



115  
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

ZED

**REVISION Y ADECUACION DEL SISTEMA  
DE CUBIERTA DEL AUDITORIO DE  
TUXTLA GUTIERREZ CHIAPAS**

**FALLA DE ORIGEN**

**TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A  
EDUARDO MUÑOZ MADRID**



**MEXICO, D. F.**

**1995**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



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 esta 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-113/93

Señor  
**EDUARDO MUÑOZ MADRID**  
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. MIGUEL ANGEL RODRIGUEZ VEGA**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

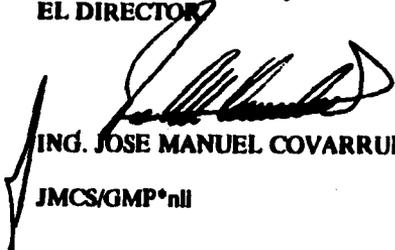
**"REVISION Y ADECUACION DEL SISTEMA DE CUBIERTA DEL AUDITORIO DE  
TUXTLA GUTIERREZ CHIAPAS"**

- INTRODUCCION**
- I. DESCRIPCION DE LAS ARMADURAS**
  - II. ASPECTOS GENERALES DE LA OBRA**
  - III. REVISION ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE CUBIERTA**
  - IV. PROPUESTA DE MODIFICACION AL PROYECTO**
  - V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
Cd. Universitaria, a 7 de julio de 1995.  
EL DIRECTOR

  
ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/GMP\*nlj

## AGRADECIMIENTOS

**A LA FACULTAD DE INGENIERIA.**

**AL ING. MIGUEL ANGEL RODRIGUEZ  
VEGA Y AL ING. ARTURO NUÑEZ  
GUTIERREZ POR SU VALIOSA  
ASESORIA Y TRANSMISION DE  
CONOCIMIENTOS.**

**AL ING. VICTOR JIMENEZ R. Y  
AL ARQ. VICTOR CASTILLO  
POR TODAS LAS FACILIDADES  
PRESTADAS.**

**A TODOS MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS,  
PARTICULARMENTE A LOS HERMANOS  
SAMUEL Y KARL RAMIREZ, CÉSAR HUICI,  
SALVADOR GOMEZ, ASI COMO A LAS  
FAMILIAS VIVERO, CERVANTES, CLAVEL,  
GRANDE, HERNANDEZ, NUÑEZ, Y AL  
RESTO DE LOS ROMANOS.**

**A MIS FAMILIARES, EN ESPECIAL A MI  
HERMANA MIREYA Y A MIS PADRES  
FRANCISCA Y EDUARDO.**

**DE LA MANERA MAS ESPECIAL  
DE TODAS A MARIA DOLORES  
ARMIÑANA BARRACHINA.**

**A DIOS.**

**REVISION Y ADECUACION DEL SISTEMA DE CUBIERTA  
DEL AUDITORIO DE TUXTLA GUTIERREZ CHIAPAS**

**I N D I C E**

<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
<b>I.- DESCRIPCION DE LAS ARMADURAS .....</b>	<b>5</b>
I.1.- Definiciones. ....	6
I.2.- Tipos de armaduras. ....	11
I.3.- El acero como material estructural. ....	16
<b>II.- ASPECTOS GENERALES DE LA OBRA .....</b>	<b>22</b>
II.1.- Antecedentes. ....	23
II.2.- Estructuración del edificio. ....	29
II.3.- Estructuración de la cubierta. ....	35
<b>III.- REVISION ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE CUBIERTA .....</b>	<b>46</b>
III.1.- Reglamentación. ....	47
III.2.- Método utilizado. ....	48
III.3.- Desarrollo de la revisión estructural. ....	60
III.4.- Resultados obtenidos. ....	65
<b>IV.- PROPUESTA DE MODIFICACION AL PROYECTO .....</b>	<b>89</b>
IV.1.- Consideraciones. ....	90
IV.2.- Largueros. ....	94
IV.3.- Armaduras principales. ....	100
IV.4.- Resultados generados. ....	106
<b>V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>117</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>122</b>

## **INTRODUCCION**

De acuerdo con la problemática que particularmente vive el país en la época contemporánea, y específicamente en lo relacionado a la situación económica actual, crece la necesidad de la búsqueda de soluciones mas adecuadas a los múltiples requerimientos que se manifiestan en todos los sectores productivos. Para el caso de la Ingeniería Civil, es en el campo del diseño de estructuras donde se pueden presentar un gran número de variantes en cuanto a la solución aplicable a un problema determinado.

La consideración que siempre tiene precedencia es evidentemente la seguridad, y por consecuencia la selección de las cargas de diseño se constituyen como la primera incógnita, que de no ser por los reglamentos de construcción en los que están contemplados y estudiados los límites mínimos recomendables de manera que la seguridad pública sea confiable, se producirían diseños bastante subjetivos.

Toda vez que se tienen las normas a seguir y las características del proyecto, será el criterio del ingeniero el que defina la solución más óptima en base a sus conocimientos y a su habilidad para evaluar la validez de aplicación del modelo matemático que haya utilizado para representar a la estructura y su entorno en el análisis estructural, ya que dichos modelos nunca representan con exactitud a la realidad debido a la amplia gama de variables que intervienen en la representación física del sistema.

Aplicar las tolerancias apropiadas debidas a la incertidumbre que se presentan en el modelo matemático elegido para valuar las deformaciones y las fuerzas en los miembros de la estructura por revisar y/o diseñar, debe de ser preocupación constante del ingeniero estructurista para permanecer siempre en el intervalo de la seguridad.

La elección del tipo de estructura y el material a utilizar de que se dispone en la práctica y que incluye al concreto, la madera, el acero y otros metales como aluminio ó hierro colado, y en algunos casos plásticos diversos, dependerá en gran medida de la función estructural para la que será diseñada, considerando los requerimientos arquitectónicos, estéticos ó ambientales.

Una vez que se tiene definido el tipo de estructura a utilizar, se realizan modificaciones en cuanto a geometría y proporcionamientos de material, repitiéndose los procesos de resolución hasta que se haya encontrado el diseño estructural que produzca un equilibrio satisfactorio entre la economía y la seguridad, en relación con las necesidades inherentes al proyecto en cuestión.

Este punto significa una parte importante en el proceso de optimización y actualmente se hace imprescindible el uso de la computadora, la cual se ha transformado en una herramienta necesaria por la velocidad con la que se pueden realizar procesos iterativos en configuraciones estructurales de muy diversa complejidad.

El trabajo que se exhibe a lo largo de esta tesis representa la oportunidad de ejemplificar todo lo expuesto anteriormente. Consiste básicamente en la revisión estructural de un proyecto real, el Auditorio del Estado de Chiapas, ubicado en la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, en el Suroeste Mexicano.

La revisión realizada se limita al sistema que forma la cubierta y debido a la falta de espacio, los cálculos que se presentan se confinan exclusivamente a los elementos más representativos de la zona más grande del auditorio, el área de la sala.

En el primer capítulo se expone una descripción de lo que son las trabes de alma abierta, llamadas comúnmente armaduras, ya que constituyen los

elementos estructurales que integran fundamentalmente el sistema de soporte de la techumbre. Se describen los tipos más comunes que se utilizan en la práctica y se enuncian algunas características de interés referentes al acero por ser el material del que están formadas las armaduras proyectadas en el inmueble.

Para poder tener una visión global del proyecto como unidad, en el segundo capítulo se exponen algunas de las características de la obra; se parte de lo general, abarcando el por qué de la edificación desde sus antecedentes, pasando por una breve explicación de la estructuración general del edificio, y llegando a lo particular, que revela lo relativo al arreglo, disposición, y características de la cubierta del Auditorio.

La revisión propiamente del proyecto se tiene contemplada en el tercer capítulo; se mencionan los códigos que reglamentan los criterios y convenciones, se definen las bases de los procedimientos teóricos empleados, sus fundamentos y alcances, se describen con cierto detalle los pasos para la elección de los parámetros necesarios en la obtención de resultados concretos, para finalmente presentar los mas característicos y comentarlos.

Se incluye el cuarto capítulo para exhibir el planteamiento de una solución estructural alternativa del sistema, producto de la valorización de los efectos advertidos en el capítulo anterior y de la búsqueda de una configuración más eficiente y en consecuencia más económica.

El quinto y último capítulo de esta tesis lo forman las conclusiones finales derivadas de equiparar ambos diseños y algunos comentarios y recomendaciones que se consideran pertinentes al caso.

Cabe aclarar que el propósito de esta tesis no es de manera alguna el poner en evidencia a las personas que intervinieron en el diseño del proyecto original, sino mas bien exponer una critica objetiva de lo que para un criterio

determinado puede significar un desacierto y, a la vez, sentar las bases de la forma en que se pueda escoger una solución alternativa que, por sus características, se acerque más al diseño óptimo del sistema estructural.

Dentro de esta tesis se hace referencia únicamente a perfiles estructurales estándar, que producen directamente los diversos fabricantes de acero comercial y en algunos casos al uso de miembros compuestos por varios de estos elementos, como pueden ser dos canales estándar y un placa, y que se forman en talleres de armado en campo.

La notación utilizada, salvo indicación, es la que contempla el Manual de Construcción en Acero, elaborado por el Instituto Mexicano de la Construcción en Acero A.C. y en la que la designación de los perfiles se simplificó a dos letras, una ideográfica y la otra una abreviatura de su descripción, comparada con la designación que presentan los principales productores nacionales de acero estructural en sus tablas de dimensiones y propiedades, como puede ser el manual editado por Altos Hornos de México (AHMSA), HYLSA ó el Manual Monterrey, de tal forma que un perfil CE es una canal estándar y un perfil CF es una canal formada en frío; LI es un ángulo de lados iguales y LD es un ángulo de lados desiguales, etc.

## **CAPITULO I**

### **DESCRIPCION DE LAS ARMADURAS**

## **I.1.- DEFINICIONES**

Las armaduras para techo son los elementos estructurales que se utilizan con mayor frecuencia para soportar las cubiertas de edificios y naves industriales sin soportes intermedios cuyas columnas o muros exteriores están separados por una distancia convencionalmente mayor a 12 metros, ya que resulta más económico que emplear vigas simplemente apoyadas. Al cubrir un cierto claro donde se haya cuantificado menor material si se proyecta una armadura en lugar de una viga, se puede presentar que el costo de fabricación y montaje encarezca al elemento volviéndolo impráctico. A medida que los claros son mayores, los costos de fabricación y montaje se ven anulados por el ahorro de material. En América Latina, la distancia a partir de la cual es recomendable hacer uso de este tipo de estructuras se reduce debido a que la relación de costos de material a mano de obra favorece su elección. Cualquiera que sea el caso, las armaduras tienen la gran ventaja de que son más rígidas que las vigas, para las mismas cantidades de material.

Una armadura es una configuración estructural de elementos, generalmente soportada solo en sus extremos y formada por una serie de miembros rectos arreglados y conectados uno a otro, de tal modo que las fuerzas inducidas en sus miembros sean capaces de soportar las fuerzas externas a las que están sometidos. Por este motivo, al revisar y/o diseñar una armadura se busca fundamentalmente mantener la condición de equilibrio de acuerdo con los principios de la Estática.

A las armaduras se les conoce también como traveses de alma abierta debido a que el alma no se compone de un solo elemento en toda su longitud. En esencia una armadura es una estructura reticular que esta compuesta por un sistema de triángulos; esto se basa en el hecho de que un triángulo es el único polígono cuya forma es incapaz de modificarse geométricamente sin cambiar la longitud de uno o más de sus lados, dando como resultado un sistema de gran

estabilidad. Dependiendo del número de barras que se tengan, las armaduras quedan en alguno de los siguientes casos:

**Configuración completa.-** la estructura está compuesta por los miembros necesarios para integrar solo triángulos.

**Configuración incompleta.-** el entramado no presenta las barras suficientes para completar las triangulaciones. Este tipo de armaduras solamente puede ser estable en algunos eventos en los que las cargas son simétricas.

**Configuración redundante.-** el número de miembros excede al requerido para formar la mínima cantidad de triángulos, por lo que algunas barras no trabajarán. Esta configuración es común en armaduras de acero divididas en tramos impares, donde la barra adicional forma una cruz con la diagonal central; la barra que trabaje será la que este sometida a tensión, condición que dependerá de la variación en la magnitud de las cargas externas aplicadas.

Los materiales con los que se pueden formar las armaduras se limitan a madera o acero. Para el caso del acero, las uniones de los miembros llamadas juntas se realiza generalmente soldando directamente las barras o por medio de una placa de conexión. También es común que la placa quede remachada, unida con pernos, tornillos, o con alguna combinación. La estabilidad de una armadura no depende de la rigidez de sus juntas.

Siempre que sea posible se debe buscar que los miembros de una junta se arreglen de tal forma que sus ejes se intersecten en un punto común, con la finalidad de que las fuerzas producidas en los miembros no generen momentos

con respecto a ese punto. Para el caso en que se tengan excentricidades en las juntas, se deberá realizar un análisis considerando los momentos producidos por estas.

Las armaduras están compuestas por las cuerdas superiores e inferiores y por los miembros del alma. La cuerda superior consta de la línea de miembros mas alta y la inferior por la mas baja. En armaduras triangulares, las cuerdas se extienden de un apoyo a otro, coincidiendo en estos. Los miembros del alma son los que unen las juntas de las cuerdas y que dependiendo de sus posiciones reciben el nombre de montantes, cuando son verticales o perpendiculares a las cuerdas, y diagonales cuando las barras se encuentran inclinadas. Si la referencia se hace por el signo de la fuerza axial que presentan, se les llaman puntales y tirantes, al estar sometidos a compresión y tensión, respectivamente. A los puntos donde se unen los miembros del alma a las cuerdas, o a las cuerdas entre si para el caso de armaduras triangulares, se les denominan nudos.

El claro de este tipo de traveses está determinado por la distancia entre sus nudos extremos. Cuando la armadura esta soportada por muros se toma como la distancia de centro a centro de los apoyos en esos muros. También se puede considerar, en el caso de que forme un marco con columnas en los extremos o si la separación de los apoyos a los ejes del muro o columna es relativamente pequeña, como la distancia entre dichos ejes. Por convención se les llega a citar como armaduras de gran claro a las que su longitud supera los 40 metros.

Las armaduras de tipo triangular presentan una junta en el pico mas alto que se llama cumbrera, y a la distancia vertical de esta a la línea que une los apoyos en la cuerda inferior, se le denomina peralte. para las armaduras de cuerdas paralelas el peralte es simplemente la separación entre dichas cuerdas. A la porción de una armadura que se encuentra comprendida entre dos nudos consecutivos de la cuerda superior se le conoce como panel o módulo.

Como todo elemento estructural, se debe satisfacer que sus miembros soporten las combinaciones de carga a las que estarán expuestos, buscando además que no se produzcan deflexiones excesivas. Estas se presentan generalmente al centro del claro y están en función del material, magnitud de las cargas y de su geometría, por lo que se pueden controlar reduciendo la separación de las traveses, reforzando las secciones de las barras o con un aumento en el peralte, sin perder de vista que de una armadura con mayor peralte se obtienen valores menores en cuanto a flecha y fuerzas en las cuerdas, pero aumenta el tamaño de los miembros del alma.

Generalmente los apoyos se localizan sobre muros de tabique, muros de concreto, columnas de acero o columnas de concreto reforzado. En todos los casos la unión de la trabe con los elementos de soporte se puede realizar a través de una placa de apoyo y con pernos de anclaje, por lo común de alta resistencia. Si la columna y la armadura son de acero, la placa de conexión puede ir soldada. En las armaduras de cuerdas paralelas los apoyos se pueden presentar solamente en los extremos de la cuerda superior, de la inferior, o en las dos.

Se debe asegurar que las condiciones de apoyo que se consideren en el análisis, sean las que se presentarán en la realidad. Una unión realizada con pernos de anclaje puede inducir empotramientos que inviertan el signo de las fuerzas internas de los miembros si fueron diseñadas como simplemente apoyadas, siendo una solución recomendable que en uno de los extremos se coloquen los pernos en un agujero ranurado de la placa de apoyo para permitir los movimientos necesarios, teniendo en cuenta que la armadura sufrirá cambios en su longitud por las deformaciones derivadas de los cambios de temperatura y de la acción de las cargas muertas y vivas a las que estará expuesta.

Las armaduras se diseñan con la suposición de que se mantienen en planos verticales, pero esto no siempre se cumple debido a la acción de cargas con componentes horizontales como viento, sismo, o vibración de maquinaria; estas fuerzas deben ser contrarrestadas mediante un sistema de contraventeo lateral o arriostramiento. Normalmente las cargas de techumbre son transmitidas a las armaduras por medio de vigas o armaduras mas pequeñas que, junto a la misma cubierta, proporcionan la rigidez suficiente a la cuerda superior de las armaduras principales. Un falso plafón beneficiará de igual forma a la cuerda inferior. Si esto no es suficiente, se utilizan diagonales uniendo a las traveses en ejes alternados y trabajando a tensión y/o miembros ortogonales a los ejes de las armaduras para trabajar como puntales. Los esfuerzos en este tipo de elementos rara vez tienen la magnitud suficiente para regir su diseño y en la practica se seleccionan con dimensiones mínimas y vigilando solo las relaciones de esbeltez, por lo que los proporcionamientos de material pueden variar, quedando a juicio del diseñador. En naves industriales se usa también un contraventeo diagonal al plano de las armaduras y que tiene por objeto la transferencia de las cargas laterales a la cimentación de la construcción.

Desde el punto de vista del análisis estructural las armaduras pueden ser estáticamente determinadas o indeterminadas, así como estables o inestables. Definiendo lo anterior en forma de ecuación:

$B = 2N - R$	Isostática o determinada
$B < 2N - R$	Hipostática o inestable
$B > 2N - R$	Hiperestática o indeterminada

Siendo:

B.- Número de barras

N.- Número de nudos

R.- Número de reacciones en los apoyos.

Para poder diseñar o revisar una armadura es imprescindible conocer las fuerzas internas en los miembros, llamadas también elementos mecánicos, y el valor de las reacciones. Las armaduras isostáticas se resuelven con facilidad en forma manual si se les considera como estructuras simples, donde se supone que los extremos de los miembros no transfieren la resistencia a momento flexionante a los miembros adyacentes, de tal forma que se vuelven suficientes las ecuaciones de la Estática  $\Sigma F_x = 0$  y  $\Sigma F_y = 0$ . El método de equilibrio de juntas o el alternativo del equilibrio de la porción a la derecha o a la izquierda de la sección longitudinal, son los más comunes. Estas traveses se optimizan para el peso mínimo con facilidad ya que las fuerzas en las barras solo dependen de la geometría. En cambio, las armaduras hiperestáticas dependen además del material y de las dimensiones de la sección transversal para contar con la compatibilidad de deformación y suplementar las ecuaciones de la estática al resolver la estructura. Las armaduras inestables carecen de sentido práctico y deben eludirse siempre.

## **I.2.- TIPOS DE ARMADURAS.**

En la selección del tipo de armadura a utilizar en un proyecto determinado se consideran varios factores. El primero es el perfil o contorno del techo así como el grado de inclinación; esto está generalmente determinado por los requerimientos arquitectónicos. El material que se empleará en su fabricación es un punto muy importante debido a que de esto dependerá la funcionalidad y el costo. Muchas armaduras, por ejemplo, son prácticas solamente si se fabrican en acero debido a la dificultad en el diseño de sus conexiones. En ocasiones cuando una armadura va a estar expuesta a la vista de mucha gente se construye de madera por consideraciones estéticas, aunque algunos de sus elementos pueden ser de acero recubierto de madera.

El claro que salvará la armadura influye tanto en la determinación del tipo de armadura como en la cantidad de paneles en que será dividida, buscándose entre otras cosas que los miembros no sean demasiado largos, particularmente los que estén sometidos a compresión para evitar la tendencia al pandeo. El número de paneles se puede obtener por el claro permisible de los materiales que componen la techumbre. En general se busca que las armaduras sean simétricas, pero en ocasiones, por cuestiones constructivas o de proyecto, es necesario realizar un ajuste de longitudes en uno o mas módulos, quedando asimétricas.

Otros factores que deben ser tomados en cuenta al seleccionar el tipo de armadura son los relativos a las posibles dificultades en la fabricación, transporte y montaje de las diversas estructuras en consideración. Es conveniente desde el punto de vista económico fabricarlas en el taller tanto como sea posible, aunque el armado final se realice en campo.

En el pasado fueron muy utilizadas para construcciones con claros cortos las armaduras para techo a dos aguas y las de cuerdas paralelas para claros mayores. La tendencia actual parece inclinarse por las segundas, independientemente del claro, debido a la apariencia de las edificaciones recientes y quizás a la construcción mas barata de las cubiertas.

En general las armaduras triangulares se utilizan para claros máximos de 30 metros y presentan un peralte medio, siendo de uso frecuente la tipo Pratt y la tipo Howe. Para pendientes fuertes la armadura tipo Fink tiene la gran ventaja que la mayoría de que sus miembros están sometidos a tensión, y los que se encuentran en compresión son bastante cortos.

Las armaduras de cuerdas paralelas son empleadas cuando la pendiente es baja en techumbres planas y teniendo como atributo que se pueden

destinar para cubrir claros muy grandes, incluso superiores a 120 metros. Existen, al igual que sus similares de dos aguas, armaduras Pratt y Howe, esta última es mas recomendable para diseñarse con madera ya que la dirección de sus diagonales favorece el trabajo como puntal. La tipo Warren es muy popular y puede incluir o no montantes verticales.

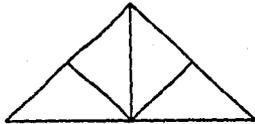
Existen otras armaduras para techo como la de Tijera que es común en diversas edificaciones como iglesias donde el claro es corto y la pendiente fuerte, o el sistema de armaduras en diente de sierra muy utilizada en construcciones anchas o en naves industriales donde se requiere una iluminación natural adecuada que se realiza por medio de ventanales que siguen el contorno de las traveses. El inconveniente que tiene es que son funcionales solo para claros cortos por lo que se adoptan cuando no es obediencia un gran número de columnas.

Las armaduras de cubierta curva, también llamadas de arco y cuerda, son aprovechadas para cubrir distancias de medias a grandes. Cuando se diseñan correctamente tienen la característica poco usual de que los miembros del alma mantienen esfuerzos pequeños. El radio de curvatura (R) recomendado para la cuerda superior en función del peralte máximo (h) y la longitud de la cuerda inferior (L), queda definido por la ecuación:

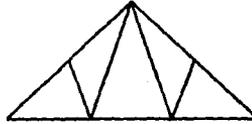
$$R = \frac{4 h^2 + 4 L^2}{8h}$$

En las figuras 1.1 y 1.2 se presentan algunos de los tipos mas comunes de armaduras para techo.

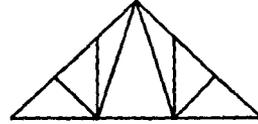
## ARMADURAS TRIANGULARES



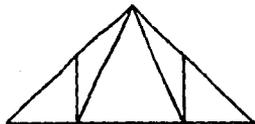
**ARMADURA DE  
MONTANTE MAESTRO**



**ARMADURA TIPO  
FINK SIMPLE**



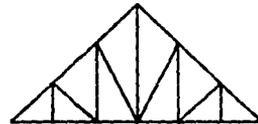
**ARMADURA TIPO  
ABANICO SIMPLE**



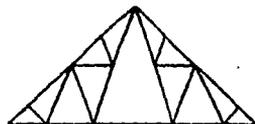
**ARMADURA TIPO  
PRATT (4 PANELES)**



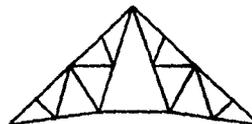
**ARMADURA TIPO  
PRATT (6 PANELES)**



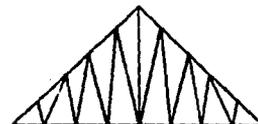
**ARMADURA TIPO  
HOWE (6 PANELES)**



**ARMADURA TIPO  
FINK (8 PANELES)**



**ARMADURA TIPO FINK  
DE CUERDA INFERIOR  
CONTRAFLEXADA**



**ARMADURA TIPO  
BELGA**

**FIGURA I.1**

## ARMADURAS DE CUERDAS PARALELAS



**ARMADURA TIPO PRATT**

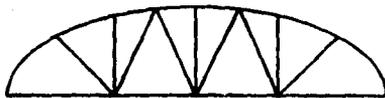


**ARMADURA TIPO HOWE**

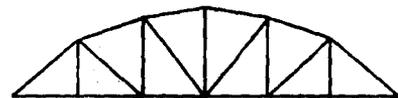


**ARMADURA TIPO WARREN**

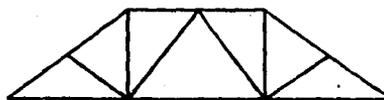
## OTRAS ARMADURAS PARA TECHO



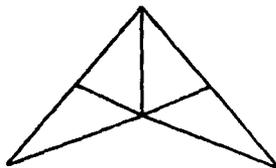
**ARMADURA DE ARCO Y CUERDA**



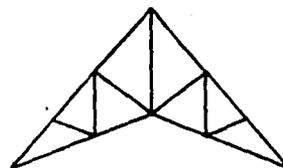
**ARMADURA DE CUERDA POLIGONAL**



**ARMADURA TIPO LANK-TECO**



**ARMADURA DE TIJERA  
(SIMPLE)**



**ARMADURA DE TIJERA  
(MODIFICADA)**

**FIGURA I.2**

### **I.3.- EL ACERO COMO MATERIAL ESTRUCTURAL**

El acero es uno de los mas importantes y versátiles materiales estructurales, especialmente en el diseño de armaduras para techo. Sus propiedades, como la alta resistencia comparada con cualquier otro material disponible, y la ductilidad, lo convierten en el material idóneo a emplear en este tipo de estructuras. Una ventaja de particular importancia es la amplia gama de perfiles de que se dispone comercialmente, con la cual se pueden generar un sin número de variantes en los diseños, permitiendo buscar el dimensionamiento mas adecuado.

