_a] + \frac{h_2}{6} [2P_b + P_c]$$

La carga accidental debida al movimiento del agua -- se estimó de igual forma, tomando los valores que se obtuvieron en el capítulo de solicitaciones.

VIGA No.	ELEMENTOS No.	PROFUN- DIDAD. MTS	LONG. ARCO MTS.	CARGA UNIF HIDROSTA-- TICA. TON/MTS	CARGA UNIF HIDRODI-- NAMICA. TON/MTS
1	249-250	0.0000	0.10	0.0158	0.000149
2	246-247-248	0.0950	0.60	0.1214	0.000752
3	241-242-243	0.6750	0.69	0.4567	0.012186
4	236-237-238	1.3650	0.72	0.9682	0.032670
5	231-232-233	2.0750	0.70	1.4677	0.061080
6	226-227-228	2.7580	0.66	1.8641	0.090590
7	221-222-223	3.3790	0.56	2.0433	0.111160
8	216-217-218	3.3190	0.56	2.1956	0.127280
9	211-212-213	4.4700	0.66	2.7433	0.177140
10	206-207-208	5.0890	0.66	3.3566	0.233080
11	201-202-203	5.6890	0.60	3.5721	0.264410
12	196-197-198	6.2390	0.60	3.7422	0.295580
13	191-192-193	6.7777	0.56	3.9267	0.323190
14	186-187-188	7.3087	0.56	4.0920	0.352880
15	181-182-183	7.8307	0.54	4.3045	0.387020
16	174-175-176	8.3507	0.52	4.4224	0.413320
17	169-170-171	8.5707	0.52	4.6023	0.445840
18	164-165-166	9.3507	0.50	4.7662	0.477306
19	159-160-161	9.8387	0.50	5.0137	0.507981
20	154-155-156	10.2987	0.48	5.1457	0.536060
21	149-150-151	10.7582	0.48	5.1640	0.563720
22	144-145-146	11.2187	0.58	5.9631	0.669170
23	139-140-141	11.7787	0.58	6.8316	0.788580
24	132-133-134	12.3387	0.56	7.0181	0.832460
25	127-128-129	12.7587	0.56	7.1424	0.865720
26	122-123-124	13.1527	0.54	7.2316	0.893140
27	117-118-119	13.5347	0.54	7.3087	0.918900
28	112-113-114	13.9167	0.54	7.5150	0.961300
29	107-108-109	14.2987	0.50	7.4301	0.966080
30	100-101-102	14.6487	0.50	7.3244	0.967070
31	95- 96- 97	14.9987	0.23	5.4515	0.747290
32	38- 39	15.1600	0.00	1.7372	0.230690

Un resumen de las cargas debidas al empuje hidrostático e hidrodinámico, se muestra en la tabla anterior; - las cuales serán utilizadas para el análisis por computadora.

Las cargas debidas a la aceleración de la masa de la estructura son generadas automáticamente, suministrando únicamente el coeficiente debido a esta aceleración, - y la dirección en que actúan.

CAPITULO VI

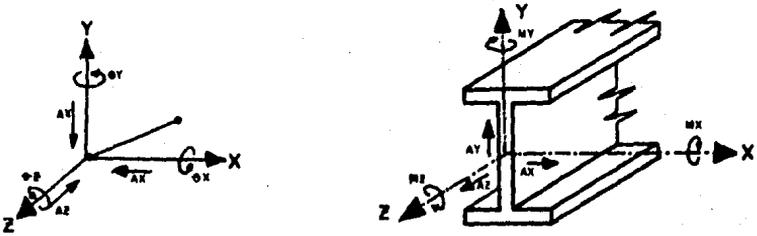
MODELOS ESTRUCTURALES ESTUDIADOS

6.1.- ELECCION DEL MODELO ESTRUCTURAL A EMPLEAR

En el capítulo anterior se discretizó la estructura en "n" elementos que tienen distintas dimensiones y propiedades prismáticas. Algunas de estas propiedades como son su longitud y orientación quedaron ya definidas, faltando definir las restantes características de los elementos como son: Las inercias, áreas, módulo de elasticidad, tipo de materiales y peso específico del mismo, así como sus condiciones de frontera, las cuales se tratarán en este capítulo.

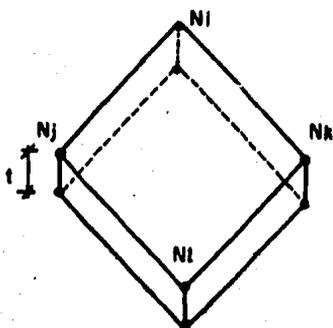
Para analizar la estructura se propusieron dos tipos distintos de modelos. El primero formado por elementos viga, elementos frontera y placas, siendo éste el más apegado a la realidad.

Los elementos viga son miembros estructurales que poseen seis grados de libertad en cada uno de sus extremos; que al aplicar las acciones sobre los elementos y restringir sus grados de libertad, generan los elementos mecánicos a través de toda la sección.

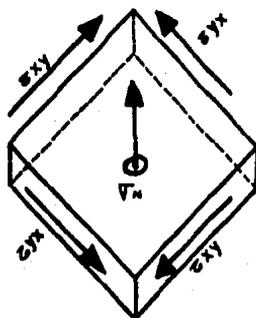


- | | |
|---|--|
| A_i = Desplazamiento lineal respecto al eje "i" | M_i = Momento Flexionante respecto al eje "i" |
| θ_i = Desplazamiento angular respecto al eje "i" | F_i = Cortante o carga axial respecto al eje "i" |

En este primer modelo se considera que todos los elementos de la compuerta son vigas, excepto las placas que forman la cubierta. Los elementos placa de la compuerta se definieron a partir de los puntos nodales de los largueros horizontales, formandose así 93 tableros rectos, los que al unirse entre sí y los largueros forman la cubierta. Conociendo estos cuatro puntos nodales que definen el tablero podremos saber su área y orientación, sus restantes dimensiones como son espesor, tipo de material y módulo de elasticidad y peso específico se tomaron de los resultados del prediseño.



Siendo N_i el nudo inicial y final de un larguero.



Siendo τ y σ los esfuerzos cortante y normal de la placa respectivamente.

FIG. 6.1.1.

Para poder dar continuidad entre los largueros y las placas, se requiere de otro tipo de elemento llamado frontera, el cual además de permitir esta continuidad impide que la placa gire respecto a un eje normal a su plano, en cada punto nodal de la pantalla se colocará un elemento frontera.

En una primera corrida de este modelo se observó que su tiempo de procesamiento fué muy grande y por tanto costoso. Otra cosa importante que se detectó, fué que debido a que las placas se definieron a partir de los nu

dos de los largueros, y que el paquete de análisis concentra las cargas en éstos, no se obtuvieron resultados reales de esfuerzos en las placas.

Con el objeto de reducir el tiempo de proceso, se simplificó este modelo, haciendo desaparecer los elementos frontera y placa, incrementando la parte de la pantalla como una sección adicional a cada larguero, tomando el siguiente criterio:

$$L = 1.5t\sqrt{E/F_y} = \text{Ancho efectivo de la placa de cubierta trabajando como patín de compresión.}$$

Para cada espesor de placa se obtuvo esta longitud, encontrándose que era menor a la longitud entre largueros dividida entre dos, tomándose esta expresión para modificar las propiedades del larguero, quedando finalmente de la siguiente forma:

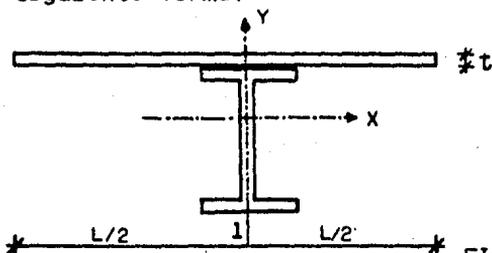


FIG. 6.1.2.

Para analizar las placas de la pantalla se aisló una franja horizontal, creando una nueva distribución de puntos nodales, que conformaran una retícula más cerrada y nos diera resultados más reales, como resultado de este análisis se observó que las placas bajo estas condiciones se comportan como una viga trabajando en un solo sentido, debido a que la relación largo ancho de los tableros es mucho mayor a dcs. Tomándose como bueno el análisis del prediseño para revisar nuevamente las placas pero para esfuerzos combinados con la compresión transmitida por los largueros horizontales debido a flexión.

Una vez hecha esta simplificación, se realizó otra corrida con el nuevo modelo, reduciéndose el tiempo de procesamiento de análisis a la mitad. De los resultados que se obtuvieron se hizo una comparación con los resultados del primer modelo; no encontrándose diferencias -- significativas entre ellos se optó finalmente por este -- segundo modelo para hacer el análisis bajo distintas condiciones de apoyo y carga.

6.2.- COMBINACIONES DE CARGA Y APOYO

Definido ya el modelo a emplear para el análisis, -- las condiciones de frontera de los elementos y apoyos de la estructura se describen a continuación.

Para todos los puntos donde convergen varios elementos se consideran nudos rígidos, dándoles continuidad de acuerdo a su rigidez, los únicos nudos que se modifica--ron son, la unión entre vigas curvas y armadura princi--pal, ya que esta unión se hará a través del alma de la -- viga curva, con lo que no le transmite flexión; liberandose a los elementos de la armadura principal de flexión respecto a ese eje.

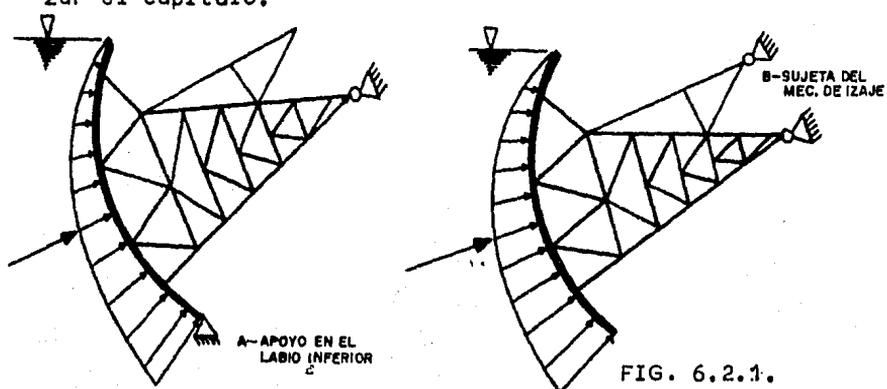
Todos los nudos de la estructura tienen la posibilidad de desplazarse, excepto los correspondientes a los -- apoyos de la estructura.

Las condiciones de apoyo de la compuerta, se mencionaron en el capítulo de solicitaciones. Estas condiciones serán: A).- Apoyada en el labio inferior, cuando el -- vaso está lleno; B).- Sujeta del mecanismo de izaje y -- también con la máxima elevación del agua, condición que -- se presenta al dar el tirón inicial para el izaje. Estas condiciones se muestran en la figura 6.2.1.

Para checar que la geometría y secciones de nuestro modelo fueran correctas, se realizó una corrida bajo la -- condición de peso propio, comparando desplazamientos y -- elementos mecánicos de las dos partes simétricas del mo-

delo, depurandose estos datos hasta encontrar una igualdad de éstas.

Otra forma de checar la geometría, es graficando ésta. El paquete de análisis SAPV, cuenta con una subrutina que dibuja la estructura a partir de los datos de entrada, etiquetando además los puntos nodales y su incidencia. Algunas de estas gráficas se muestran al finalizar el capítulo.



Contando con un modelo depurado se realizaron tres combinaciones de carga para cada una de las dos condiciones de apoyo.

- 1.- Presión hidrostática + Peso propio
- 2.- Presión hidrostática + Peso propio +
+ Sismo en el agua
- 3.- Presión hidrostática + Peso propio +
+ Sismo en el agua + Sismo en la estructura.

Un resumen de estas corridas se presenta en el siguiente capítulo, con los cuales se diseñó la estructura.

A continuación se presentan croquis de la computa, donde se muestran los miembros estructurales y el tipo de secciones correspondientes, así mismo se enumeran las distintas secciones, sus propiedades prismáticas y tipo de material empleado.

BRAZOS Y ARMADURA PRINCIPAL

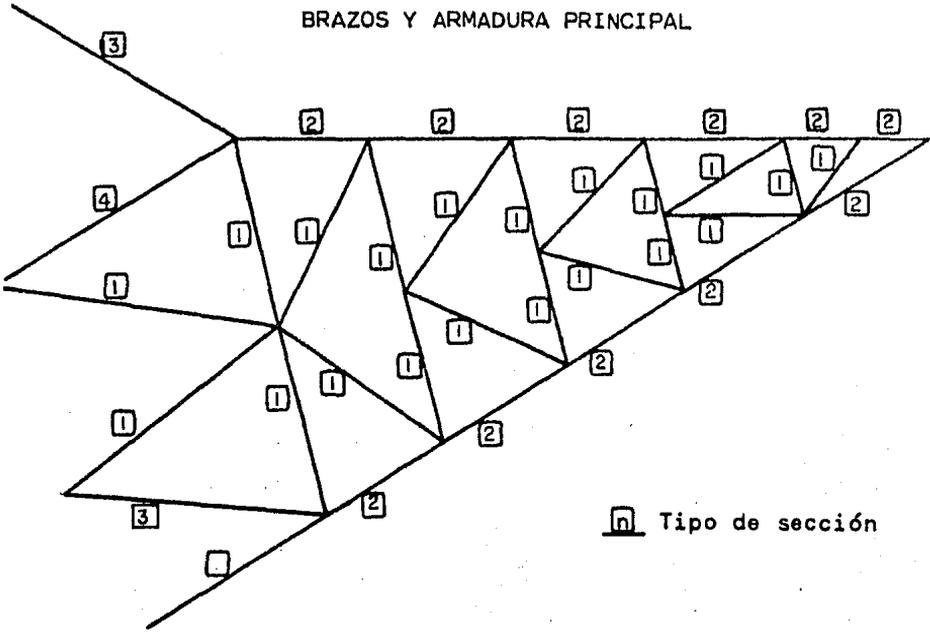
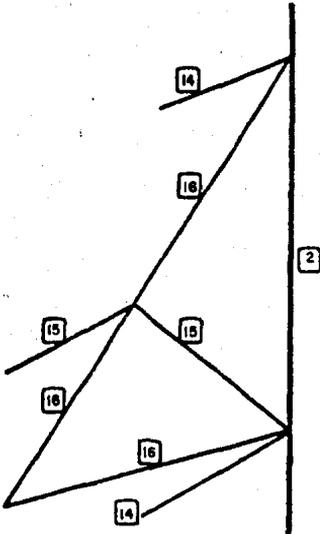


FIG. 6.2.2.

MECANISMO DE IZAJE

TIRANTE



CONTRAVENTEO

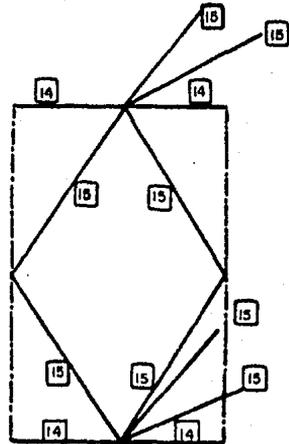


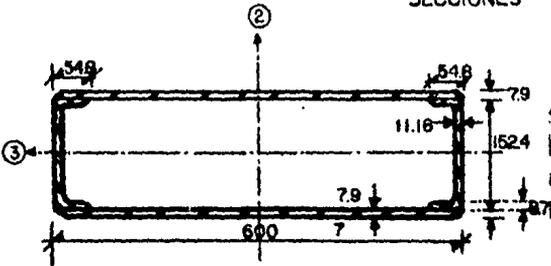
FIG. 6.2.3.

PANTALLA Y VIGAS CURVAS
VERTICALES

10	13
9	13
8	13
7	13
6	13
5	13
5	12
3	12
3	12
3	12
3	12
3	12
3	12
3	12
3	12
3	12
3	12
3	12
3	12
3	12
3	12
3	12
3	12
3	12
3	11
3	11
3	11
3	11
3	11
3	11
3	11
3	11
3	11
3	11

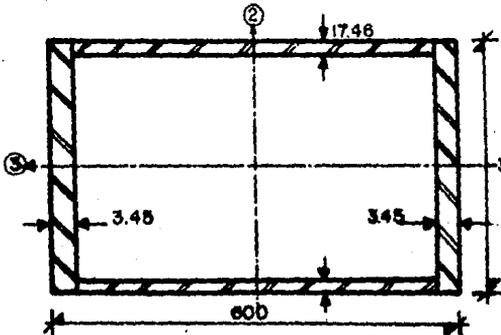
FIG. 6.2.4.

6.3.- TIPOS Y PROPIEDADES DE LAS SECCIONES



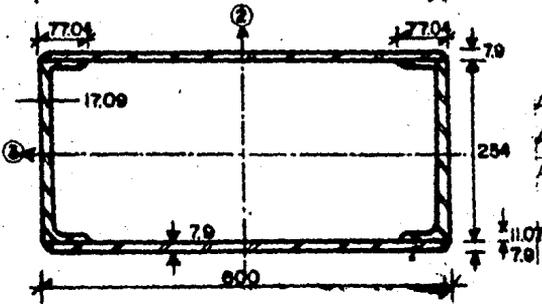
SECCION 1

$A_1 = 49.12 \text{ cm}^2$	$I_1 = 23.88 \text{ cm}^4$
$A_2 = 23.66 \text{ cm}^2$	$I_2 = 40527 \text{ cm}^4$
$A_3 = 19.16 \text{ cm}^2$	$I_3 = 1440 \text{ cm}^4$



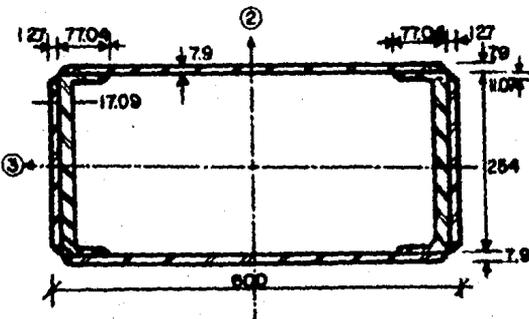
SECCION 2

$A_1 = 379.89 \text{ cm}^2$	$I_1 = 644.80 \text{ cm}^4$
$A_2 = 212.70 \text{ cm}^2$	$I_2 = 213431 \text{ cm}^4$
$A_3 = 185.10 \text{ cm}^2$	$I_3 = 54734 \text{ cm}^4$



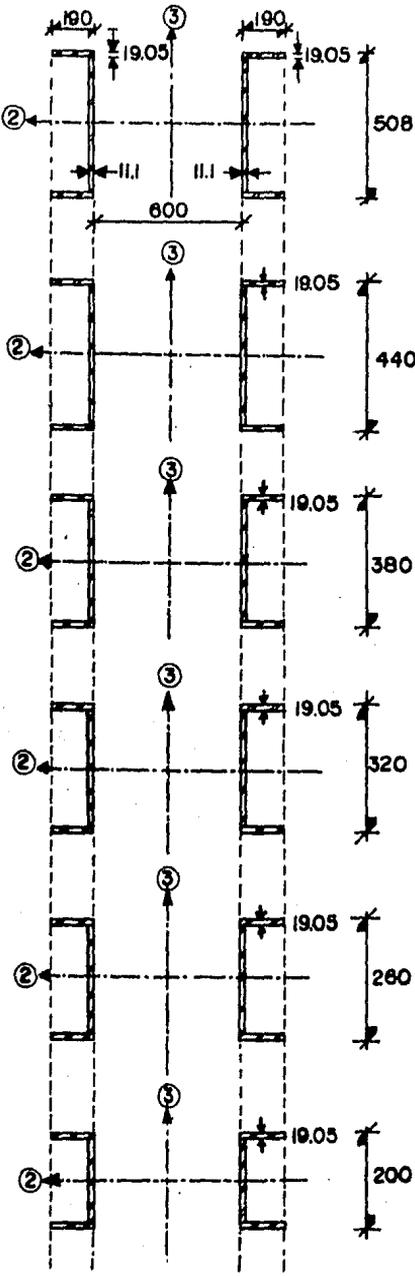
SECCION 3

$A_1 = 113.80 \text{ cm}^2$	$I_1 = 136.00 \text{ cm}^4$
$A_2 = 79.25 \text{ cm}^2$	$I_2 = 91791 \text{ cm}^4$
$A_3 = 34.55 \text{ cm}^2$	$I_3 = 8574 \text{ cm}^4$