El acero es producto de la refinación del mineral de hierro y otros metales en hornos a alta temperatura junto con agentes fundentes apropiados como coke, para el carbono, y oxígeno. Al producto obtenido de esta primera fusión se le llama arrabio, el cual pasa por otros procesos de refinamiento para remover impurezas y eliminar exceso de carbono y/o se realizan aleaciones con otros metales como cobre, níquel, cromo, manganeso, fósforo, azufre, sílice, titanio, molibdeno, columbio, y vanadio, para producir las características de resistencia, ductilidad, soldadura y resistencia a la corrosión que se requieran para las especificaciones del tipo de acero que se esté fabricando. De esta fase se obtienen lingotes iniciales los cuales se someten a varios procesos de laminación por medio de rodillos que giran a la misma velocidad y en sentidos opuestos para generar la geometría de la sección, formando finalmente placas de anchos y espesores variables; barras redondas, cuadradas y rectangulares; tubos; perfiles I, Z, T, canales y ángulos. El variar la posición de los rodillos y su configuración permite diversificar los perfiles obtenidos y controlar los espesores del alma y los patines. Además de producir los perfiles deseados, el proceso de laminación tiende a mejorar la tenacidad, resistencia y maleabilidad de acero. La mayor parte del laminado se efectúa cuando el acero todavía esta sometido a alta temperatura por lo que al producto se le denomina *acero laminado en caliente*. Adicionalmente se tiene que algunas de las placas mas delgadas se doblan o

laminan aún más después de enfriadas para obtener los productos de *acero formado en frío*. Las ventajas del acero en el diseño de estructuras son las siguientes:

**Alta resistencia.-** referida a otros materiales por unidad de peso, la convierte en la propiedad más deseable y representa que las cargas muertas debidas al peso propio serán menores.

**Uniformidad.-** la geometría de las secciones puede ser calculada con precisión y sus propiedades no cambian con el tiempo, como sucede con el concreto reforzado.

**Elasticidad.-** el acero se encuentra más cerca de las hipótesis de diseño que la mayoría de los materiales porque sigue la *Ley de Hooke* hasta para esfuerzos relativamente altos.

**Durabilidad.-** con mantenimiento adecuado la vida útil de las estructuras es indefinido; bajo condiciones normales solo requieren de pintura contra la corrosión causada por intemperismo.

**Ductilidad.-** es la capacidad de un material para soportar deformaciones generales antes de fallar. Esta ventaja representa que cuando se sobrecargan las estructuras de acero, sus grandes deflexiones proporcionan una evidencia de falla inminente.

**Diversas.-** soldabilidad, tenacidad y resistencia a la fatiga; hay rapidez en el montaje, es posible su reutilización cuando se desmonta y tiene valor de rescate aún cuando solo pueda usarse como chatarra; las estructuras metálicas además se prestan para realizar ampliaciones o reforzamientos y se adaptan a la prefabricación.

Por lo que se refiere a las desventajas que se presentan en las configuraciones estructurales construidas con acero, existe la susceptibilidad al pandeo, costo de mantenimiento y en algunos casos especiales costo debido a protección contra incendios.

Aunque en la mayoría de los casos el acero se encuentra expuesto a condiciones ambientales, debe tenerse en consideración los efectos de las temperaturas extremas si el material va a estar sometido a estas condiciones, por ejemplo, pudiera ser requerimiento de la estructura ser diseñada para resistir posibles incendios si va a alojar materiales fácilmente combustibles, en cuyo caso pudiera requerir protección. Para tal efecto existen tableros aislantes y productos a base de yeso o concreto ligero para recubrir al elemento. La pérdida de la resistencia se hace bastante notable a medida que la temperatura se incrementa con respecto a la de la temperatura ambiente, que en promedio oscila alrededor de los 20 °C; al sobrepasar los 540 °C la resistencia tanto de fluencia como de tensión disminuye aproximadamente al 65%, y cerca de los 900 °C solamente tendrá un 15% de la correspondiente a la temperatura ambiente.

Por otra parte, las bajas temperaturas están asociadas a la fractura frágil, que se presenta sin que haya fluencia del material. Esto se debe a que en este tipo de falla las dimensiones laterales están restringidas de forma tal, que el acero se separa sin desarrollar su potencial de fluencia. En una falla usual a tensión el material sufre una elongación que hace que las dimensiones laterales se contraigan debido al efecto de *Poisson*. El efecto de las bajas temperaturas en el acero se refleja en una disminución en la elongación. Adicionalmente se tiene el llamado efecto de muesca, que ocurre cuando una pieza de acero tiene imperfecciones o un cambio en las dimensiones de su sección y que induce concentración de esfuerzos en ese punto. De tal manera, una falla frágil puede iniciarse con una combinación de baja temperatura y alguna muesca en una pieza que este sometida a esfuerzos de tensión.

En la práctica se han registrado fallas estructurales que se han atribuido a la fatiga. La falla por fatiga es una fractura del material causada por un número suficientemente grande de repeticiones de esfuerzos, esfuerzos cíclicos o pulsantes, o inversiones de esfuerzos. También es resultado de alguna imperfección, en ocasiones microscópica, que se transforma en grieta, y dependiendo del nivel de esfuerzos, progresa rápida o lentamente hasta la ruptura del miembro. El límite de fatiga se define como el rango de esfuerzos, obtenido de la diferencia de los esfuerzos envolventes de servicio ( $F_{sr} = F_{máx} - F_{mín}$ ), que requiere cuando menos  $2 \times 10^6$  ciclos de esfuerzos para desarrollar la falla. Casi nunca son suficientes los ciclos de cualquier rango de esfuerzos para requerir una reducción en los esfuerzos permisibles, de manera que de rutina no se toma en cuenta la fatiga, pero se deben consultar las reglamentaciones vigentes para conocer los casos en que se requiera su consideración. Algunos autores limitan por medio de tablas el valor de  $F_{sr}$  reconociendo el tipo de acero, los esfuerzos de diseño y el tipo de estructura.

También se debe tener cuidado con los esfuerzos residuales ocasionados durante la fabricación y el montaje, ya que en ocasiones llegan a exceder a los que ocurrirán después que la estructura quede terminada.

Otras propiedades de interés en el acero son:

1. Módulo de elasticidad (E).- Del rango típico de todos los aceros y que es relativamente independiente de la resistencia de fluencia, se puede tomar un valor promedio de diseño, siendo este del orden de  $2.039 \times 10^6$  kg/cm<sup>2</sup>.
2. Módulo de cortante (G).- El módulo de cortante para cualquier material elástico se calcula como:

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$$

donde  $\mu$  es el coeficiente de *Poisson* y que se toma como 0.3 para el acero, resultando  $G = 784,231 \text{ kg/cm}^2$ .

3. Coeficiente de expansión térmica ( $\alpha$ ).- Este coeficiente tiene su aplicación en el cálculo de la deformación, expresándose como un incremento en la longitud ( $\Delta L$ ), producida por las variaciones de temperatura a las que esta expuesto el material, resultando:

$$\alpha = 11.25 \times 10^{-6}$$

y  $\Delta L = \alpha (T_f - T_i) L$

Donde  $T_f$  es la temperatura final y  $T_i$  la inicial, expresadas en grados Celsius, y la longitud en la unidad en que se quiera obtener  $\Delta L$ .

4. Densidad de masa ( $\gamma$ ).- Por lo general se acepta la gravedad específica del acero como  $7.850 \text{ ton/m}^3$ .
5. Esfuerzo de fluencia ( $F_y$ ) y esfuerzo último ( $F_u$ ).- Estos valores varían de acuerdo con la norma específica del acero que se trate. Para el llamado acero A-36 (ASTM) o B-254 (NOM),  $F_y = 2,530 \text{ Kg/cm}^2$  y  $F_u$  varía de  $4,080$  a  $5,620 \text{ kg/cm}^2$ .

Existen otras denominaciones y grados de aceros estructurales. De acuerdo con la designación de la *American Society For Testing Materials* (ASTM), se tienen los aceros tipo: carbono (A-36, A-500, A-501 y A-529); alta resistencia (A-440); alta resistencia y baja aleación (A-441 y A-572); resistente a la corrosión, alta resistencia y baja aleación (A-242 y A-588); y aleación calmada y templada (A-514). La mayoría de estos tipos de acero tienen su correspondiente contemplado en la *Norma Oficial Mexicana* (NOM). Se hace notar que los valores proporcionados para el esfuerzo último y el de fluencia deben de ser los mínimos garantizados por los fabricantes, basados en el promedio estadístico y

mediante gran número de pruebas. Esto quiere decir que para el acero A-36 el valor real más probable del esfuerzo de fluencia se ubica arriba de los 3,000 kg/cm<sup>2</sup>. Este acero es el más rentable en términos de costo por unidad de masa.

Los aceros de alta resistencia tienen su aplicación en los casos donde los esfuerzos son preponderantemente de tensión, y se pueden presentar deformaciones excesivas debido al módulo de sección reducido. Para hacer uso de este tipo de acero es necesario efectuar un análisis económico y de disponibilidad para determinar si es apropiado su empleo.

Debido a la ductilidad, el diseño de estructuras metálicas se basa en los esfuerzos en los puntos de fluencia, a diferencia del concreto, donde las fallas son frágiles y los factores de seguridad se basan en los esfuerzos de ruptura. Los planos estructurales que resultan del diseño sirven de base para la creación de los planos de taller, donde se obtienen las dimensiones de corte y los detalles en las conexiones.

## **CAPITULO II**

### **ASPECTOS GENERALES DE LA OBRA**

## **II.1.- ANTECEDENTES**

Como consecuencia del progreso de toda comunidad surgen proyectos para satisfacer las necesidades urbanas de carácter cultural, recreativo, turístico y comercial. En este sentido el Gobierno del Estado de Chiapas concibió un proyecto integral denominado GRAN PARQUE CENTENARIO para llevarse a cabo en la capital del Estado, la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, y en el cual se refleja la tendencia actual de realizar obras en las cuales se pueda dar soluciones a dichas necesidades de manera conjunta. De esta forma, el proyecto total contempla la construcción de diversas edificaciones, cada una pensada para un uso específico, incluyendo la simple decoración estética, pero que al final constituyan un verdadero centro cultural que funcione de manera armónica.

El proyecto total incluye un Auditorio, un Centro de Convenciones, un monumento denominado Arco Maya, Estacionamiento, Plazas, un Jardín de Arte al aire libre, una Biblioteca Infantil, un Museo de Historia Natural, un Planetario, Escuela de Artes, Area de Juegos, un Lago, una Fuente, Edificio de Oficinas, un Hotel, una Discoteque y un Centro Comercial. Debido a la complejidad inherente a un proyecto de esta magnitud, se planeó dividirlo en varias etapas para desarrollarse en forma consecutiva. En la primera etapa se contempla únicamente el Auditorio y el Centro de Convenciones, así como las Obras Exteriores adyacentes a estos y que incluyen el Arco Maya y paso a cubierto, estacionamiento, vialidades, plazas y jardines. El predio seleccionado se localiza en la zona Oriente de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, entre dos de sus Avenidas mas importantes: la Calzada Andrés Serra Rojas y el Libramiento Norte Salomón González Blanco. Cubre una superficie de aproximadamente 42 hectáreas, de las cuales el desarrollo de la primer etapa es de 10.6 hectáreas, con una superficie construida en edificaciones de 18,800 m<sup>2</sup>. incluyendo los 330 m<sup>2</sup> del paso a cubierto que comunica a los inmuebles. La distribución de la superficie es la siguiente :

	<b>SUPERFICIE OCUPADA m<sup>2</sup></b>	<b>AREA CONSTRUIDA m<sup>2</sup></b>
<b>AUDITORIO :</b>		
Area de desplante .-	4,730	4,730
Graderías .-		2,530
Zona de servicios .-		3,030
		<hr/>
	Suma :	10,290
 <b>CENTRO DE CONVENCIONES :</b>		
Area de desplante .-	5,200	5,200
Mezanine .-		2,980
		<hr/>
	Suma :	8,180
 <b>OBRAS EXTERIORES :</b>		
Estacionamiento con capacidad para 822 autos.-	25,300	
Plazas y andadores .-	19,800	330
Jardines .-	45,820	
Vialidades .-	5,150	
	<hr/>	<hr/>
<b>TOTALES 1ª ETAPA :</b>	<b>106,000 m<sup>2</sup></b>	<b>18,800 m<sup>2</sup></b>

En la siguiente hoja se muestra el croquis con la localización y distribución de los inmuebles dentro del área que comprende la primera etapa del proyecto.

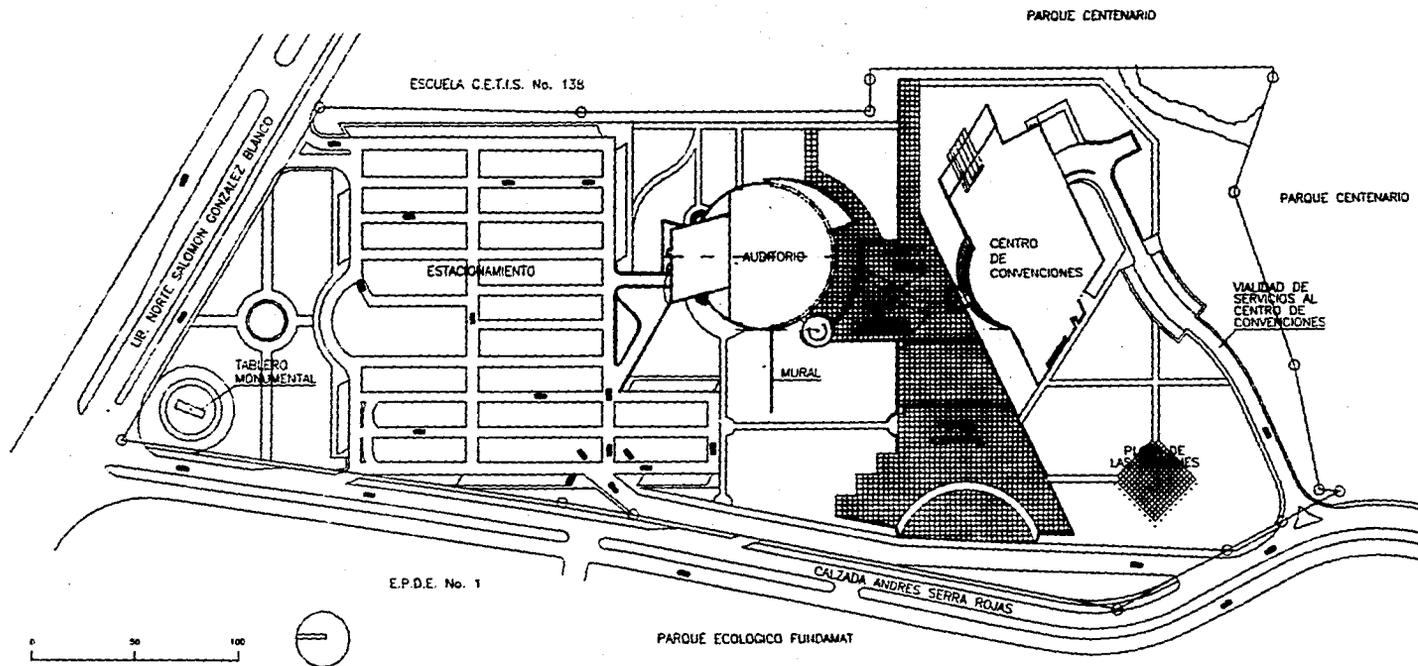


FIGURA II.1 PLANTA DE CONJUNTO

El auditorio fue concebido como un gran volumen cilíndrico cuyo diámetro en planta es de 68.70 metros y contiene la sala principal, los vestíbulos y las circulaciones de acceso. Este cuerpo está intersectado por otro, romboidal y que contiene los servicios de apoyo.

La capacidad máxima es de 3,900 personas sentadas en butacas, utilizándolo para teatro, conciertos y eventos políticos o sociales; para eventos deportivos (donde se hace uso de una cancha para usos múltiples) como básquetbol y vólibol, la capacidad disminuye a 3,500, y para box o lucha libre a 3,700 butacas. Para lograr los usos múltiples de este auditorio se diseñó un sistema de escenario móvil a base de dos plataformas, una con movimiento horizontal y la otra con movimiento vertical a base de compresores de aire con sistema *Air Caster*, además de una sección de butacas móviles con el mismo sistema de aire.

Los proyectos de iluminación, sonido, acústica y mecánica teatral fueron realizados cumpliendo con las especificaciones mas modernas que existen y equipo de manufactura de la mas alta calidad.

Hacia el exterior se localiza un vestíbulo, debajo de la gradería, que se comunica a la sala por medio de un sistema de rampas y escaleras. En un costado se acusan las rampas de salida de emergencia y un volumen cilíndrico que contiene los servicios sanitarios, rampas helicoidales para acceso al balcón, la galería, y las salidas de emergencia del piso superior. Un gran muro, previsto para alojar un mural de grandes dimensiones, interrumpe las visuales y confina la llegada a la plaza, misma que se prolonga en un paseo peatonal rodeado de jardines.

El centro de convenciones y exposiciones, esta ubicado longitudinalmente respecto a la plaza, cuenta con un vestíbulo de acceso en forma semicircular que emerge de un cuerpo romboidal con diferentes alturas y

dos niveles para convenciones y exposiciones. En el interior, una galería de doble altura sirve de espina dorsal para acceder a la sala principal, cuya capacidad total es de 1,500 personas.

En un extremo del edificio se ubica el restaurante y en el opuesto el área de oficinas que cuenta con un patio interior cubierto por cristales. Al fondo del edificio, un volumen rectangular contiene los servicios de apoyo (cocina, cuarto de máquinas, patio de maniobras, bodegas, etc.) que complementan el conjunto.

Ambos inmuebles se encuentran interconectados por la plaza exterior y el paso peatonal con cubierta ondulada, soportada por las mismas edificaciones y por un arco estilizado (Arco Maya).

Los pavimentos exteriores son de concreto con grano de mármol cincelado y entrecalles de piedra del lugar. El acabado general de ambos edificios en muros, columnas y rampas es de concreto con grano de mármol cincelado y expuesto, excepto en el frente del auditorio que está recubierto con tableros de aluminio.

Los volúmenes representativos tanto en el Auditorio como en el Centro de Convenciones son los de concreto, el cual se divide en concreto especial con grano de mármol y acabado cincelado, siendo este un volumen aproximado de 9,800 m<sup>3</sup>, y concreto normal, el cual alcanza los 3,500 m<sup>3</sup>, aproximadamente.

En la hoja 28 se exhibe la figura II.2 con el apunte perspectivo de la zona del proyecto donde se encuentra ubicado el Auditorio, del lado izquierdo, y el Centro de Convenciones. Entre los dos inmuebles se observa el paso peatonal cubierto que los une, así como la vista lateral del Arco Maya

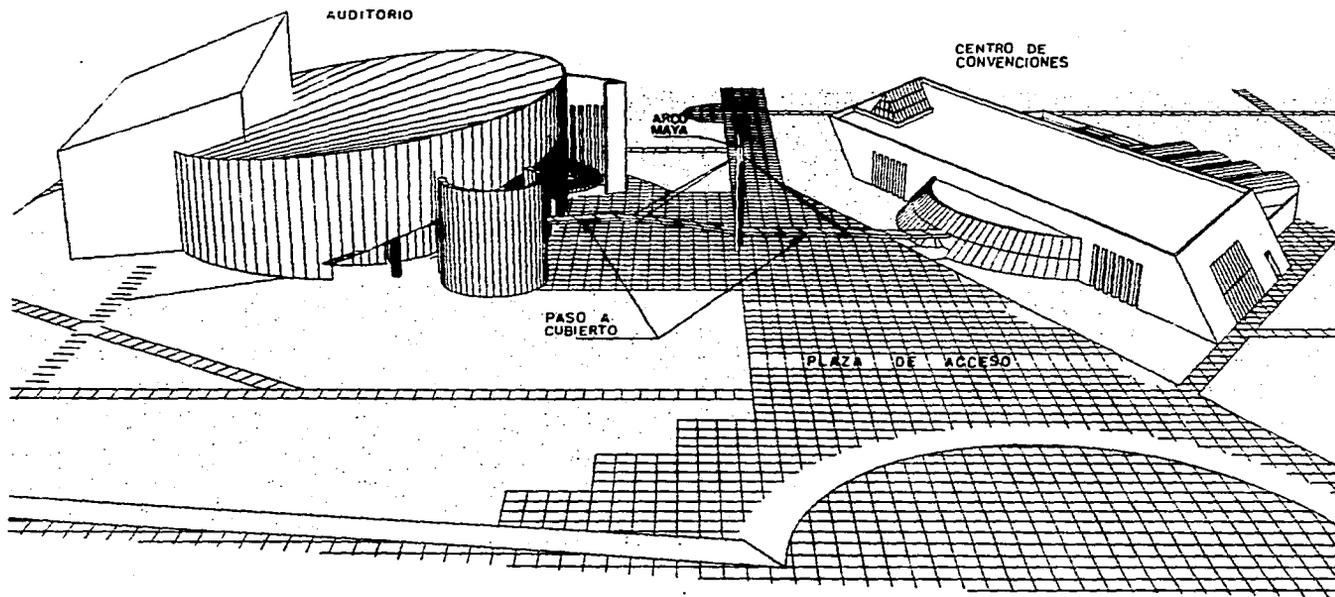


FIGURA II.2 APUNTE PERSPECTIVO

## **II.2.- ESTRUCTURACION DEL EDIFICIO**

El edificio que aloja el Auditorio tiene en planta una forma circular y está constituido por la zona de graderías ( sala del Auditorio ), el escenario y la zona de servicios. Por lo que respecta a las graderías están en forma escalonada y por debajo de estas se localiza la planta baja y la rampa de acceso a las mismas. La zona de servicios es una parte del edificio que intersecta a la zona circular y que tiene en planta la forma de un rombo alargado; está formado por el sótano y los niveles 0 + 1.00, 0 + 5.00, 0 + 8.90 y 0 + 12.80. La zona del escenario se localiza propiamente en el nivel de planta baja. Anexo al auditorio se localiza un edificio de forma circular que sirve para alojar la cafetería, sanitarios y una rampa circular de acceso.

La estructuración del edificio y de la zona de rampas es principalmente a base de muros circulares y rectos de concreto, que funcionan como muros de carga y de rigidez, muros de concreto armado que inician desde la cimentación, traveses que forman las graderías y columnas circulares en la zona de la fachada principal, formando marcos estructurales.

A partir del nivel 0.00 el concreto arquitectónico es de fabricación especial a base de grano de mármol y arena roja del lugar, de manera que al dar el acabado cincelado, queda expuesto el grano de mármol. Los muros se reforzaron adicionalmente en las esquinas y orillas para considerar tales zonas como columnas ahogadas.

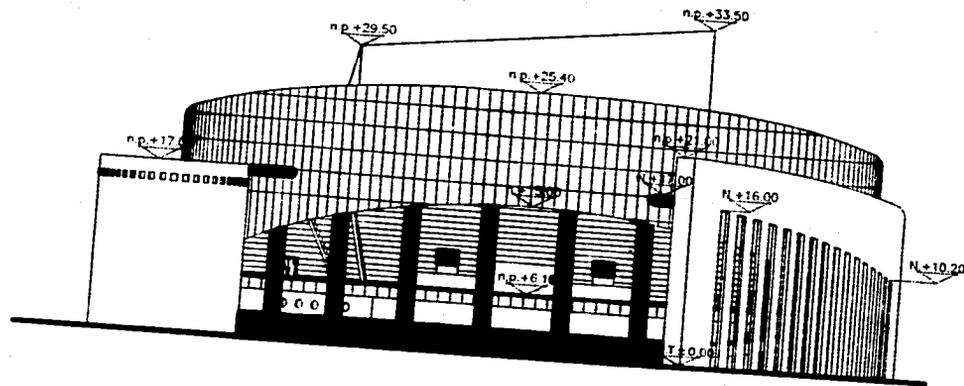
Las losas de la zona de servicios son perimetralmente apoyadas con continuidad en las apoyos intermedios y están aligeradas con bloques de arena - cemento. En la zona del edificio circular de rampas, la estructuración es con muros de concreto y losas macizas. Por lo que se refiere a los pisos son firmes de concreto armado apoyados en terreno macizo o relleno compactado.

La cimentación resultante en base a un estudio de mecánica de suelos, queda formada por zapatas corridas y aisladas así como trabes de liga, considerando una presión de contacto de 35 ton/m<sup>2</sup> para una profundidad de desplante de 1.50 a 2.00 m. Las columnas y muros están unidos por medio de trabes de liga formando así una retícula en planta. La profundidad de desplante y las condiciones del terreno serán verificadas en obra.

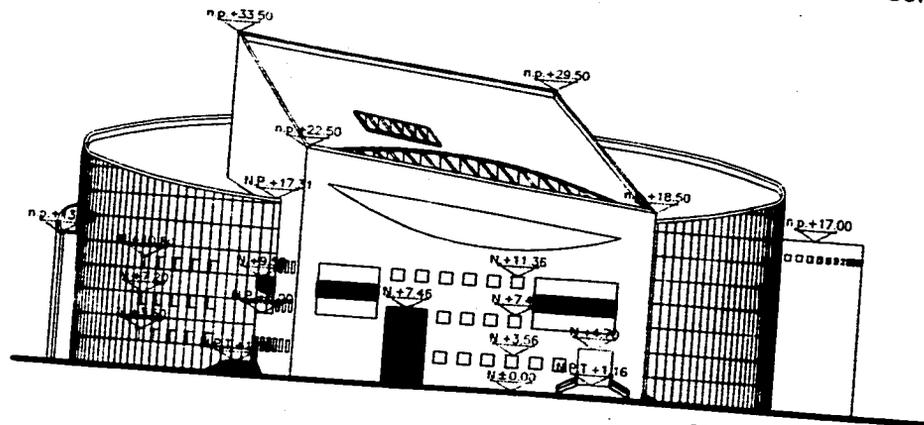
Para el caso de las trabes de concreto reforzado se consideró que forman un marco continuo con las columnas de concreto. Para las losas aligeradas, perimetralmente apoyadas, se consideraron nervaduras de 14 cm. con peralte total de 25 cm., incluyendo una capa de concreto en la parte superior de 5 cm de espesor que trabaja estructuralmente con la nervadura.

Los muros de concreto alcanzan una altura considerable para lo cual se utilizan dos sistemas de cimbra, uno es el sistema tradicional con hojas de triplay y otro con el sistema de cimbra a base de paneles metálicos encadenados por medio de grapas; debido a la modulación especial de proyecto y curvatura de los muros, se obtiene la optimización de las cimbras que alcanzan una altura de hasta 35 metros.

En las siguientes hojas se muestran las figuras II.3 y II.4, con las vistas de las fachadas del edificio orientadas a los cuatro puntos cardinales. La distribución de los diversos elementos que integran el inmueble se aprecia en las figuras II.5 y II.6 correspondientes a la planta del nivel de graderías, así como a los cortes longitudinales 1-1' y 2-2' en los que se pueden observar las armaduras de gran claro proyectadas.



FACHADA SUR



FACHADA NORTE

FIGURA II.5 FACHADAS PRINCIPAL (SUR) Y POSTERIOR

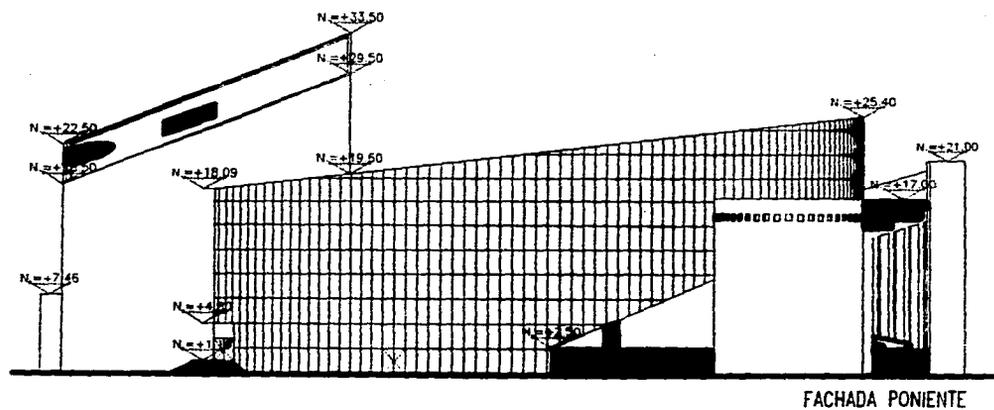
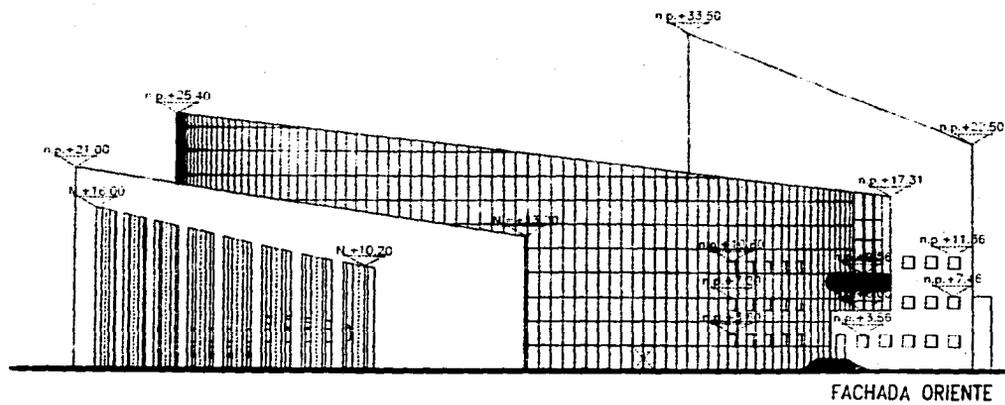


FIGURA II.4 FACHADAS LATERALES

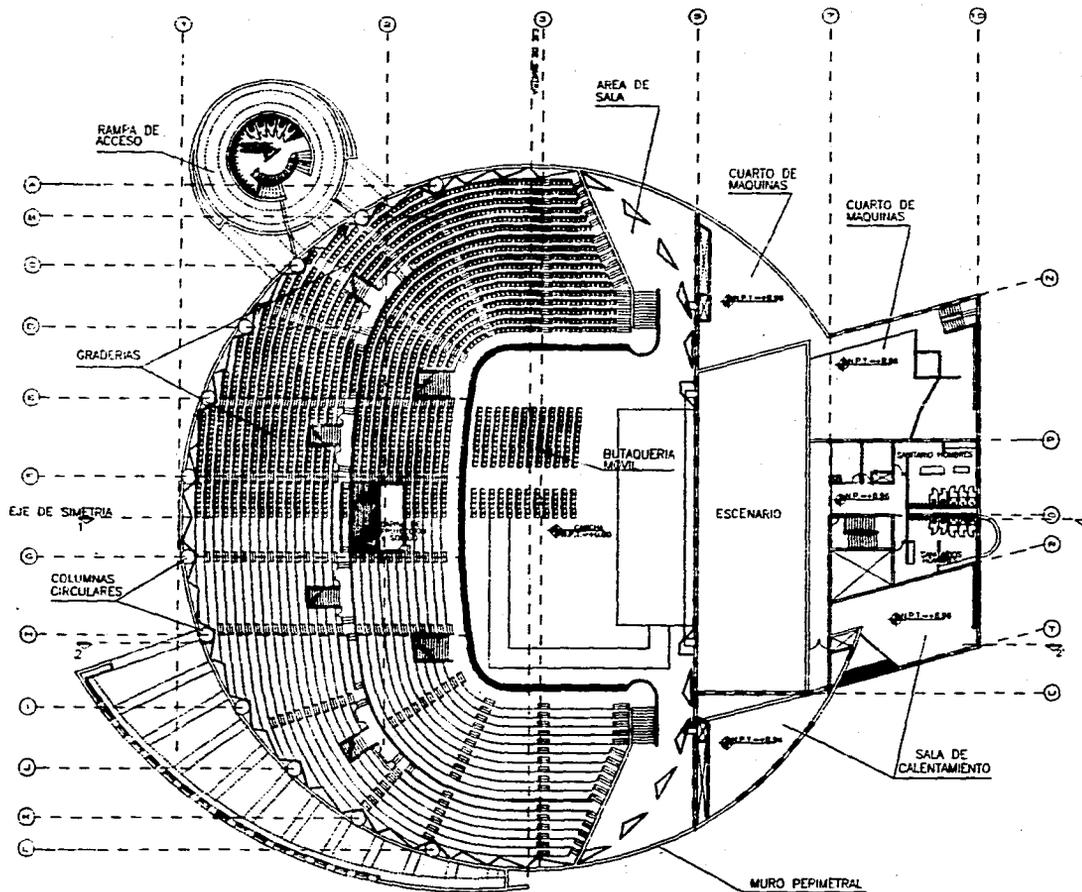


FIGURA II.5 PLANTA DE AUDITORIO (BUTAQUERIA)

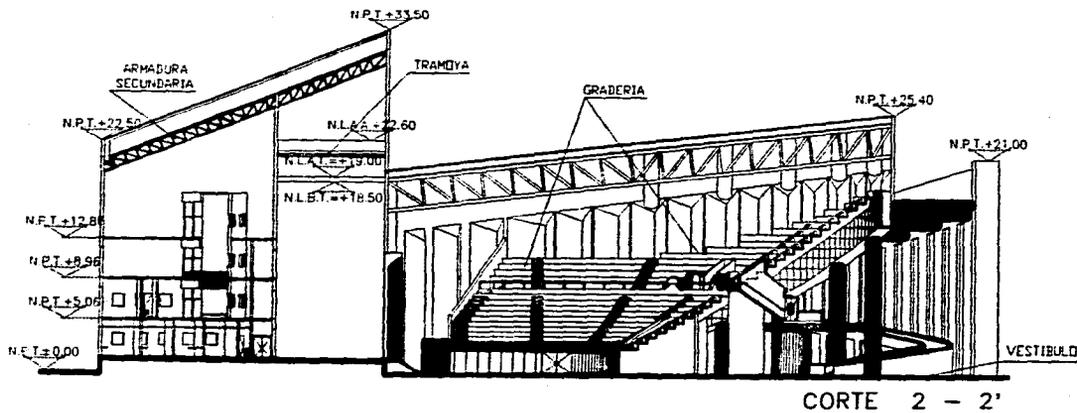
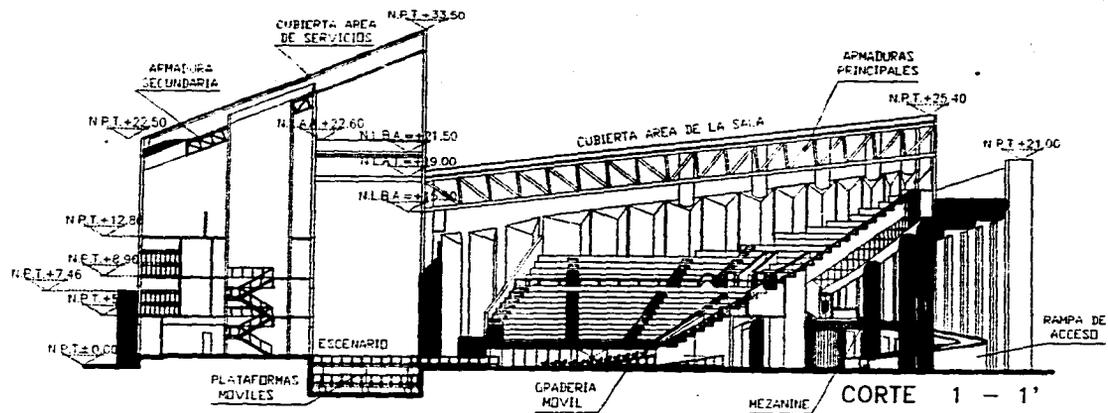


FIGURA II.6 CORTES LONGITUDINALES

## **II.3.- ESTRUCTURACION DE LA CUBIERTA**

En todas las zonas del edificio la techumbre está compuesta en esencia por un sistema de armaduras metálicas que soportan a una losa tipo Romsa con una capa de 4 centímetros de concreto, reforzada con malla de acero y recubierta con impermeabilizante.

**Area de la sala.** La cubierta del área de la sala tiene una forma circular con un diámetro de 69.16 metros, recortada por un muro en el eje 5 que la delimita a la zona de servicios y a sus respectivos niveles. La superficie es plana con un área de 2,982 m<sup>2</sup> y presenta una pendiente de 11.6% en dirección a dicho muro.

La losa se encuentra apoyada directamente en los largueros de techo formados por armaduras secundarias a los cuales se les ha denominado LM (larguero metálico); estos largueros están dispuestos en forma paralela a lo largo de toda el área con una separación constante de 3.00 m. La carga recibida de la losa es transmitida hacia las armaduras principales conocidas como VM (viga metálica), las cuales se encuentran apoyadas en el muro del eje 5 y en las columnas circulares que se localizan en torno al muro perimetral del edificio, de manera que los ejes de proyecto de las columnas coincide con los de las trabes principales.

Por el centro que forma la circunferencia de esta superficie pasa un eje de simetría en dirección paralela a las armaduras principales, por lo que las armaduras y largueros son iguales en los 2 lados. Se tienen 3 tipos de armaduras principales; VM-A, con claros de 51.00 y 48.00 m, VM-B de 45.00 m y VM-C con claro de 39.00 m, en donde los claros son medidos del apoyo en la columna circular al apoyo en el muro y considerando la pendiente, teniéndose un total de 8 armaduras principales, todas con un peralte de 3.40 m. Las separaciones que se

presentan entre ellas es de 8.00, 7.78, 7.14, y 6.11 m., respectivamente, medidas de centro a centro, y que corresponden al claro de los largueros en esa zona.

El espacio restante entre la última armadura y el muro perimetral circular de concreto es cubierto por largueros de diferentes medidas y aproximadamente al centro se presenta el claro máximo que es de 8.90 m. Encontramos que existen 2 tipos de largueros, LM-1 y LM-2, ambos con peralte de 50 cm, y con los que se cubre totalmente el área, a excepción de los tramos mas pequeños en donde se proyectaron vigas de perfil IR.

Tanto las traveses principales como las secundarias se encuentran proyectadas como armaduras de cuerdas paralelas. Las primeras son tipo Pratt y las segundas tipo Warren con montantes verticales.

Debido a que la dirección de la pendiente es paralela a las armaduras principales, estas se encuentran inclinadas y los largueros en posición horizontal. Cabe mencionar que a pesar de que existen diferencias substanciales en los claros de algunas traveses, se les denominó de la misma manera; tal es el caso de las armaduras principales VM-A localizadas en los ejes F y G con respecto a las que se encuentran en los ejes E y H, de tal forma que para efectos de la revisión estructural y en el diseño posterior, la nomenclatura de esos elementos se ajustó a VM-A1 para las de claro de 51 metros y VM-A2 para las dos restantes.

Además de los elementos que constituyen la red ortogonal de traveses de alma abierta, se cuenta con la presencia de otros miembros de acero cuya labor es proporcionar rigidez a la estructura, ya sea local o como sistema, denominados perfiles auxiliares. Para las cuerdas formadas por canales de las armaduras principales se cuenta con atiesadores y cada montante presenta tres pares de placas llamados separadores. Las funciones de estos perfiles se comentará en el cuarto capítulo.

También se tienen contemplados contraventeos en los dos sentidos del plano que forma la cubierta. Para los trabes secundarias se usan varillas colocadas en cruz en claros alternados y a una altura correspondiente al peralte medio de los largueros. Las armaduras principales cuentan con pares de canales dispuestas perpendicularmente y a la altura de la cuerda inferior, espaciadas cada tres largueros.

**Area de servicios.** En esta zona la superficie de la techumbre es también plana pero presenta dos pendientes en el sentido de los muros perimetrales localizados en los ejes 5, 10, N y T. El área es dividida por un muro en el eje 6 y la zona de la techumbre comprendida entre este y el eje 5 es soportada por vigas IR con una separación de 2.90 m, medida en sentido de los ejes numéricos, una longitud de 11.90 m y dispuestas en forma paralela a los ejes alfabéticos. Este sector es el que propiamente cubre la plataforma de la tramoya, la que a su vez se encuentra arriba del nivel del escenario.

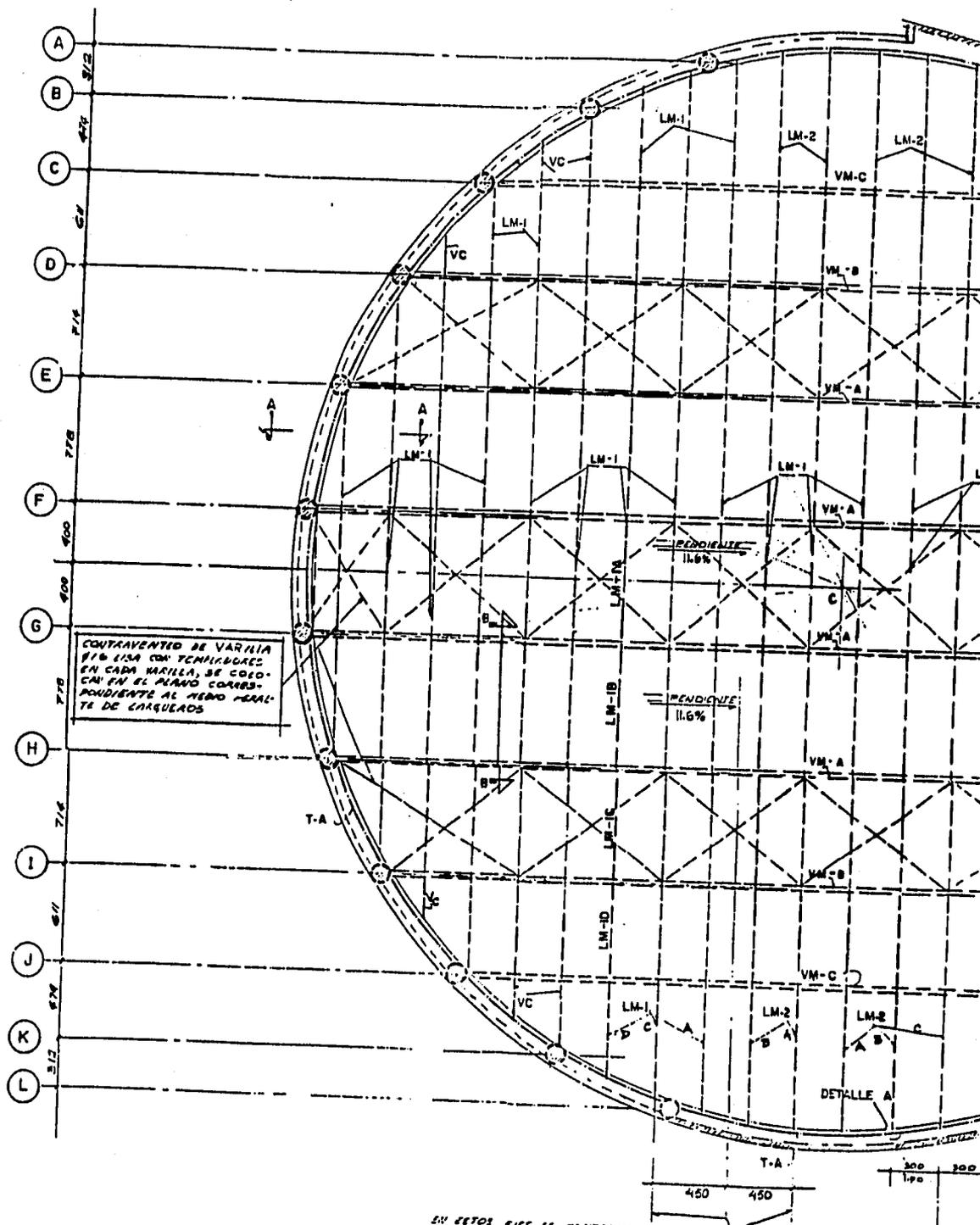
La superficie restante es soportada por largueros LM-1, una armadura tipo VM-E y vigas IR, apoyados en los muros de los ejes N y T, en los extremos, y en tres armaduras de tipo VM-D que tienen un peralte de 1.50 m y un claro de 18.00 m. La armadura VM-E presenta una longitud de 17.25 m. y un peralte de 1.25 m. Todas las armaduras y largueros del área de servicios presentan inclinación producida por las pendientes en dos sentidos.

Adicionalmente se tienen dos áreas limitadas por el eje 5, los muros en los ejes T y N respectivamente, y por la continuación del muro circular perimetral. La superficie es también plana y la losa es soportada únicamente por vigas IR. Debido a su orientación se les conoce como zona Oriente y zona Poniente.

En todas las zonas del Auditorio las juntas de las armaduras proyectadas carecen de placas de conexión, soldando directamente los elementos

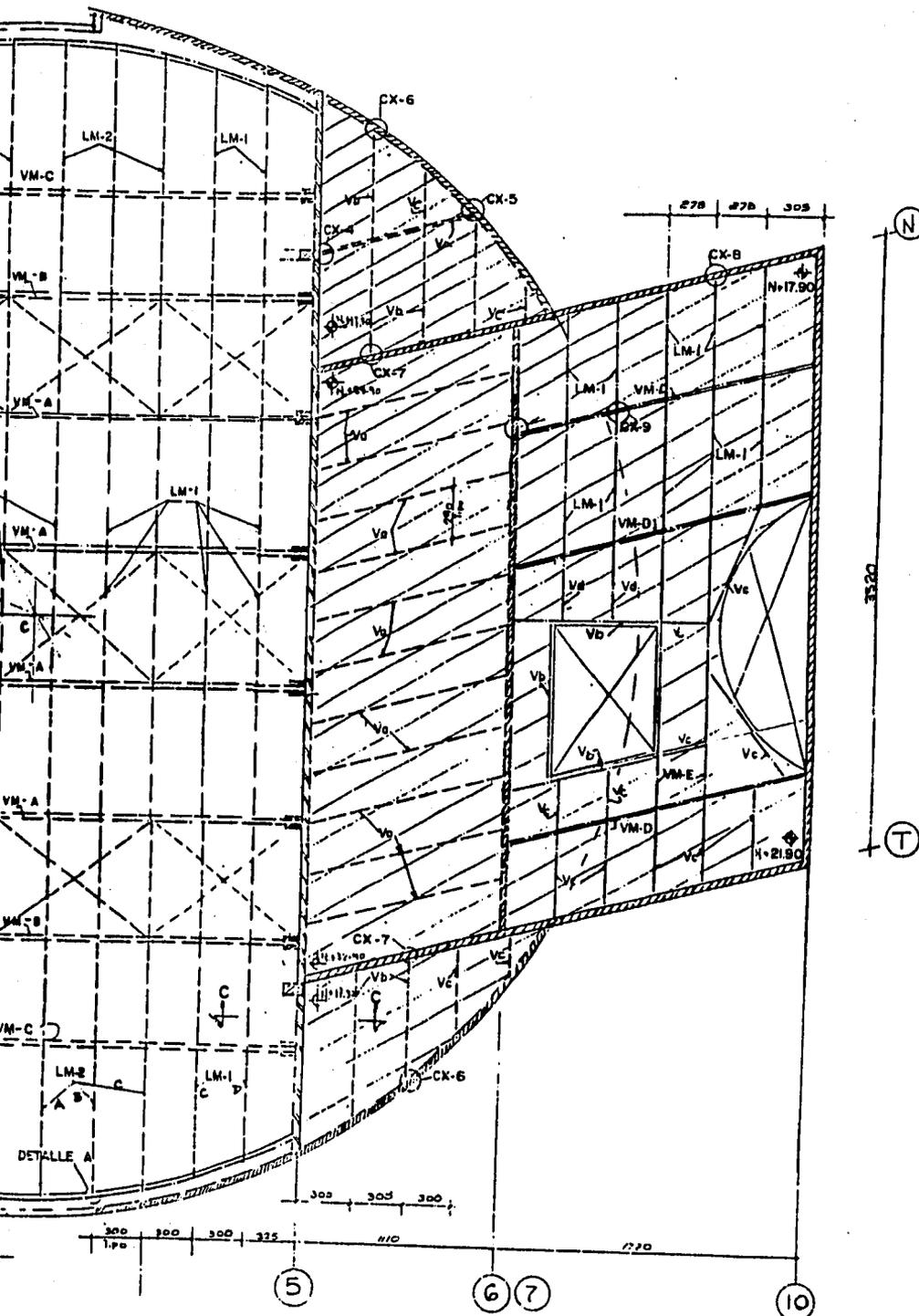
entre si. Por lo general se emplea soldadura de filete, a excepción de las uniones a tope como la de los cambios de cubreplaca o la de los montantes a las cuerdas. En ese caso, se biselan los extremos del miembro y se rellenan con soldadura. Todos los perfiles de diseño son de acero A-36.

En la siguientes hojas se presentan los planos del proyecto original de la cubierta. En primer término aparece la planta de azotea con la ubicación de todas las armaduras que componen la techumbre, tanto del área de la sala como la de servicios. Después aparece el plano con los cortes longitudinales en los que se aprecia la geometría de las armaduras principales y el larguero tipo del área de la sala, incluyendo los perfiles estructurales considerados para cada elemento. Posteriormente se encuentran los cortes A-A, y C-C que muestran los apoyos tipo de las trabes de alma abierta principales en las columnas circulares y en el muro localizado en el eje 5, respectivamente, así como el corte B-B y el detalle "A", el cual se encuentra indicado junto con los tres cortes en la planta de la cubierta. Finalmente se presenta un detalle de la conexión tipo de los largueros LM con las armaduras VM y las cuatro variantes posibles de conexión de estas últimas entre los elementos que las constituyen.