SECCION 4

$A_1 = 278.86 \text{ cm}^2$	$I_1 = 719.20 \text{ cm}^4$
$A_2 = 108.30 \text{ cm}^2$	$I_2 = 133624 \text{ cm}^4$
$A_3 = 63.56 \text{ cm}^2$	$I_3 = 11103 \text{ cm}^4$



SECCION 5

$A1=248.18 \text{ cm}^2$	$I1= 80.96 \text{ cm}^4$
$A2=108.56 \text{ cm}^2$	$I2=326474 \text{ cm}^4$
$A3=149.68 \text{ cm}^2$	$I3=105640 \text{ cm}^4$

SECCION 6

$A1=245.21 \text{ cm}^2$	$I1= 75.62 \text{ cm}^4$
$A2= 95.53 \text{ cm}^2$	$I2=316.02 \text{ cm}^4$
$A3=149.68 \text{ cm}^2$	$I3= 89172 \text{ cm}^4$

SECCION 7

$A1=231.43 \text{ cm}^2$	$I1= 69.96 \text{ cm}^4$
$A2= 81.75 \text{ cm}^2$	$I2=305624 \text{ cm}^4$
$A3=149.68 \text{ cm}^2$	$I3= 72794 \text{ cm}^4$

SECCION 8

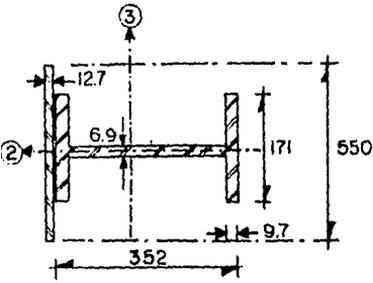
$A1=217.24 \text{ cm}^2$	$I1= 64.31 \text{ cm}^4$
$A2= 67.56 \text{ cm}^2$	$I2=295109 \text{ cm}^4$
$A3=149.68 \text{ cm}^2$	$I3= 56236 \text{ cm}^4$

SECCION 9

$A1=204.22 \text{ cm}^2$	$I1= 54.54 \text{ cm}^4$
$A2= 54.54 \text{ cm}^2$	$I2=284654 \text{ cm}^4$
$A3=149.68 \text{ cm}^2$	$I3= 39768 \text{ cm}^4$

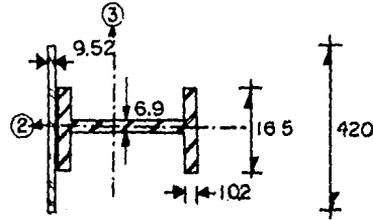
SECCION 10

$A1=189.85 \text{ cm}^2$	$I1= 52.82 \text{ cm}^4$
$A2= 40.17 \text{ cm}^2$	$I2=274200 \text{ cm}^4$
$A3=149.68 \text{ cm}^2$	$I3= 23300 \text{ cm}^4$



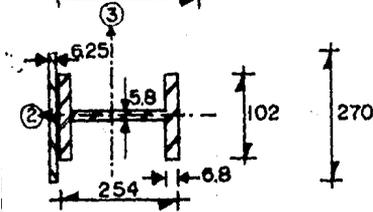
SECCION 11

$A1=126.50 \text{ cm}^2$	$I1= 14.27 \text{ cm}^4$
$A2= 22.95 \text{ cm}^2$	$I2= 18220 \text{ cm}^4$
$A3=103.60 \text{ cm}^2$	$I3= ,22470 \text{ cm}^4$



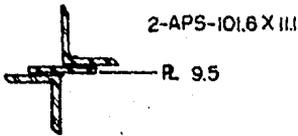
SECCION 12

$A1= 90.42 \text{ cm}^2$	$I1= 14.33 \text{ cm}^4$
$A2= 17.76 \text{ cm}^2$	$I2= 6168 \text{ cm}^4$
$A3= 76.65 \text{ cm}^2$	$I3= 13940 \text{ cm}^4$



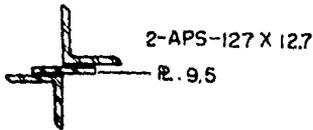
SECCION 13

$A1= 42.41 \text{ cm}^2$	$I1= 10.42 \text{ cm}^4$
$A2= 11.45 \text{ cm}^2$	$I2= 1238 \text{ cm}^4$
$A3= 30.96 \text{ cm}^2$	$I3= 2815 \text{ cm}^4$



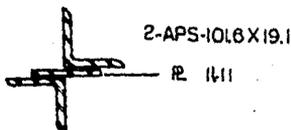
SECCION 14

$A1= 61.30 \text{ cm}^2$	$I1= 3.00 \text{ cm}^4$
$A2= 30.65 \text{ cm}^2$	$I2= 1982 \text{ cm}^4$
$A3= 30.65 \text{ cm}^2$	$I3= 1970 \text{ cm}^4$



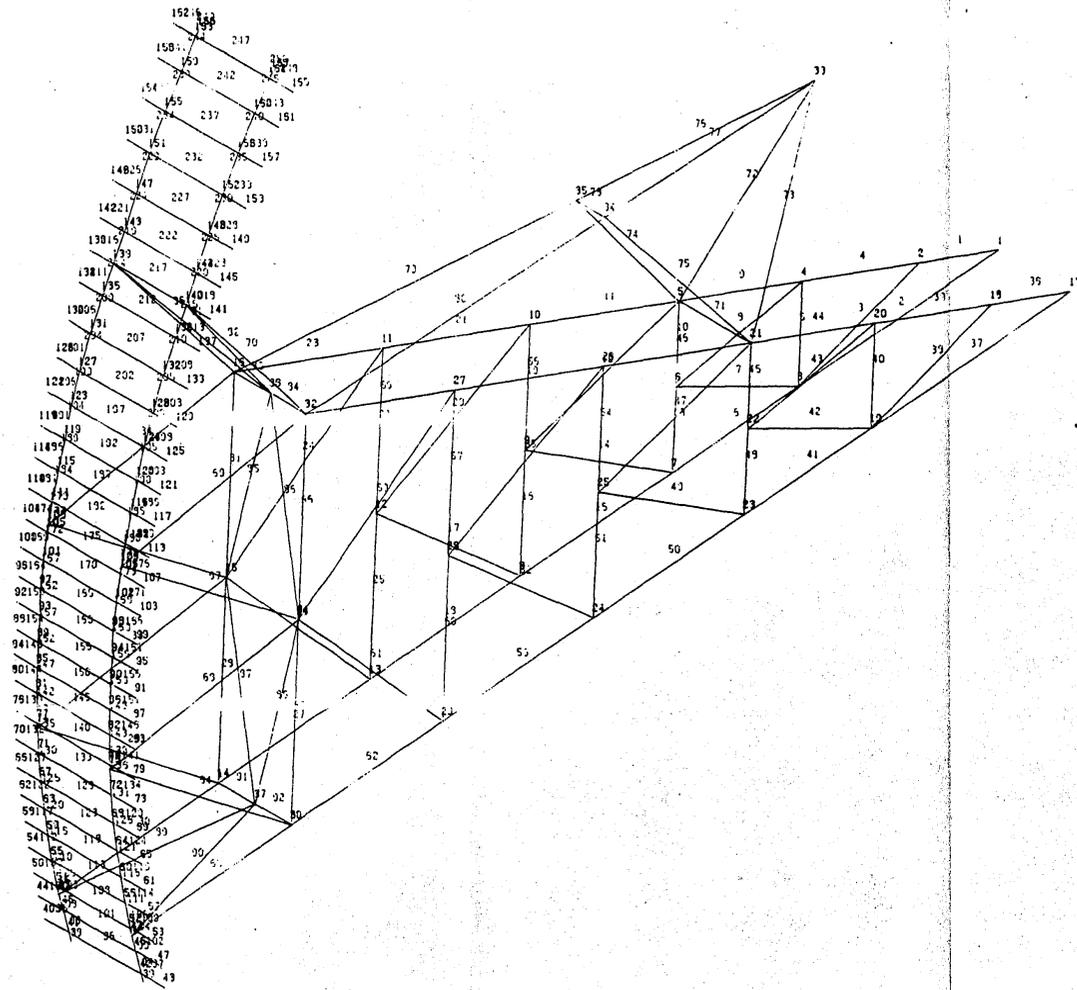
SECCION 15

$A1= 42.70 \text{ cm}^2$	$I1= 3.00 \text{ cm}^4$
$A2= 21.35 \text{ cm}^2$	$I2=890.40 \text{ cm}^4$
$A3= 21.35 \text{ cm}^2$	$I3=910.30 \text{ cm}^4$



SECCION 16

$A1= 70.20 \text{ cm}^2$	$I1= 3.20 \text{ cm}^4$
$A2= 85.10 \text{ cm}^2$	$I2= 1660 \text{ cm}^4$
$A3= 35.10 \text{ cm}^2$	$I3= 1659 \text{ cm}^4$



ESCALA 1: 28.17

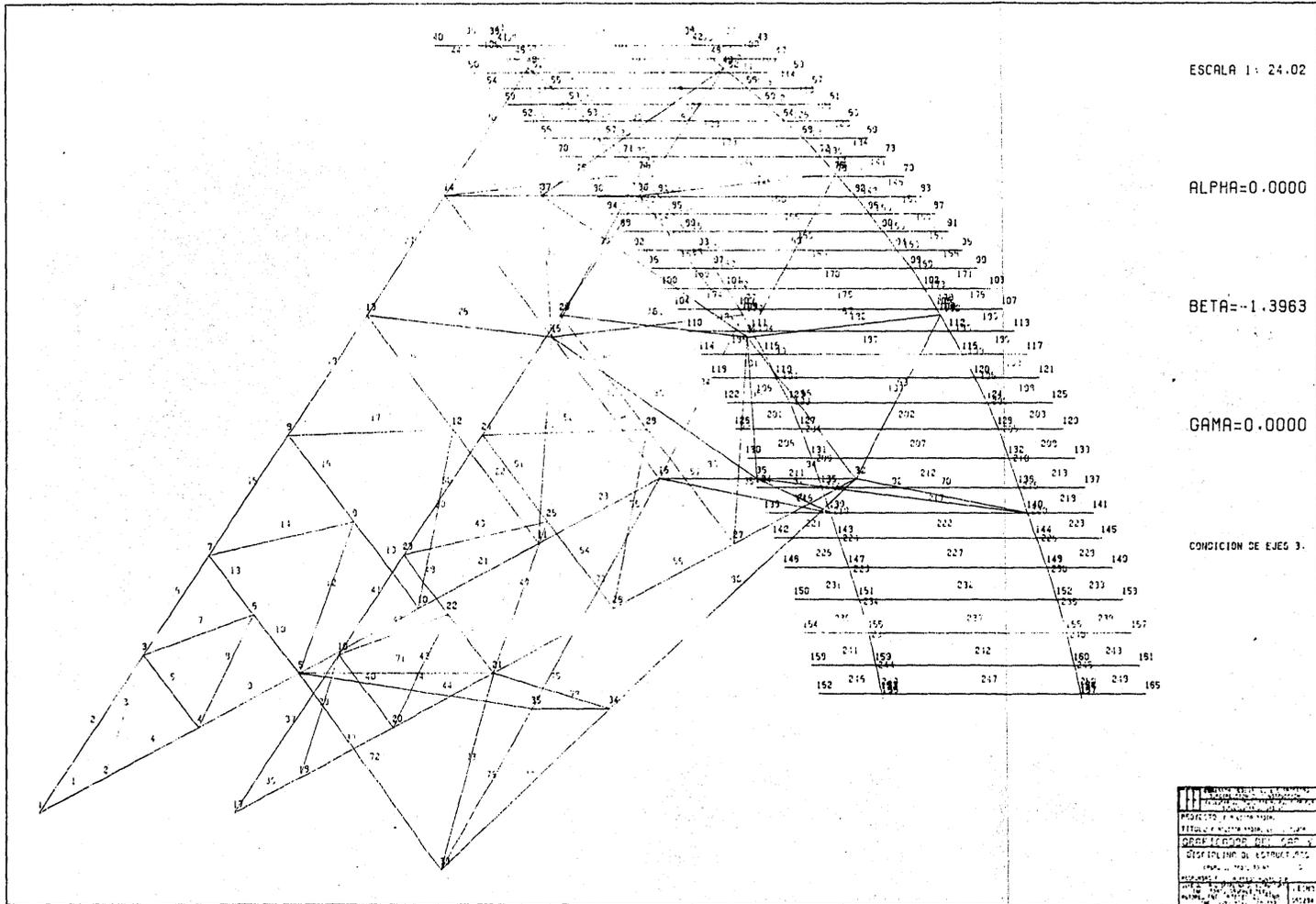
ALPHA=0.7854

BETA=1.3963

GAMA=0.7854

CONDICION DE EJES 3.

PROYECTO	ESTRUCTURA
TITULO	ANÁLISIS Y DISEÑO
GRUPO DE ESTUDIOS	
DISCIPLINA DE INGENIERÍA	
ESTRUCTURAL	
AUTOR	
FECHA	
LUGAR	



ESCALA 1: 24.02

ALPHA=0.0000

BETA=-1.3963

GAMA=0.0000

CONDICION DE EJES 3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

CAPITULO VII

INTERPRETACION DE ELEMENTOS MECANICOS

7.1.- DESCRIPCION

En el capítulo anterior se establecieron seis combinaciones de carga y condiciones de apoyo para el análisis de la compuerta, de estas corridas se compararon los resultados, observandose que la condición "B" de apoyo presenta los elementos mecánicos mayores, principalmente en los brazos, diagonales y armadura principal, mientras que las vigas curvas verticales y los elementos de la pantalla permanecen aproximadamente igual.

Este incremento en los elementos es consecuencia de la carga que se induce a los brazos al dar el tirón para el izaje, y también de la variación de las condiciones de apoyo.

Definida la condición de apoyo más crítica, que es cuando la compuerta gira sobre el perno de apoyo y se sujeta del mecanismo de izaje, se obtuvieron los resultados del análisis para las tres condiciones de carga, encontrándose las siguientes observaciones:

En la primera corrida bajo la combinación de carga "1", correspondiente a peso propio más presión hidrostática, se obtuvieron resultados muy parecidos a los del prediseño.

De la segunda y tercera corrida se observó un incremento muy pequeño de los elementos mecánicos de todos los miembros de la estructura, principalmente la carga axial sobre los brazos inferiores.

Siendo estos incrementos muy pequeños comparados con los debidos al empuje hidrostático. Finalmente se optó por tomar los resultados de la primera corrida para revisar las secciones propuestas en el prediseño, con los es-

fuerzos admisibles de trabajo que indica el manual AISC- sin incrementarlos al considerar cargas accidentales, ya que éstas son muy pequeñas.

A continuación se presentan varias tablas que son - un resumen de los elementos mecánicos que se obtuvieron del análisis de la compuerta para la condición de apoyo- "B" y combinación de carga "1" de peso propio y presión- hidrostática.

Para poder interpretar estos resultados, es necesario saber la orientación de los ejes locales de cada --- miembro, ya que los resultados están referidos a éstos, - previamente a las tablas se presentan croquis que indi- can en forma general la orientación de las secciones, o- tra forma de observar estos ejes es a partir de las sec- ciones que se presentaron en el capítulo anterior.

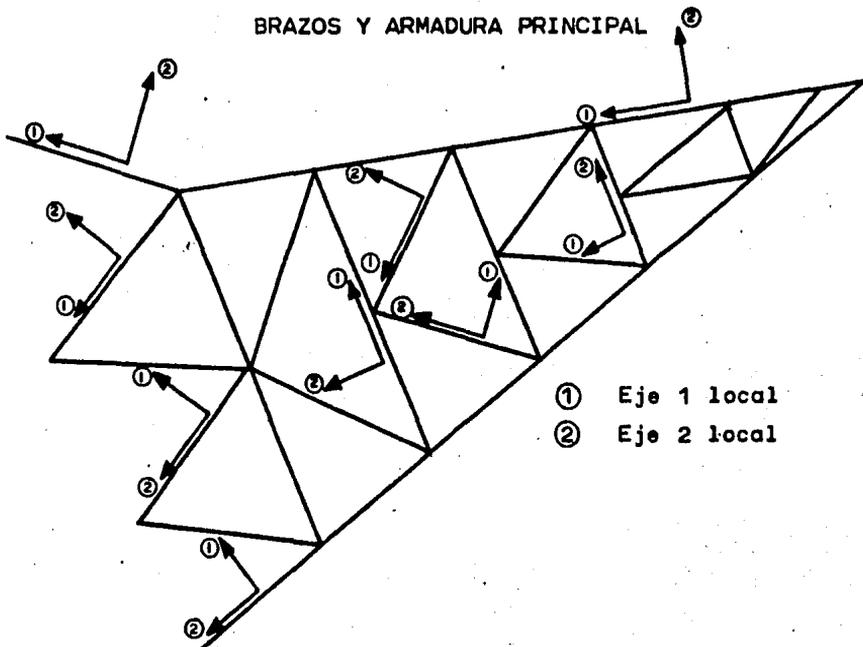


FIG. 7.1.1.

PANTALLA

VIGA CURVA VERTICAL

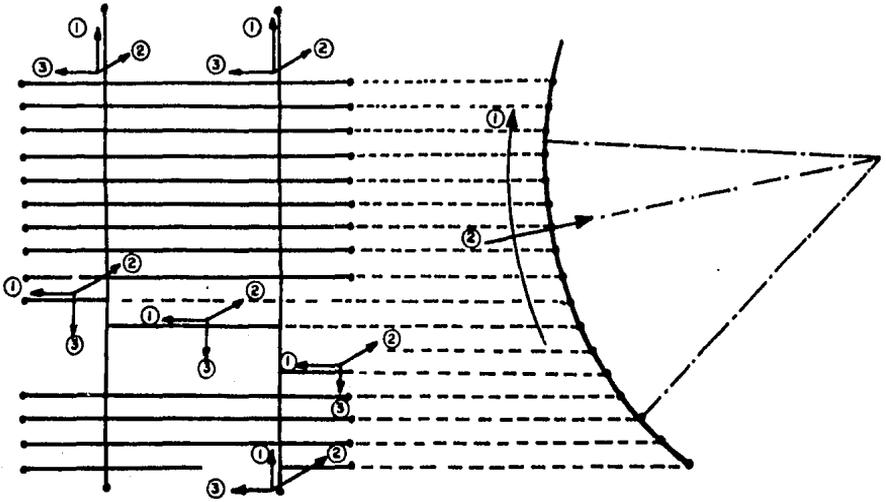


FIG. 7.1.2.

MECANISMO DE IZAJE

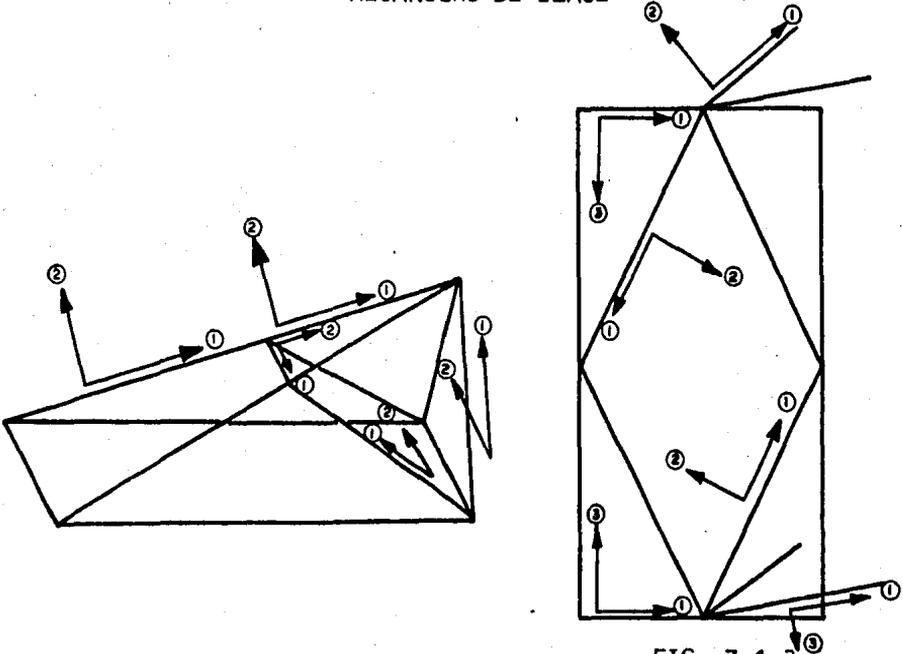


FIG. 7.1.3.

7.2.- RESUMEN DE ELEMENTOS MECANICOS

Los datos que se presentan en las siguientes tablas corresponden a la condición "B" de apoyo y combinación de cargas "1". Las unidades que se utilizaron son, Toneladas, Metros.

7.2.1.- LARGUEROS

ELEMENTO	AXIAL	CORTAN TE "2"	CORTAN TE "3"	TOR- SION	MOMEN- TO "2"	MOMEN- TO "3"
95	0 0	- 0.05 -10.27	0.05 -0.05	0 0	0 0	0. 7.36
96	-2.62 2.62	-15.71 -15.61	0.08 -0.08	0 0	0 0	-7.36 7.36
97	0 0	-10.27 - 0.05	-0.05 0.05	0 0	0 0	-7.36 0
100	0 0	- 0.05 -10.06	0.05 -0.05	0 0	0 0	0 7.62
101	-0.16 0.16	-16.16 -16.16	0.08 -0.08	0 0	0 0	-7.70 7.69
102	0 0	-10.63 - 0.05	0.05 0.05	0 0	0 0	-7.62 0
107	0 0	- 0.05 -10.39	0.05 -0.05	0 0	0 0	0 7.45
108	0.50 -0.50	-15.78 -15.78	0.09 -0.09	0 0	0 0	-7.59 7.58
109	0 0	-10.39 - 0.05	-0.05 0.05	0 0	0 0	-7.45 0
112	0 0	- 0.05 -10.93	0.05 -0.05	0 0	0 0	0 7.84
113	0.93 -0.93	-16.61 -16.61	0.09 -0.09	0 0	0 0	-7.98 7.98
114	0 0	-10.93 - 0.05	-0.05 0.05	0 0	0 0	-7.84 0
117	0 0	- 0.05 -10.73	0.05 -0.05	0 0	0 0	0 7.63
118	0.50 -0.50	-16.17 -16.15	0.10 -0.10	0 0	0 0	-7.78 7.55
119	0 0	-10.63 - 0.05	-0.05 0.05	0 0	0 0	-7.63 0

122	0	- 0.04	0.06	0	0	0
	0	-10.33	-0.06	0	0	7.41
123	-0.64	-15.72	0.11	0	0	-7.36
	0.64	-15.72	-0.11	0	0	7.38
124	0	-10.33	-0.06	0	0	-7.41
	0	- 0.04	0.06	0	0	0
127	0	- 0.04	0.06	0	0	0
	0	-10.42	-0.06	0	0	7.47
128	1.54	-15.84	0.12	0	0	-7.89
	-1.54	-15.82	-0.12	0	0	7.84
129	0	-10.42	-0.06	0	0	-7.47
	0	- 0.04	0.06	0	0	0
132	0	- 0.04	0.06	0	0	0
	0	-10.10	-0.06	0	0	7.25
133	0.27	-15.34	0.13	0	0	-7.41
	-0.27	-15.32	-0.13	0	0	7.38
134	0	-10.10	-0.06	0	0	-7.25
	0	- 0.04	0.06	0	0	0
139	0	- 0.04	0.06	0	0	0
	0	-10.04	-0.06	0	0	7.20
140	-0.27	-15.25	-0.15	0	0	-7.47
	0.27	-15.23	-0.15	0	0	7.42
141	0	-10.04	-0.06	0	0	-7.20
	0	- 0.04	0.06	0	0	0
144	0	- 0.04	0.06	0	0	0
	0	- 9.58	-0.06	0	0	6.88
145	0.13	-14.55	0.15	0	0	-7.03
	-0.13	-14.53	-0.15	0	0	7.01
146	0	- 9.58	-0.06	0	0	-6.88
	0	- 3.81	0.06	0	0	0
149	0	- 0.03	0.04	0	0	0
	0	- 7.57	-0.04	0	0	5.44
150	0.14	-11.50	0.06	0	0	-5.59
	-0.14	-11.48	-0.06	0	0	5.56
151	0	- 7.57	-0.04	0	0	-5.44
	0	- 0.03	0.04	0	0	0
154	0	- 0.02	0.04	0	0	0
	0	- 7.25	-0.04	0	0	5.21
155	-0.46	-11.02	0.06	0	0	-5.34
	0.46	-11.02	-0.06	0	0	5.32
156	0	- 7.25	-0.04	0	0	-5.21
	0	- 0.02	0.04	0	0	0

159	0	- 0.02	0.05	0	0	0
	0	- 7.22	-0.05	0	0	5.18
160	-1.95	-10.96	0.06	0	0	-4.95
	1.95	-10.98	-0.06	0	0	4.99
161	0	- 7.22	-0.05	0	0	-5.18
	0	- 0.02	0.05	0	0	0
164	0	- 0.02	0.05	0	0	0
	0	- 6.90	-0.05	0	0	4.95
165	1.49	-10.47	0.06	0	0	-5.53
	-1.49	-10.45	-0.06	0	0	5.48
166	0	- 6.90	-0.05	0	0	-4.95
	0	- 0.02	0.05	0	0	0
169	0	- 0.02	0.05	0	0	0
	0	- 6.80	-0.05	0	0	4.88
170	0.77	-10.32	0.06	0	0	-5.06
	-0.77	-10.32	-0.06	0	0	5.04
171	0	- 6.80	-0.05	0	0	-4.88
	0	- 0.02	0.05	0	0	0
174	0	- 0.02	0.05	0	0	0
	0	- 6.42	-0.05	0	0	4.61
175	0.05	- 9.75	0.06	0	0	-4.80
	-0.05	- 9.75	-0.06	0	0	4.79
176	0	- 6.42	-0.05	0	0	-4.61
	0	- 0.02	0.05	0	0	0
181	0	- 0.02	0.05	0	0	0
	0	- 6.28	0.05	0	0	4.51
182	-0.07	- 9.52	0.06	0	0	-4.67
	0.07	- 9.52	-0.06	0	0	4.68
183	0	- 6.28	-0.05	0	0	-4.51
	0	- 0.01	0.05	0	0	0
186	0	- 0.02	0.05	0	0	0
	0	- 6.08	-0.05	0	0	4.37
187	-0.22	- 9.24	0.06	0	0	-4.52
	0.22	- 9.24	-0.06	0	0	4.53
188	0	- 6.04	-0.05	0	0	-4.37
	0	- 0.02	0.05	0	0	0
191	0	- 0.02	0.05	0	0	0
	0	- 5.66	-0.05	0	0	4.07
192	-0.77	- 8.60	0.06	0	0	-4.02
	0.77	- 8.60	-0.06	0	0	4.20
193	0	- 5.66	-0.05	0	0	-4.07
	0	- 0.02	0.05	0	0	0

196	0	- 0.01	0.05	0	0	0
	0	- 5.63	-0.05	0	0	4.04
197	1.23	- 8.50	0.06	0	0	-4.50
	-1.23	- 8.52	-0.06	0	0	4.54
198	0	- 5.63	-0.05	0	0	-4.04
	0	- 0.01	0.05	0	0	0
201	0	- 0.01	0.05	0	0	0
	0	- 5.15	-0.05	0	0	3.70
202	0.48	- 7.80	0.06	0	0	-3.86
	-0.48	- 7.80	-0.06	0	0	3.87
203	0	- 5.15	-0.05	0	0	-3.70
	0	- 0.01	0.05	0	0	0
206	0	- 0.01	0.05	0	0	0
	0	- 5.11	-0.05	0	0	3.67
207	0	- 7.75	0.06	0	0	-3.82
	0	- 7.75	-0.06	0	0	3.86
208	0	- 5.11	-0.05	0	0	-3.67
	0	- 0.01	0.05	0	0	0
211	0	- 0.01	0.05	0	0	0
	0	- 4.53	-0.05	0	0	3.26
212	-0.84	- 6.88	0.05	0	0	-3.33
	0.84	- 6.88	-0.05	0	0	3.33
213	0	- 4.53	-0.05	0	0	-3.26
	0	- 0.01	0.05	0	0	0
216	0	0	0.05	0	0	0
	0	- 3.37	-0.05	0	0	2.42
217	-1.32	- 5.19	0.05	0	0	-3.72
	1.32	- 5.05	-0.05	0	0	3.43
218	0	- 3.37	-0.05	0	0	-2.42
	0	0	0.05	0	0	0
221	0	0	0.02	0	0	0
	0	- 2.94	-0.02	0	0	2.11
222	-0.35	- 4.45	0.01	0	0	-2.14
	0.35	- 4.45	-0.01	0	0	2.14
223	0	- 2.94	-0.02	0	0	-2.11
	0	0	0.02	0	0	0
226	0	0	0.02	0	0	0
	0	- 2.92	-0.02	0	0	2.10
227	1.62	- 4.41	0.01	0	0	-2.31
	-1.62	- 4.41	-0.01	0	0	2.32
228	0	- 2.92	-0.02	0	0	-2.10
	0	0	0.02	0	0	0

231	0 0	0 - 2.44	0.02 -0.02	0 0	0 0	0 1.76
232	1.81 -1.81	- 3.69 - 3.69	0.01 -0.01	0 0	0 0	-1.95 1.06
233	0 0	- 2.44 0	-0.02 0.02	0 0	0 0	-1.76 0
236	0 0	- 0.05 - 1.78	0.02 -0.02	0 0	0 0	0 1.28
237	0.88 -0.88	- 2.70 - 2.70	0 0	0 0	0 0	-1.40 1.40
238	0 0	- 1.78 0	-0.02 0.02	0 0	0 0	-1.28 0
241	0 0	0 - 1.00	0.02 -0.02	0 0	0 0	0 0
242	-0.68 0.68	- 1.53 - 1.53	0.01 -0.01	0 0	0 0	0 0
243	0 0	- 1.00 0	-0.02 0.02	0 0	0 0	0 0
246	0 0	0 - 0.34	0.02 -0.02	0 0	0 0	0 0
247	-2.47 2.47	- 0.50 - 0.50	0 0	0 0	0 0	0 0
248	0 0	- 0.34 0	-0.02 0.02	0 0	0 0	0 0

7.2.2.- VIGAS CURVAS VERTICALES

ELEMENTO	AXIAL	CORTAN TE "2"	CORTAN TE "3"	TOR- SION	MOMEN- TO "2"	MOMEN- TO "3"
94	- 0.01 0.01	- 0.02 0.02	0 0	0 0	0 0	0 0
99	- 0.06 0.06	25.60 -25.60	-2.62 2.62	0 0	0 0	0.01 12.23
104	0.33 - 0.33	52.13 52.13	-2.79 2.79	0 0	0 0	-12.35 29.45
106	0.51 - 0.51	-88.83 88.83	-2.88 2.88	0 0	0 0	-31.23 17.51
111	- 1.13 1.13	-62.90 62.90	-2.38 2.38	0 0	0 0	-17.51 -15.27
116	- 2.95 2.95	-35.57 35.57	-1.45 1.45	0 0	0 0	15.27 -33.80

121	- 4.02	- 8.93	-0.95	0	0	33.80
	4.02	8.93	0.95	0	0	-38.46
126	- 5.00	16.83	-1.59	0	0	38.46
	5.00	-16.83	1.59	0	0	-29.35
131	- 3.99	43.12	-0.05	0	0	29.35
	3.99	-43.12	0.05	0	0	- 6.03
136	- 3.42	68.39	0.22	0	0	6.03
	3.42	-68.39	-0.22	0	0	27.01
138	41.42	-74.31	0.25	0	0	-23.95
	-41.42	74.31	-0.25	0	0	18.20
143	40.02	-49.93	-0.02	0	0	-18.20
	-40.02	49.93	0.02	0	0	- 9.78
148	38.39	-27.09	0.10	0	0	9.78
	-38.39	27.09	-0.10	0	0	-22.33
153	37.58	- 9.13	0.24	0	0	22.33
	-37.58	9.13	-0.24	0	0	-26.56
158	37.20	8.04	-0.22	0	0	26.56
	-37.20	- 8.04	0.22	0	0	-22.68
163	35.40	27.68	-2.17	0	0	22.68
	-35.40	-27.68	2.17	0	0	- 9.26
168	37.76	41.35	-0.67	0	0	9.26
	-37.76	-41.35	0.67	0	0	11.56
173	38.69	57.31	0.10	0	0	-11.56
	-38.69	-57.31	-0.10	0	0	40.41
178	39.36	72.71	0.15	0	0	-40.41
	-39.36	-72.71	-0.15	0	0	50.26
180	-39.49	-59.02	0.37	0	0	-50.27
	39.49	59.02	-0.37	0	0	27.41
185	-41.11	-42.32	0.30	0	0	-27.41
	41.11	41.32	-0.30	0	0	4.47
190	-42.51	-25.89	0.07	0	0	- 4.47
	42.51	25.89	-0.07	0	0	- 9.56
195	-43.02	-12.14	-0.69	0	0	9.56
	43.02	12.14	0.69	0	0	-16.63
200	-43.88	5.74	0.53	0	0	16.73
	43.88	- 5.74	-0.53	0	0	-13.29
205	-43.68	19.97	1.01	0	0	13.29
	43.68	-19.97	-1.01	0	0	- 0.53
210	-42.99	34.25	1.00	0	0	0.53
	42.99	-34.25	-1.00	0	0	21.35
215	-42.70	46.28	0.16	0	0	-21.35
	42.70	-46.28	-0.16	0	0	46.45

220	4.82	-28.20	-0.81	0	0	-46.26
	- 4.82	28.20	0.81	0	0	30.95
225	4.27	-20.84	-1.17	0	0	-30.95
	- 4.27	20.84	1.17	0	0	17.55
230	2.72	-13.72	0.46	0	0	-17.55
	- 2.72	13.72	-0.46	0	0	8.18
235	1.57	-7.72	2.27	0	0	- 8.18
	- 1.57	7.72	-2.27	0	0	2.73
240	0.78	- 3.32	3.16	0	0	- 2.73
	- 0.78	3.32	-3.16	0	0	0.49
245	0.28	- 0.82	2.47	0	0	0
	- 0.28	0.82	-2.47	0	0	0
250	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0

7.2.3.- BRAZOS Y ARMADURA PRINCIPAL

ELEMENTO	AXIAL	CORTAN TE "2"	CORTAN TE "3"	TOR- SION	MOMEN- TO "2"	MOMEN- TO "3"
1 y 36	233.80	0	0	0	0	0
	-233.80	0	0	0	0	0
2 y 37	283.60	0	0	0	0	0
	-283.60	0	0	0	0	0
3 y 38	15.32	0	0	0	0	0
	- 15.32	0	0	0	0	0
4 y 39	223.00	0	0	0	0	0
	-223.00	0	0	0	0	0
5 y 40	- 5.47	0	0	0	0	0
	5.47	0	0	0	0	0
6 y 41	294.60	0	0	0	0	0
	-294.60	0	0	0	0	0
7 y 42	3.81	0	0	0	0	0
	- 3.81	0	0	0	0	0
8 y 43	- 2.67	0	0	0	0	0
	2.67	0	0	0	0	0
9 y 44	224.10	0	0	0	0	0
	-224.20	0	0	0	0	0
10 y 45	- 16.78	0	0	0	0	0
	16.78	0	0	0	0	0
11 y 46	229.90	0	0	0	0	0
	-229.90	0	0	0	0	0

12 y 47	- 24.33	0	0	0	0	0
	24.33	0	0	0	0	0
13 y 48	- 19.07	0	0	0	0	0
	19.07	0	0	0	0	0
14 y 49	24.53	0	0	0	0	0
	- 24.53	0	0	0	0	0
15 y 50	272.90	0	0	0	0	0
	-272.90	0	0	0	0	0
16 y 51	- 14.01	0	0	0	0	0
	14.01	0	0	0	0	0
17 y 52	16.50	0	0	0	0	0
	- 16.50	0	0	0	0	0
18 y 53	260.10	0	0	0	0	0
	-260.10	0	0	0	0	0
19 y 54	8.99	0	0	0	0	0
	- 8.99	0	0	0	0	0
20 y 55	- 16.59	0	0	0	0	0
	16.59	0	0	0	0	0
21 y 56	242.80	0	0	0	0	0
	-242.80	0	0	0	0	0
22 y 57	- 23.47	0	0	0	0	0
	23.47	0	0	0	0	0
23 y 58	222.50	0	0	0	0	0
	-222.50	0	0	0	0	0
24 y 59	29.67	0	0	0	0	0
	- 29.67	0	0	0	0	0
25 y 60	- 43.67	0	0	0	0	0
	43.67	0	0	0	0	0
26 y 61	45.90	0	0	0	0	0
	- 45.90	0	0	0	0	0
27 y 62	227.10	0	0	0	0	0
	-227.10	0	0	0	0	0
28 y 63	- 74.13	0	0	0	0	0
	74.13	0	0	0	0	0
29 y 64	100.90	0	0	0	0	0
	-100.90	0	0	0	0	0
30 y 65	140.40	0	0	0	0	0
	-140.40	0	0	0	0	0
31 y 66	- 36.39	0	0	0	0	0
	36.39	0	0	0	0	0
32 y 67	- 8.79	0	0	0	0	0
	8.79	0	0	0	0	0

33 y 68	64.40	0	0	0	0	0
	- 64.40	0	0	0	0	0
34 y 69	158.10	0	0	0	0	0
	-158.10	0	0	0	0	0
35 y 70	94.73	0	0	0	0	0
	- 94.73	0	0	0	0	0

7.2.4.- TIRANTES DEL MECANISMO DE IZAJE

ELEMENTO	AXIAL	CORTAN TE "2"	CORTAN TE "3"	TOR- SION	MOMEN- TO "2"	MOMEN- TO "3"
72	-47.44	0.06	0.02	0	0	0
	47.44	-0.06	-0.02	0	0	0
73	-48.58	0.05	0.03	0	0	0
	48.58	-0.05	-0.03	0	0	0
74	0.48	0	0.06	0	0	0
	- 0.48	0	-0.06	0	0	0
75	0.49	0	-0.07	0	0	0
	- 0.49	0	0.07	0	0	0
76	- 8.37	0	0	0	0	0
	8.37	0	0	0	0	0
77	- 7.86	0	0	0	0	0
	7.86	0	0	0	0	0
78	0.16	0.01	-0.07	0	0	0
	- 0.16	-0.01	0.07	0	0	0
79	- 7.84	0	-0.04	0	0	0
	7.84	0	0.04	0	0	0
80	- 7.32	0	0.05	0	0	0
	7.32	0	-0.05	0	0	0
81	1.09	0	0.01	0	0	0
	- 1.09	0	-0.01	0	0	0
82	1.11	0	-0.01	0	0	0
	- 1.11	0	0.01	0	0	0

7.2.5.- PUNTALES PERPENDICULARES A LOS BRAZOS

ELEMENTO	AXIAL	CORTAN TE "2"	CORTAN TE "3"	TOR- SION	MOMEN- TO "2"	MOMEN- TO "3"
71	21.42	0	-0.01	0	0	0
	-21.42	0	0.01	0	0	0

83	0.93	-0.64	-0.25	0	0	0
	-0.93	0.64	0.25	0	0	0
84	1.06	0.64	0.34	0	0	0
	-1.06	-0.64	-0.34	0	0	0
91	0.75	0.93	-0.86	0	0	0
	-0.75	-0.93	0.86	0	0	0
92	-0.69	-0.91	0.90	0	0	0
	0.69	0.91	-0.90	0	0	0

7.2.6.- CONTRAVENTE DEL MECANISMO DE IZAJE

ELEMENTO	AXIAL	CORTAN TE "2"	CORTAN TE "3"	TOR- SION	MOMEN- TO "2"	MOMEN- TO "3"
85	1.84	0	-0.02	0	0	0
	-1.84	0	0.02	0	0	0
86	-2.58	0	0.06	0	0	0
	2.58	0	-0.06	0	0	0
87	-2.40	-0.01	0.06	0	0	0
	2.40	0.01	-0.06	0	0	0
88	-0.79	-0.01	0.03	0	0	0
	0.79	0.01	-0.03	0	0	0
89	1.02	0	-0.10	0	0	0
	-1.02	0	0.10	0	0	0
90	1.03	0	-0.10	0	0	0
	-1.03	0	0.10	0	0	0

CAPITULO VIII

D I S E Ñ O

8.1.- DISEÑO Y REVISION DE SECCIONES PROPUESTAS

Conociendo finalmente los elementos mecánicos de la estructura continua, revisaremos las secciones propuestas en el prediseño, y otros elementos faltantes.