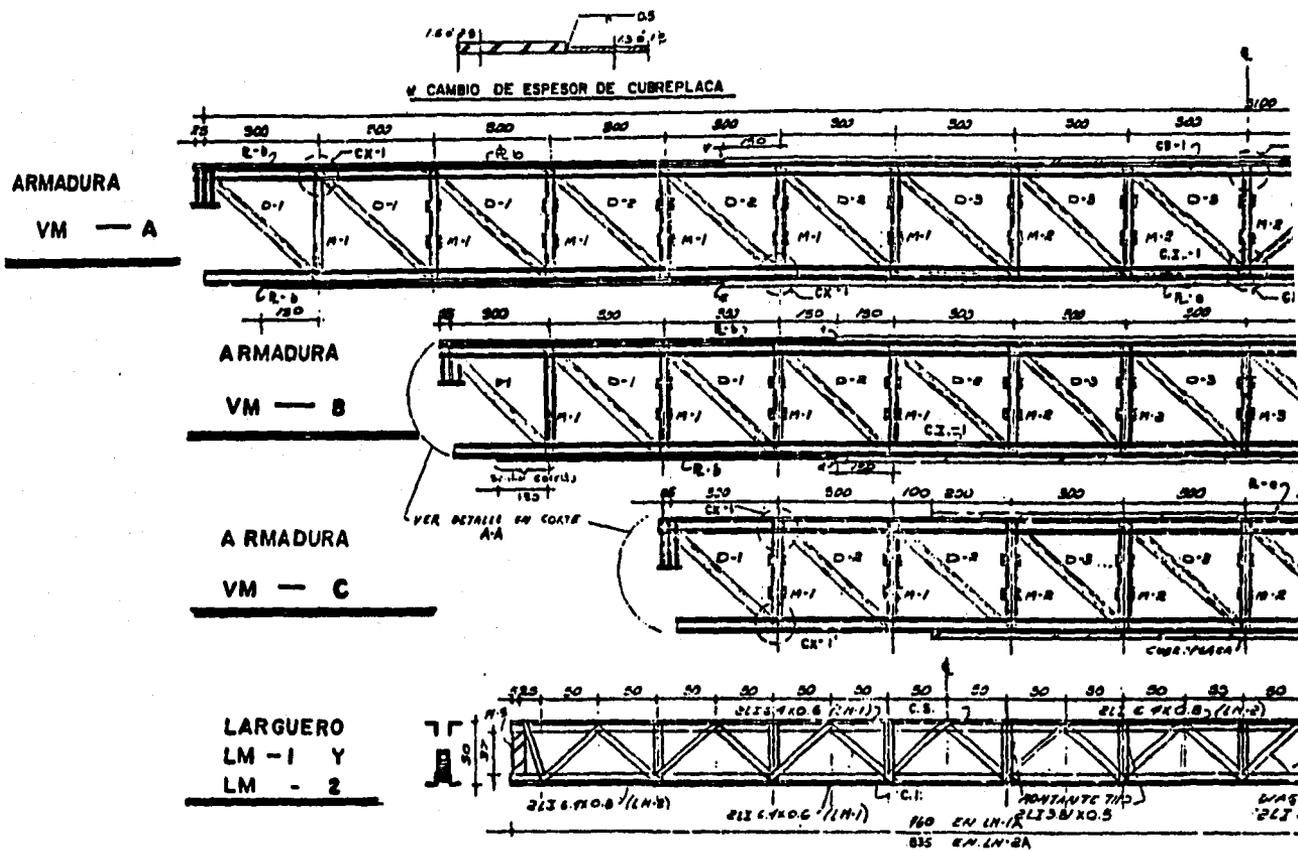


EN ESTOS Ejes de MOVIMIENTO DE PANTALLA  
 SE COLARAN VIGAS APOYADAS EN LA FUERZA INTERIOR  
 DE ARMADURAS SEGUN SE MORA EN CUADRO B-B

**PLANTA CUBIERTA AUDITORIO Y**



LABORATORIO Y SERVICIOS

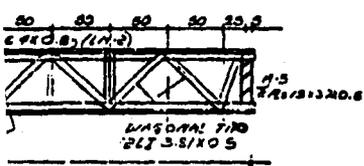
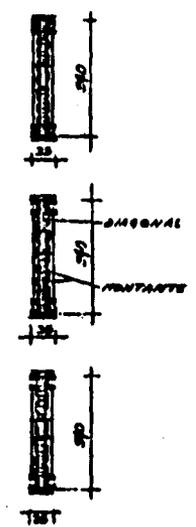
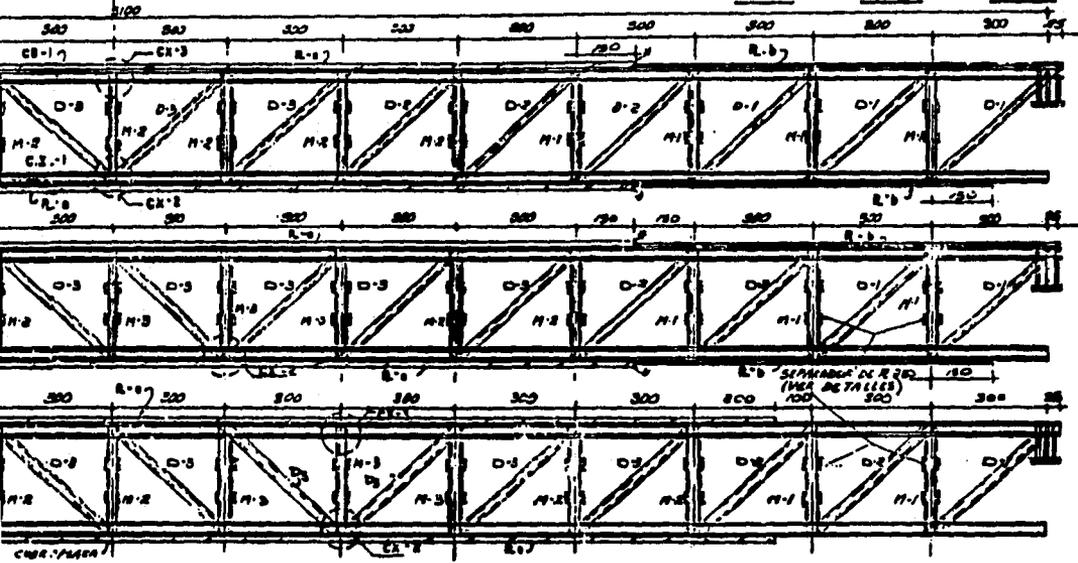
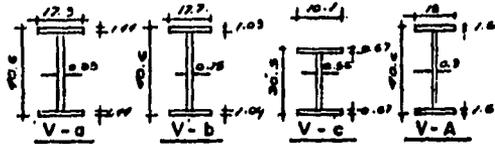


**TABLA DE PERFILES**

ELEMENTO	ARMADURA VM-A	ARMADURA VM-B	ARMADURA VM-C
CUERDAS CS Y CI	2 CE 254 mm X 44.84 Kg/m	2 CE 254 mm X 44.84 Kg/m	2 CE 254 mm X 44.84 Kg/m
DIAGONAL D-1	IR 254 mm X 44.8 Kg/m	IR 254 mm X 44.8 Kg/m	IR 254 mm X 44.8 Kg/m
DIAGONAL D-2	IR 254 mm X 28.5 Kg/m	IR 254 mm X 28.5 Kg/m	IR 254 mm X 28.5 Kg/m
DIAGONAL D-3	IR 254 mm X 17.9 Kg/m	IR 254 mm X 17.9 Kg/m	IR 254 mm X 17.9 Kg/m
MONTANTE M-1	2 CE 203 mm X 20.48 Kg/m	2 CE 203 mm X 20.48 Kg/m	2 CE 203 mm X 20.48 Kg/m
MONTANTE M-2	2 CE 203 mm X 17.11 Kg/m	2 CE 203 mm X 17.11 Kg/m	2 CE 203 mm X 17.11 Kg/m
MONTANTE M-3	2 CE 203 mm X 17.11 Kg/m	2 CE 203 mm X 17.11 Kg/m	2 CE 203 mm X 17.11 Kg/m
PLACA PL-1	350 mm X 25.4 mm	350 mm X 15.9 mm	350 mm X 15.9 mm
PLACA PL-2	350 mm X 19.1 mm	350 mm X 12.7 mm	350 mm X 12.7 mm

**PERFILES DE VIGAS**

- V-a 1A 90.61327 Kg/m
- V-b 1A 90.61327 Kg/m
- V-c 1A 30.84235 Kg/m
- V-A 1A 90.61327 Kg/m



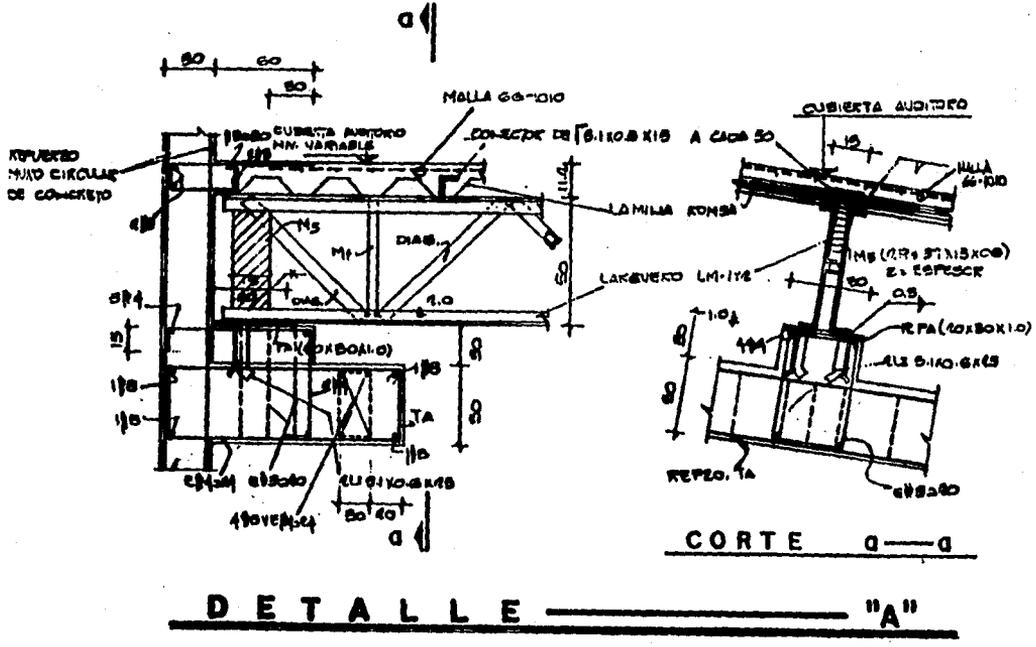
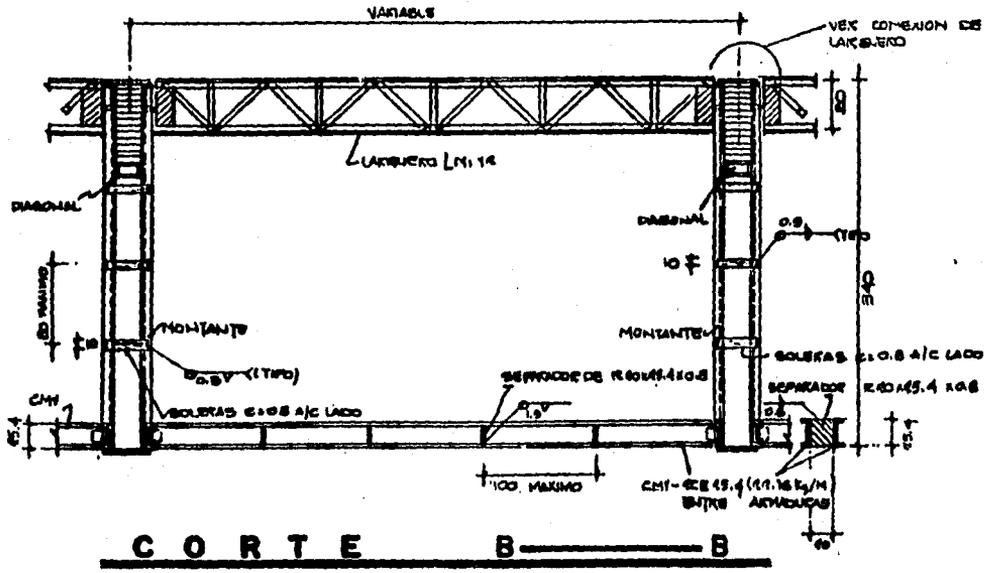
PERFILES	
URA VM-B	ARMADURA VM-C
1 X 44.8 Kg/m	2 CE 254 mm X 29.78 Kg/m
1 X 44.8 Kg/m	1R 284 mm X 28.5 Kg/m
1 X 28.5 Kg/m	1R 284 mm X 22.3 Kg/m
1 X 17.9 Kg/m	1R 254 mm X 17.9 Kg/m
1 X 20.48 Kg/m	2 CE 203 mm X 20.48 Kg/m
1 X 17.11 Kg/m	2 CE 203 mm X 17.11 Kg/m
1 X 17.11 Kg/m	2 CE 203 mm X 17.11 Kg/m
1 X 18.9 mm	360 mm X 12.7 mm
1 X 12.7 mm	

**NOTAS DE ESTRUCTURA METALICA**

- 1.- ACOTACIONES, DIMENSIONES DE PLACAS, PERFILES LAMINADOS Y SOLDADURAS EN CANTONEROS.
- 2.- ACERO ESTRUCTURAL A-36 EN PLACAS Y PERFILES LAMINADOS, CON ESPESOR DE RUPURA DE 1/20 A 3/32 HASTA Y ESPESOR DE PLACAS PARA A 0.5 DEL ESPESOR DE RUPURA, SIN SUPERAR DE 2530 kg/cm<sup>2</sup>.
- 3.- LOS ELECTRODOS RECUBIERTOS PARA SOLDADURA DE ARCO SE APLICARAN A LA SERIE E-70 DE LAS ESPECIFICACIONES PARA ELECTRODOS DE SOLDADURA DE ARCO PARA ACEROS SUAVES.
- 4.- ESTE PLANO SUPLEN DE SER PARA LOS PLANOS DE FABRICACION QUE SERAN REVISADOS POR LA DIRECCION DE OBRAS.



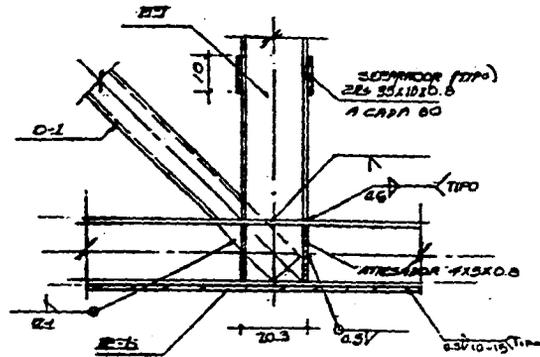
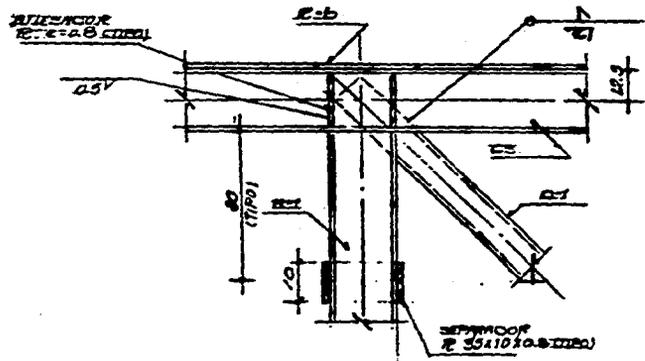




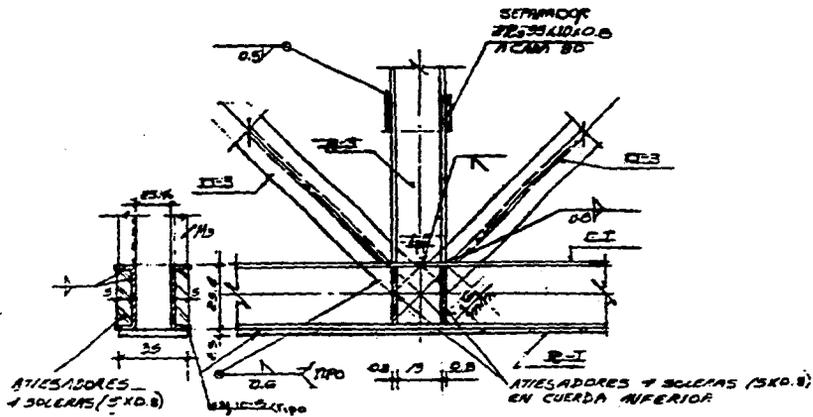
**TESIS SIN PAGINACION**

**COMPLETA LA INFORMACION**

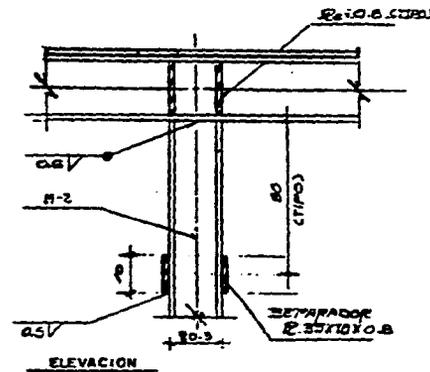




**CONEXION CX - 1 y CX - 1'**



**CONEXION CX - 2**



**CONEXION CX - 3**

## **CAPITULO III**

### **REVISION ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE CUBIERTA**

### **III.1.- REGLAMENTACION**

Al examinar la documentación existente en materia legal para los requerimientos constructivos propios de la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, se encontró vigente el Decreto Número 65 publicado en Marzo de 1971, por el Periódico Oficial del *Gobierno Constitucional del Estado Libre y Soberano de Chiapas*, donde se expide el *Reglamento de Construcciones y Servicios Urbanos de los Municipios de Tuxtla Gutiérrez, Tapachula, San Cristóbal De Las Casas, Comitán, Tonalá, Huixtla, Arriaga y Villaflores*.

En general, este Reglamento se limita a las obligaciones en el uso de servicios públicos, clasificaciones, ocupación, dimensiones, zonas de restricción, licencias, permisos, sanciones, etc., sin entrar en detalles con especificaciones de carácter técnico.

En la época en que se formuló el proyecto ejecutivo del Auditorio, se encontraba en proceso de revisión la actualización del reglamento de la entidad, por lo que, con la autorización de la Secretaría de Obras Públicas del Estado de Chiapas, el estudio de todos los elementos que componen a la estructura del auditorio se sujetó a las disposiciones del *REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL* y, para el caso de la superestructura y otros elementos integrados por acero, a las *NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS METALICAS*, publicados en la Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal con fecha de 2 de Agosto de 1993.

Así mismo, se gestionó que para los valores de diseño en los que se deba tener en cuenta la zona geográfica del proyecto, se acatarán los señalamientos del *MANUAL DE OBRAS CIVILES* que edita la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Adicionalmente, la revisión estructural se apoyó en los lineamientos técnicos que contempla el *AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, INC.* (AISC), principalmente en el tratamiento de los esfuerzos permisibles, y considerando que no se contraponen con los reglamentos citados con anterioridad.

### **III.2.- METODO UTILIZADO**

Para la revisión estructural de la cubierta del Auditorio se llevó a cabo un análisis integral de todos y cada uno de los elementos que forman los largueros y armaduras principales, con base en la teoría elástica del comportamiento estructural del acero y siguiendo el método que se resume a continuación :

- 1.- Estimación de las cargas muertas y vivas que están presentes para la determinación de la carga total (  $Q$  ) que va a soportar el sistema de la cubierta.
2. Obtención de la carga que actúa en cada armadura; carga uniformemente distribuida (  $w$  ) que actúa directamente sobre los largueros en la cuerda superior y considerando el ancho tributario de 3.00 m constante para todos los largueros; cargas puntuales (  $P$  ) sobre las armaduras principales, aplicadas en los puntos de apoyo de los largueros y cuyo valor será igual al producto de la carga uniforme por el promedio de la longitud a ejes del par de largueros que coinciden en cada punto de la armadura en cuestión.
3. -Determinación de los elementos mecánicos de las armaduras, en este caso mediante la aplicación de un paquete de computadora que emplea el método matricial de análisis de rigidez; la resolución de los sistemas de

ecuaciones generados de las matrices se realiza mediante el método de Gauss. Para la utilización del programa es necesario conocer los siguientes datos :

- a).- geometría de la armadura: coordenadas de los nudos y direcciones de las barras.
- b).- localización y tipo de apoyos.
- c).- condiciones de unión de las barras a los nudos (restringidos ó articulados).
- d).- características de las secciones transversales de los elementos (barras): áreas y momentos de inercia centroidales.
- e).- valor de las cargas; lugar de aplicación si son puntuales ó miembros donde estarán actuando en caso de ser uniformes, agrupándolas en estados de carga independientes.
- f).- combinaciones de los estados de carga, si las hay.

**4.- Obtención de los esfuerzos actuantes en cada barra y los factores de seguridad correspondientes, considerando los elementos mecánicos resultantes en el punto anterior, y utilizando una hoja de cálculo.**

Los resultados que se obtienen en el análisis de las retículas son los desplazamientos relativos y rotación de los nudos; la fuerza axial, la fuerza cortante, el momento flexionante y el desplazamiento relativo, para cada barra; las reacciones en los apoyos.

Las fuerzas y reacciones están dadas en toneladas, los momentos flexionantes en toneladas por metro, y los desplazamientos en centímetros. La convención de signos es la siguiente: las cargas, desplazamientos y reacciones están dados con respecto a los ejes de la estructura, considerando que coinciden con un sistema cartesiano en el primer cuadrante, por lo que serán positivos si están orientadas en el sentido de los ejes coordenados; los elementos mecánicos

en los nudos y secciones intermedias de cada miembro están dados en su propio sistema de ejes de miembro; si los valores del momento flexionante son graficados sobre este sistema, se obtiene el diagrama que sigue la fibra de tensión de tal forma que los momentos son positivos si el giro de la porción derecha del miembro se produce en el sentido de las manecillas del reloj; los cortantes son positivos si producen un incremento negativo de momento; si las fuerzas axiales son negativas estarán a tensión, si son positivas a compresión.

Cabe indicar que el programa resuelve tanto estructuras isostáticas como hiperestáticas de manera que no se hace indispensable revisar las condiciones de isostaticidad de las retículas. Si por alguna razón se intenta resolver alguna armadura inestable, el programa no trabaja y solicita se revisen las condiciones de frontera, definidas en la posición y número de reacciones o como alguna barra faltante.

La forma como se presentan los resultados para obtener los factores de seguridad de las barras en cada armadura se divide en dos partes; en la primera se conjuntan las propiedades geométricas y algunos valores necesarios para los cálculos de todos los perfiles estructurales que intervengan en la armadura analizada, como son: la longitud del miembro la cual es medida a los ejes de las barras; el área, los módulos de sección ( $S_1$  y  $S_2$ ) y el momento de inercia centroidal ( $I_z$ ), de la sección transversal; la distancia ( $Z$  *testada*) de la fibra extrema al eje neutro de manera que al ser divisora del momento de inercia se obtenga a  $S_1$  como el menor de los módulos de sección; los radios de giro con respecto al eje  $Z$  ( $r_z$ ), que es el eje alrededor del cual se produce la flexión, y el correspondiente al eje al que se asocia el momento menor de inercia ( $r_{Menor}$ ). Con este radio de giro es con el que se obtiene la relación de esbeltez  $KL/r$  que da origen al esfuerzo permisible a compresión ( $F_a$ ), debido a que la falla por pandeo ocurre siempre alrededor de ese eje.

El valor máximo permisible que puede asumir la relación  $KL/r$  es 200 cuando existe compresión y 240 en miembros a tensión. Para el caso en que el miembro se encuentre arriostrado o restringido en el plano ortogonal al que se analiza la retícula, los dos radios de giro serán iguales; finalmente se tiene el parámetro  $F'e$  que es equivalente al esfuerzo permisible a compresión cuando la relación de esbeltez es mayor que el coeficiente de columna ( $C_c$ ), y que es utilizado para el cálculo de los esfuerzos por flexocompresión.

Adicionalmente se han considerado dos columnas para el esfuerzo de fluencia ( $F_y$ ) y para el coeficiente de columna, empleados en el caso en que se tengan perfiles de diferente especificación al del acero A-36, donde  $F_y$  es 2530 kg/cm<sup>2</sup> y  $C_c$  es igual a 126.

En la segunda parte de la presentación se tabulan los resultados del análisis para todos los miembros de la armadura en cuestión, presentándose en primer término el número de la barra, la sección que le corresponde y el tipo de elemento del que se trate, esto con el objeto de tener una idea de la posición de la barra si no se tuviera la figura de referencia, ya que las barras pueden ser numeradas en forma arbitraria.

A continuación se han transcrito los elementos mecánicos con su signo correspondiente de la fuerza axial y el momento flexionante, obtenidos en el punto 3; Ya que para una barra determinada se pueden tener una gran cantidad de valores dependiendo del número especificado en el campo *número de secciones* del programa (por lo general se busca sea un número impar para obtener las fuerzas internas correspondientes a la mitad de la longitud de los miembros), el criterio para su elección es el de escoger el par de valores que produzcan la condición más desfavorable, llamados valores críticos.

Posteriormente se calculan los esfuerzos actuantes; axiales ( $f_a$ ) de compresión ó tensión dependiendo del signo de la fuerza axial, y por flexión ( $f_b$ ).

Debido a que cuando un elemento estructural se encuentra sometido a un momento flexor se producen compresiones y tensiones en las fibras extremas opuestas del elemento, el razonamiento que se sigue para la selección del módulo de sección con el que se calcula el esfuerzo por flexión, es el de elegir aquel que incremente la acción a la que se encuentra sometido el miembro estructural si solo se encontrara afectado por la fuerza axial. Además se desprende que los signos de ambos esfuerzos serán iguales. Todo esto conduce a que el módulo a emplear se encuentra condicionado por la posición que presente el eje neutro con respecto a la mitad de la sección transversal, el signo del momento flexionante y el tipo de la fuerza axial. A continuación se exponen las posibles variantes del caso:

<i>Posición del eje neutro</i>	<i>Acción de la fuerza axial</i>	<i>Signo del momento</i>	<i>Módulo de sección a utilizar</i>
superior	compresión	positivo	S <sub>1</sub>
superior	tensión	positivo	S <sub>2</sub>
superior	compresión	negativo	S <sub>2</sub>
superior	tensión	negativo	S <sub>1</sub>
inferior	compresión	positivo	S <sub>2</sub>
inferior	tensión	positivo	S <sub>1</sub>
inferior	compresión	negativo	S <sub>1</sub>
inferior	tensión	negativo	S <sub>2</sub>

Al continuar con la hoja de presentación de resultados se observa que en las siguientes columnas aparecen los dos términos que intervienen en la determinación del factor de seguridad total; la relación del esfuerzo actuante por fuerza axial con su respectivo esfuerzo permisible ( $f_a/F_a$ ) y el término que implica al segundo miembro de la expresión utilizada para la combinación de los

esfuerzos axiales y de flexión ( $R$ );  $f_b/F_b$  para el caso que el elemento este sometido a tensión, y la misma relación pero multiplicada por un factor de amplificación para considerar el pandeo si se tuviera compresión. En este factor interviene el  $F'e$  (donde se usa el radio de giro  $r_z$ ) y el esfuerzo actuante por fuerza axial ( $f_a$ ).

El coeficiente de modificación o de reducción por interacción ( $C_m$ ) tiene como fin evitar que los momentos adicionales debidos a la flexión resulten excesivos; en rigor varía de 0.4 a 1.0, dependiendo de la relación de los momentos en los extremos del miembro que no se encuentra arriostrado, o bien de la relación  $f_a/F'e$  si la barra presenta cargas transversales. Sin embargo, se tomó en todos los casos un valor de 0.85 para evitar extender la complejidad en los cálculos y teniendo en cuenta que el rango de error debido a esta consideración es muy pequeño.

Tanto  $f_a/F_a$  como  $R$  son siempre positivos debido a que los esfuerzos actuantes y los permisibles son del mismo signo.

En la siguiente columna se encuentra el valor que representa el objetivo final del análisis estructural y que es el factor de seguridad total de cada barra. Lo constituyen la suma de los términos  $f_a/F_a$  y  $R$ , y de acuerdo a las expresiones reglamentarias este valor deberá ser menor que la unidad ( $f_a/F_a + R < 1$ ). Para facilitar la lectura por línea y poder asociar al factor de seguridad con su barra correspondiente, se repite el número de esta en la última columna.

Es necesario aclarar que la expresión *factor de seguridad* que se ha venido mencionando difiere de la que se aplica para referenciar el grado de confianza de una estructura en los diseños elásticos y plásticos, en los que se utiliza la relación de la resistencia del elemento entre la carga calculada de servicio, resultando inverso al empleado a lo largo de este trabajo.