La revisión se realizará en base a lo expuesto en el manual A.I.S.C. octava edición.

Para el diseño de cada elemento se tomarán las mayores acciones de las distintas condiciones de apoyo.

De una comparación entre las corridas bajo carga --accidental y condiciones normales de operación, se observó que el incremento de esfuerzos que producen las cargas accidentales son mínimos, y como se nos permite incrementar los esfuerzos admisibles en un 33% bajo esta --condición, resultó ser más conveniente para el diseño usar los elementos mecánicos para la condición normal de operación, sin incrementar los esfuerzos admisibles, ya que éstos son menores y rigen el diseño.

8.1.1.- PANTALLA

Las condiciones de apoyo de la estructura no afectan la distribución de cargas y efectos sobre la pantalla, tomándose indistintamente cualquiera de las dos condiciones para la revisión.

Las placas de la cubierta se revisarán con los resultados del análisis del prediseño, en combinación con los esfuerzos adicionales que le transmiten los largueros horizontales al trabajar en conjunto.

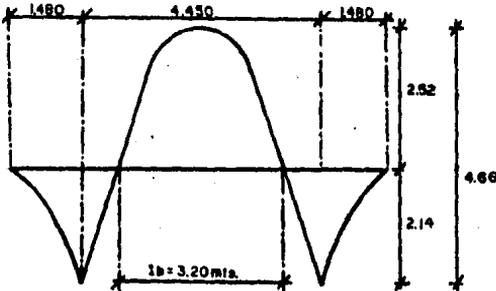
Los largueros se revisarán sin considerar la contribución de la placa.

Para la revisión de la placa tomaremos la zona don-

de hay mayor carga y el larguero con elementos mecánicos mayores. Los largueros más cargados en cada tramo de igual sección son los siguientes:

SECCION	MIEMBRO	ACCIONES	
13 IPR 254x102x7	222	M=2.14T-M	V= 4.45T
12 IPR 305x165x10	150	M=5.59T-M	V=11.50T
11 IPR 356x171x10	113	M=7.98T-M	V=15.78T

Para el elemento 222 el momento máximo se presenta al centro del claro y su valor será:



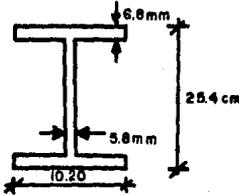
$$W = 1.882 \text{ T-M}$$

Valor tomado de la tabla 4.2.1.

$$M = 1.882(4.452)^2/8$$

$$M = 4.66 \text{ T-M}$$

El valor del momento máximo se observa en la figura anterior. La sección de este larguero y sus propiedades se muestran a continuación:



$$A = 28.38 \text{ cm}^2 \quad r_x = 10.03 \text{ cm}$$

$$d/af = 3.66 \quad I_y = 1\,161 \text{ cm}^4$$

$$I_x = 2\,864 \text{ cm}^4 \quad S_y = 23.00 \text{ cm}^3$$

$$S_x = 226 \text{ cm}^3 \quad r_y = 2.02 \text{ cm}$$

Obtenemos su valor para esfuerzo admisible a flexión "Fb".

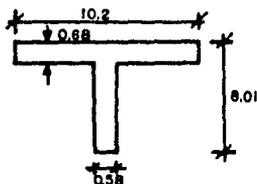
$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{2155}{\sqrt{F_y}} = 42.84 ; \frac{25.4}{0.58} = 43.79 \approx 42.84$$

$$1b \leq \frac{637}{F_y} \frac{bf}{t_f} = 129.7 \leq 320 \quad \text{Sección no compacta}$$

$$\frac{bf}{2t_f} \leq 15.83 ; \frac{10.2}{2(0.68)} = 7.35 \leq 15.83$$

$$F'b = \frac{843\ 700\ \text{cb}}{1\text{b}\ d/\text{Af}} = 1\ 440\ \text{Kg/cm}^2$$

Siendo 1b = 160 cms si colocamos un puntal al centro del claro para reducir la longitud del patín en compresión, según el diagrama de momentos.



$$\begin{aligned} I_x &= 77.67\ \text{cm}^4 \\ r_x &= 2.59\ \text{cm} \\ 1/\text{rt} &= 61.78 > 53 \end{aligned}$$

Según manual A.I.S.C. sección 1.5.1.4.5.(2).

$$F''b = 1687 \frac{(1\text{b}/\text{rt})^2}{16.8\ \text{cb}} = 1\ 459\ \text{Kg/cm}^2$$

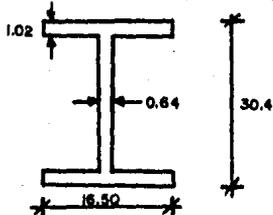
Se tomará el valor máximo de "Fb" calculado, para F'b y F''b.

El esfuerzo actuante es:

$$f_b = \frac{2.52 \times 10^5}{226} = 1\ 115\ \text{Kg/cm}^2 < 1459\ \text{Kg/cm}^2$$

Las dimensiones de la sección son correctas.

Para el elemento 150 se procedió de igual forma que en el caso anterior para estimar el momento máximo.



$$\begin{aligned} A &= 51.42\ \text{cm}^2 & r_x &= 12.85\ \text{cm} \\ d/\text{Af} &= 1.81 & I_y &= 691\ \text{cm}^4 \\ I_x &= 8\ 495\ \text{cm}^4 & S_y &= 84\ \text{cm}^3 \\ S_x &= 558\ \text{cm}^3 & r_y &= 3.65\ \text{cm} \end{aligned}$$

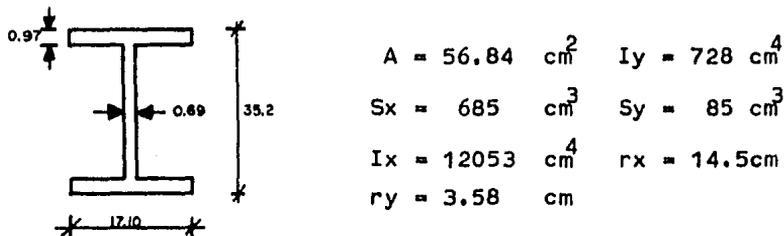
$$d/\text{tw} = 30.4/0.64 = 47.5 > 42.84\ \text{No compacta}$$

$$F'b = \frac{843\ 700\ \text{cb}}{1\text{b}(d/\text{af})} = 2742\ 0.6\ F_y\ \text{se tomará } 0.6\ F_y$$

La zona del patín en compresión resultó ser en este caso "1b = 340 cm"; si arrostramos al centro del claro -- "1b = 170 ".

$$f_b = 6.41 \times 10^5 / 558 = 1149\ \text{Kg/cm}^2 < 1\ 520\ \text{Kg/cm}^2$$

Para la sección tipo 11 el miembro más cargado resultó ser el "145" con un momento máximo al centro del claro de 10.16 T-M y una longitud "lb" del patín en compresión de 3.6 mts, la cual se reduce a la mitad al arriostrar al -- centro del claro.



$d/t_w = 48.20 > 42.84$ Sección no compacta.

$b_f/2t_f = 8.81 < 15.83$

$F'b = 2208 \text{ Kgs/cm}^2 > 0.6 F_y$ Se toma $0.6 F_y$

$f_b = 10.16 \times 10^5 / 685 = 1483 < 1520 \text{ Kg/cm}^2$

Se aceptan como correctas las dimensiones de las secciones propuestas a flexión quedando por revisar al cortante.

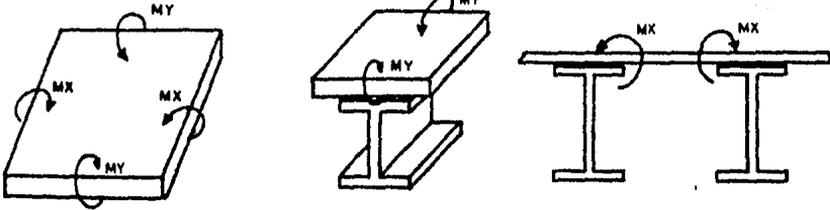
SECCION	CORTANTE	A	ALMA	f_v	F_v
11	15.70 T	24.29	cm^2	646 kg/cm^2	$< 1012 \text{ kg/cm}^2$
12	11.50 T	19.45	cm^2	591 kg/cm^2	$< 1012 \text{ kg/cm}^2$
13	4.45 T	14.73	cm^2	302 kg/cm^2	$< 1012 \text{ kg/cm}^2$

Una vez revisados y aceptados los largueros horizontales, revisaremos las placas de la pantalla; considerando la flexión que le transmiten los largueros al trabajar en conjunto, adicionalmente se considera la flexión que se presenta cuando las placas trabajan como simplemente apoyadas en los largueros, para este efecto el Manual del Ejercito Americano recomienda la siguiente restricción:

$$\sqrt{f_1^2 + f_1 f_2 + f_2^2} < 0.75 F_y$$

Donde: f_1 y f_2 son los esfuerzos debidos a la flexión,

referidos al eje "x" y "y", respectivamente.

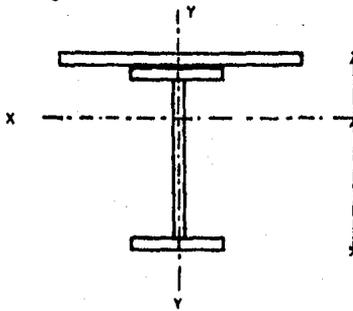


Para la placa de 1/2" tenemos lo siguiente:

Momento máximo en el larguero "113" = 10.16 T-M

Momento máximo en la placa de 1/2" = 0.335 T-M

El módulo de sección del miembro trabajando en conjunto es:



$$S_x = \frac{I}{y} = \frac{22473}{8.83} = 2545 \text{ cm}^3$$

$$f_1 = \frac{10.16 \times 10^5}{2545} = 399.2 \text{ Kg/cm}^2$$

"S" de una placa de e = 1/2"

$$S = 268 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_2 = \frac{0.335 \times 10^5}{26.8} = 1246.28 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\frac{f_1^2 + f_2^2}{F_y^2} \leq 0.75^2 ; 0.345 < 0.56$$

La placa tiene dimensiones correctas.

Para la placa de 3/8", se procede de igual forma.

M max en el larguero "150" = 6.41 T-M

M max en la placa de 3/8" = 0.184 T-M

$$f_1 = \frac{6.41 \times 10^5}{1484} = 431.9$$

$$f_2 = \frac{0.184 \times 10^5}{15.87} = 1159$$

$$0.317 < 0.56$$

Se aceptan las dimensiones del elemento.

Para la placa de 1/4".

M max en el larguero "222" = 2.5 T-M

M max en la placa de 1/4" = 0.096 T-M

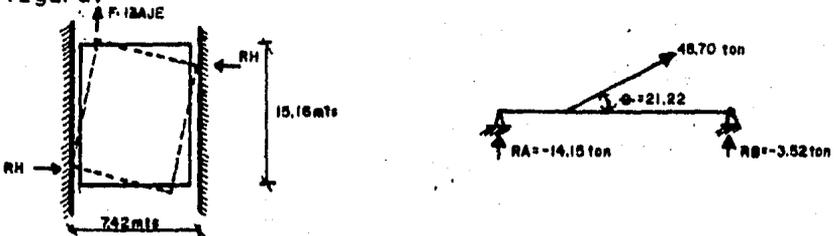
$$f_1 = \frac{2.5 \times 10^5}{565} = 442.5$$

$$f_2 = \frac{9600}{6.72} = 1428.57$$

$$0.45 < 0.56$$

Se aceptan las secciones propuestas en el prediseño.

Generalmente las pantallas de las compuertas requieren de un sistema de contravientos que tengan la capacidad de tomar los efectos de alguna carga paralela a los largueros, esta carga se presenta como un accidente, y es debida a un posible obstáculo que impida su izaje. Cuando alguno de los extremos se atora al iniciar el izaje, la compuerta se apoya en las pilas, reaccionando éstas sobre los puntos de apoyo como se muestra en la siguiente figura:



El peso de la compuerta se estimó en 48.7 Ton, a partir de éste se obtuvo la fuerza vertical necesaria para su izaje. Si se presenta esta condición, el par de fuerzas reactivo para compensar esta acción será:

$$R_h = 14.15 (7.42)/15.9 = 6.6 \text{ Ton}$$

La disposición de los contravientos se muestra en la figura 8.1.1.1.

Se analizaron dos condiciones; el contraviento con línea intermitente y el de línea continua que se muestra en la figura "a", tomando para el diseño el de la figura "b" ya que es el más desfavorable.

Para el diseño de estos miembros se tomó el de mayor longitud y carga, estandarizandose a partir de éste los miembros restantes.

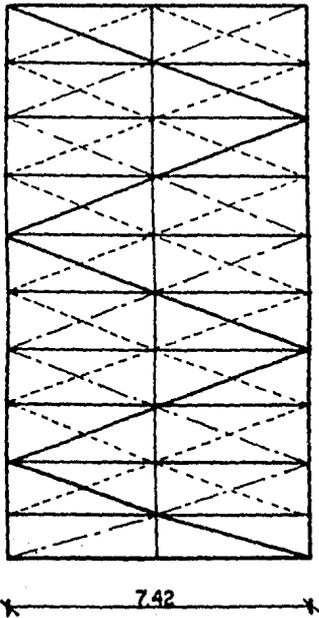


FIG. 8.1.1.1.a

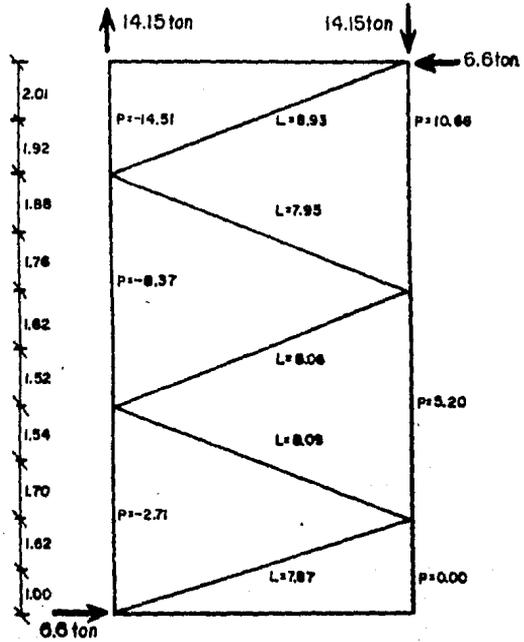


FIG. 8.1.1.1.b.

La sección elegida es un cajón formado por dos ángulos de 2" x 3/16".



$$A = 9.22 \text{ cm}^2 \quad L = 893/4 = 223 \text{ cm}$$

$$I_x = I_y = 33.85 \text{ cm}^4 \quad K1/r = 116.15/1.3$$

$$F_a = 1016 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_a = 7460/9.22 = 809.4 < 1016 \text{ Kg/cm}^2$$

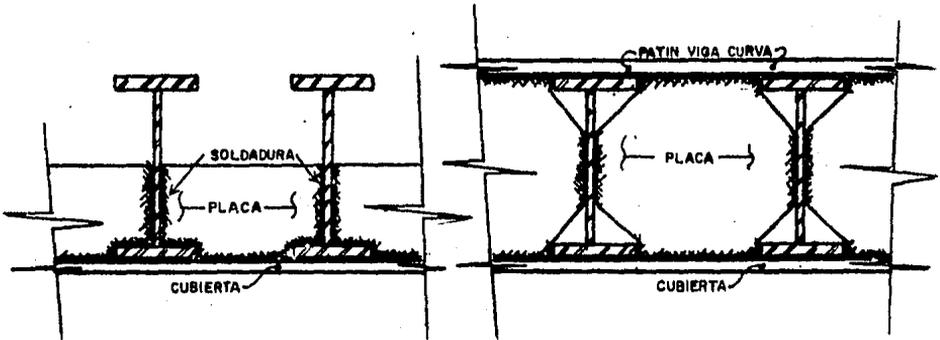
Se tomó una longitud de 223 cm. debido a que los --- restantes contravientos le dan arriostamiento en tres -- puntos intermedios. Los esfuerzos admisibles se incremen taron un 33% debido a que la carga considerada es acciden tal. Para las cuerdas del contraventeo la más cargada es tá sujeta a una compresión de 10.66 Ton; si estos elemen-

tos se colocan a cada tres largueros, (debido a la curvatura), la longitud libre de pandeo será de 1.50 mts. en promedio. Se propone la misma sección que para el contra-venteo.

$$Kl/r = 150/1.92 = 78.12 ; Fa = 1097(1.33) = 1469 \text{ Kg/cm}^2$$
$$fa = 10660/9.22 = 1156 < 1460 \text{ Kg/cm}^2$$

Aceptandose como correcta la distribución de largueros y secciones. El peso de la compuerta se incrementó en 1.4 Ton debido a este aditamento.

En la revisión de los largueros se consideró que los patines en compresión están arriestrados a la mital del claro, para cumplir con ésto se colocarán placas entre los largueros, soldadas sobre la pantalla como muestra el siguiente croquis:



De igual manera se colocarán placas bajo el patín extremo de las vigas curvas verticales ya que el patín en compresión en esta zona se encuentra sujeto a las mismas acciones, sólo que el esfuerzo se invierte en este caso.- El espesor de las placas será igual al de la pantalla, puesto que éstas servirán además para rigidizar los tableros que se forman con las placas de la pantalla y los largueros.

8.1.2.- VIGAS CURVAS VERTICALES

El diseño de las vigas curvas extremas se realizó to mando en consideración las dos condiciones de apoyo de la compuerta, en las cuales se encontraron diferencias mínimas de sus elementos mecánicos. A continuación se presenta un croquis ilustrativo que muestra un resumen de los elementos mecánicos de la viga curva en las distintas condiciones de apoyo.

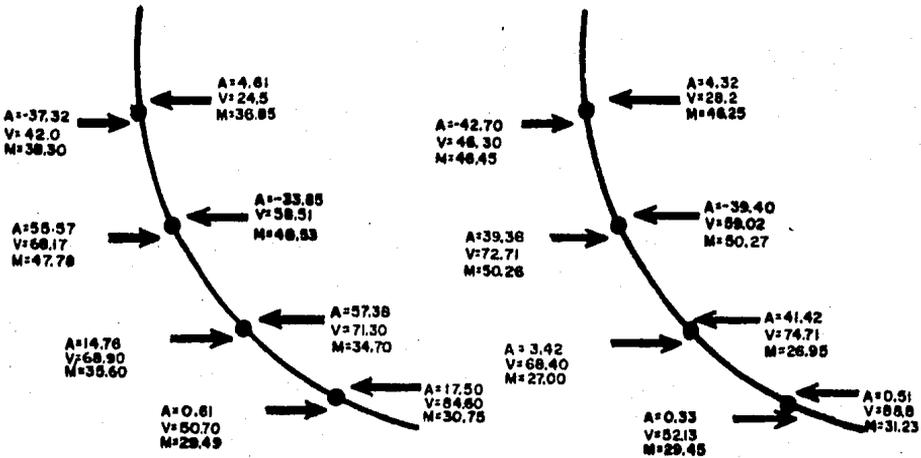
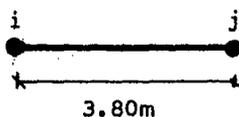


FIG. 8.1.2.1.a.- Condición "A" apoyada en el- "B" sujeta del mecanismo de labio inferior. A = carga axial, V = cortante, M = Momento flexionante

FIG. 8.1.2.1.b.- Condición- "B" sujeta del mecanismo de labio inferior. A = carga axial, V = cortante, M = Momento flexionante

De la interpretación de elementos mecánicos, se observó que los momentos y cortantes mayores se encuentran en los apoyos. Para la condición "A" la sección con mayores esfuerzos se presenta entre los elementos "138" y "178".



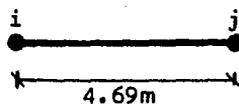
$$A_i = 57.38 \text{ T} \quad A_j = -55.67 \text{ T}$$

$$V_i = 71.30 \text{ T} \quad V_j = 68.17 \text{ T}$$

$$M_i = 34.70 \text{ T-M} \quad M_j = 47.48 \text{ T-M}$$

Flexo compresión

Para la condición "B" los momentos son mayores a los de "A", pero entre los elementos "180"y"215", se presenta un esfuerzo máximo de tensión.



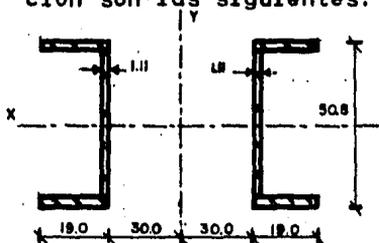
$$A_i = -39.40 \text{ T} \quad A_j = -42.70 \text{ T}$$

$$V_i = 59.02 \text{ T} \quad V_j = 46.28 \text{ T}$$

$$M_i = 50.27 \text{ T-M} \quad M_j = 46.45 \text{ T-M}$$

Flexo Tensión

Debido a estas dos condiciones se tendrán que analizar las dos alternativas. Las características de la sección son las siguientes:



$$A = 248.16 \text{ cm}^2 \quad r_x = 20.63 \text{ cm}$$

$$I_x = 105640 \text{ cm}^4 \quad r_y = 36.26 \text{ cm}$$

$$I_y = 326474 \text{ cm}^4 \quad S_x = 4159 \text{ cm}^3$$

$$S_y = 6662 \text{ cm}^3$$

Para obtener el valor de "Fb" (esfuerzo permisible a flexión), revisaremos si la sección es compacta.

$$d/tw = 2(46.99)/1.1 < 42.84$$

$$bf/tf \leq 1593136/\sqrt{F_y} \Rightarrow 19/1.905 = 9.97 < 31.37$$

$$d \leq 6b ; 46.99 < 114$$

$$lb \leq \frac{84368}{F_y} b = 1267 > 462$$

Como cumple todas las restricciones se considera como sección compacta, pudiendo incrementarse sus esfuerzos admisibles en un 33%.

Para el elemento sujeto a flexo tensión.

$$f_a = 42700/248.16 = 172 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_b = 5027000/4159 = 1208.7 \text{ Kg/cm}^2$$

Se debe cumplir que:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} = \frac{f_a}{0.6 f_y} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1$$

$$0.1133 + 0.7238 = 0.8371 < 1$$

Se acepta la sección para esta sollicitación.

Para el elemento a flexocompresión tenemos:

$$f_a = 55670/248.16 = 224.33 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_b = 4748000/4159 = 1141.62 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{K_1/r^2}{2 c c^2} \right] F_y}{F_s}$$

Los valores de las variables fueros definidos en el Capítulo VI.

$$\frac{k_1}{r_x} = \frac{380}{20.63} = 18.41 \Rightarrow F_a = 1457 \text{ Kg/cm}^2$$

Como $f_a/F_a = 0.15$; entonces usaremos la siguiente expresión:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0$$

$$0.1530 + 0.684 = 0.837 < 1$$

Lo que prueba que la sección propuesta es correcta.

La revisión a cortante se presenta a continuación:

$$V = 88.88 \text{ Ton} ; F_v = 0.40 F_y = 1012 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_v = 88800 / ((47 \times 1.1)^2) = 858 < 1012 \text{ Kg/cm}^2$$

Revisión de la relación ancho espesor del patín.

$$\frac{t_b}{b} \leq \frac{800}{F_y} = 15.9 ; \frac{18.0}{1.905} = 9.44 < 15.9 \text{ correcto}$$

Revisión del alma:

$$\frac{984000 t_w}{\sqrt{F_y(F_y+11600)}} \text{ Distancia entre patines}$$

$$322(1.1) = 354 \text{ cm} \gg 47 \text{ cm} \text{ correcta}$$

El máximo cortante promedio en el alma "fv", en cual

quier tablero entre atiesadores, calculado para la carga total o parcial no excederá el valor dado por las siguientes fórmulas:

$$F_v = \frac{F_y}{2.89} \left(cv + \frac{1 - cv}{1.15 \cdot 1 + (a/h)^2} \right) \text{-----(1)}$$

Cuando cv es menor que 1 ó bien:

$$F_v = \frac{F_y}{2.89} \quad (cv) < 0.4 F_y \text{-----(2)}$$

Cuando cv es mayor que 1 ó cuando los atiesadores de rigidez se omiten,

Donde:

a = Distancia libre entre atiesadores

h = Distancia libre entre patines

$$cv = \frac{3164000K}{F_y (h/t)^2} \quad \text{cuando } cv < 0.8$$

$$cv = \frac{1590}{h/t} \sqrt{\frac{K}{F_y}} \quad \text{cuando } cv > 0.8$$

t = espesor del alma en cm

$$K = 4.00 + \frac{5.34}{(a/h)^2} \quad \text{cuando } a/h < 1.0$$

$$K = 5.34 + \frac{4.00}{(a/h)^2} \quad \text{cuando } a/h > 1.0$$

Cuando " a/h ", sea mayor de 3, este valor debe tomarse como infinito, en cuyo caso la fórmula (1) se reduce a la fórmula (2) y $K = 5.34$.

Para nuestro caso en particular tenemos:

$$\frac{a}{h} = \text{infinito} ; \Rightarrow K = 5.34$$

$$cv = \frac{1590}{42.7} \sqrt{\frac{5.34}{2530}} = 1.71$$

$$F_v = \frac{2530}{2.89} (1.71) = 1488 > 0.4 F_y$$

Entonces $F_v = 1012 > 858 \text{ Kg/cm}^2$ correcto.

Los atiesadores intermedios no son necesarios cuando la relación H/t es menor de 260 y el esfuerzo máximo de corte en el alma (f_v), es menor que el estimado con la fórmula (2).

$$\frac{H}{t} = \frac{460}{1.1} = 418 > 260$$

La separación de los atiesadores intermedios cuando son necesarios, será tal que el esfuerzo de corte en el alma no excedan el valor de " F_v ", además, las dimensiones mínimas del tablero " a " " h ", no excederán de 260 veces el espesor del alma, ni la relación a/h de $(260/(h/t))^2$, con un máximo valor de 3.

De acuerdo a esta restricción encontraremos la distancia entre atiesadores.

$$H/1.1 = 260 ; H = 1.1 \times 260 = 286 \text{ cm}$$

$$a/h = 286/47 = 6.08 ; \left(\frac{260}{h/t}\right)^2 = \left(\frac{260}{260}\right)^2 = 1 < 6.08$$

Si igualamos la relación a/h con 3, tendremos:

$$a/h = 3 ; a = 3h \longrightarrow a = 3(47) = 141 \text{ cms.}$$

Como no requerimos de área adicional para tomar el cortante, obtendremos del valor del momento de inercia mínimo $(h/50)$ el espesor " t " de la placa.

Despreciando el área del alma, se tomará la longitud de dos atiesadores con un espesor de $5/16"$.

$$I = \frac{19(0.79)^3}{12} = 0.78 ; \frac{h}{50} = \frac{47}{50} = 0.78 = 0.78$$

Se colocarán atiesadores de $5/16"$ por 17 cms por 47-cms., a cada 140 cms.

Revisaremos si hay reducción en el esfuerzo del patín de compresión:

$$d/tw < 6370 / \sqrt{F_b} = 155.88$$

$$50/1.1 = 45.45 < 155 \text{ No se reduce.}$$

Se revisarán el desgarramiento en el alma considerando el apoyo de los largueros sobre la viga curva.

$$\frac{R}{t(N+K)} \leq 0.75 F_y$$

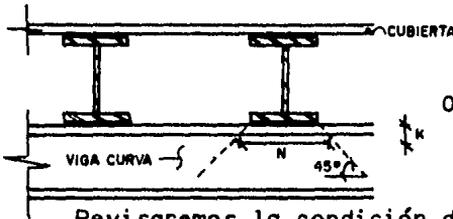
Donde:

R = Carga concentrada o reacción

t = Espesor del alma

N = Longitud del empuje

K = Distancia del paño exterior del patín a la raíz de la unión de la misma.



$$0.75 F_y = 1897 \text{ Kg/cm}^2$$

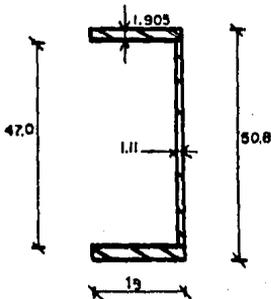
Revisaremos la condición de apoyo de los largueros - más cargados sobre la viga curva.

IPR	t	K	N	R	fp	Fp
254	1.1	2.205	10.2	6.98	511	1897 Kg/cm^2
305	1.1	2.205	16.5	18.30	981	1897 Kg/cm^2
356	1.1	2.205	17.1	27.15	1272	1897 Kg/cm^2

No hay problemas de aplastamiento.

Se concluye que esta sección tiene un buen funcionamiento bajo estas acciones, trabajando en conjunto.

Ahora revisaremos la sección canal individual, considerando la mitad de los elementos mecánicos, para que no exista una falla en este elemento al trabajar aisladamente. Se revisará el elemento sujeto a flexocompresión.



$$A = 124.09 \text{ cm}^2 \quad S_x = 2079 \text{ cm}^3$$

$$I_x = 52819 \text{ cm}^4 \quad S_y = 354 \text{ cm}^3$$

$$I_y = 4600 \text{ cm}^4 \quad r_x = 20.63 \text{ cm}$$

$$r_y = 18.53 \text{ cm}$$

$$PA = 27.83 \text{ Ton M} = 23.74 \text{ T-M}$$

$$V = 34.08 \text{ Ton}$$

Flexión.- Según A.I.S.C., secc. 1.5.1.4.5 (2) para--
secciones canal:

$$F_{bx} = \frac{843700}{1d^3/Af} = 1582 \text{ Kg/cm}^2 > 0.6 F_y$$

Tomaremos el valor de 0.6 de F_y

$$f_{bx} = \frac{23.74 \times 10^5}{2079.52} = 1141.61 < 1520 \text{ Kg/cm}^2$$

Compresión.

$$K_1/r_x = 380/20.63 = 18.41 ; F_a = 1457 \text{ Kg/cm}^2$$

$$K_1/r_y = 380/18.53 = 20.50 ; F_a = 1449 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_a = 27830/124.09 = 224.72 \text{ Kg/cm}^2$$

Usando la fórmula de interacción para $f_a/F_a = 0.15$

$$\frac{f_a}{F_a} = \frac{224.27}{1449} = 0.15 ; \frac{f_b}{F_b} = \frac{1141.61}{1520} = 0.75$$

$$0.15 + 0.75 = 0.90 < 1$$

Cortante:

$$F_v = 0.4 f_y = 1012 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_v = \frac{34080}{51.7} = 659.2 < 1012 \text{ Kg/cm}^2$$

La sección individual no presenta ningún problema, -
ni requiere de arriostros para disminuir su rela--
ción de esbeltez.

8.1.3.- ARMADURA PRINCIPAL

Para la revisión de los elementos de la armadura se-
compararon las dos condiciones de apoyo, conjuntamente --
con los resultados del prediseño. Sus resultados se resu-
men graficamente en las siguientes figuras. (Donde la car-
ga axial está dada en Toneladas):

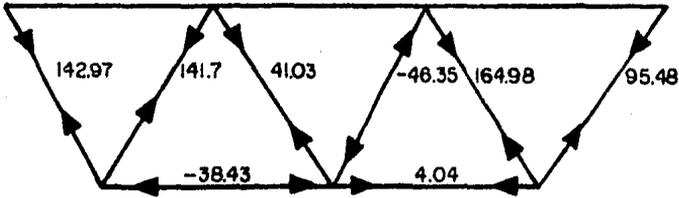


FIG. 8.1.3.1.- Resultados obtenidos del análisis para el prediseño.

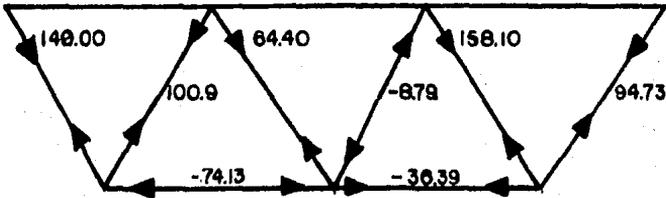


FIG. 8.1.3.2.- Resultados del análisis por computadora para la condición de apoyo "A".

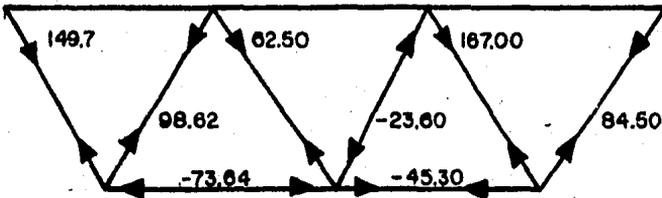


FIG. 8.1.3.3.- Elementos mecánicos obtenidos del análisis por computadora para la condición "B"

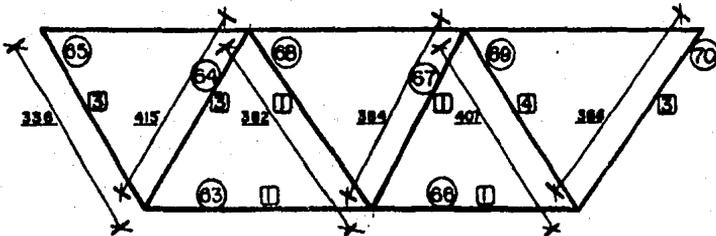
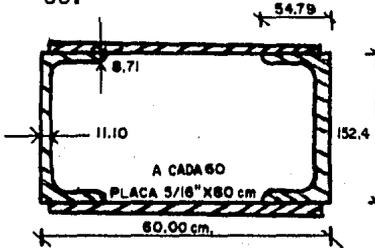


FIG. 8.1.3.4.- Indica la geometría, número de elemento (N) y tipo de sección empleado (N) .

- * - Tensión.
- * + Compresión.

De la comparación de los 3 resultados, y de los valores obtenidos en el prediseño, se deduce que los elementos 63, 64 y 68 requieren de una nueva revisión, ya que la carga axial sobre éstos se incrementó demasiado. Los elementos restantes quedan dentro de los valores de esfuerzos admisibles calculados en el prediseño.

Revisión de la sección "1" para los elementos 63 y - 68.



$$\begin{aligned}
 A &= 49.12 \text{ cm}^2 & I_x &= 1440 \text{ cm}^4 \\
 d &= 152.40 \text{ mm} & I_y &= 40527 \text{ cm}^4 \\
 b &= 54.79 \text{ mm} & r_x &= 5.41 \text{ cm} \\
 t_f &= 8.71 \text{ mm} & r_y &= 28.70 \text{ cm} \\
 t_w &= 11.10 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

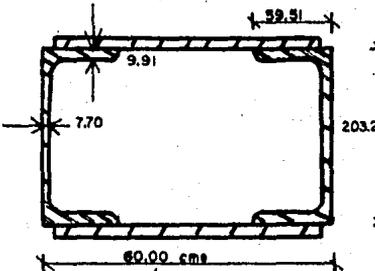
$$Kl/r_x = 76.71 ; F_{ax} = 1105 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Kl/r_y = 14.45 ; F_{ay} = 1473 \text{ Kg/cm}^2$$

El elemento 68 está sujeto a una carga axial en compresión de 64400 Kgs.

$$f_a = 64400/49.12 = 1311 > 1105 \text{ Kg/cm}^2$$

Como "fa" es mayor que "Fa", se propone la siguiente sección:



$$\begin{aligned}
 A &= 51.88 \text{ cm}^2 & I_x &= 2980 \text{ cm}^4 \\
 d &= 203.20 \text{ mm} & I_y &= 42501 \text{ cm}^4 \\
 b &= 59.51 \text{ mm} & r_x &= 7.58 \text{ cm} \\
 t_f &= 9.91 \text{ mm} & r_y &= 28.62 \text{ cm} \\
 t_w &= 7.70 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$Kl/r_x = 50.13 ; F_{ax} = 1292 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Kl/r_y = 13.20 ; F_{ay} = 1479 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_a = 64400/51.88 = 1241 < 1292 \text{ Kg/cm}^2$$

Las dimensiones de la sección trabajando en conjunto son correctas. La revisión individual de los canales, se presenta a continuación.

$$Kl/r_x = 380/7.59 = 50.13 ; F_{ax} = 1292 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Kl/r_y = 60/1.57 = 38.21 ; F_{ay} = 1362 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_a = 64400/2(25.94) = 1241 < 1292 \text{ Kg/cm}^2$$

La longitud en "y" se tomó de 60 cms., ya que se colocarán placas al igual que en las otras secciones.

El elemento 63 tuvo un incremento de carga axial a tensión, alcanzando un valor máximo de 74130 Kgs.

$$0.6 F_y = P/A ; A = 74130/1520 = 48.87 \text{ cm}^2$$

$$\text{El área de la sección "1" es de } 49.12 \text{ cms}^2 > 48.87 \text{ cm}^2$$

Por lo tanto este miembro se queda con la misma sección.

El elemento 64 está sujeto a una compresión de 141.7 Ton. Del prediseño (4.4) sabemos que el "Fa" para la sección "4" con una longitud aproximadamente igual a la de este miembro, es de 1320 Kgs/cm².

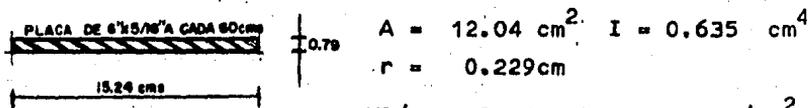
$$f_a = 141700/171.86 = 824.5 < 1320 \text{ Kg/cm}^2$$

Para uniformizar secciones, se colocará también la sección tipo "4" para el elemento 64.

A continuación revisaremos la placa intermitente que une los canales para formar la sección cajón. La carga axial que debe soportar esta placa, es el 2% de la carga que están sujetos los cajones; si tomamos la mayor de éstas para la revisión tendremos:

$$\text{A tensión: } A = 167000(0.02)/1520 = 2.19 \text{ cm}^2$$

A compresión; Las propiedades de la sección son:



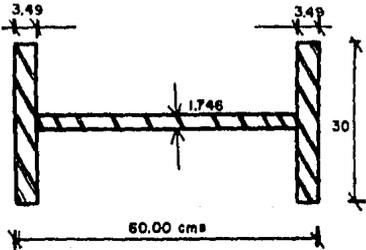
$$Kl/r = 192.1 ; F_a = 285 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_a = 167000 (0.02)/12.04 = 277.41 < 285 \text{ Kg/cm}^2$$

Diseño correcto.