Adicionalmente se ha incluido la comparación de la flecha máxima actuante y el nudo en el que se presenta contra la flecha permisible, para que se tengan juntos los parámetros que determinan si una estructura se encuentra diseñada dentro de las condiciones de seguridad estructural. De manera rigurosa, la flecha máxima de una armadura de cuerdas paralelas sería la correspondiente a la suma del máximo desplazamiento relativo del nudo y la máxima deflexión relativa de las barras que inciden en el, obteniéndose el desplazamiento absoluto del punto más crítico. Para fines prácticos y tomando como referencia que la flecha relativa de las barras de las cuerdas inferiores siempre resulta despreciable, se indica solamente el desplazamiento del nudo. Para la flecha máxima permisible se ha utilizado la expresión que para tal efecto propone el AISC y que está dada por  $L/360$ , donde  $L$  es la longitud existente entre los apoyos de las armaduras.

La variación en el método que se utilizó para la obtención de los elementos mecánicos y de los esfuerzos actuantes con respecto a los métodos tradicionales de análisis de trabes de alma abierta como el del equilibrio de juntas o el método del equilibrio de la porción aislada de una sección longitudinal, es que en este caso se considera a los nudos estructurales como rígidos, resultando que cada junta tiene tres grados de libertad y por lo tanto los miembros presentan momentos flexores en cada extremo. A estos momentos que se producen en las armaduras debido al empotramiento parcial de los extremos de las barras se les conoce como efectos secundarios. En los otros procedimientos de análisis esta situación se desprecia al considerar a las juntas como articuladas induciendo solamente fuerzas axiales.

Otro efecto asociado al tratamiento de las retículas como estructuras rígidas, es la aparición de fuerzas cortantes. Con el apoyo de múltiples cálculos realizados con anterioridad, se observó que los esfuerzos actuantes máximos derivados de esta fuerza en todas las armaduras, tanto secundarias y con cargas

distribuidas, como principales con cargas puntuales, son del orden de  $25 \text{ kg/cm}^2$  para las condiciones mas desfavorables, y considerando que el esfuerzo máximo permisible anotado en las expresiones que se presentan posteriormente es de 0.40 del esfuerzo de fluencia  $F_y$ , es decir más de  $1,000 \text{ kg/cm}^2$  para un acero A-36, se obtuvo un factor de seguridad por cortante inferior al 5%, pudiéndose afirmar que los esfuerzos por cortante en armaduras son despreciables por lo que no se hace uso de ellos en las hojas de esfuerzos. y no se mencionarán en lo sucesivo.

Debido a los fundamentos expuestos anteriormente, el cálculo de los factores de seguridad se llevó a cabo empleando las expresiones que para tal efecto estipula el AISC en lo relativo a los esfuerzos combinados de compresión axial y flexión (flexocompresión) y de tensión axial y flexión (flexotensión), basadas en la teoría del diseño elástico para elementos prismáticos en estructuras de acero, y que se enuncian en las siguientes hojas.

### ESFUERZOS POR CORTANTE:

$$f_v = \frac{v}{A_e} \quad f_v \leq F_v$$

$$F_v = 0.40 F_y$$

### ESFUERZOS AXIALES:

$$f_a = \frac{F}{A} \quad f_a \leq F_a$$

A) En tensión:

$$F_a = 0.60 F_y$$

B) En compresión:

$$\text{si: } \frac{K L}{r} < C_c \quad \therefore F_a = \frac{\left[ 1 - \frac{(K L/r)^2}{2 C_c^2} \right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(K L/r)}{8 C_c} - \frac{(K L/r)^3}{8 C_c^3}}$$

$$\text{si: } \frac{K L}{r} \geq C_c \quad \therefore F_a = \frac{12 \pi^2 E}{23 (K L/r)^2}$$

Donde :

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

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

**ESFUERZOS POR FLEXION :**

$$f_b = \frac{M}{S} \quad f_b \leq F_b$$

$$F_b = 0.60 F_y$$

Donde :

$$S = \frac{I}{\bar{x}}$$

**ESFUERZOS POR FLEXOCOMPRESION :**

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{(C_m)(f_b)}{\left[ 1 - \frac{f_a}{F'e} \right] F_b} \leq 1$$

Donde :

$$F'e = \frac{12 \pi^2 E}{23 (KL/r)^2}$$

**ESFUERZOS POR FLEXOTENSION :**

$$\frac{f_a}{0.60F_y} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1$$

Siendo :

**F<sub>y</sub>** = Esfuerzo de fluencia mínimo especificado del acero que se esté considerando para los perfiles estructurales ;  
2,530 kg/cm<sup>2</sup>, para acero A-36.  
3,235 kg/cm<sup>2</sup>, para tubo cuadrado (OR).  
3,515 kg/cm<sup>2</sup>, para perfiles formados en frio.

**E** = Módulo de elasticidad del acero igual a 2'039,000 kg/cm<sup>2</sup>.

**A<sub>e</sub>** = Area efectiva de la sección transversal para valuar el esfuerzo cortante.  
En perfiles laminados y en perfiles armados se puede calcular como el producto del peralte total por el espesor del alma, en cm<sup>2</sup>.

**A** = Area total de la sección transversal, en cm<sup>2</sup>.

**v** = Fuerza cortante, en kg.

**f<sub>v</sub>** = Esfuerzo producido por el cortante, en kg/cm<sup>2</sup>.

**F<sub>v</sub>** = Esfuerzo cortante permisible, en kg/cm<sup>2</sup>.

**F** = Fuerza axial, en kg.

**f<sub>a</sub>** = Esfuerzo debido a la fuerza axial, en kg/cm<sup>2</sup>.

- Fa** = Esfuerzo admisible para miembros sujetos a carga axial, en kg/cm<sup>2</sup>.
- KL/r** = Relación de esbeltez, adimensional.
- KL** = Longitud efectiva de pandeo, en cm.
- K** = Factor de longitud efectiva que depende de las condiciones del apoyo del miembro considerado, adimensional.
- L** = Longitud libre de pandeo del elemento sin arriostrar, en cm.
- r** = Radio de giro de la sección transversal. Para obtener el esfuerzo de compresión axial permisible, se utiliza el radio de giro menor con respecto respecto a los ejes centroidales. Para valorar el esfuerzo de Euler (F'e), se considera al radio de giro respecto al eje alrededor del cual se presenta la flexión; en cm.
- Cc** = Relación de esbeltez que separa el rango elástico del inelástico, conocido como Coeficiente de columna; adimensional.
- I** = Momento de inercia centroidal de la sección transversal con respecto al eje alrededor del cual se presenta la flexión; en cm<sup>4</sup>.
- M** = Momento producto de la flexión actuante, en kg/cm<sup>2</sup>.
- S** = Módulo de sección, en cm<sup>3</sup>. Es el valor obtenido de dividir el momento de inercia entre la distancia del eje centroidal considerado para la flexión, a la fibra mas alejada de la sección transversal. Para el caso de perfiles que no presentan simetría con respecto a dicho eje, como es el caso de angulos o de secciones compuestas, se considera S1 como el menor y S2 como el mayor.
- fb** = Esfuerzo de tensión o de compresión en las fibras extremas de los miembros, debido a la acción del momento flexionante, en kg/cm<sup>2</sup>.
- Fb** = Esfuerzo de flexión permisible, en kg/cm<sup>2</sup>.
- Cm** = Coeficiente que se aplica al término de flexión en la fórmula de interacción de esfuerzos combinados de flexocompresión y que depende de la curvatura del elemento, causada por la acción de los momentos que actúan en el; adimensional.
- Fé** = Esfuerzo de Euler dividido entre un factor de seguridad, en kg/cm<sup>2</sup>.

### **III.3.- DESARROLLO DE LA REVISION ESTRUCTURAL**

La revisión estructural se realizó partiendo de las cargas que se consideraron en el proyecto original, con apego a las cargas de diseño que especifican los reglamentos citados al inicio del capítulo.

Se tiene que el efecto de la acción del viento es producir una succión en el lado de sotavento, con dirección normal al plano que contiene la superficie de la cubierta. Se encontró que el valor de dicha succión es del orden de 40 kg/cm<sup>2</sup>, contrarrestada por mucho por la carga muerta de azotea.

La pendiente de 10.6% es suficiente para suponer que no ocurrirán acumulaciones pluviales que generen cargas adicionales. La zona geográfica de proyecto no impone el uso de cargas debidas al granizo por la poca probabilidad de que se presenten.

Durante una solicitud sísmica, las fuerzas que se inducen en el nivel de azotea son transmitidas hacia los muros que confinan la losa, ya que esta trabajará como una placa rígida y monolítica ligada a los muros. Además, Las armaduras principales no forman marcos estructurales con las columnas y el muro del eje 5. De cualquier forma, las armaduras pueden generar fuerzas horizontales perpendiculares a su plano, pero solo debidas a su peso propio. Estas fuerzas deberán ser tomadas por las vigas de contraventeo colocadas al nivel de la cuerda inferior, tomando en cuenta la contribución que proporcionan los largueros y la misma losa de azotea en el plano de la cuerda superior.

Por otro lado, la reglamentación en uso acepta un incremento de 33% en los esfuerzos permisibles para las combinaciones de carga que contemplen cargas accidentales, dando como resultado que la combinación de carga muerta más carga viva (Q) analizada como carga permanente, es la más desfavorable, en comparación con las posibles combinaciones que involucran

cargas accidentales actuando en la superestructura del auditorio, llegando a la determinación que la primera regirá el diseño de las trabes metálicas. A continuación se presenta el desglose de las cargas consideradas en la revisión estructural:

- Losacero tipo Romsa, Secc. 3	
Calibre 22 y con una capa de	
concreto de 4 cm de espesor: .....	135 kg/m <sup>2</sup>
- Impermeabilizante: .....	5 kg/m <sup>2</sup>
- Instalaciones: .....	20 kg/m <sup>2</sup>
- Carga viva máxima: .....	40 kg/m <sup>2</sup>
	<hr/>
	200 kg/m <sup>2</sup>
- Peso propio de la estructura: .....	50 kg/m <sup>2</sup>
	<hr/>
	<b>Q = 250 kg/m<sup>2</sup></b>

Verificando los valores anotados anteriormente se encontró que estos cumplen para la losacero y el impermeabilizante ya que existen catálogos de fabricantes para tal efecto. Referente a las instalaciones y el peso propio de la estructura, se tiene que ambos valores son estimativos; sin embargo, de acuerdo con los proyectos de acústica e iluminación del edificio, los cuales quedan fuera del alcance de esta tesis, se concluyó que la carga por instalaciones está valorada razonablemente. Para el caso del peso propio se presenta al final del capítulo el resumen de la cuantificación de la estructura metálica, en donde se comenta el grado de aproximación que se tuvo al estimar el valor considerado y el rango de tolerancia aplicable, tomando en cuenta que fue propuesto antes del diseño original definitivo. La carga viva de 40 kg/m<sup>2</sup> es la reglamentaria para las condiciones permanentes en losas de azoteas con pendiente superior al 5%.

Una vez que se determinó la carga total, se obtuvieron los valores de la carga de diseño con las que se revisaron cada tipo de las trabes metálicas. Como la totalidad de la carga producida por la losacero es recibida inicialmente por los largueros tipo LM-1 y LM-2, así como por las vigas de perfil IR, y teniendo en cuenta que la separación de dichos elementos, que corresponde al ancho tributario, es de 3.00 m, tenemos que la carga uniformemente distribuida para cada larguero es de :

$$w = 250 \text{ kg/m}^2 \times 3.00 \text{ m} = 750 \text{ kg/m}$$

Para las armaduras principales se observa que el valor de las cargas concentradas varía de acuerdo con la longitud de los largueros que se encuentran apoyados en ellas. En el caso de la armadura VM-A1 se tiene que los largueros coincidentes son el larguero LM-1A ubicado entre los ejes F y G, con un claro de 8.00 m, y el larguero LM-1B, ya sea el que está entre los ejes E y F ó el que se localiza entre los ejes G y H, con claro de 7.78 m. De esta forma, las cargas que estarán aplicadas en el apoyo de los largueros y que coinciden con la posición de los montantes, se idealizan como puntuales y su valor para este caso es de:

$$P = 250 \text{ kg/m}^2 \times 3.00 \text{ m} \times \frac{(8.00 + 7.78) \text{ m}}{2} = 5,918 \text{ kg}$$

De acuerdo con la conexión tipo entre los largueros y las armaduras principales presentada con anterioridad, se determinó que los apoyos de los largueros se consideraran a la mitad de los montantes extremos, denominados M-5. Debido a que la placa de unión no permite desplazamientos horizontales, los apoyos en los dos extremos del larguero, con respecto a los ejes coordenados XYZ, serán del tipo RRL, es decir restricción en X (horizontal), en Y (vertical) y libertad al giro alrededor del eje Z, que es el eje perpendicular al plano donde se produce la flexión. De forma similar y en base a los cortes A-A y C-C que

muestran los detalles de la unión de las armaduras principales en las columnas perimetrales y en el muro del eje 5 respectivamente, se tiene que las condiciones de apoyo serán RRL para el extremo de la cuerda superior en el muro y LRL en el extremo apoyado en la columna de concreto y para los extremos de la cuerda inferior.

Con base al plano de armaduras se obtuvieron las características geométricas de estos elementos estructurales; se numeraron los nudos y las barras de una forma progresiva y metódica para facilitar la lectura, y optimizar tiempo de procesamiento y requerimiento de memoria por parte del programa. Las coordenadas de los nudos se obtuvieron de acuerdo con la pendiente que presentan en la realidad: horizontal para los largueros e inclinada en  $6.6167^\circ$  para las armaduras principales. Los nudos origen y destino de las barras se vuelven implícitos en el momento de la numeración.

Posteriormente se calcularon las propiedades de las diferentes secciones transversales asociadas a cada miembro presentadas en la tabla de perfiles que está incluida en el plano de las armaduras, teniendo en cuenta la suma de los perfiles que los conforman. Por ejemplo, para las cuerdas de las armaduras principales se considera que la cubreplaca trabaja en conjunto a las dos canales a las que esta soldada y por lo tanto participa desde el cálculo del centroide de la sección total.

Para la longitud de cada barra se tomaron en cuenta las restricciones que proporcionan los miembros estructurales adyacentes, quedando definida como la distancia a los ejes de las cuerdas en montantes y diagonales. En el caso de las cuerdas, se tiene que existe una restricción natural en cada nudo dada por la unión existente con los miembros del alma, es decir, queda limitada por la modulación que presente; 3.00 m para las armaduras principales y 0.50 m para las secundarias.

De manera similar se tiene que en la consideración del radio de giro con respecto al eje al que la barra es mas susceptible al pandeo ( $r_{Menor}$  en las hojas de resultados), se ha tomado en cuenta la contribución que proporcionan, por un lado, los separadores en los montantes, y por otro, la losa apoyada a lo largo de toda la cuerda superior en los largueros. Para ambos se tiene que la contribución se refiere a la tendencia a evitar la deflexión del miembro en un plano diferente al analizado. En ambos casos el radio de giro menor será igual al radio de giro respecto al eje Z. Existen además otros elementos donde se cumple lo anterior debido a las características propias de la sección transversal, como son las cuerdas que presentan cubreplaca, las diagonales de los largueros formadas por dos ángulos en cajón y las diagonales de las armaduras principales, ya que estas últimas se encuentran dispuestas para trabajar con el momento de inercia menor.

Como los nudos de una armadura están limitados a la rotación en su plano longitudinal, parecería razonable usar el factor de longitud efectiva de pandeo (K), que para tal efecto proponen las diversas instituciones dedicadas al estudio del comportamiento de los materiales, para miembros a compresión con extremos restringidos, donde el valor teórico es de 0.50 y el recomendado de 0.65; sin embargo, el AISC sugiere que el uso de  $K = 1.0$  es razonable ya que si todos los miembros de una armadura alcanzaran su capacidad de carga última al mismo tiempo, las restricciones contra el desplazamiento de las barras se verían drásticamente reducidas. Por otro lado se tiene que adoptando el valor de 1.0 conservadoramente en los cálculos de  $f_a$  y  $F'_e$ , se absorben posibles inconsistencias debidas a la incertidumbre en los criterios aplicados, por ejemplo, para el alcance de las restricciones al pandeo en el plano normal que proporcionan los separadores, o en la selección del coeficiente de reducción por interacción ( $C_m$ ) incluido en la fórmula de miembros sujetos a flexocompresión.

Los perfiles auxiliares se revisaron para cumplir con las características de resistencia necesaria a los estados de esfuerzo a que estarán sometidos en cada caso particular.

Al tener completo el resumen de las propiedades geométricas y escogido los elementos mecánicos críticos de cada barra, se generaron los factores de seguridad correspondientes a cada armadura.

### **III.4.- RESULTADOS OBTENIDOS**

Con base en el desarrollo de la revisión estructural, se efectuaron los análisis de todas las armaduras tanto principales como secundarias. Debido a que la presentación del total de los cálculos representaría un volumen considerable de hojas y que los factores de seguridad entre armaduras del mismo tipo son similares, se exponen los resultados de la revisión mencionada solamente para las armaduras más representativas y que coinciden con los elementos estructurales de mayor claro, es decir la armadura principal VM-A1 y el larguero LM-1A, los cuales aparecen en las siguientes hojas. La secuencia como se exponen estos resultados es la siguiente:

- Figura con los esquemas de las armaduras, las cuales se hace necesario incluir como figuras de referencia con objeto de tener la ubicación de los nudos y principalmente de las barras.
- Despliegue de datos y resultados del programa para la obtención de los elementos mecánicos (solamente para la VM-A1), en la que el valor de las secciones intermedias de integración numérica en todos los miembros se fijó en la unidad, de tal manera que se tienen solo

tres valores por cada miembro, en los dos extremos y al centro, para la fuerza axial, cortante, momento flexionante y flecha.

- Propiedades geométricas y análisis de los esfuerzos inducidos para la obtención de los factores de seguridad estructural de la armadura principal y posteriormente del larguero.

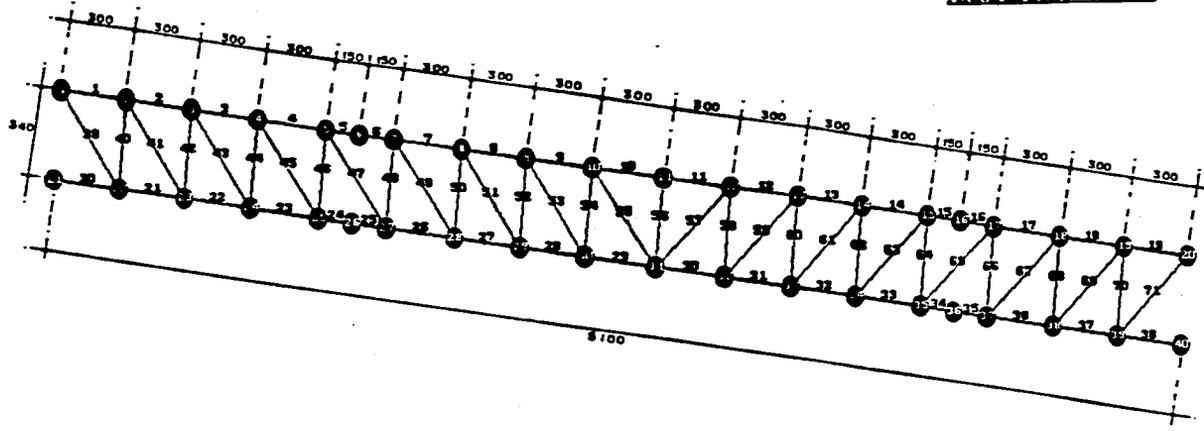
Se corroboran las condiciones de equilibrio de las retículas para evitar caer en indeterminaciones, y con el respaldo de la geometría que se observa en la figura III.1, se obtiene:

<u>Armadura</u>	<u>Barras</u>	<u>Nudos</u>	<u>Reacciones</u>	<u>Estado</u>
VM-A1	67	36	5	$B = 2(N) - R \therefore$ Isostática.
LM-1A	47	25	4	$B > 2(N) - R \therefore$ Hiperestática.

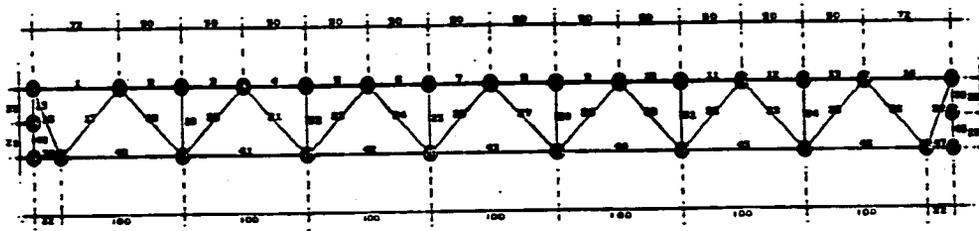
Se hace notar que no se deben tomar en cuenta los cuatro nudos intermedios de la cuerda superior en la armadura principal, ni los dos que presenta el larguero en sus montantes extremos, porque no son juntas estructurales; son nudos para delimitar la variación de la sección transversal por el cambio de cubreplaca, en el caso de la trabe primaria, y para considerar los apoyos del montante entre las cuerdas, en el caso del larguero, ya que es la situación proyectada en esos puntos. Los miembros adicionales que aparecen como consecuencia de la implantación de esos nudos tampoco deben intervenir en la cuantía de las barras.

Es interesante observar que si el larguero se encontrara simplemente apoyado en los extremos de alguna cuerda, sería una estructura isostática.

**ARMADURA VM-A1**



**LARGUERO LM-1A**



ACOTACIONES EN CENTIMETROS

**FIGURA III.1**

AUDITORIO T.G. ARMADURA VM-A1 ORIGINAL

=====

IDENTIFICACION: AUDITORIO T.G. ARMADURA VM-A1 ORIGINAL  
 Código: TVM-A1R

No. DE NUDOS.....: 40  
 TIPOS DE SECCIONES: 7  
 MIEMBROS.....: 71  
 ESTADOS DE CARGA..: 1  
 COMBINACIONES.....: 0

NUDOS	C O O R D E N A D A S		ESTADO
	X (m)	Y (m)	
1	0.363	9.002	L R L
2	3.343	8.656	L L L
3	6.323	8.310	L L L
4	9.303	7.965	L L L
5	12.283	7.619	L L L
6	13.773	7.446	L L L
7	15.263	7.273	L L L
8	18.243	6.928	L L L
9	21.223	6.582	L L L
10	24.203	6.236	L L L
11	27.183	5.891	L L L
12	30.163	5.545	L L L
13	33.143	5.199	L L L
14	36.123	4.853	L L L
15	39.103	4.508	L L L
16	40.593	4.335	L L L
17	42.083	4.162	L L L
18	45.063	3.816	L L L
19	48.043	3.471	L L L
20	51.023	3.125	R R L
21	0.000	5.877	L R L
22	2.980	5.531	L L L
23	5.960	5.185	L L L
24	8.940	4.840	L L L
25	11.920	4.494	L L L
26	13.410	4.321	L L L
27	14.900	4.148	L L L
28	17.880	3.803	L L L
29	20.860	3.457	L L L
30	23.840	3.111	L L L
31	26.820	2.765	L L L
32	29.800	2.420	L L L
33	32.780	2.074	L L L
34	35.760	1.728	L L L
35	38.740	1.383	L L L
36	40.230	1.210	L L L
37	41.720	1.037	L L L
38	44.700	0.691	L L L
39	47.680	0.346	L L L
40	50.660	0.000	L R L

AUDITORIO T.G. ARMADURA VM-A1 ORIGINAL

TIPOS DE SECCIONES

TIPO SEC	PARAMETROS ( m )	A
1 X	I=0.000164309	A=0.018047500
2 X	I=0.000183627	A=0.020270000
3 X	I=0.000028182	A=0.005188000
4 X	I=0.000026888	A=0.004336000
5 X	I=0.000006950	A=0.005700000
6 X	I=0.000001760	A=0.003630000
7 X	I=0.000000910	A=0.002280000

MIEMBROS

MIEMBRO	E X T R E M O S Ni-E	Nj-E	TIPO DE SECCION	MODULO E (T/m2)	NUMERO DE SECCIONES	longitud (m)
1	1 R	2 R	1	20'390,000	1	3.000
2	2 R	3 R	1	20'390,000	1	3.000
3	3 R	4 R	1	20'390,000	1	3.000
4	4 R	5 R	1	20'390,000	1	3.000
5	5 R	6 R	1	20'390,000	1	1.500
6	6 R	7 R	2	20'390,000	1	1.500
7	7 R	8 R	2	20'390,000	1	3.000
8	8 R	9 R	2	20'390,000	1	3.000
9	9 R	10 R	2	20'390,000	1	3.000
10	10 R	11 R	2	20'390,000	1	3.000
11	11 R	12 R	2	20'390,000	1	3.000
12	12 R	13 R	2	20'390,000	1	3.000
13	13 R	14 R	2	20'390,000	1	3.000
14	14 R	15 R	2	20'390,000	1	3.000
15	15 R	16 R	2	20'390,000	1	1.500
16	16 R	17 R	1	20'390,000	1	1.500
17	17 R	18 R	1	20'390,000	1	3.000
18	18 R	19 R	1	20'390,000	1	3.000
19	19 R	20 R	1	20'390,000	1	3.000
20	21 R	22 R	1	20'390,000	1	3.000
21	22 R	23 R	1	20'390,000	1	3.000
22	23 R	24 R	1	20'390,000	1	3.000
23	24 R	25 R	1	20'390,000	1	3.000
24	25 R	26 R	1	20'390,000	1	1.500
25	26 R	27 R	2	20'390,000	1	1.500
26	27 R	28 R	2	20'390,000	1	3.000
27	28 R	29 R	2	20'390,000	1	3.000
28	29 R	30 R	2	20'390,000	1	3.000
29	30 R	31 R	2	20'390,000	1	3.000
30	31 R	32 R	2	20'390,000	1	3.000
31	32 R	33 R	2	20'390,000	1	3.000
32	33 R	34 R	2	20'390,000	1	3.000
33	34 R	35 R	2	20'390,000	1	3.000
34	35 R	36 R	2	20'390,000	1	1.500
35	36 R	37 R	1	20'390,000	1	1.500
36	37 R	38 R	1	20'390,000	1	3.000
37	38 R	39 R	1	20'390,000	1	3.000
38	39 R	40 R	1	20'390,000	1	3.000
39	1 R	22 R	5	20'390,000	1	4.347
40	22 R	2 R	3	20'390,000	1	3.146
41	2 R	23 R	5	20'390,000	1	4.347
42	23 R	3 R	3	20'390,000	1	3.146