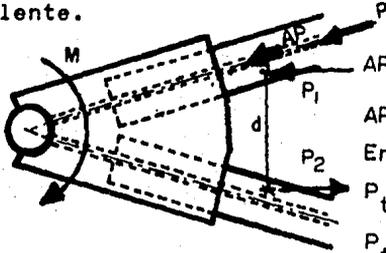
Finalmente las secciones de los miembros que componen la armadura principal quedarán de la siguiente forma:

la flexión respecto al menor momento de inercia desaparece, pudiendo reducirse esta sección. Después de varias alternativas se propuso la siguiente sección:



$$\begin{aligned}
 A &= 305.32 \text{ cm}^2 & r_y &= 25.06 \text{ cm} \\
 I_x &= 16494 \text{ cm}^4 & S_x &= 1082 \text{ cm}^3 \\
 I_y &= 191758 \text{ cm}^4 & S_y &= 6392 \text{ cm}^3 \\
 r_x &= 7.35 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

El efecto del momento debido a la fricción entre el buje y perno, se descompone en un par de fuerzas equivalente.



$$AP = \frac{M}{d \cos \theta} = \frac{15.24}{0.92(0.97)}$$

$$AP = 17.07 \text{ Ton.}$$

Entonces:

$$P_t = P + AP$$

$$P_t = 294.6 + 17.07 = 311.67 \text{ Ton.}$$

$$f_a = 311.67/305.32 = 1020.79 \text{ Kg/cm}^2$$

$$K1/r_x = 250/7.35 = 27.89 \quad f_a = 1416 \text{ Kg/cm}^2$$

$$K1/r_y = 1545/25.06 = 61.6 \quad f_a = 1220 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_a/f_a = 1020.79/1220 = 0.83$$

Ahora obtendremos el valor para Fb.

Comprobación de sección compacta:

Sección 1.5.1.4.1.(4) Manual A.I.S.C.

$$d/t_w = 34.36 < 42.84$$

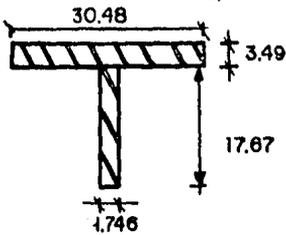
Sección 1.5.1.4.1.(5) Manual A.I.S.C.

$$l_b < \frac{637 \text{ bf}}{\sqrt{F_y}} ; 1545 > 386 \text{ No compacta.}$$

Sección 1.9.1.2. A.I.S.C. Para sección no compacta.

$$\frac{\text{bf}}{2t_f} \leq 15.83 ; \frac{80.48}{2(3.49)} = 4.36 < 15.83$$

$$F'b = \frac{843700 \text{ cb}}{1b \text{ d}/AF} = \frac{843700}{1545(60/106.37)} = 968.11 \text{ Kg/cm}^2$$



$$A = 106.38 + 30.85 = 137.22 \text{ cm}^2$$

$$I_t = 3590 \text{ cm}^4$$

$$r_t = 5.11 \text{ cm}$$

$$Kl/r_t = 1545/5.11 = 302.3 > 119$$

Sección 1.5.1.4.5. (2)

$$F''b = \frac{11952000 \text{ cb}}{(1b/r_t)^2} = \frac{11952000}{(302)^2} = 131.04 \text{ Kg/cm}^2$$

Se tomará el mayor de los esfuerzos calculados de $F'b$ y $F''b$.

El esfuerzo actuante debido al desplazamiento lateral es:

$$f_b = 565078/6392 = 88.40 \text{ Kg/cm}^2$$

Para $f_a/F_a > 0.15$, tenemos que:

$$\frac{1020.79}{1220} + \frac{88.40}{1 - \frac{1020.79}{2757}} \cdot 968.11 = 0.836 + 0.145 = 0.981$$

$$0.981 < 1$$

Se acepta la sección propuesta para los cuatro brazos.

Del análisis por computadora se observó que los montantes y diagonales que forman conjuntamente con los brazos una armadura, toman cargas axiales, que debido a su magnitud requieren de una revisión.

El elemento con mayor carga y longitud resultó ser el No. 26, con una carga axial en compresión de 45.9 Ton. y una longitud de 4.19 Mts. La sección que se propuso para estos miembros es la sección "1", sus propiedades son:

2 CPS

$$A = 49.12 \text{ cm}^2 \quad I_x = 2980.2 \text{ cm}^4$$

$$r_x = 5.41 \text{ cm} \quad I_y = 40527 \text{ cm}^4$$

$$r_y = 28.7 \text{ cm}$$

$$K1/rx = 419.96 / 5.41 = 77.63 \quad Fa = 1101 \text{ Kg/cm}^2$$

$$K1/ry = 419.96 / 28.71 = 14.59 \quad Fa = 1473 \text{ Kg/cm}^2$$

$$fa = 45900 / 49.12 = 934.45 < 1101 \text{ Kg/cm}^2$$

Los restantes elementos presentan cargas menores. Para uniformizar secciones se tomará la sección tipo "1" para todos. La revisión de un solo canal para la mitad de la carga axial tuvo como resultado colocar también placas de unión a cada 60 cms.

8.1.5.- MECANISMO DE IZAJE

De acuerdo a los resultados del análisis por computadora, se observó que la condición más desfavorable para el mecanismo de izaje (tirantes puntales y contraventeo), se presenta en el tirón inicial para izar la compuerta.-- El miembro con mayores elementos mecánicos es el "73" sujeto a una carga axial de 48.58 Ton. a tensión.

Propiedades de la sección No.16 2 APS

$$101.6 \times 101.6 \times 19$$

$$A = 70.20 \text{ cm}^2$$

$$Ix = Iy = 1659.31 \text{ cm}^4$$

$$rx = ry = 4.86 \text{ cm}$$

$$Fa = \frac{48580}{70.2} = 692.01 \text{ Kg/cm}^2$$

El esfuerzo permisible a tensión

$$Fa = 0.6 Fy = 1520 \text{ Kg/cm}^2$$

$fa < Fa$; se acepta la sección propuesta.

Los restantes elementos se revisaron de igual forma, encontrándose que las secciones propuestas son correctas.

Para izar la compuerta, se requiere de un mecanismo de enganche entre ésta y el servomotor; este elemento recibe el nombre de oreja (debido a su geometría), el cual debe de soportar la fuerza necesaria para levantar la compuerta.

puerta.

La geometría de este elemento se presenta a continuación:

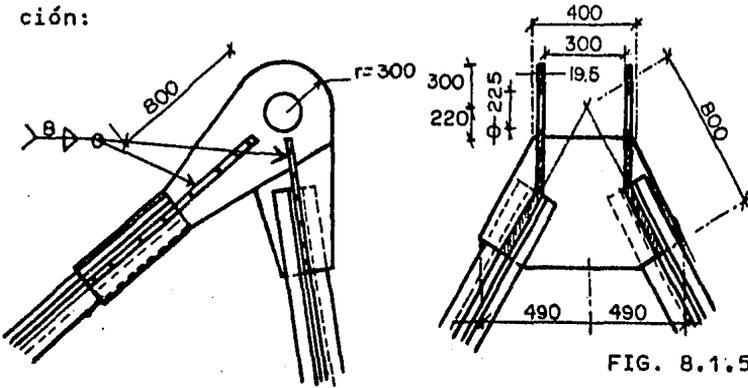


FIG. 8.1.5.1.

Las dimensiones arriba mostradas son el resultado de un estudio preliminar, donde interviene el diámetro del perno, la carga axial sobre los tirantes, y la longitud del cordón de soldadura. El diámetro del perno se estimó en 22.5 cm. A continuación se presenta la revisión de la oreja.

Revisión por aplastamientos:

$$F_{adm} = 0.75 F_y = 1898 \text{ Kg/cm}^2$$

El área sobre la cual apoya el perno es: $A = \phi \times t$

Del análisis por computadora se tiene que las cargas que actúan sobre cada oreja son la resultante de la carga axial en los elementos "76" y "72". Entonces el esfuerzo actuante será:

$$P = \sqrt{(48.58)^2 + (8.37)^2} = 49230 \text{ Kg}$$

$$F_{act} = 49230/22.5(1.909) = 1148 \text{ Kg/cm}^2 < 1898 \text{ Kg/cm}^2$$

A tensión:

$$A_{neta} = 2(30)(1.905) = 114.3 \text{ cm}^2$$

$$f_a = 49230/114.3 = 430.71 \text{ Kg/cm}^2 < 1520 \text{ Kg/cm}^2$$

Revisión por corte :

La distancia entre el perno y el borde de la oreja requerida, según el manual A.I.S.C., será:

$$a = \frac{R}{F_v \times 2 \times t}$$

Donde:

F_v = La mitad del esfuerzo admisible del material --
del perno, al corte = $0.5 F_v$

R = Fuerza existente

t = Espesor de la placa

$$a = \frac{49230}{\frac{1012}{2}(2)(1.905)} = 25.53 \text{ cm} < 30$$

Con lo que probamos que las dimensiones son correctas. La longitud de la oreja es tal, debido a que se requieren 104 cm de soldadura de 8 mm, para transmitir las cargas de los miembros a la oreja, la cual se tomará con dos cordones de 55 cm cada uno.

8.1.6.- RODILLOS, REMATE INFERIOR Y SELLOS

8.1.6.1.- RODILLOS

Para asegurar un buen funcionamiento de la compuerta en su proceso de izaje, se debe colocar un sistema de guías laterales. Generalmente estas guías son zapatos de bronce o rodillos. En este caso se utilizaron rodillos.

Las dimensiones del rodillo estarán en función de la distancia disponible entre largueros, la holgura entre la guía lateral y el extremo de la compuerta, y las cargas a que estarán sujetos. Esta última se tomará de la condición más crítica que se presenta cuando uno de los extremos de la compuerta se atora, tomando el rodillo la reacción que se presenta al apoyarse éste en la pila.

Las dimensiones que se muestran en la siguiente figura son el resultado de varios ensayos. El procedimiento de cálculo se describe brevemente después de la figura:

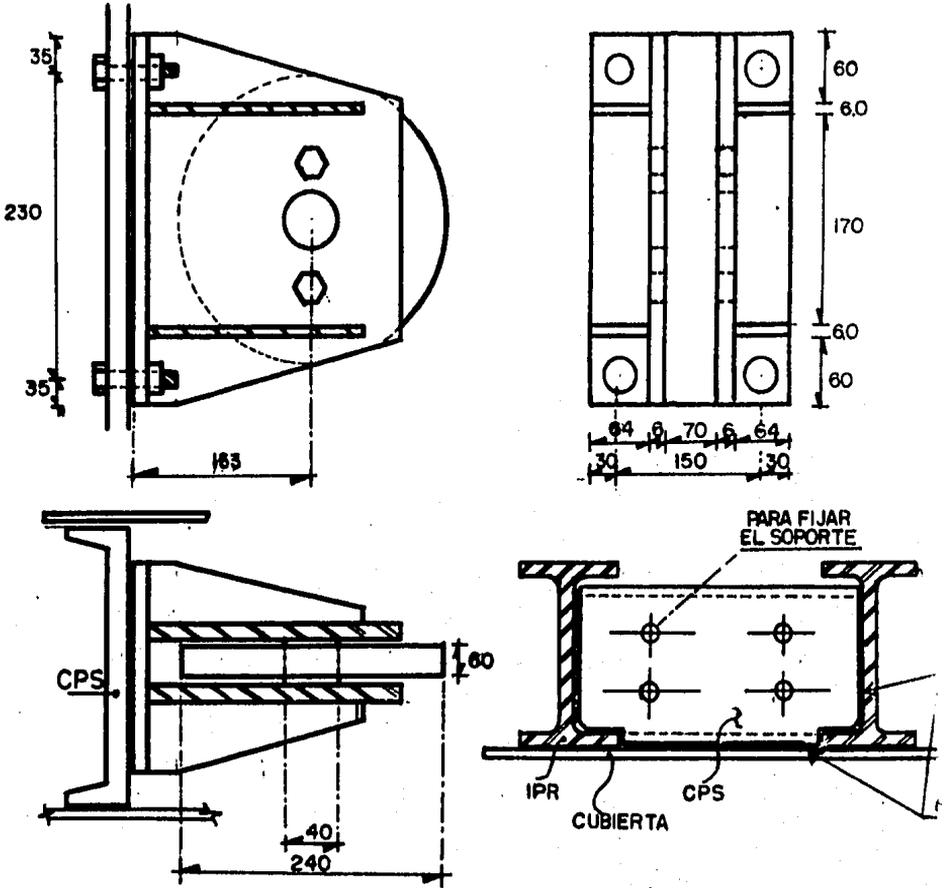


FIG. 8:1.6.1.

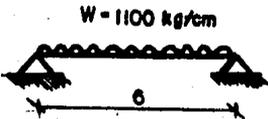
Del diseño del contraventeo sabemos que la reacción sobre la compuerta al recargarse en la pila es de 6.6 Ton para cada apoyo, entonces el perno del rodillo soportará ésta. Si suponemos un ancho de 6 cms. para el perno, tenemos que:

$$6,600 \text{ Kg}/6\text{cm} = 1100 \text{ Kg/cm}$$

El momento debido a esta carga será:

$$M = 1100 (36) / 8 = 4950 \text{ Kg-cm}$$

$$V = 1100 (6) / 2 = 3300 \text{ Kg.}$$



El módulo de sección requerido será:

$$S = \pi d^3 / 32 \quad ; \quad d = \sqrt[3]{32S/\pi}$$

$$S = \frac{4950}{1520} = 3.25 \text{ cm}^3 \quad d = \sqrt[3]{32(3.25)\pi} = 3.21 \text{ cm}$$

El diámetro del perno será de 4 cm.

El esfuerzo cortante se revisa considerando la sección transversal del perno.

$$V = 3300/12.56 = 262 \text{ Kg/cm}^2 < 1020 \text{ Kg/cm}^2$$

Los soportes del apoyo se formaron con placas como indica la fig. 8.6.1.1., estas placas se revisan para evitar la falla en el apoyo del perno; debe cumplirse que:

$$CP = FpA$$

Donde:

CP = Fuerza actuante

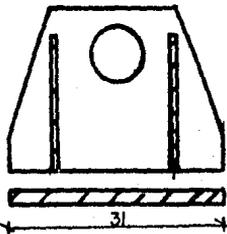
Fp = Esfuerzo permisible (0.75 Fy)

A = Area en que se apoya el rodillo igual con diámetro del perno por el espesor de la placa.

Entonces el espesor "t" será:

$$2530(0.75) = \frac{3300}{4t} \quad ; \quad t = \frac{3300}{4(2530)(0.75)} = 0.43 \text{ cm.}$$

Se colocarán placas de 1/4", este espesor se revisará al considerar el apoyo como una columna sujeta a compresión en volado; (por tal motivo el factor K = 2).



$$A = 19.53 \text{ cm}^2 \quad I = 0.64 \text{ cm}^4$$

$$r = 0.18 \text{ cm.}$$

$$Kl/r = 15.3(2)/0.18 = 170 ;$$

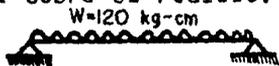
$$Fa = 363 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_a = \frac{3300}{19.53} = 169 < Fa = 363 \text{ Kg/cm}^2$$

Para evitar que la placa pueda flexionarse en la dirección perpendicular a su plano mayor, se colocarán atisadores como se muestra en la fig. 8.1.6.1.1.

El apoyo del rodillo, que clarea entre largueros ---

tiene una longitud de 55 cms. y está sujeto a la carga to tal sobre el rodillo.



$$W = \frac{6600}{55\text{cm}} = 120 \text{ Kg/cm.}$$

$$M = 120(55)^2/8 = 45375\text{Kg}\cdot\text{cm.}$$

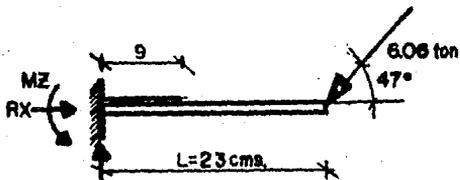
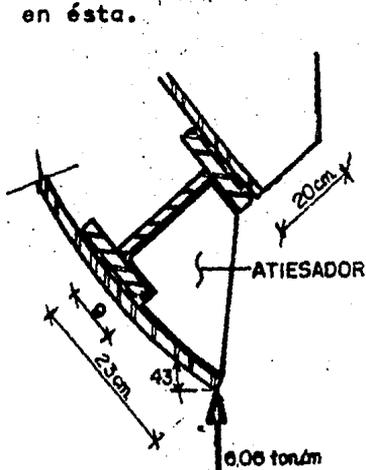
$$S = 45375/1.33(1520) = 29.83 \text{ cm}^3$$

Del Manual A.H.M.S.A., seleccionamos un CPS 304.8 x 80.52 x 2.75, con un módulo de sección $S_x = 33.76$; -- $S_y = 442.4 \text{ cm}^3$.

Debido al uso constante de los rodillos, éstos se -- desgastan; debido a este efecto se deben colocar de una -- forma tal que puedan cambiarse. Una forma de hacer éstos -- es montando el rodillo en una placa, la cual se atornilla -- sobre el apoyo del rodillo. Esta placa debe ser capaz de -- distribuir la carga concentrada por el rodillo a todo lo -- largo del apoyo.

8.1.6.2.- REMATE INFERIOR

Del análisis por computadora se observó que en la -- condición "A" (apoyada en el lado inferior), y combina--- ción de carga 1 (presión hidrostática+peso propio), se -- presentan momentos, cortantes, y carga axial sobre los -- miembros de apoyo, estas acciones deben de ser absorbidas -- por la placa de la compuerta, ya que físicamente se apoya -- en ésta.



$$R_x = 6.06 \times \cos 47^\circ = 4.13 \text{ Ton/M}$$

$$R_y = 6.06 \times \sin 47^\circ = 4.43 \text{ Ton/M}$$

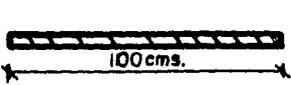
$$M_z = 4.43 \times 0.23 = 1.02 \text{ Ton}\cdot\text{M/M}$$

$$W = \frac{45 \text{ ton}}{7.42\text{mts}} = 6.06 \text{ Ton/M}$$

FIG. 8.2.6.2.1.

La reacción sobre el cimacio en esta condición es de 45 Ton; si la distribuimos a todo lo ancho de la compuerta obtendremos los elementos mecánicos por metro lineal - que actúan sobre la placa del remate. Considerando la -- placa como una viga en volado, podemos saber los esfuer-- zos a que está sujeta.

Si analizamos una sección de ancho unitario tendre-- mos:



$$A = 127 \text{ cms}^2 \quad I = 17.07 \text{ cms}^4$$

$$S = 26.88 \text{ cms}^3 \quad r = 0.37 \text{ cms.}$$

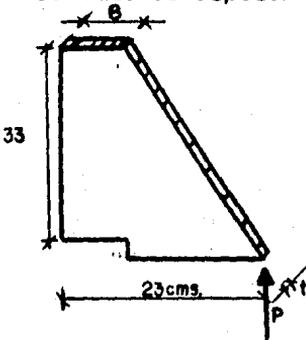
$$Kl/r = 62.16 ; Fa = 1214. \text{ Kg/cm}^2$$

$$fa = 4130/100 (1.27) = 32.52 \quad fa/Fa = 0.026 \text{ correcto}$$

$$Fb = 1520 \text{ Kg/cm}^2$$

$$fb = 1.02 \times 10^5 + 0.0399 \times 10^5 / 26.88 = 5279 \text{ Kg/cm}^2$$

Donde podemos ver claramente la necesidad de colocar atiesadores o cartabones que tomen la carga de la reac-- ción, ya que la placa no es suficiente para absorber este efecto. Para obtener el valor de "fb" consideramos adi-- cionalmente el efecto de la placa al flexionarse con el - empuje hidrostático. Si colocamos los atiesadores a cada 50 cms. el espesor "t" para cada uno de éstos será:



$$P = 0.50(4.43) = 2.215 \text{ Ton.}$$

$$M = 2.215(0.23) = 0.50945 \text{ T-M}$$

$$0.6 Fy = M/Sx$$

$$Sx = 50945/1520 = 33.51 \text{ cm}^3$$

$$t = \sqrt{6(33.51)/33} = 2.46 \text{ cms.}$$

Entonces colocaremos estas placas de 1" de espesor a cada 50 cms. El efecto de flexión debido al empuje hi-- drostático la tomará al 100% la placa de la pantalla, y -

el efecto de la reacción será absorbido por los cartabones.

8.1.6.3.- SELLOS

Estos dispositivos se colocan con el propósito de evitar fugas de agua, se instalan en los bordes laterales e inferior de la compuerta. Se fijan mediante soleras ó ángulos que permitan oprimir los sellos contra sus contras y fijarlos fuertemente.

El material del sello es comunmente hule durómetro - Shore tipo "A", debido a sus características como son: Una gran capacidad para resistir la fricción, y a que tiene - un límite de ruptura a la tensión de 270 Kgs/cm^2 .

Debe tenerse cuidado en la union del sello inferior con los laterales, pues éstos son puntos críticos para fugas.

La fricción en los sellos laterales debe ser absorbida por los tornillos de fijación que transmiten la carga a todo lo largo de la cubierta. Estos esfuerzos de fricción, son bajos, pero se recomienda que el paso de los -- tornillos sea menor a 20 cms., para evitar deformaciones al sello.

Existen varios tipos de sellos, entre los cuales el más común es el de nota musical y será usado para los sellos de la compuerta.

Las características, dimensiones, y dispositivos de fijación de los sellos, se muestran en la siguiente figura:

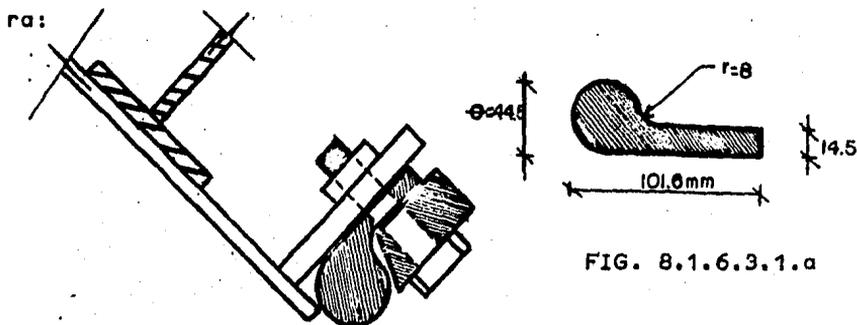


FIG. 8.1.6.3.1.a

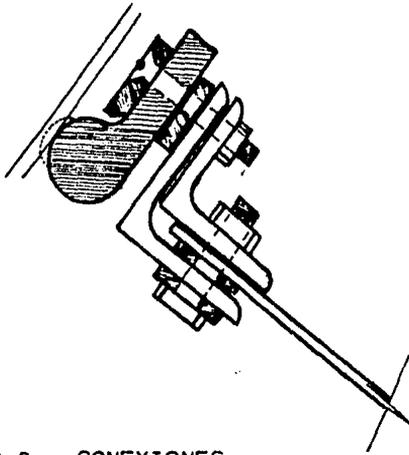


FIG. 8.1.6.3.1.b

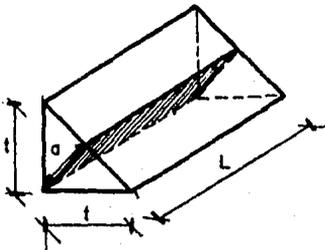
8.2.- CONEXIONES

Al igual que cualquier miembro de la estructura, las uniones son de vital importancia pues es a través de éstas, que se transmiten las acciones de los distintos elementos que concurren a un nudo.

En el presente capítulo se presenta el diseño de algunas de las uniones más importantes de los elementos de la compuerta.

El diseño de la soldadura se realizó en función a las especificaciones de American Welding Society (AWS), - en lo que se refiere a simbología y recomendaciones. Los esfuerzos permisibles se tomaron de acuerdo a los indicado por el cuerpo de Ingenieros Americanos. El esfuerzo - admisible correspondiente al electrodo "A 233" clase E-60 grado Saw-1, será de $F_{as} = 810 \text{ Kg/cm}^2$.

Para la soldadura de filete se considera el ancho de la garganta, ya que la falla sobreviene en ésta. Entonces el tamaño de la soldadura "t" y la dimensión de la garganta "a" se obtienen con la siguiente expresión:



$$PS = AsF_{adm}$$

En donde:

As = Area resistente del filete

$$As = a \times L = t \cos 45^\circ \times L$$

L = Longitud del filete

Así el esfuerzo admisible por centímetro de longitud para soldadura de filete será:

$$PS = AsFadm = L.t \cos 45^\circ \times 810 \text{ Kg.}$$

$$fs = PS/L = t \cos 45^\circ \times 810 = 572.7 \text{ t (Kg/cm)}$$

Como los elementos de la estructura estarán en contacto continuo con el agua. Se deben de sellar con soldadura todos sus bordes, aún y cuando la longitud de cordón calculada sea menor, evitandose así los problemas de corrosión.

En la siguiente figura se muestran las juntas más importantes de la compuerta, de las cuales se presenta un resumen de su diseño.

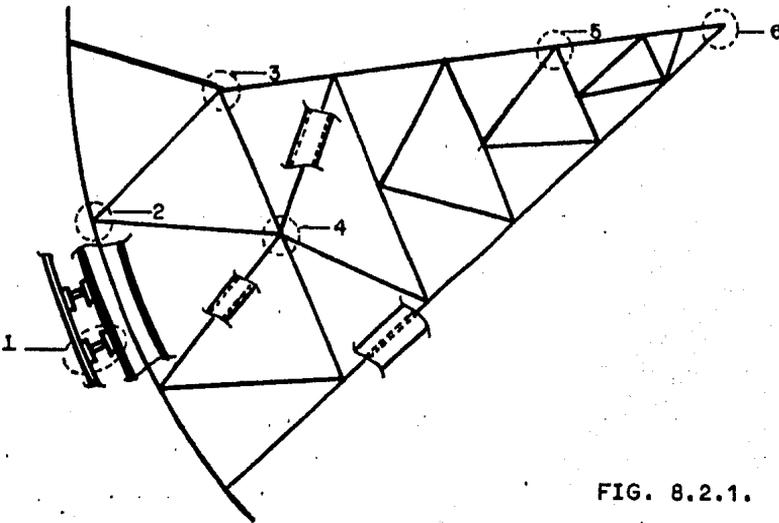
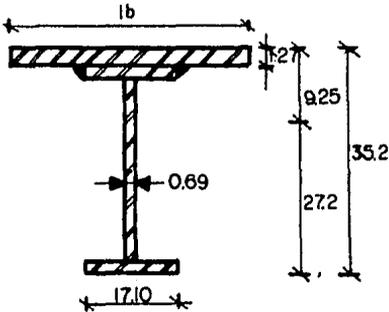


FIG. 8.2.1.

8.2.1.- UNION DE LA CUBIERTA A LOS LARGUEROS

Del análisis de la cubierta, se tiene que la fuerza cortante máxima actuando sobre un larguero, es de 3.74Ton. Para unir las placas de la pantalla a los largueros, debemos valuar el esfuerzo actuante en esta zona, el que se obtiene con la fórmula para el esfuerzo razante. La sección por estudiar tiene las siguientes características:



Siendo "lb" el ancho de la placa de la cubierta trabajando como patín en compresión de la sección compuesta.

Para hacer esta unión usaremos soldadura de filete en ambos lados y en toda la longitud, para evitar que el agua penetre en la junta y origine corrosión.

La expresión para valuar el esfuerzo rasante es la siguiente:

$$v = VQ/Ib$$

Donde:

v = Esfuerzo rasante

V = Esfuerzo cortante sobre la sección

Q = Momento estático, respecto al centro de gravedad

I = Momento de inercia de la sección

b = Ancho de la sección transversal en estudio.

Sustituyendo los valores de geometría y cortante en la fórmula de esfuerzo rasante tenemos:

$$v = \frac{3740 \times 547.05}{22034.61 \times 17.1} = 5.43 \text{ Kg/cm}^2$$

Entonces la fuerza rasante por centímetro de longitud es:

$$f = vb = 5.43 \times 17.1 = 92.85 \text{ Kg/cm}$$

Las especificaciones del manual A.I.S.C. 1.1.7.2. -- proponen el tamaño mínimo de soldadura en función de los espesores de placas a unir, en este caso el tamaño mínimo es de 5 mm; si multiplicamos el esfuerzo "fs" de soldadura por el espesor de ésta, obtendremos su valor admisible por centímetro.

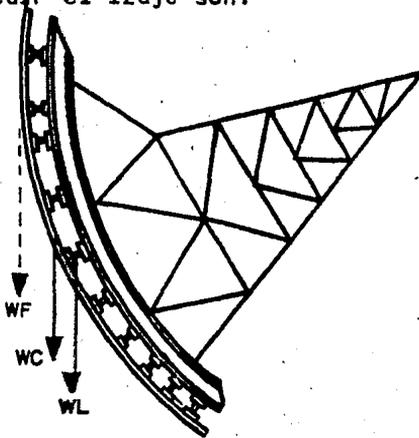
$f_s = 572.7 \times 0.5 = 286 \text{ Kg/cm} > 46.42$ correcto.

Tomamos un valor de 46.42 Kg/cm, debido a que son -- dos los cordones de soldadura.

Se colocará soldadura de 5 mm en todos los largueros, para unirlos a la placa de la pantalla.

8.2.2.- UNION DE LOS LARGUEROS CON LAS VIGAS CURVAS

Esta conexión se diseña para la condición más desfavorable, y ocurre cuando se aplica la fuerza para izar la compuerta, en ese momento las variables que intervienen para impedir el izaje son:



Donde:

Wf = Fuerza de fricción de los sellos

Wc = Peso de la cubierta

Wl = Peso de los largueros

El peso de la cubierta y largueros se obtuvo en el capítulo de diseño. La fuerza de fricción producida por los sellos se obtiene de la siguiente forma:

El ancho de contacto del sello cuando el agua hace que se flexione y se apoye sobre su contra, es de 3.8 cms, la fuerza debida a este efecto es

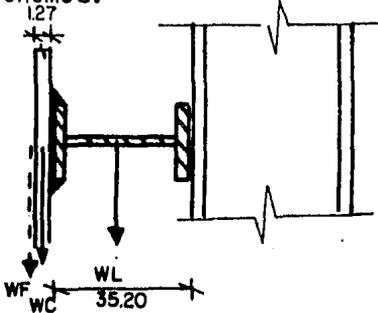
$$P = \gamma H^2 / 2as = 1000 \times 15.16^2 \times 0.038 / 2 = 4366 \text{ Kg.}$$

La SARH, recomienda usar un coeficiente de 0.85 para

este caso; entonces la fuerza debida a la fricción será.

$$W_f = 2 \times 0.85 \times 4366.67 = 7423 \text{ Kg.}$$

Aislando un extremo de la compuerta para analizar -- los efectos de fuerza cortante y momento en cada conexión tenemos.



Donde:

$$W_f = 7423.24/60 \text{ Kg}$$

$$W_c = 9360.00/60 \text{ Kg}$$

$$W_l = 8370.00/60 \text{ Kg}$$

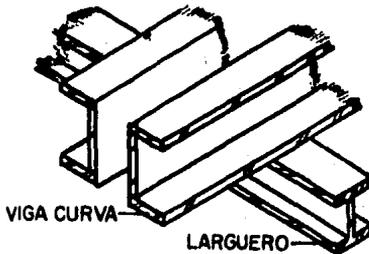
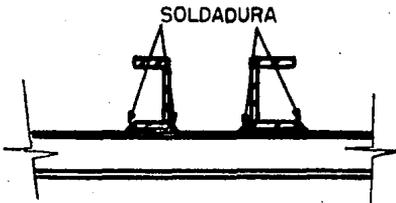
Las fuerzas totales se dividen entre 60, debido a -- que son 30 largueros y dos vigas curvas, o sea 60 uniones; obteniendose así las acciones para cada una de éstas.

El cortante para cada conexión será:

$$F = W_f + W_c + W_l = 123.72 + 156 + 139.5 = 419.22 \text{ Kg}$$

El momento flexionante es:

$$M = 123.72(36.47) + 156(35.835) + 139.5(17.6) = 12557 \text{ K-c}$$



Analizando un cordón rectangular de soldadura obten-- dremos los esfuerzos que se presentan en una esquina.

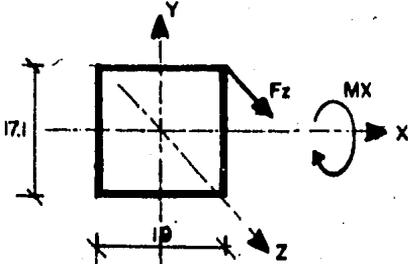
La carga vertical induce un esfuerzo en la dirección "Y" que se valúa con la siguiente expresión:

$$F_y = V/A$$

El momento flexionante sobre la unión, origina es--- fuerzas normales al plano de la soldadura; que se valúan- con:

$$F'z = Mx/Sx$$

Referidos a un sistema de ejes, de acuerdo a la si--- guiente convención:



$$A = 2(19+17.1) = 72.2 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$S = bd + d^2/3$$

$$S = 19 \times 17.1 + 17.1^2/3$$

$$S = 422.37 \text{ cm}^3$$

Sustituyendo en las fórmulas de esfuerzo tenemos:

$$Fy = 419.22/2 (72.2) = 2.90 \text{ Kg/cm}$$

$$F'z = 12557.52/2(422.37) = 14.86 \text{ Kg/cm}$$

La fuerza resultante por unidad de longitud que obra sobre la garganta del filete, se determina con:

$$F = \sqrt{(Fy)^2 + (F'z)^2} = 15.14 \text{ Kg/cm}$$

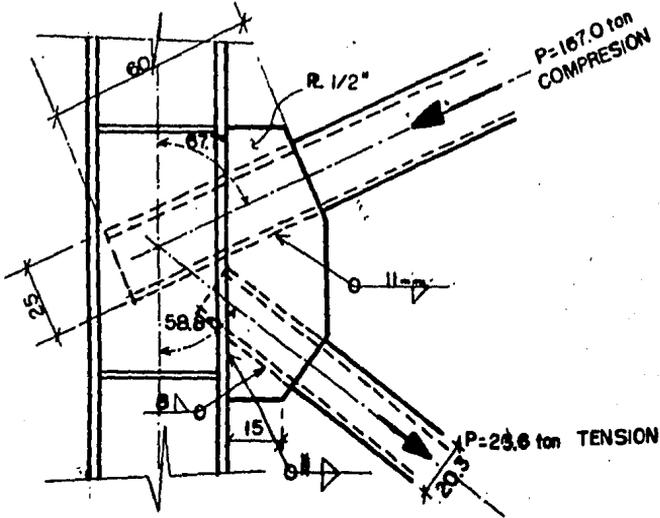
Como este esfuerzo es mínimo, se colocará soldadura- de 6 mm, que es el ancho menor para las placas a unir en- este caso, la resistencia por unidad de longitud de acuer- do a su esfuerzo admisible es:

$$fs = 572.7 \times t = 572 \times 0.6 = 343.62 \gg 15 \text{ Kg/cm}$$

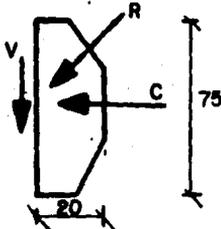
8.2.3.- UNION DE LA VIGA CURVA CON LA ARMADURA PRIN- CIPAL

Esta conexión se refiere al detalle No. 2 de la figu- ra 8.2.1.

Para unir estos miembros, es necesario colocar una - placa adicional, ya que el cordón de soldadura necesaria- así lo requiere, este detalle se indica en la siguiente - figura:



La carga axial sobre cada placa será igual a la resultante de las acciones, dividida entre 2, ya que se pondrá una placa a cada lado.



C = compresión = 67,61 Ton

V = cortante = 38,5 Ton

R = resultante = $\sqrt{C^2 + V^2}$

R = 77,8 Ton

Las propiedades de la placa son:

$h = 75 \text{ cms}$ $t = 1,27 \text{ cms}$ (propuesta) $A = 95,25 \text{ cm}^2$

$I_x = 44648,44 \text{ cm}^4$; $I_y = 12,60 \text{ cm}^4$; $r_x = 21,6 \text{ cm}$; $r_y = 0,37 \text{ cm}$

Revisión de la placa a compresión:

$P = 67,61 \text{ Ton}$, $l = 25 \text{ cms}$, $K = 1$

$Kl/r_x = 25/21,65 = 1$; $F_a = 1520 \text{ kg/cm}^2$

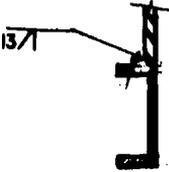
$Kl/r_y = 25/0,37 = 67,5$; $F_a = 1179 \text{ kg/cm}^2$

$f_a = 67610/95,25 = 709,82 \text{ kg/cm}^2 < F_a$ correcta.

Revisión a cortante:

$$V = 38.5 \text{ Ton}; F_v = 38500/95.25 = 404.19 < 0.4F_y$$

La soldadura para unir la placa a la viga curva será de penetración, como se ve en el siguiente detalle



$$\begin{aligned} f_a &= R/a = 77800/95.25 = 816.79 \text{ Kg/cm}^2 \\ F_a &= 1012 \text{ Kg/cm}^2 \times 1.27 \text{ cm} = 1285 \text{ Kg/c} \\ f_a &= 816.8 \text{ Kg/cm}^2 \times 1.27 \text{ cm} = 1037 \text{ Kg/c} \\ 1037 \text{ Kg/c} &< 1285 \text{ Kg/c} \quad \text{se acepta} \end{aligned}$$

Según el manual A.I.S.C. la soldadura de filete se diseñará de acuerdo a los esfuerzos a que está sometido el elemento a unir, no debiendo ser éstos menores a 50% de la capacidad de la sección propuesta.

El tamaño de la soldadura para elementos de 1/4" o más será de 1/16" menor que el del material a soldar.

El elemento "69" formado por 2 CPS (sección 4) tiene una capacidad a compresión de 1320 Kg/cm², y un área de -- 171.86 cms² entonces el esfuerzo admisible a compresión para cada canal será:

$$A = 171.86 \text{ cms}^2 / 2 = 85.93 \text{ cms}^2$$

$$f_a = 0.5 (1320) = 660 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P_a = 660 \text{ Kg/cm}^2 \times 85.93 \text{ cm}^2 = 56713.8 \text{ Kg}$$

Como la carga axial a que está sujeto el elemento -- es de 167 Ton, que dividida entre dos canales es de 83 -- Ton y mayor que "Pa", se diseñará para la carga axial.

Sabemos que la resistencia de la soldadura por centímetro es de $f_s = 572.7 \text{ t Kg/cm}$; si fijamos la longitud del cordón de soldadura de acuerdo a la geometría de las placas a soldar, podemos obtener el espesor de soldadura requerido, si $\text{long} = 150 \text{ cms}$. entonces:

$$t = 83500/572.7 \times 150 = 1.06 \text{ cm} \quad t = 11 \text{ mm}$$

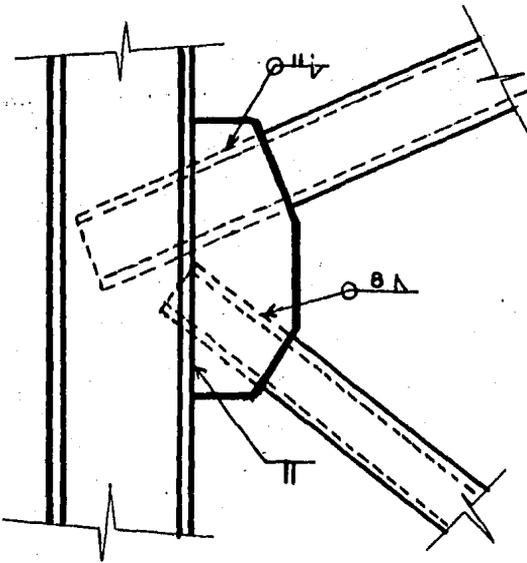
El elemento No. 67 se encuentra sujeto a una tensión de 11.8 ton, con un área de 25.94 cms para cada canal, entonces el 50% de su capacidad a tensión será:

$$P_a = 0.5 \times 25.94 \times 1520 = 19714 \text{ Kg} \supseteq 11800 \text{ Kg}$$

Como el 50% de la capacidad del elemento resultó ser mayor que el esfuerzo actuante diseñaremos para el mayor. Fijando la longitud del cordón en 45cms., tenemos que el espesor de la soldadura es:

$$t = 19714.4 / 572.7 \times 45 = 0.76 \text{ cm} \Rightarrow t = 8 \text{ mm}$$

Quedando finalmente la conexión de la siguiente forma:

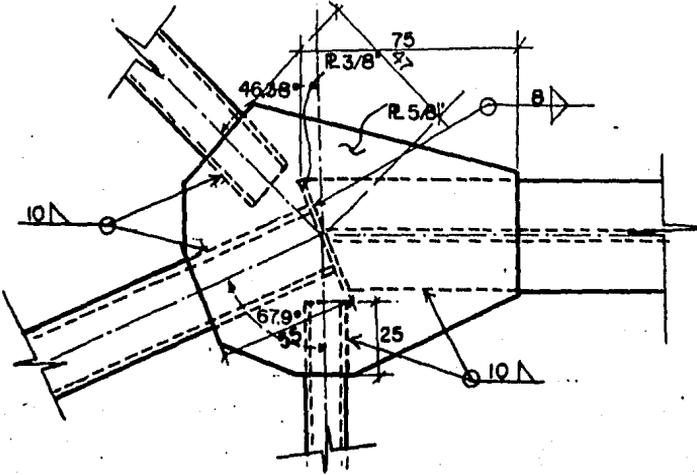


Las restantes uniones se diseñaron con los mismos - criterios, tomando los elementos mecánicos que se obtu- vieron del análisis por computadora para la condición -- más crítica de trabajo.