AUDITORIO T.G. ARMADURA VM-A1 ORIGINAL

MIEMBRO	E X T R E M O S		TIPO DE SECCION	MODULO E (T/m2)	NUMERO DE SECCIONES	longitud (m)
	Ni-E	Nj-E				
43	3 R	24 R	5	20'390,000	1	4.346
44	24 R	4 R	3	20'390,000	1	3.146
45	4 R	25 R	6	20'390,000	1	4.347
46	25 R	5 R	3	20'390,000	1	3.146
47	5 R	27 R	6	20'390,000	1	4.347
48	27 R	7 R	3	20'390,000	1	3.146
49	7 R	28 R	6	20'390,000	1	4.346
50	28 R	8 R	3	20'390,000	1	3.146
51	8 R	29 R	7	20'390,000	1	4.347
52	29 R	9 R	4	20'390,000	1	3.146
53	9 R	30 R	7	20'390,000	1	4.347
54	30 R	10 R	4	20'390,000	1	3.146
55	10 R	31 R	7	20'390,000	1	4.347
56	31 R	11 R	4	20'390,000	1	3.147
57	31 R	12 R	7	20'390,000	1	4.348
58	12 R	32 R	4	20'390,000	1	3.146
59	32 R	13 R	7	20'390,000	1	4.347
60	13 R	33 R	4	20'390,000	1	3.146
61	33 R	14 R	6	20'390,000	1	4.347
62	14 R	34 R	4	20'390,000	1	3.146
63	34 R	15 R	6	20'390,000	1	4.348
64	15 R	35 R	3	20'390,000	1	3.146
65	35 R	17 R	6	20'390,000	1	4.347
66	17 R	37 R	3	20'390,000	1	3.146
67	37 R	18 R	5	20'390,000	1	4.347
68	18 R	38 R	3	20'390,000	1	3.146
69	38 R	19 R	5	20'390,000	1	4.348
70	19 R	39 R	3	20'390,000	1	3.146
71	39 R	20 R	5	20'390,000	1	4.347

ESTADO DE CARGA 01 CARGA DE CUBIERTA Q=250 kg/m2

TP DR Del	Al		PARAMETROS ( T, m )			
CARGA ELEMENTO	INC					
AN EE 2	5	1	Fx=0.000	Fy=-5.918	Mz=0.000	
AN EE 7	15	1	Fx=0.000	Fy=-5.918	Mz=0.000	
AN EE 17	19	1	Fx=0.000	Fy=-5.918	Mz=0.000	

AUDITORIO T.G. ARMADURA VM-A1 ORIGINAL

NUDO	EC	CB	**D E S P L A Z A M I E N T O S**		ROTACION
			X (cm)	Y (cm)	Z (rad)
1	1		1.8766091	0.0000000	-0.0071506490
2	1		1.6015719	-2.0906613	-0.0067083159
3	1		1.3108163	-4.0423906	-0.0061590331
4	1		1.0125374	-5.8173707	-0.0057038244
5	1		0.7066131	-7.4551922	-0.0050264801
6	1		0.5563462	-8.1691583	-0.0046095724
7	1		0.4226151	-8.8043270	-0.0039628011
8	1		0.1695983	-9.8409680	-0.0030471241
9	1		-0.0610968	-10.6103093	-0.0020030602
10	1		-0.2528741	-11.0036095	-0.0007210368
11	1		-0.4008302	-11.0158579	0.0005646897
12	1		-0.5018631	-10.6202424	0.0019160875
13	1		-0.5550043	-9.8432349	0.0029812267
14	1		-0.5685674	-8.7889209	0.0039328649
15	1		-0.5343498	-7.4225660	0.0049583654
16	1		-0.4964386	-6.6308864	0.0055050727
17	1		-0.4596393	-5.7915004	0.0055790769
18	1		-0.3542151	-4.0267026	0.0060838893
19	1		-0.2007390	-2.0784765	0.0066227198
20	1		0.0000000	0.0000000	0.0070820819
21	1		0.1466709	0.0000000	-0.0057542726
22	1		-0.0580360	-1.7627871	-0.0062376730
23	1		-0.2501822	-3.7399372	-0.0063469016
24	1		-0.3912365	-5.5522182	-0.0057219205
25	1		-0.4894236	-7.2318655	-0.0050893279
26	1		-0.5153118	-7.9683631	-0.0046578190
27	1		-0.5383510	-8.6240160	-0.0040191657
28	1		-0.5413960	-9.7076268	-0.0030905247
29	1		-0.5007705	-10.5196255	-0.0020551287
30	1		-0.4098075	-10.9648939	-0.0007655268
31	1		-0.2684700	-11.0112913	0.0006027639
32	1		-0.0816466	-10.6297390	0.0019868544
33	1		0.1422089	-9.8633634	0.0030582008
34	1		0.3850368	-8.8178010	0.0039649870
35	1		0.6475805	-7.4754369	0.0049858269
36	1		0.7821918	-6.6872514	0.0055720901
37	1		0.9277621	-5.8503887	0.0056370240
38	1		1.2013333	-4.0869917	0.0061323129
39	1		1.4642885	-2.1343971	0.0067249001
40	1		1.7120612	0.0000000	0.0073811328

HB	NUDO	SECCION		F. AXIAL	CORTANTE	MOMENTO	FLECHA
		(m)	EC CB				
1	1	0.000	1	39.351	0.440	0.167	0.000
		1.500	1	39.351	0.440	-0.494	-0.017
	2	3.000	1	39.351	0.440	-1.154	0.000
2	2	0.000	1	78.157	0.627	0.327	0.000
		1.500	1	78.157	0.627	-0.613	-0.021
	3	3.000	1	78.157	0.627	-1.554	0.000
3	3	0.000	1	113.063	0.270	-0.103	0.000

AUDITORIO T.G. ARMADURA VM-A1 ORIGINAL

MB NUDO	SECCION (m)	EC	CB	F. AXIAL (T)	CORTANTE (T)	MOMENTO (T*m)	FLECHA (cm)
	1.500	1		113.063	0.270	-0.508	-0.017
4	3.000	1		113.063	0.270	-0.913	0.000
4	0.000	1		141.047	0.783	0.419	0.000
	1.500	1		141.047	0.783	-0.756	-0.025
5	3.000	1		141.047	0.783	-1.932	0.000
5	0.000	1		164.172	0.455	-0.590	0.000
	0.750	1		164.172	0.455	-0.931	-0.008
6	1.500	1		164.172	0.455	-1.273	0.000
6	0.000	1		164.172	0.455	-1.273	0.000
	0.750	1		164.172	0.455	-1.614	-0.012
7	1.500	1		164.172	0.455	-1.956	0.000
7	0.000	1		182.026	0.123	-0.958	0.000
	1.500	1		182.026	0.123	-1.143	-0.034
8	3.000	1		182.026	0.123	-1.328	0.000
8	0.000	1		193.461	0.554	-0.472	0.000
	1.500	1		193.461	0.554	-1.303	-0.039
9	3.000	1		193.461	0.554	-2.134	0.000
9	0.000	1		199.952	0.070	-1.496	0.000
	1.500	1		199.952	0.070	-1.600	-0.048
10	3.000	1		199.952	0.070	-1.704	0.000
10	0.000	1		200.550	0.095	-1.462	0.000
	1.500	1		200.550	0.095	-1.605	-0.048
11	3.000	1		200.550	0.095	-1.748	0.000
11	0.000	1		201.121	-0.153	-1.916	0.000
	1.500	1		201.121	-0.153	-1.687	-0.051
12	3.000	1		201.121	-0.153	-1.457	0.000
12	0.000	1		196.182	-0.517	-2.105	0.000
	1.500	1		196.182	-0.517	-1.329	-0.040
13	3.000	1		196.182	-0.517	-0.553	0.000
13	0.000	1		186.082	-0.143	-1.402	0.000
	1.500	1		186.082	-0.143	-1.188	-0.036
14	3.000	1		186.082	-0.143	-0.973	0.000
14	0.000	1		169.661	-0.459	-1.968	0.000
	1.500	1		169.661	-0.459	-1.280	-0.038
15	3.000	1		169.661	-0.459	-0.591	0.000
15	0.000	1		147.820	-0.800	-1.964	0.000
	0.750	1		147.820	-0.800	-1.365	-0.010
16	1.500	1		147.820	-0.800	-0.765	0.000
16	0.000	1		147.820	-0.800	-0.765	0.000
	0.750	1		147.820	-0.800	-0.165	-0.001
17	1.500	1		147.820	-0.800	0.434	0.000

AUDITORIO T.G. ARMADURA VM-A1 ORIGINAL

MB	NUDO	SECCION (m)	EC	CB	F.AXIAL (T)	CORTANTE (T)	MOMENTO (T*m)	FLECHA (cm)
17	17	0.000	1		121.212	-0.234	-0.915	0.000
		1.500	1		121.212	-0.234	-0.564	-0.019
	18	3.000	1		121.212	-0.234	-0.213	0.000
18	18	0.000	1		87.824	-0.700	-1.652	0.000
		1.500	1		87.824	-0.700	-0.602	-0.020
	19	3.000	1		87.824	-0.700	0.448	0.000
19	19	0.000	1		49.453	-0.477	-1.228	0.000
		1.500	1		49.453	-0.477	-0.513	-0.017
	20	3.000	1		49.453	-0.477	0.202	0.000
20	21	0.000	1		0.042	-0.360	-0.000	0.000
		1.500	1		0.042	-0.360	0.540	0.018
	22	3.000	1		0.042	-0.360	1.080	0.000
21	22	0.000	1		-45.588	1.465	2.320	0.000
		1.500	1		-45.588	1.465	0.122	0.004
	23	3.000	1		-45.588	1.465	-2.076	0.000
22	23	0.000	1		-83.782	0.093	-0.559	0.000
		1.500	1		-83.782	0.093	-0.698	-0.023
	24	3.000	1		-83.782	0.093	-0.837	0.000
23	24	0.000	1		-117.984	0.865	0.590	0.000
		1.500	1		-117.984	0.865	-0.706	-0.024
	25	3.000	1		-117.984	0.865	-2.003	0.000
24	25	0.000	1		-145.297	0.420	-0.649	0.000
		0.750	1		-145.297	0.420	-0.964	-0.008
	26	1.500	1		-145.297	0.420	-1.279	0.000
25	26	0.000	1		-145.297	0.420	-1.279	0.000
		0.750	1		-145.297	0.420	-1.594	-0.012
	27	1.500	1		-145.297	0.420	-1.909	0.000
26	27	0.000	1		-167.524	0.172	-0.901	0.000
		1.500	1		-167.524	0.172	-1.159	-0.035
	28	3.000	1		-167.524	0.172	-1.417	0.000
27	28	0.000	1		-184.614	0.500	-0.542	0.000
		1.500	1		-184.614	0.500	-1.292	-0.039
	29	3.000	1		-184.614	0.500	-2.042	0.000
28	29	0.000	1		-195.230	0.145	-1.392	0.000
		1.500	1		-195.230	0.145	-1.609	-0.048
	30	3.000	1		-195.230	0.145	-1.827	0.000
29	30	0.000	1		-200.790	0.089	-1.574	0.000
		1.500	1		-200.790	0.089	-1.708	-0.051
	31	3.000	1		-200.790	0.089	-1.842	0.000
30	31	0.000	1		-195.229	-0.201	-2.029	0.000
		1.500	1		-195.229	-0.201	-1.727	-0.052

AUDITORIO T.G. ARMADURA VM-A1 ORIGINAL

MB	NUDO	SECCION (m)	EC	CB	F. AXIAL (T)	CORTANTE (T)	MOMENTO (T*m)	FLECHA (cm)
	32	3.000	1		-195.229	-0.201	-1.426	0.000
31	32	0.000	1		-184.572	-0.504	-2.094	0.000
		1.500	1		-184.572	-0.504	-1.337	-0.040
	33	3.000	1		-184.572	-0.504	-0.580	0.000
32	33	0.000	1		-167.544	-0.220	-1.462	0.000
		1.500	1		-167.544	-0.220	-1.132	-0.034
	34	3.000	1		-167.544	-0.220	-0.802	0.000
33	34	0.000	1		-145.256	-0.349	-1.797	0.000
		1.500	1		-145.256	-0.349	-1.274	-0.038
	35	3.000	1		-145.256	-0.349	-0.751	0.000
34	35	0.000	1		-117.955	-0.879	-2.123	0.000
		0.750	1		-117.955	-0.879	-1.463	-0.011
	36	1.500	1		-117.955	-0.879	-0.804	0.000
35	36	0.000	1		-117.955	-0.879	-0.804	0.000
		0.750	1		-117.955	-0.879	-0.145	-0.001
	37	1.500	1		-117.955	-0.879	0.514	0.000
36	37	0.000	1		-83.862	-0.265	-0.950	0.000
		1.500	1		-83.862	-0.265	-0.553	-0.019
	38	3.000	1		-83.862	-0.265	-0.156	0.000
37	38	0.000	1		-44.963	-0.616	-1.586	0.000
		1.500	1		-44.963	-0.616	-0.662	-0.022
	39	3.000	1		-44.963	-0.616	0.262	0.000
38	39	0.000	1		0.057	-0.489	-1.466	0.000
		1.500	1		0.057	-0.489	-0.733	-0.025
	40	3.000	1		0.057	-0.489	0.000	0.000
39	1	0.000	1		-64.929	-0.063	-0.167	0.000
		2.174	1		-64.929	-0.063	-0.030	-0.050
	22	4.347	1		-64.929	-0.063	0.107	0.000
40	22	0.000	1		45.121	-0.775	-1.133	0.000
		1.573	1		45.121	-0.775	0.086	0.019
	2	3.146	1		45.121	-0.775	1.305	0.000
41	2	0.000	1		-54.038	-0.076	-0.176	0.000
		2.174	1		-54.038	-0.076	-0.012	-0.020
	23	4.347	1		-54.038	-0.076	0.153	0.000
42	23	0.000	1		40.457	-0.845	-1.364	0.000
		1.573	1		40.457	-0.845	-0.034	-0.007
	3	3.146	1		40.457	-0.845	1.295	0.000
43	3	0.000	1		-48.289	-0.065	-0.156	0.000
		2.173	1		-48.289	-0.065	-0.014	-0.024
	24	4.346	1		-48.289	-0.065	0.127	0.000

AUDITORIO T.G. ARMADURA VM-A1 ORIGINAL

MB	NUDO	SECCION (m)	EC	CB	F.AXIAL (T)	CORTANTE (T)	MOMENTO (T*m)	FLECHA (cm)
44	24	0.000	1		34.098	-0.824	-1.300	0.000
		1.573	1		34.098	-0.824	-0.003	-0.001
	4	3.146	1		34.098	-0.824	1.294	0.000
45	4	0.000	1		-38.350	-0.015	-0.039	0.000
		2.174	1		-38.350	-0.015	-0.005	-0.033
	25	4.347	1		-38.350	-0.015	0.029	0.000
46	25	0.000	1		28.188	-0.836	-1.326	0.000
		1.573	1		28.188	-0.836	-0.011	-0.002
	5	3.146	1		28.188	-0.836	1.303	0.000
47	5	0.000	1		-31.293	-0.014	-0.039	0.000
		2.174	1		-31.293	-0.014	-0.008	-0.055
	27	4.347	1		-31.293	-0.014	0.022	0.000
48	27	0.000	1		22.941	-0.621	-0.986	0.000
		1.573	1		22.941	-0.621	-0.010	-0.002
	7	3.146	1		22.941	-0.621	0.966	0.000
49	7	0.000	1		-23.966	-0.011	-0.032	0.000
		2.173	1		-23.966	-0.011	-0.007	-0.047
	28	4.346	1		-23.966	-0.011	0.018	0.000
50	28	0.000	1		16.951	-0.540	-0.857	0.000
		1.573	1		16.951	-0.540	-0.008	-0.002
	8	3.146	1		16.951	-0.540	0.841	0.000
51	8	0.000	1		-14.792	-0.004	-0.014	0.000
		2.174	1		-14.792	-0.004	-0.004	-0.054
	29	4.347	1		-14.792	-0.004	0.005	0.000
52	29	0.000	1		11.057	-0.404	-0.644	0.000
		1.573	1		11.057	-0.404	-0.009	-0.002
	9	3.146	1		11.057	-0.404	0.626	0.000
53	9	0.000	1		-7.828	-0.003	-0.012	0.000
		2.174	1		-7.828	-0.003	-0.005	-0.067
	30	4.347	1		-7.828	-0.003	0.001	0.000
54	30	0.000	1		5.719	-0.155	-0.252	0.000
		1.573	1		5.719	-0.155	-0.008	-0.002
	10	3.146	1		5.719	-0.155	0.236	0.000
55	10	0.000	1		0.348	-0.000	-0.006	0.000
		2.174	1		0.348	-0.000	-0.006	-0.072
	31	4.347	1		0.348	-0.000	-0.005	0.000
56	31	0.000	1		5.564	0.111	0.182	0.000
		1.574	1		5.564	0.111	0.007	0.001
	11	3.147	1		5.564	0.111	-0.169	0.000
57	31	0.000	1		-7.547	0.003	0.000	0.000
		2.174	1		-7.547	0.003	-0.006	-0.071

AUDITORIO T.G. ARMADURA VM-A1 ORIGINAL

MB	NUDO	SECCION (m)	EC	CB	F. AXIAL (T)	CORTANTE (T)	MOMENTO (T*m)	FLECHA (cm)
	12	4.348	1		-7.547	0.003	-0.011	0.000
58	12	0.000	1		10.975	0.413	0.637	0.000
		1.573	1		10.975	0.413	-0.012	-0.003
	32	3.146	1		10.975	0.413	-0.662	0.000
59	32	0.000	1		-14.840	0.005	0.006	0.000
		2.174	1		-14.840	0.005	-0.004	-0.054
	13	4.347	1		-14.840	0.005	-0.014	0.000
60	13	0.000	1		16.985	0.539	0.835	0.000
		1.573	1		16.989	0.539	-0.013	-0.003
	33	3.146	1		16.989	0.539	-0.861	0.000
61	33	0.000	1		-23.881	0.013	0.020	0.000
		2.174	1		-23.881	0.013	-0.007	-0.048
	14	4.347	1		-23.881	0.013	-0.034	0.000
62	14	0.000	1		22.892	0.614	0.961	0.000
		1.573	1		22.892	0.614	-0.006	-0.001
	34	3.146	1		22.892	0.614	-0.972	0.000
63	34	0.000	1		-31.397	0.015	0.024	0.000
		2.174	1		-31.397	0.015	-0.008	-0.054
	15	4.348	1		-31.397	0.015	-0.040	0.000
64	15	0.000	1		28.197	0.851	1.333	0.000
		1.573	1		28.197	0.851	-0.005	-0.001
	35	3.146	1		28.197	0.851	-1.343	0.000
65	35	0.000	1		-38.312	0.015	0.029	0.000
		2.174	1		-38.312	0.015	-0.005	-0.032
	17	4.347	1		-38.312	0.015	-0.038	0.000
66	17	0.000	1		34.159	0.840	1.311	0.000
		1.573	1		34.159	0.840	-0.011	-0.002
	37	3.146	1		34.159	0.840	-1.332	0.000
67	37	0.000	1		-48.115	0.067	0.132	0.000
		2.174	1		-48.115	0.067	-0.015	-0.024
	18	4.347	1		-48.115	0.067	-0.161	0.000
68	18	0.000	1		40.215	0.818	1.278	0.000
		1.573	1		40.215	0.818	-0.009	-0.002
	38	3.146	1		40.215	0.818	-1.296	0.000
69	38	0.000	1		-55.120	0.069	0.133	0.000
		2.174	1		-55.120	0.069	-0.016	-0.027
	19	4.348	1		-55.120	0.069	-0.165	0.000
70	19	0.000	1		45.921	0.973	1.511	0.000
		1.573	1		45.921	0.973	-0.019	-0.004
	39	3.146	1		45.921	0.973	-1.549	0.000

AUDITORIO T.G. ARMADURA VM-A1 ORIGINAL

MB	NUDO	SECCION (m)	EC	CB	F.AXIAL (T)	CORTANTE (T)	MOMENTO (T*m)	FLECHA (cm)
71	39	0.000	1		-63.735	0.088	0.179	0.000
		2.174	1		-63.735	0.088	-0.012	-0.019
	20	4.347	1		-63.735	0.088	-0.202	0.000

NUDO	EC	CB	R	E	A	C	C	I	O	N	E	S
					X (T)			Y (T)			Z (T*m)	
1	1				0.000			47.705			0.000	
20	1				-0.000			46.853			0.000	
21	1				0.000			-0.362			0.000	
40	1				0.000			0.492			0.000	

PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LOS ELEMENTOS QUE FORMAN LAS ARMADURAS

ARMADURA VM-A1 ORIGINAL

Nº de sección	Perfiles estructurales [mm, kg/m]	Fy [kg/cm <sup>2</sup> ]	Tipo de elemento	Longitud [m]	Area [cm <sup>2</sup> ]	$\bar{Z}$ [cm]	$\bar{I}_z$ [cm <sup>4</sup> ]	S <sub>1</sub> [cm <sup>3</sup> ]	S <sub>2</sub> [cm <sup>3</sup> ]	R <sub>plomer</sub> [cm]	K	KL/r	Cc	Fa [kg/cm <sup>2</sup> ]	R <sub>Z</sub> [cm]	Fc [kg/cm <sup>2</sup> ]
1	2 CE 254 X 44.64 + PL 350 X 19.1	2,530	Cuerda	3.000	180.48	9.56	16,430.9	926.0	1,718.5	9.54	1.0	31	126	1,394	9.54	10,621
2	2 CE 254 X 44.64 + PL 350 X 25.4	2,530	Cuerda	3.000	202.70	9.11	18,362.7	975.3	2,015.0	9.52	1.0	32	126	1,394	9.52	10,568
3	2 CE 203 X 20.46 Con separadores	2,530	Montante 1	3.146	51.88	10.16	2,818.2	277.4	277.4	7.37	1.0	43	126	1,333	7.37	5,763
4	2 CE 203 X 17.11 Con separadores	2,530	Montante 2	3.146	43.36	10.16	2,688.8	264.6	264.6	7.87	1.0	40	126	1,349	7.87	6,578
5	IR 254 X 44.8	2,530	Diagonal 1	4.347	57.00	7.40	695.0	93.9	93.9	3.49	1.0	124	126	677	3.49	677
6	IR 254 X 28.5	2,530	Diagonal 2	4.347	36.30	5.10	176.0	34.5	34.5	2.20	1.0	197	126	269	2.20	269
7	IR 254 X 17.9	2,530	Diagonal 3	4.347	22.80	5.05	91.0	18.0	18.0	2.00	1.0	218	126	*	2.00	222

\* Fuera de rango

ANÁLISIS DE LOS ESFUERZOS INDUCIDOS EN LAS ARMADURAS QUE COMPONEN LA TECHUMBRE

ARMADURA VM-A1 ORIGINAL

Barra N°	Sección asociada	Tipo de Elemento	Fuerza Axial (ton)	Momento Flexionante (ton-m)	fa (kg/cm²)	fb (kg/cm²)	fa/Fa	R	fa/Fa + R	Barra N°
1	1	Cuerda Superior	39.351	-1.154	218.04	67.15	0.156	0.038	0.195	1
2	1	Cuerda Superior	78.157	-1.354	433.06	90.43	0.311	0.053	0.363	2
3	1	Cuerda Superior	113.063	-0.913	626.47	53.13	0.449	0.032	0.481	3
4	1	Cuerda Superior	141.047	-1.932	781.53	112.42	0.561	0.068	0.628	4
5	1	Cuerda Superior	164.172	-1.273	909.67	74.08	0.652	0.045	0.698	5
6	2	Cuerda Superior	164.172	-1.956	809.93	97.07	0.581	0.059	0.640	6
7	2	Cuerda Superior	182.026	-1.328	898.01	63.91	0.644	0.040	0.685	7
8	2	Cuerda Superior	193.461	-2.134	954.42	103.91	0.685	0.065	0.750	8
9	2	Cuerda Superior	199.952	-1.704	986.44	84.57	0.708	0.052	0.760	9
10	2	Cuerda Superior	200.550	-1.748	989.39	86.75	0.710	0.054	0.763	10
11	2	Cuerda Superior	201.121	-1.916	992.21	95.09	0.712	0.059	0.771	11
12	2	Cuerda Superior	196.182	-2.105	967.84	104.47	0.694	0.064	0.759	12
13	2	Cuerda Superior	186.082	-1.402	918.02	69.58	0.659	0.043	0.701	13
14	2	Cuerda Superior	169.661	-1.968	837.01	97.67	0.600	0.059	0.660	14
15	2	Cuerda Superior	147.820	-1.964	729.26	97.47	0.523	0.059	0.582	15
16	1	Cuerda Superior	147.820	-0.765	819.06	44.52	0.587	0.027	0.614	16
17	1	Cuerda Superior	121.212	-0.913	671.63	53.24	0.482	0.032	0.514	17
18	1	Cuerda Superior	87.824	-1.652	486.63	96.13	0.349	0.056	0.405	18
19	1	Cuerda Superior	49.453	-1.228	274.02	71.46	0.197	0.041	0.238	19
20	1	Cuerda Inferior	0.042	1.080	0.23	62.85	0.000	0.035	0.035	20
21	1	Cuerda Inferior	-45.588	2.320	-252.60	-250.54	0.166	0.163	0.331	21
22	1	Cuerda Inferior	-83.782	-0.837	-464.23	-48.71	0.306	0.032	0.338	22
23	1	Cuerda Inferior	-117.984	-2.003	-653.74	-116.56	0.431	0.077	0.507	23
24	1	Cuerda Inferior	-145.297	-1.279	-805.08	-74.43	0.530	0.049	0.579	24
25	2	Cuerda Inferior	-145.297	-1.909	-716.81	-94.74	0.472	0.062	0.535	25
26	2	Cuerda Inferior	-167.524	-1.417	-826.46	-70.32	0.544	0.046	0.591	26
27	2	Cuerda Inferior	-184.614	-2.042	-910.77	-101.34	0.600	0.067	0.667	27
28	2	Cuerda Inferior	-195.230	-1.827	-963.15	-90.67	0.634	0.060	0.694	28
29	2	Cuerda Inferior	-200.790	-1.842	-990.58	-91.41	0.653	0.060	0.713	29
30	2	Cuerda Inferior	-195.229	-2.029	-963.14	-100.69	0.634	0.066	0.701	30
31	2	Cuerda Inferior	-184.572	-2.094	-910.57	-103.92	0.600	0.068	0.668	31
32	2	Cuerda Inferior	-167.344	-1.462	-826.56	-72.56	0.545	0.048	0.592	32
33	2	Cuerda Inferior	-145.256	-1.797	-716.61	-89.18	0.472	0.059	0.531	33
34	2	Cuerda Inferior	-117.955	-2.123	-581.92	-105.36	0.383	0.069	0.453	34
35	1	Cuerda Inferior	-117.955	-0.804	-653.58	-46.79	0.431	0.031	0.461	35
36	1	Cuerda Inferior	-83.862	-0.950	-464.67	-55.28	0.306	0.036	0.343	36
37	1	Cuerda Inferior	-44.963	-1.586	-249.14	-92.29	0.164	0.061	0.225	37
38	1	Cuerda Inferior	0.057	-1.466	0.32	158.31	0.000	0.089	0.089	38
39	5	Diagonal 1	-64.929	-0.167	-1139.11	-177.81	0.750	0.117	0.868	39
40	3	Montante 1	45.121	1.305	869.72	470.47	0.652	0.310	0.963	40
41	5	Diagonal 1	-54.038	-0.176	-948.04	-187.40	0.625	0.123	0.748	41
42	3	Montante 1	40.457	-1.364	779.82	491.74	0.585	0.318	0.903	42
43	5	Diagonal 1	-48.289	-0.156	-847.18	-166.10	0.558	0.109	0.668	43
44	3	Montante 1	34.098	-1.300	657.25	468.67	0.493	0.296	0.789	44
45	6	Diagonal 2	-38.350	-0.039	-1056.47	-113.01	0.696	0.074	0.770	45
46	3	Montante 1	28.188	-1.326	543.33	478.04	0.407	0.296	0.703	46