A continuación se muestra las características y di- mensiones de las uniones que se muestran en la figura -- 8.2.1.

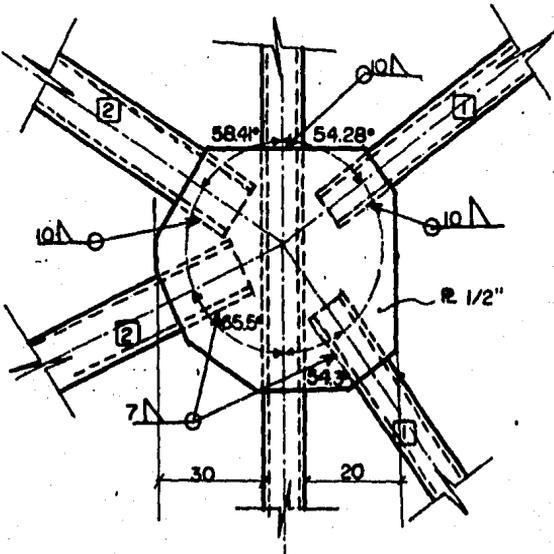
8.2.4.- UNION DE LA ARMADURA PRINCIPAL CON LA ARMADURA SECUNDARIA Y BRAZOS

Este detalle es el número 3 de la fig.8.2.1.



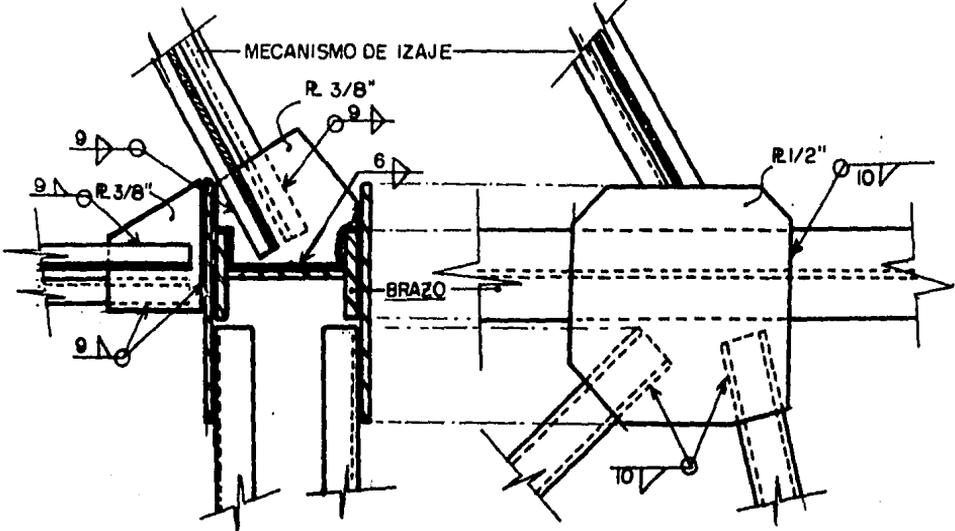
8.2.5.- UNION DE LA ARMADURA PRINCIPAL CON LA ARMADURA SECUNDARIA

Esta unión corresponde al detalle No. 4 de la figura 8.2.1.



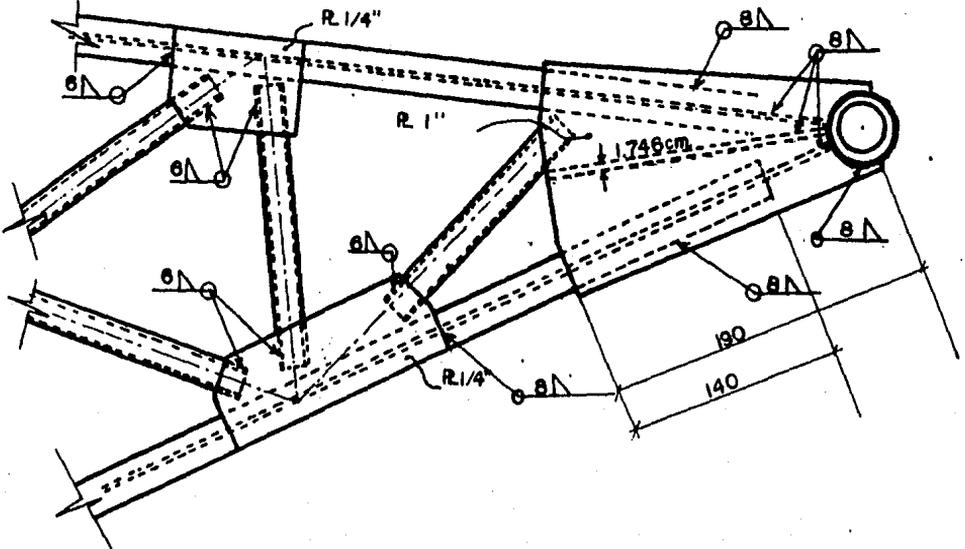
8.2.6.- UNION DEL BRAZO CON EL MECANISMO DE IZAJE Y LA ARMADURA SECUNDARIA

Detalle No. 5 de la figura 8.2.1.



8.2.7.- UNION DE LOS BRAZOS Y EL BUJE DE LA COMPUERTA

Esta conexión corresponde al detalle No. 6 de la figura 8.2.1.



Las placas de unión de esta conexión (6) deben de -- ser capaces de transmitir el empuje de los brazos hasta - el perno de la compuerta, y tener una longitud que permita colocar adecuadamente la soldadura necesaria.

El espesor de la placa propuesta es de 1", la cual - conjuntamente con la prolongación del alma de los brazos - y otra placa auxiliar que se coloca para rigidizar las cu breplacas, deben soportar la fuerza transmitida por los - brazos; con estas consideraciones tenemos que:

$$f = \frac{W}{A m} = \frac{516000}{517.48} = 997 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} < F_{adm} = 0.6 F_y \text{ correcto}$$

Donde:

W = Empuje sobre el buje, que de acuerdo a las corri das por computadora es de 516 Ton.

Am = Area del muñón que resiste la compresión, la --- cual debe ser la de las dos placas laterales mas las tres placas horizontales que asientan direc- tamente en el buje.

De acuerdo a la geometría arriba descrita se obtuvo la longitud máxima de cordón de soldadura para cada placa horizontal que fué de 3.80 mts.; fijando ésta podemos de- finir el ancho del cordón de soldadura requerido.

$$t = \frac{516000}{3(572)380} = 0.79 \Rightarrow t = 8 \text{ mm}$$

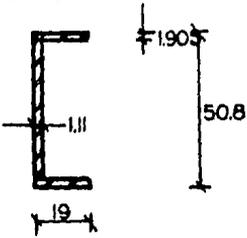
Lo que comprueba que la dimensión propuesta en el -- prediseño para las cubre placas es correcta.

8.2.8.- DISEÑO DE LAS UNIONES PARA LAS SECCIONES COM PUESTAS

8.2.8.1.- VIGA CURVA

Del análisis por computadora sabemos que la fuerza - cortante máxima para este elemento es de 88.8 Ton; el es- fuerzo rasante debido a esta acción, debe ser tomado por-

la soldadura en la unión de la placa del alma con los patines



$$A = 124.55 \text{ cm}^2 \quad Q = 19 \times 1.905 \times 24.5 = 884 \text{ cms}^3$$

$$I_x = 43293 \text{ cm}^4 \quad V = 88.8/2 = 44.4 \text{ Ton}$$

$$v = \frac{VQ}{I_b} = \frac{44000 \times 884}{43293 \times 1.11} = 817 \text{ Kg/cm}^2$$

La fuerza rasante por unidad de longitud será:

$$f = 817 \times 1.11 = 907.00 \text{ Kg/cm}$$

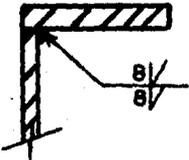
Como la fuerza rasante será tomada por dos cordones de soldadura de bisel, la fuerza para cada uno es de 453.5 Kg; entonces el tamaño de la soldadura es:

$$f = 907/2 = 453.5 \text{ Kg/cm}$$

Si $t = 8 \text{ mm}$

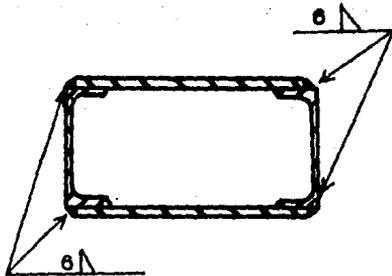
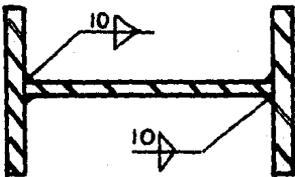
$$f_s = 572.8 \times 8 = 458.16 \approx 453.5 \text{ Kg/cm}$$

Se acepta soldadura de 8 mm.



8.2.8.2.- BRAZOS

Para la unión de este miembro se procedió de igual forma que en el caso anterior quedando finalmente la siguiente solución:



En la figura anterior se indica también la soldadura empleada para unir los canales de la armadura principal y diagonales de los brazos, ésta se diseñó considerando la carga axial a que están sometidas las placas.

CAPITULO IX

CONCLUSIONES

A través del desarrollo del presente trabajo, se pudo observar que la parte mas compleja radica en definir - la geometría y disposición de los elementos que constituyen la estructura, tratando de encontrar una estructura--ción segura, ligera, económica y que tenga ciertas concordanancias estéticas. Para poder cumplir con estas limitantes es necesario seguir ciertas recomendaciones como son:

- 1.- Estudiar el proyecto general del sistema hidráulico, y verificar con el responsable o responsables todos los detalles, criterios y posibles -- modificaciones que puedan afectar el desarrollo y término del diseño.
- 2.- Comparar, evaluar y definir las especificaciones y normas a emplear para el diseño.
- 3.- Consultar guías de cálculo y planos de proyectos similares que nos definan las características de cada miembro de la estructura y funciones, así como holguras y espacios necesarios para cada uno de ellos, y para los accesorios como son: se---llos, rodillos, cadenas, etc.
- 4.- Se pueden ajustar secciones y estructuraciones - de proyectos anteriores, previendo las dimensiones y tamaños de éstas, de acuerdo a sus solici--taciones. Otra cosa importante es el preveer es--pacios que deben dejarse durante el desarrollo - del cálculo, ya que se utilizaran más tarde para colocar otros elementos, los cuales se pueden -- preestimar con un análisis sencillo y rápido.
- 5.- Para definir el tipo de estructuración, deben de analizarse varias alternativas. Las variables -

que intervienen aquí son: la seguridad, economía, buen funcionamiento estructural, facilidad constructiva y algunas limitantes estéticas; a fin de obtener la más óptima de éstas.

- 6.- Definir y valorar las solicitaciones a que estará sujeta la estructura en sus distintos procesos de fabricación, transporte, montaje y operación.
- 7.- Seleccionar perfiles comerciales para los miembros de la estructura, así como uniformizar lo más posible todas las secciones a emplear.
- 8.- Elaborar planos que indiquen dimensiones, materiales, soldaduras, secciones, accesorios y procedimientos constructivos y de montaje lo más claro posibles.

Una vez definida la estructuración de la compuerta - fué necesario realizar un análisis que nos permitió conocer los elementos mecánicos a que están sujetos sus miembros, de acuerdo a las solicitaciones; y así poder definir sus propiedades prismáticas, tipo de material, conexiones y accesorios.

De una comparación del análisis por medios tradicionales y análisis por computadora, se pudo observar que debido al efecto de la curvatura en la pantalla, (que se despreja en el análisis por métodos tradicionales), existen ciertas diferencias, principalmente en las vigas curvas verticales y por tanto en la armadura principal, siendo mínimas estas diferencias.

Otra cosa importante es el hecho de que al modificar las condiciones de apoyo de la compuerta, existe inversión de esfuerzos, pero únicamente en los montantes y diagonales de la armadura secundaria formada por los brazos, así mismo hubo un incremento de carga axial en el brazo inferior de la compuerta y una reducción en el brazo superior; incrementos mínimos al compararlos con la carga to-

tal de cada brazo.

En lo referente a los miembros de la pantalla no hubo modificaciones significativas entre los distintos análisis y condiciones de apoyo.

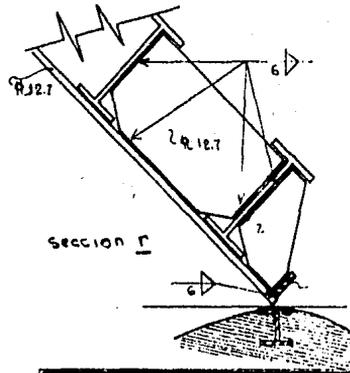
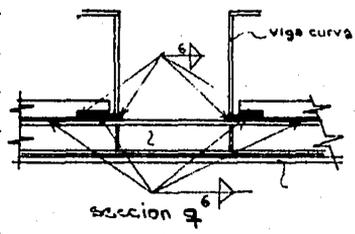
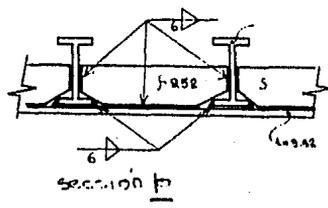
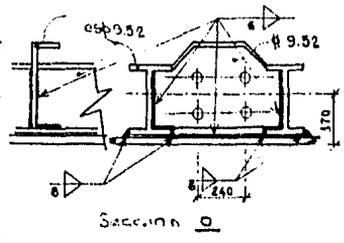
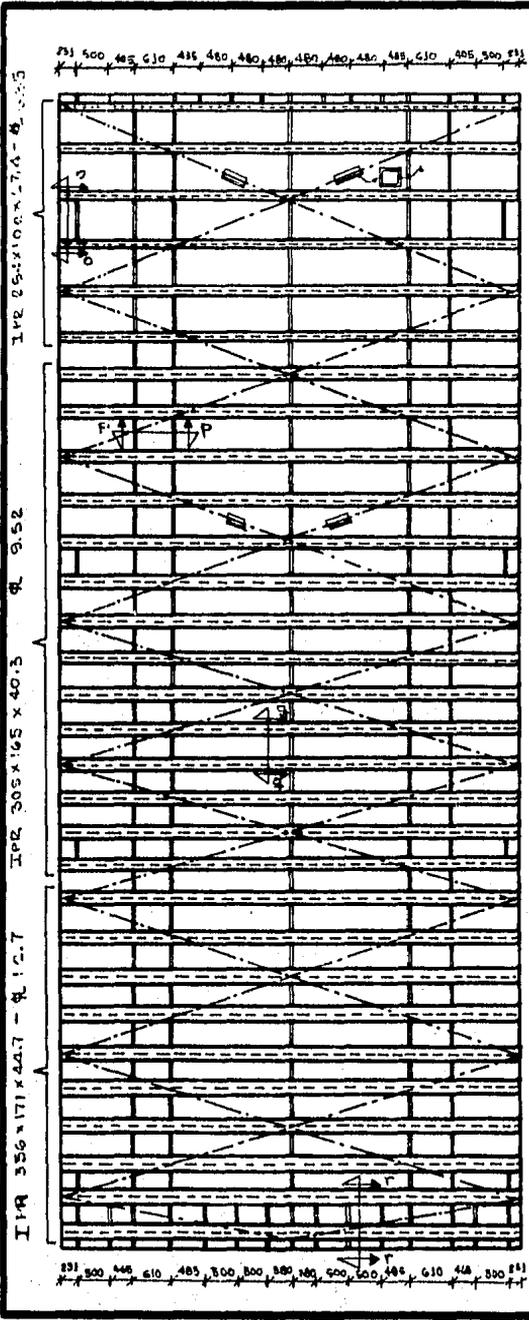
Los efectos producidos por el movimiento del agua bajo la presencia de sismos son mínimos, rigiendo para el diseño los esfuerzos permisibles sin los factores de amplificación recomendados por el manual A.I.S.C. para cargas accidentales.

Debido a la colocación de montantes y diagonales entre los brazos, se formó una armadura secundaria, la cual impide que los brazos se flexionen respecto a su eje de menor inercia; flexión producida por el peso propio del elemento y por la fricción entre el buje y el perno de la compuerta; efectos que toma la armadura como carga axial, lo cual nos permitió reducir el tamaño de la sección.

Existen algunos efectos que no son apreciables a simple vista, como es el caso del remate inferior, sellos, redillos y contravientos, los cuales son de vital importancia para el buen funcionamiento de la compuerta y requieren de un diseño adecuado.

Al igual que los elementos constitutivos de la estructura, las conexiones son de gran importancia, es necesario tener en cuenta todos los efectos que se presentan en éstas, ya que si no están bien diseñadas para resistir efectos como son: excentricidades, aplastamiento, desgarrres, tensiones y compresiones, no se obtendrá un buen funcionamiento de la compuerta.

Finalmente, como investigación, se realizaron varias corridas, variando la posición de la compuerta y la altura del tirante del agua, para verificar que condición era la más crítica, encontrándose que ésta se presenta en la condición "B" de apoyo que se analizó en el presente trabajo.



UNAM.-ENEP-ARAGON-	
TITULO: COMPUERTA RADIAL	
PANTALLA	
TESIS PROFESIONAL-MR.JA.-L.A.D.	
MEX.DF.-NOV.-85	PLANO 3 de 3

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

- 1.- DESIGN OF SPILLWAY TAINTER GATES.- Headque arters, De partament of the army.- Publicaciones EM 1110-1-2101.
- 2.- DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO.- Bresler, Lin y Scalzi.- 1970.
- 3.- ENERGIA HIDROELECTRICA.- Turbinas y Plantas generadoras.- Viejo Subicaray y Alonso.- Limusa.
- 4.- ESPECIFICACIONES DE LA AMERICAN WELDING SOCIETY.
- 5.- MANUAL PARA CONSTRUCCIONES.- Cía. Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey, S.A.-1970(última impresión).
- 6.- MANUAL OF STEEL CONSTRUCTIONS.- American Institute of Steel Constructions, octava edición.
- 7.- MANUAL CONSTRUCCION DE ACERO.- Altos Hornos de México S.A.
- 8.- MANUAL DEL USUARIO "SAP-V"
- 9.- MEMORIA DE CLACULO, DESARENADOR, COMPUERTAS RADIALES- Sistema Hidroeléctrico del Río Papagayo, Gro., Presa-la Venta.
- 10.-OBRAS HIDRAULICAS
- 11.-VALVES, GATES, AND STEEL CONDUITS.- Departament of Interior.- Bureau Reclamations.
- 12.-PUBLICACIONES.- PORTLAND CEMENT ASOCIATION.- Presas - pequeñas de concreto, Edit. Limusa - 1978.
- 13.-TESIS.- DISEÑO DE COMPUERTAS RADIALES DE B= 20.00 M,- A= 14.50 M. PARA LA PRESA HUIITE, SIN.- Miguel Martí-- nez Zurita García.- México, D.F., 1978.