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

ANÁLISIS DE LOS ESFUERZOS INDUCIDOS EN LAS ARMADURAS QUE COMPONEN LA TECHUMBRE

ARMADURA VM-A1 ORIGINAL

Barra N°	Sección asociada	Tipo de Elemento	Fuerza Axial (ton)	Momento Flexionante (ton-m)	fa (kg/cm²)	fb (kg/cm²)	fa/Fa	R	fa/Fa + R	Barra N°
46	3	Montante 1	28.188	-1.326	543.33	478.04	0.407	0.296	0.703	46
47	6	Diagonal 2	-31.293	-0.039	-862.07	-113.01	0.568	0.074	0.643	47
48	3	Montante 1	22.941	-0.986	442.19	353.47	0.332	0.216	0.547	48
49	6	Diagonal 2	-23.966	-0.032	-660.22	-92.73	0.435	0.061	0.496	49
50	3	Montante 1	16.951	-0.857	326.73	308.56	0.245	0.183	0.428	50
51	7	Diagonal 3	-14.792	-0.014	-648.77	-77.69	0.427	0.051	0.479	51
52	4	Montante 2	11.057	-0.644	235.00	243.34	0.189	0.142	0.331	52
53	7	Diagonal 3	-7.828	-0.012	-343.33	-66.59	0.226	0.044	0.270	53
54	4	Montante 2	5.719	-0.252	131.90	95.22	0.098	0.054	0.152	54
55	7	Diagonal 3	0.348	-0.006	15.26	33.30	*	*	*	55
56	4	Montante 2	5.564	0.182	128.32	68.77	0.095	0.039	0.134	56
57	7	Diagonal 3	-7.547	-0.011	-331.01	-61.04	0.218	0.040	0.258	57
58	4	Montante 2	10.975	-0.662	233.11	250.15	0.188	0.146	0.333	58
59	7	Diagonal 3	-14.840	-0.014	-630.88	-77.69	0.429	0.051	0.480	59
60	4	Montante 2	16.989	-0.861	391.81	325.34	0.290	0.194	0.484	60
61	6	Diagonal 2	-23.881	-0.034	-657.88	-98.52	0.433	0.065	0.498	61
62	4	Montante 2	22.892	-0.972	527.95	367.28	0.391	0.224	0.615	62
63	6	Diagonal 2	-31.397	-0.040	-864.93	-115.91	0.570	0.076	0.646	63
64	3	Montante 1	28.197	-1.343	543.30	484.17	0.408	0.299	0.707	64
65	6	Diagonal 2	-38.312	-0.038	-1055.43	-110.11	0.695	0.073	0.768	65
66	3	Montante 1	34.159	-1.332	658.42	480.20	0.494	0.304	0.797	66
67	3	Diagonal 1	-48.115	-0.161	-844.12	-171.42	0.336	0.113	0.669	67
68	3	Montante 1	40.215	-1.296	775.15	467.23	0.381	0.302	0.884	68
69	3	Diagonal 1	-35.120	-0.165	-967.02	-175.68	0.637	0.116	0.753	69
70	3	Montante 1	45.921	-1.549	885.14	558.44	0.664	0.369	1.033	70
71	3	Diagonal 1	-63.735	-0.202	-1118.16	-215.08	0.737	0.142	0.879	71

\* Fuera de rango

FLECHA MAXIMA (NUDO 31) = 11.01 cm < FLECHA PERMISIBLE = 14.17 cm

PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LOS ELEMENTOS QUE FORMAN LAS ARMADURAS

L A R G U E R O L M - I A O R I G I N A L

Nº de sección	Perfiles estructurales [mm. kg/m]	Fy [kg/cm <sup>2</sup> ]	Tipo de elemento	Longitu [m]	Area [cm <sup>2</sup> ]	$\bar{Z}$ [cm]	$\bar{I}_z$ [cm <sup>4</sup> ]	S <sub>1</sub> [cm <sup>3</sup> ]	S <sub>2</sub> [cm <sup>3</sup> ]	R <sub>Menor</sub> [cm]	K	KL/r	Cc	Fa [kg/cm <sup>2</sup> ]	R <sub>z</sub> [cm]	Fc [kg/cm <sup>2</sup> ]
1	2 L1 64 X 6	2,530	Cuerda	0.500	15.36	1.83	58.28	12.89	31.85	1.95	1.0	26	126	1,422	1.95	15,935
2	2 L1 38 X 5 en cajón	2,530	Diagonal	0.681	6.86	1.91	13.39	7.03	7.03	1.40	1.0	49	126	1,297	1.40	4,419
3	2 L1 38 X 5	2,530	Montante	0.463	6.86	1.12	9.16	3.41	8.18	0.73	1.0	63	126	1,202	1.16	6,940
4	2 PL 150 X 6	2,530	M.extremo	0.463	18.00	7.50	337.50	45.00	45.00	0.27	1.0	171	126	357	4.33	91,839
5	2 L1 64 X 6	2,530	Cuerda sup	0.720	15.36	1.83	58.28	12.89	31.85	1.95	1.0	37	126	1,365	1.95	7,685

ANÁLISIS DE LOS ESFUERZOS INDUCIDOS EN LAS ARMADURAS QUE COMPONEN LA TECHUMBRE

LARGUERO LM-1A ORIGINAL

Barra N°	Sección asociada	Tipo de Elemento	Fuerza Axial [ton]	Momento Flexionante [ton-m]	fa [kg/cm²]	fb [kg/cm²]	fa/Fa	R	fa/Fa + R	Barra N°
1	5	Cuerda Superior	1.308	0.064	85.16	496.36	0.062	0.281	0.343	1
2	1	Cuerda Superior	6.127	0.013	398.89	116.33	0.280	0.067	0.347	2
3	1	Cuerda Superior	6.163	-0.021	401.24	65.94	0.282	0.038	0.320	3
4	1	Cuerda Superior	9.346	-0.024	608.46	75.36	0.428	0.044	0.472	4
5	1	Cuerda Superior	9.368	-0.026	609.90	81.64	0.429	0.048	0.476	5
6	1	Cuerda Superior	10.962	-0.027	713.67	84.78	0.302	0.050	0.351	6
7	1	Cuerda Superior	10.969	-0.028	714.13	87.92	0.302	0.052	0.354	7
8	1	Cuerda Superior	10.969	-0.028	714.13	87.92	0.302	0.052	0.354	8
9	1	Cuerda Superior	10.962	-0.027	713.67	84.78	0.302	0.050	0.351	9
10	1	Cuerda Superior	9.368	-0.026	609.90	81.64	0.429	0.048	0.476	10
11	1	Cuerda Superior	9.346	-0.024	608.46	75.36	0.428	0.044	0.472	11
12	1	Cuerda Superior	6.163	-0.021	401.24	65.94	0.282	0.038	0.320	12
13	1	Cuerda Superior	6.127	0.013	398.89	116.33	0.280	0.067	0.347	13
14	5	Cuerda Superior	1.308	0.064	85.16	496.36	0.062	0.281	0.343	14
15	4	Mont. Extremo	2.389	0.060	132.72	133.33	0.372	0.075	0.446	15
16	2	Diagonal	-2.272	0.010	-331.20	-142.27	0.218	0.094	0.312	16
17	2	Diagonal	3.583	0.006	522.59	85.36	0.403	0.034	0.437	17
18	2	Diagonal	-2.963	-0.005	-431.92	-71.14	0.285	0.047	0.331	18
19	3	Montante	0.342	0.008	49.85	234.93	0.041	0.133	0.174	19
20	2	Diagonal	2.454	0.004	357.73	56.91	0.276	0.035	0.310	20
21	2	Diagonal	-1.873	-0.005	-273.03	-71.14	0.180	0.047	0.227	21
22	3	Montante	0.348	0.005	50.73	146.83	0.042	0.083	0.125	22
23	2	Diagonal	1.373	0.004	200.15	56.91	0.154	0.033	0.188	23
24	2	Diagonal	-0.793	-0.004	-115.60	-56.91	0.076	0.037	0.114	24
25	3	Montante	0.348	0.002	50.73	58.73	0.042	0.033	0.075	25
26	2	Diagonal	0.290	0.003	42.27	42.68	0.033	0.024	0.057	26
27	2	Diagonal	0.290	-0.003	42.27	42.68	0.033	0.024	0.057	27
28	3	Montante	0.348	0.002	50.73	58.73	0.042	0.033	0.075	28
29	2	Diagonal	-0.793	0.004	-115.60	-56.91	0.076	0.037	0.114	29
30	2	Diagonal	1.373	-0.004	200.15	56.91	0.154	0.033	0.188	30
31	3	Montante	0.348	0.005	50.73	146.83	0.042	0.083	0.125	31
32	2	Diagonal	-1.873	0.005	-273.03	-71.14	0.180	0.047	0.227	32
33	2	Diagonal	2.454	-0.004	357.73	56.91	0.276	0.035	0.310	33
34	3	Montante	0.342	0.009	49.85	264.30	0.041	0.149	0.191	34
35	2	Diagonal	-2.963	0.005	-431.92	-71.14	0.285	0.047	0.331	35
36	2	Diagonal	3.583	-0.006	522.59	85.36	0.403	0.034	0.437	36
37	2	Diagonal	-2.272	-0.010	-331.20	-142.27	0.218	0.094	0.312	37
38	4	Mont. Extremo	2.389	0.060	132.72	133.33	0.372	0.075	0.446	38
39	1	Cuerda Inferior	-0.252	0.070	-16.41	-542.90	0.011	0.358	0.368	39
40	1	Cuerda Inferior	-3.894	-0.018	-253.52	-56.52	0.167	0.037	0.204	40
41	1	Cuerda Inferior	-7.913	-0.023	-515.17	-72.22	0.339	0.048	0.387	41
42	1	Cuerda Inferior	-10.324	-0.022	-672.14	-69.08	0.443	0.046	0.489	42
43	1	Cuerda Inferior	-11.128	-0.020	-724.48	-62.80	0.477	0.041	0.519	43

ANÁLISIS DE LOS ESFUERZOS INDUCIDOS EN LAS ARMADURAS QUE COMPONEN LA TECHUMBRE

LARGUERO LM-1A ORIGINAL

Barra N°	Sección asociada	Tipo de Elemento	Fuerza Axial (ton)	Momento Flexionante (ton-m)	$f_a$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$f_b$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$f_a/F_a$	R	$f_a/F_a + R$	Barra N°
44	1	Cuerda Inferior	-10.324	-0.022	-672.14	-69.08	0.443	0.046	0.489	44
45	1	Cuerda Inferior	-7.913	-0.023	-515.17	-72.22	0.339	0.048	0.387	45
46	1	Cuerda Inferior	-3.894	-0.018	-253.32	-56.52	0.167	0.037	0.204	46
47	1	Cuerda Inferior	-0.252	0.070	-16.41	-542.90	0.011	0.358	0.369	47
48	4	Mont. Extremo	-0.401	-0.070	-22.28	-155.56	0.015	0.102	0.117	48
49	4	Mont. Extremo	-0.401	0.070	-22.28	-155.56	0.015	0.102	0.117	49

FLECHA MAXIMA (NUDO 22) = 0.93 cm < FLECHA PERMISIBLE = 2.07 cm

Teniendo en cuenta los factores de seguridad presentados anteriormente, se pueden realizar las siguientes observaciones:

**Armadura principal VM-A1.-** no se registran resultados que pudieran suponer falla de algún elemento estructural debido a que el factor de seguridad nunca es superior a la unidad, a excepción de la barra N° 70 donde el valor es de 1.033 y está representada por el primer montante en el lado del apoyo en el muro; en este caso el excedente que se tiene es muy pequeño (se podría interpretar como un 3.3%) como para considerar que el miembro originará algún tipo de inestabilidad real a la estructura y mucho menos para suponer que existe riesgo de colapso. Sin embargo, desde el punto de vista del concepto de esfuerzo permisible inscrito en la teoría elástica, la barra no cumple los requerimientos de seguridad estructural.

Además se detectó que la diagonal numerada como 55 se encuentra sometida a compresión. Esta situación es inapropiada particularmente para este elemento ya que la relación  $KL/r$  asociada es de 218, y a pesar de que el esfuerzo actuante es muy bajo, no es aceptable que un miembro cuya relación de esbeltez sea superior a 200 esté sujeta a esfuerzos de compresión, ya que de acuerdo con la teoría, por muy pequeña que sea la fuerza axial se inducirá una falla por aplastamiento al originarse incrementos sucesivos del esfuerzo por las deformaciones producidas. El factor de seguridad en este miembro queda entonces indeterminado y esa es la razón por la que en las hojas de resultados el esfuerzo a compresión permisible, y los parámetros que dependen de él, se marcan con un asterisco, indicando que están fuera del rango de aplicabilidad de las fórmulas.

Las cuerdas superior e inferior muestran factores máximos de 0.771 y 0.713, respectivamente, que de forma aproximada se presentan en las barras centrales de esos elementos; estos valores van disminuyendo a medida que se acercan a los apoyos y se puede decir que se encuentran relativamente sobradas.

La misma situación se presenta para las diagonales y montantes, donde solamente los miembros comprendidos dentro de los primeros cuatro módulos de cada extremo presentan factores bastante aceptables, a diferencia de las barras restantes que se extienden hacia la parte central de la trabe.

La flecha máxima que se produciría aproximadamente al centro del claro es de 11 cm y resulta menor que la permisible, por lo que no existen problemas en este sentido.

Para que el plano de la sección transversal mantenga una rigidez razonable, principalmente durante el montaje, se recomienda que el ancho total de la sección transversal a la altura de la cuerda inferior sea cuando menos  $L/125$ ; esta armadura ejemplifica ese límite con un valor de 40.8 centímetros.

**Armadura secundaria LM-1A.-** prácticamente a golpe de vista se observa que todos los componentes de este tipo de trabe se encuentran muy excedidos en el proporcionamiento de los perfiles de diseño. Solamente algunas barras tienen factores superiores a 0.500, lo que representa que los elementos no alcanzan a desarrollar ni siquiera la mitad de su resistencia.

Como es de esperarse en una armadura que se encuentra excedida, en este larguero tampoco se tienen desplazamientos significativos.

Con objeto de contar con un parámetro adicional para valorar el grado de excedente en las secciones proyectadas, y sin entrar en conceptos estadísticos complejos, se comenta que el promedio de los factores de seguridad de la totalidad de las barras es de 0.564 para la armadura VM-A1 y de escasamente 0.315 para el larguero LM-1A.

Considerando que para los largueros siguientes, LM-1B, LM-1C y LM-1D no existen cambios de secciones a pesar de ir disminuyendo en claro, se hace evidente que dichas traveses se encuentran aún más excedidas; además, como los resultados de las armaduras principales son muy similares a la que se ha presentado, se puede concluir que en forma generalizada el sistema estructural que soporta a la techumbre del Auditorio se encuentra sobrediseñada.

A manera de corolario de la revisión estructural se llevó a cabo la cuantificación de todos los elementos de acero contenidos en el área de la sala, calculando por un lado el peso bruto de estructura integrado por las traveses de alma abierta principales y secundarias, así como las vigas de perfil IR, y por otro lado el peso de las placas y perfiles auxiliares que contribuyen a proporcionar mayor rigidez, ya sea local como es el caso de los atiesadores y separadores, o para la estructura desde el punto de vista de sistema, consistente en los contraventeos laterales. A continuación se presenta el resumen de la cuantificación mencionada.

**RESUMEN DE PESO PROPIO DE ESTRUCTURA METALICA****AREA DE LA SALA*****DISEÑO ORIGINAL***

<b>ELEMENTO</b>	<b>CLARO [m]</b>	<b>PESO UNITARIO [ton]</b>	<b>Nº DE PIEZAS</b>	<b>W TOTAL [ton]</b>
ARMADURA VM-A1	51.00	19.402	2	38.804
ARMADURA VM-A2	48.00	18.231	2	36.462
ARMADURA VM-B	45.00	15.027	2	30.054
ARMADURA VM-C	39.00	8.882	2	17.764
LARGUERO LM-1A	8.00	0.272	19	5.168
LARGUERO LM-1B	7.78	0.266	32	8.512
LARGUERO LM-1C	7.14	0.243	34	8.262
LARGUERO LM-1D	6.11	0.211	30	6.330
LARGUERO LM-2A	8.90	0.342	4	1.368
LARGUERO LM-2B	8.60	0.329	4	1.316
LARGUERO LM-2C	8.20	0.314	2	0.628
VIGA V-C1	4.40	0.105	2	0.210
VIGA V-C2	3.00	0.072	2	0.144
VIGA V-C3	2.50	0.060	2	0.120
<b>TOTAL DE PESO BRUTO :</b>				<b>155.142</b>
VIGAS DE CONTRAVENTE EN ARMADURAS :				12.521
SEPARADORES EN MONTANTES DE ARMADURAS :				1.489
ATIESADORES EN CUERDAS DE ARMADURAS :				0.627
PLACAS DE UNION ENTRE ARMADURAS Y LARGUEROS :				1.004
VARILLAS DE CONTRAVENTE EN LARGUEROS :				0.568
<b>TOTAL DE PERFILES AUXILIARES :</b>				<b>16.209</b>
<b>TOTAL DE ESTRUCTURA METALICA :</b>				<b>171.351 ton</b>

**TABLA III.1**

Verificando el valor de la carga muerta por unidad de superficie correspondiente al peso propio de la estructura metálica que soporta a la cubierta en la zona en estudio del Auditorio, se tiene que para el área respectiva de  $2,982\text{m}^2$  y la carga total de 171.351 toneladas, el índice que se obtiene es de  $57\text{ kg/m}^2$ . Cabe señalar que este valor representaría el índice real de la carga porque está incluyendo a los perfiles auxiliares los cuales son diseñados después de haberse obtenido las secciones de proyecto de cada armadura; si se les desprecia utilizando únicamente el total del peso bruto con la finalidad de poder determinar la validez de la propuesta inicial de  $50\text{ kg/m}^2$  en las cargas originales de diseño, se tendrá un número muy cercano al anteriormente citado de  $52\text{ kg/m}^2$ .

La variación derivada de estas consideraciones es entonces de un 4.0% para el peso propio de la estructura y de solamente 0.8% para la carga total de la cubierta, lo que nos conduciría a concluir que en términos prácticos la diferencia resultante en las cargas de diseño no es significativa como para pensar que los resultados en cuanto a factores de seguridad se verían afectados.

## **CAPITULO IV**

### **PROPUESTA DE MODIFICACION AL PROYECTO**

## **IV.1.- CONSIDERACIONES**

De acuerdo con los resultados obtenidos en la revisión de todas las armaduras y en la que se pudo concluir que estaban sobrediseñadas por los bajos factores de seguridad estructural, particularmente en los largueros, se encontró adicionalmente al revisar el catálogo del fabricante de la losacero, que no existe especificación en la sobrecarga permisible si va a salvar un claro de 3.0 metros, para la losacero de sección 3, calibre 22 y recubierta con 4 centímetros de concreto, es decir, no es recomendable por el fabricante en base a las pruebas que se realizan, las cuales son certificadas por instituciones autorizadas y acreditadas, para la obtención de los valores de sobrecarga que pueden soportar este tipo de estructuras prefabricadas sin que se presenten deformaciones considerables que pudieran poner en riesgo de colapso a la losa.

Existe además otra especificación aplicable a la disposición que presenta el espaciamiento de los largueros consistente en la necesidad de realizar un apuntalamiento temporal al centro de los claros mientras se realice el colado del concreto, lo que obviamente incrementaría los costos de la colocación y se presentaría la necesidad de incluir un sistema de andamiaje especial dados los niveles de proyecto que se tienen en la techumbre del Auditorio.

De esta manera se llegó a la determinación de adecuar el sistema estructural que sirve de soporte a la cubierta, considerando en primer término respetar los requerimientos arquitectónicos, pero buscando la optimización de todos los componentes que integran al sistema de soporte.

Debido a que uno de estos requerimientos son las características que posee la losa de proyecto para cumplir, entre otras funciones, un aislamiento mínimo del ruido exterior que debe de tener un inmueble destinado a los usos propios de un auditorio, las modificaciones se circunscriben solamente a la estructura metálica sobre la que se apoya la cubierta y no a esta. En los siguientes

puntos se exponen los cambios propuestos a la estructura localizada en el área de la sala.

La metodología que se siguió para diseñar las nuevas armaduras se basa en la realización de procesos iterativos; de las traveses originales se pasa a una propuesta inicial de modificación en cuanto a la geometría en el plano longitudinal y a los perfiles asociados a cada tipo de elemento.

En este paso se toman en cuenta los resultados que haya arrojado la revisión estructural de la armadura original en cuestión para poder valorar el grado de ajuste que se tendrá. En seguida se efectúa la revisión de la armadura propuesta y en función de los nuevos resultados que se tengan se repiten las correcciones en los perfiles y/o geometría indefinidamente hasta que se logren resultados satisfactorios.

En el diseño de las nuevas estructuras se ha introducido el criterio de considerar el peso propio en forma independiente para cada trabe y no formando parte de la carga de cubierta  $Q$ . Esto se justifica plenamente al observar que desde el momento en que se sugieren las secciones de los elementos queda definido automáticamente el peso que le corresponde y no hay necesidad de realizar estimaciones aproximadas en cuanto al peso unitario del sistema estructural.

La carga debida al peso propio total de una armadura podría suponerse como una carga uniforme distribuida solo en la cuerda superior, en la inferior o en ambas. También sería válido aplicarla como fuerzas concentradas proporcionales en todos los nudos, como se acostumbra en los métodos tradicionales de análisis de este tipo de elementos estructurales. Pero definitivamente, la manera más exacta para considerar el efecto de la carga mencionada en las traveses de alma abierta es que a cada barra se le aplique su peso individualmente, porque esta es la condición que representa la realidad.

De esta forma todos los miembros presentarán cargas uniformes distribuidas en su longitud, tomando en cuenta el efecto de la inclinación para asegurar que la dirección de dichas cargas sea siempre vertical. Cada vez que se modifiquen las secciones en el proceso de propuesta - revisión, se le asociará el nuevo peso correspondiente con lo que en los cálculos estará presente el peso real en todo momento.

Para la selección de los elementos mecánicos que darán origen a los factores de seguridad se contemplaron solo los que resultan de la combinación de los dos estados de carga.

El diseño se considera óptimo para una barra específica cuando el factor de seguridad correspondiente se encuentre lo mas cercano posible a la unidad, pero sin excederla; esto quiere decir que no se contará con un perfil inmediato inferior para el que el miembro analizado pueda cumplir con la condición anteriormente citada, y tomando en cuenta solamente los perfiles comerciales que sean de fabricación común para evitar caer en una falta de disponibilidad de material, ya que resultaría contraproducente el ahorro obtenido en la reducción de la secciones si aumenta el costo al solicitarse perfiles especiales.

Todas las conexiones en las juntas de los miembros del alma con las cuerdas se conservarán, así como los tipos de soldadura contemplados en el proyecto original.

Se ha descartado la presencia de inversión de esfuerzos que pudiera ocasionar fallas por fatiga en el acero, porque la única fluctuación probable de cargas se limita a la carga viva presente en la azotea del Auditorio; esta variación es muy baja como para alterar el sentido de las fuerzas internas de cualquier elemento.

Tampoco se tomaron en cuenta las deformaciones por variación de temperatura en la estructura porque se encuentra aislada por la losa de concreto que es la que toma los incrementos del exterior, y el diferencial de temperatura que se presentará dentro del auditorio no merece mayor consideración.

La primera modificación que se hace necesario realizar es la disposición que presentan en planta las traveses metálicas. Se observa que sería inconveniente realizar cambios en la posición que presentan las armaduras principales porque derivaría en un cambio de la ubicación de las columnas de concreto sobre las que se apoyan en uno de sus extremos. En cambio, en la otra dirección se debe reducir el espaciamiento existente entre las armaduras secundarias para evitar la utilización del apuntalamiento temporal durante la colocación de la losa de azotea.

Del nuevo arreglo que se tenga en la distribución de los largueros dependerá en gran medida la modulación que presenten las nuevas armaduras primarias; aprovechando que estas se encuentran un poco excedidas en cuanto a las secciones originales y que la flecha no es significativa para ocasionar problemas de estabilidad, se tomó la decisión de aumentar los módulos de 3.00 m a 3.40 m.

De esta forma se tiene que al menos existe un larguero que se apoye entre dos nudos consecutivos de la cuerda superior en todas las armaduras de este tipo, y la nueva separación entre las traveses secundarias se ajustará a la mitad de los nuevos paneles de las traveses principales, correspondiendo a una separación equidistante de 1.70 m.

## **IV.2.- LARGUEROS**

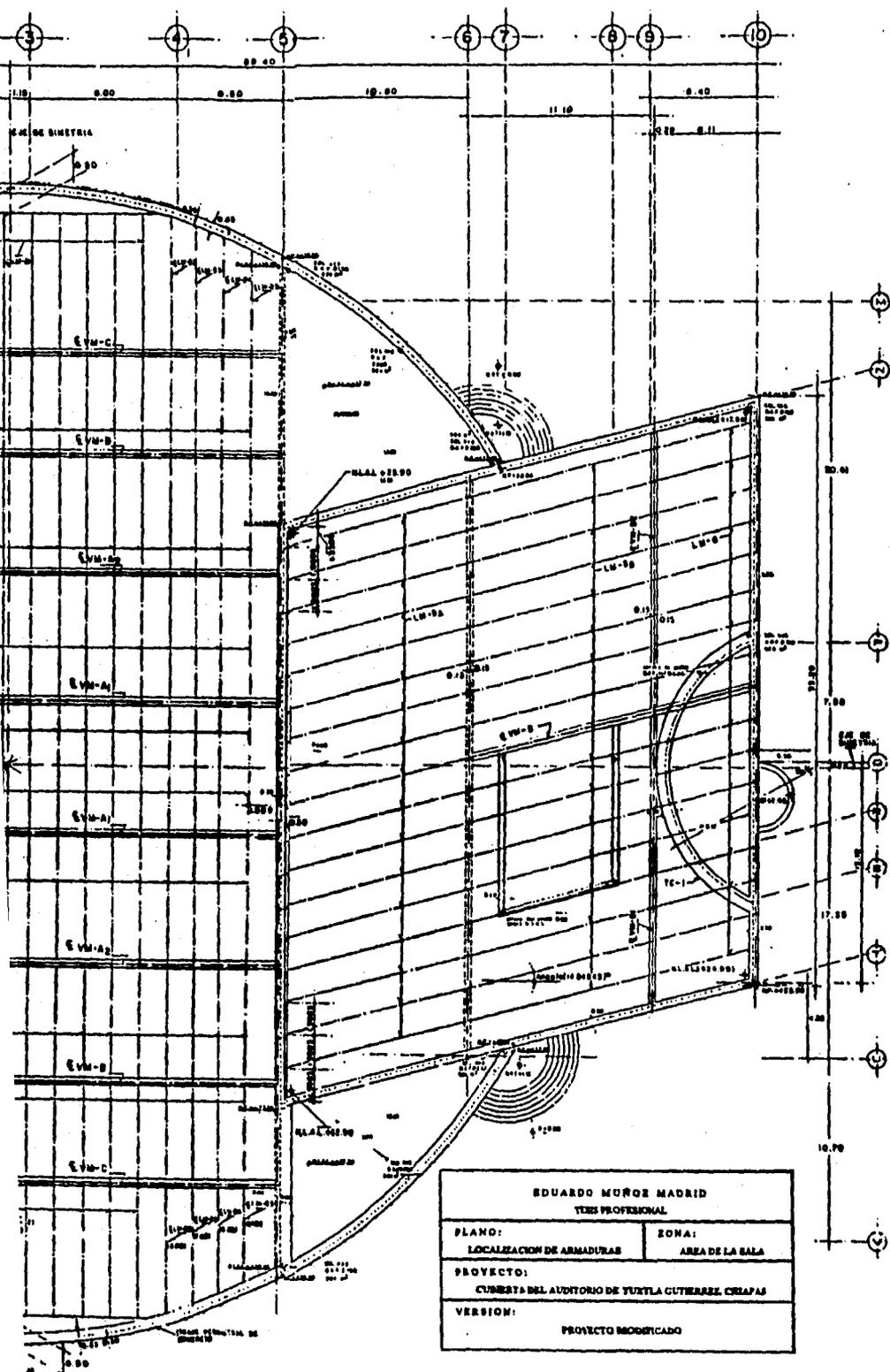
De las conclusiones de la revisión estructural tenemos que estas estructuras no tienen por qué ser iguales en cuanto a secciones para las trabes de diferentes claros; además, de la reducción en el espaciamiento se desprende que aparecerán largueros con diferentes claros en las proximidades del muro circular del Auditorio y primordialmente en los espacios comprendidos con las armaduras tipo VM-C, donde se encontraban las armaduras secundarias LM-2 y las vigas Vc.

Se procedió entonces a realizar un diseño particular para todos los elementos que varían en longitud. Como consecuencia de la diferenciación se presenta la necesidad de incluir una nueva nomenclatura para este tipo de trabes, por lo que se numeraron empezando en el larguero LM-1A original llamándolo ahora simplemente LM-1; el LM-1B pasa a ser LM-2 y así sucesivamente con los que se cuenta con un mayor número de piezas, pasando por los LM-5 y LM-6 que han quedado fuera del área de la sala ubicándose en la cubierta del área de servicios y finalizando con los largueros perimetrales hasta el LM-25.

En estas zonas se ha agregado un segmento de losa apoyada en el muro circular que es intersectada por el eje de simetría próximo al eje 3, y cuya finalidad es dar soporte a un sistema de bocinas que no se habían contemplado en el proyecto de acústica, quedando limitado el claro de las 22 trabes secundarias mas grandes en ese sector (LM-21) a 8.35 m.

La nueva localización de las armaduras y las adaptaciones consecuentes se observan en el plano siguiente, donde aparece la planta del nivel de la techumbre del auditorio.





<b>EDUARDO MUÑOZ MADRID</b> TERCER PROFESIONAL	
PLANO: LOCALIZACION DE ARMADURAS	ZONA: AREA DE LA SALA
PROYECTO: CUBIERTA DEL AUDITORIO DE TURTLA GUTIERREZ, CIEFAPAS	
VERSION: PROYECTO MODIFICADO	

Ya que las cargas consideradas en el diseño original se conservarán, a excepción del peso propio, la nueva carga por unidad de superficie será de  $Q = 200 \text{ kg/m}^2$ .

Aplicando este valor con la reducción del ancho tributario definido en el punto anterior, encontramos que la carga uniformemente distribuida de diseño para todas las trabes secundarias es ahora de:

$$w = 200 \text{ kg/m}^2 \times 1.70 \text{ m} = 340 \text{ kg/m}$$

Se estima conveniente cambiar las condiciones de apoyo que originalmente se tenían contempladas, principalmente por dos razones:

1. Los apoyos articulados que presentaban los largueros en las uniones con las trabes primarias propicia que se produzcan reacciones en la dirección horizontal, diferentes entre largueros tipo, que al ser tomadas por las armaduras principales les pueden generar inestabilidades laterales o problemas de torsión innecesarios. Además las cuerdas de los largueros tienden a reducir su esfuerzo de trabajo.
2. La sección de la lámina que integra la losa de acero está diseñada para trabajar solo en una dirección y debe suponerse paralela a la pendiente que sigue la cubierta del Auditorio, de tal forma que el claro que salve sea el de la separación de los largueros; observando la conexión general entre armaduras secundarias y principales presentada en el capítulo anterior, se tiene que existe un desnivel en el espacio comprendido entre los límites de los largueros que se unen a las armaduras VM. Este espacio sería como mínimo de 43 centímetros y provocaría asentamientos en la losa de azotea.

**La alternativa de solución que se adoptará en todos los casos consiste en eliminar la placa de conexión y extender la cuerda superior de los largueros por encima de la cubreplaca de las traves principales. De esta forma se tiene que la losa se encontrará apoyada de manera continua.**

**La prolongación de la cuerda superior se limita a 18 centímetros por lado para dejar una separación de 4 centímetros entre largueros tipo, buscando que estas traves trabajen ahora como simplemente apoyadas. Esta condición se garantiza soldando solamente uno de los extremos de la cuerda y dejando el otro con libertad de desplazamiento horizontal para lograr el estado de apoyo RRL en un lado y LRL en el otro.**

**Bajo la certeza de que estos elementos estructurales se encontraban excedidos y aunado a la reducción de la carga uniforme de diseño en poco más del 50%, se llegó a la determinación de prescindir de los montantes verticales, reducir el número de módulos, y emplear una sección transversal compuesta por un solo ángulo de lados iguales (L1) tanto para las cuerdas como para las diagonales.**

**Como el ángulo que formará la cuerda superior tendría el patín de contacto en posición perpendicular a la cubreplaca donde se apoyará, se vuelve esencial soldar otro ángulo de la misma designación transformando a la cuerda en una sección cajón, solo en la longitud del extremo extendido.**

**Ya que la sección transversal de los largueros debe seguir la inclinación que presenta la losa originando desplazamiento lateral en el extremo libre, se colocarán segmentos de perfil L1, espalda con espalda y soldados a la cubreplaca de las armaduras principales como soporte en este sentido.**

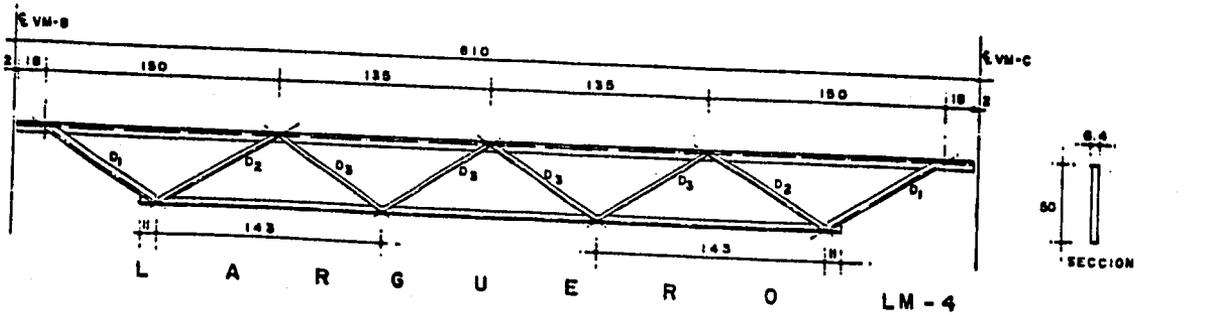
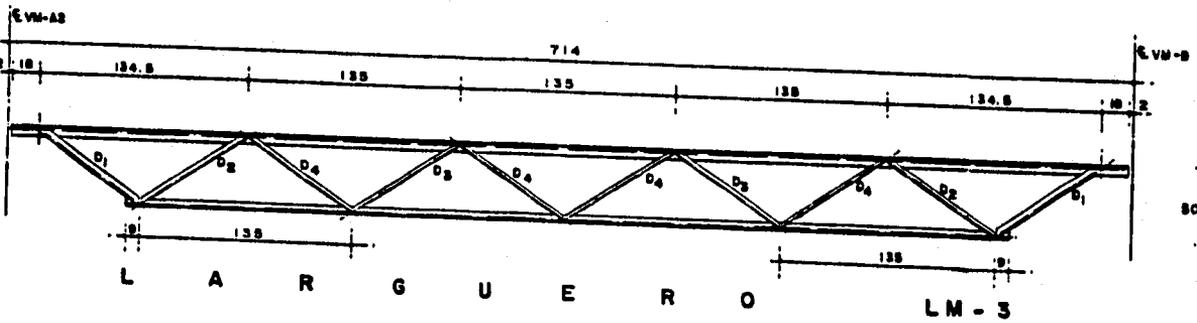
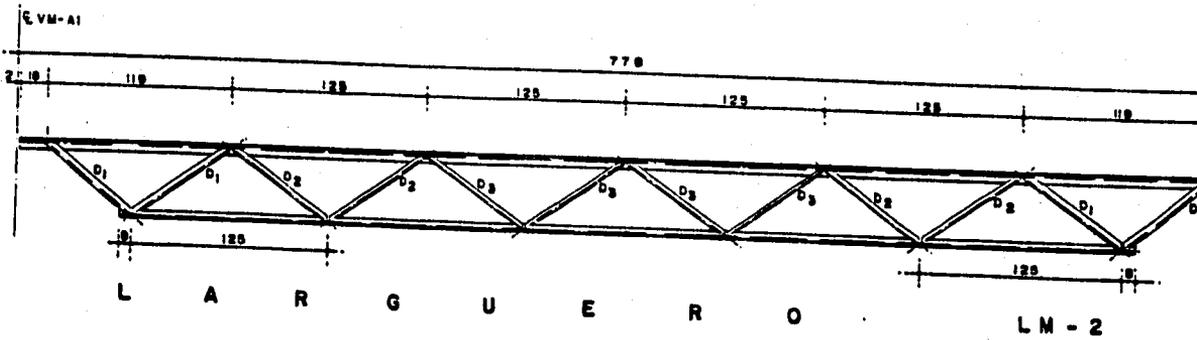
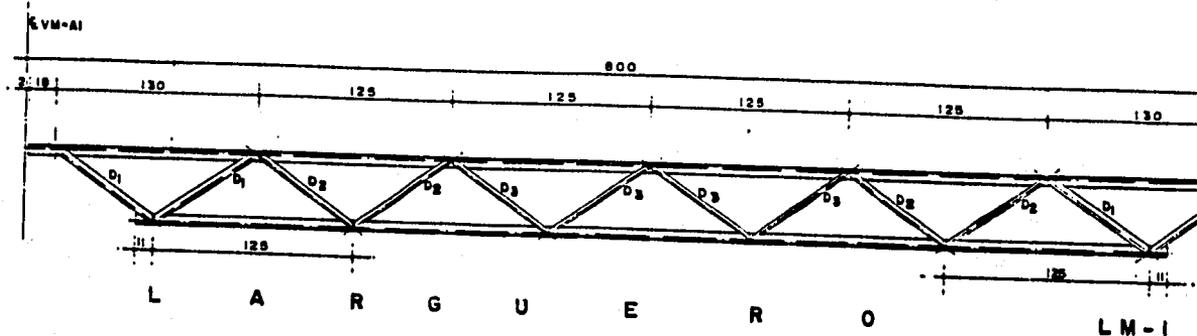
**El peralte se conservó constante en 0.50 m para todas las traves con objeto de no sobrepasar la flecha permisible.**

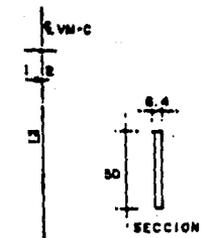
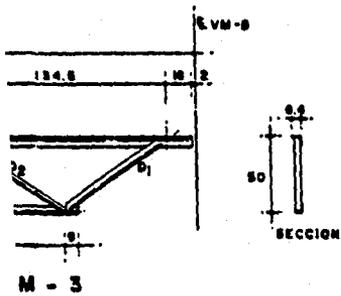
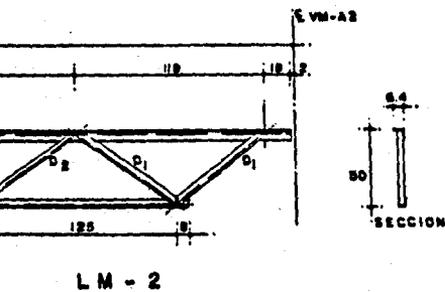
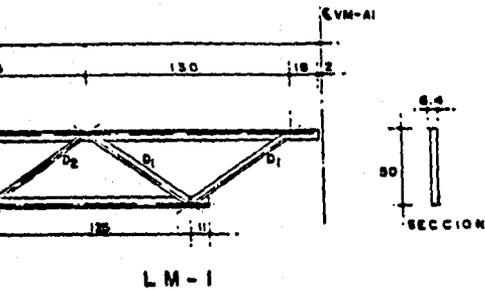
Se buscó además que el ajuste en la longitud se tuviera en los módulos de los extremos, para que coincida la fuerza axial mínima de la cuerda superior, que está sometida a compresión, con el menor esfuerzo permisible. Finalmente el número de módulos queda de 6 para el LM-1 y el LM-2, de 5 para el LM-3 y de 4 para el LM-4.

Se plantea la posibilidad de cambiar las varillas de contraventeo que se tenían concebidas como cruces entre las armaduras principales, reemplazándolas por redondos lisos del mismo diámetro (OS 15.9), pero en pares, colocadas en forma ortogonal a las armaduras secundarias, a la altura del segundo nudo de la cuerda inferior y prolongadas hasta los muros colindantes. Con esta medida se evita la continuidad de la cuerda inferior de los largueros a través del alma de las trabes principales. Para proveer un contraventeo sin movimiento, las varillas deberán ser tensadas con templadores, próximamente al diez por ciento de su esfuerzo de fluencia y verificándose por medio de un dinamómetro para garantizar que trabajarán a tensión.

Como resultado de las iteraciones realizadas para la obtención de los nuevos perfiles de diseño, se llegó al arreglo final que se exhibe en el siguiente plano formado por los largueros 1 a 4, y donde se aprecia la notable disminución en el número de barras que integran a estas armaduras secundarias.

Más adelante se presentarán los resultados del cálculo del nuevo larguero LM-1, como respaldo de las modificaciones aquí anotadas.





ELEMENTO	LARGUERO			
	LM-1	LM-2	LM-3	LM-4
CUERDA SUPERIOR	L164 X 6	L164 X 6	L164 X 6	L164 X 6
CUERDA INFERIOR	L151 X 5	L151 X 5	L151 X 3	L151 X 3
DIAGONAL D-1	L151 X 5	L151 X 5	L151 X 5	L151 X 5
DIAGONAL D-2	L138 X 3	L138 X 3	L151 X 3	L151 X 3
DIAGONAL D-3	L132 X 3	L132 X 3	L132 X 3	L125 X 3
DIAGONAL D-4	---	---	L125 X 3	---

- NOTAS GENERALES**
- 1.- ACOTACIONES EN CENTIMETROS.
  - 2.- NOMECLATURA DE LOS PERFILES LAMINADOS DE ACUERDO AL MANUAL DE CONSTRUCCION EN ACERO (IMCA A.C. LIMUSA 1990, 2ª EDICION).
  - 3.- DESIGNACION DE LOS PERFILES EN MILIMETROS Y/O KILOGRAMOS / METRO.
  - 4.- ACERO ESTRUCTURAL SEGUN NORMA NOM B-254 (A-36 ASTM), CON LIMITE ELASTICO MINIMO IGUAL A 2530 kg/cm<sup>2</sup>.
  - 5.- SOLDADURA CON LIMITE ELASTICO MINIMO IGUAL A 4,000 kg/cm<sup>2</sup>.
  - 6.- ESTE PLANO SERVIRA COMO BASE PARA LOS PLANOS DE TALLER.

<b>EDUARDO MUÑOZ MADRID</b> TESIS PROFESIONAL	
PLANO: LARGUEROS	ZONA: AREA DE LA SALA
PROYECTO: CUBIERTA DEL AUDITORIO DE TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS	
VERSION: PROYECTO MODIFICADO	

### **IV.3.- ARMADURAS PRINCIPALES**

Referente a las armaduras tipo VM encontramos que ya se cuenta con una modulación definida, producto del nuevo espaciamiento de los largueros. Sin embargo, se presenta la oportunidad de aumentar la separación de los nudos en las cuerdas de la parte central eliminando los montantes en esa zona, aprovechando que los elementos que constituyen el alma estarán sometidos a las fuerzas axiales mas bajas de toda la trabe.

Las diagonales adyacentes cambian de sentido para dar la continuidad en el alma de la armadura, y la distancia aumenta a 6.80 m, el doble de la que existe en los extremos.

En los tramos centrales de la cuerda superior se tienen entonces tres fuerzas concentradas aplicadas en el espacio internodal provocando un aumento de los esfuerzos de flexión en este elemento. Hacia los lados se tiene solo una carga actuando en el centro de las conexiones y el resto si estará aplicada directamente en los nudos.

Como consecuencia del equilibrio estático que la estructura buscará mantener, las diagonales que cambien de orientación tomarán las fuerzas de compresión que tenían los montantes suprimidos. En vista de que las diagonales originales de perfil IR no tienen la capacidad para resistir los esfuerzos así generados, porque se encuentran dispuestas para trabajar en el eje del momento menor de inercia, las nuevas diagonales estarán compuestas por dos perfiles, siendo lo más recomendable utilizar canales estándar (CE), con lo que se tendrá entonces que todos los miembros de las armaduras principales se compondrán de este tipo de perfiles. Se tienen contempladas cuatro diagonales diferentes en cada tipo de armadura principal con la intención de aprovechar al máximo el dimensionamiento.

La nueva longitud de los paneles se basó en la división del claro de la trabe VM-A1, provocando una asimetría en las armaduras restantes, incluyendo la VM-A2, la cual se ha diseñado en forma independiente a la primera, en comparación con la propuesta del proyecto original. El módulo de ajuste de cada una se presenta en el extremo que se apoya en las columnas perimetrales, por la lógica consideración de mantener la simultaneidad de las juntas de la cuerda superior con los ejes de larguero, a través de la extensión de la cubierta.

Por lo que respecta al cambio de perfiles en el resto de los elementos, se tiene que de los montantes verticales que quedaron en la nueva configuración se reducirá el número de piezas formadas por montantes tipo 1, dependiendo de la variación de los esfuerzos producidos a lo largo de las armaduras. Solo se tienen dos tipos de estos elementos.

Las secciones de las cuerdas se han conservado a excepción de la cuerda inferior de la armadura VM-B en la que se consiguió decrecer el perfil nominal. Las cubreplacas que prácticamente abarcaban la total extensión de las cuerdas se han recortado en todas las trabes, principalmente en la cuerda inferior, teniéndose tramos de hasta 5 módulos sin cubreplaca en este sector. Aún así el espesor se logró reducir substancialmente en la mayoría de las cuerdas menos en la cuerda superior de la VM-A1 y en la de la VM-C.

Para mantener la superficie de contacto de la losa en un plano se torna necesario colocar calzas en las porciones de la cuerda superior donde se apoyen los largueros y exista un decremento en el espesor de la cubreplaca o no cuente con ella; cada calza estaría formada por segmentos de placa con un ancho de 10 cm y el espesor que sea necesario para igualar la cubreplaca de mayor grosor proyectada en la cuerda en cuestión, de manera que todos los largueros que llegan queden a un mismo nivel.

El ancho de la sección transversal de estas traveses se podría reducir un poco a partir de la armadura VM-A2, ya que se encontraba limitada por el peralte de las diagonales que unían a las cuerdas. Para que no perdiera rigidez en el plano de dicha sección, solamente se ajustó el espacio existente entre las canales de las cuerdas para que el ancho de la trabe quede redondeado a 40 cm en todas las piezas.

El peralte de 3.40 m de las armaduras sin contar la cubreplaca, se mantuvo solamente para la VM-A1, en la que los desplazamientos verticales calculados no permitían que se realizase una reducción significativa en este sentido. A partir de la VM-A2 se logró disminuir el peralte del resto de estas traveses a 3.00 m.

Como se busca asegurar que las armaduras trabajarán como simplemente apoyadas para evitar la transmisión de reacciones horizontales y de momento a las columnas de concreto y al muro del eje 5, se sugiere mantener el apoyo que se tiene contemplado en el muro, pero colocar una capa de neopreno como medio de unión entre la placa anclada a la columna y la placa que se extiende desde la cuerda superior para formar el apoyo. El neopreno elimina la resistencia al cortante que se presentaría entre las placas si se encontraran soldadas directamente, suministrando la flexibilidad necesaria para absorber deformaciones longitudinales, emulando la función de los pernos de anclaje colocados a través de placas ranuradas en los apoyos de algunas armaduras. Como alternativa se puede colocar una capa de teflón en vez de la capa de neopreno, siendo una opción menos económica.

En cuanto a las piezas auxiliares se encontró conveniente conservar la sección de los atiesadores en las cuerdas cuya función es evitar las deformaciones en los patines, formados por placas de 50 X 8 mm y de aproximadamente 220 mm correspondiente al espacio entre los patines de las canales que forman las cuerdas, al no presentar problemas de pandeo local y

colocándolos solo en los sitios donde quedan soldados a tope los montantes verticales. En los nudos donde se conectan las diagonales no son necesarios porque estas son soldadas a las canales de las cuerdas por la parte externa del alma. Tampoco se colocarán en los puntos donde se apoyan los largueros porque en base a un análisis se comprobó que la fuerza que transmiten no es suficiente para que se presenten problemas de pandeo local en los patines ni en el alma.

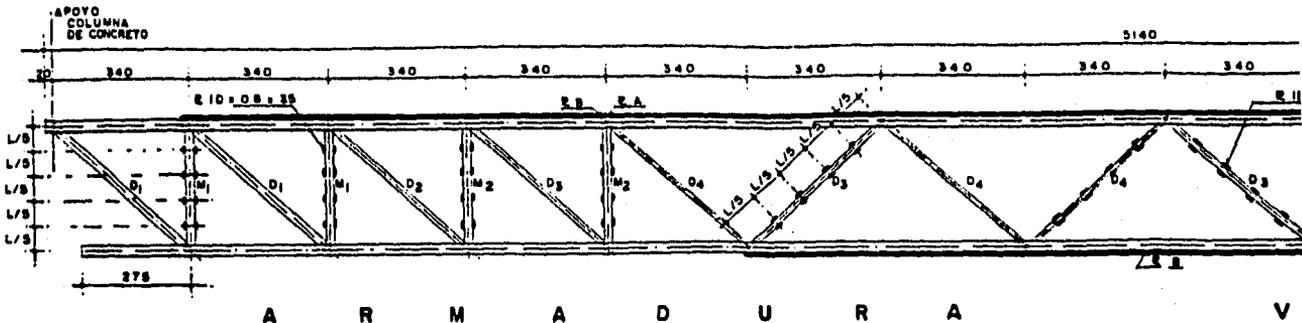
Se mantienen de igual forma las dimensiones de la placas definidas como separadores constituidos por placas de 350 X 100 X 8 mm, para el caso de los montantes verticales. De la nueva geometría que presentan las traveses primarias se desprende la necesidad de incluir separadores en las diagonales, aunque solo para las que trabajarán a compresión; el espesor será el mismo, y la longitud de las placas se reduce a 250 mm debido a que la distancia que tienen entre si el par de canales que forman la diagonal es menor a la de los montantes. La situación inversa se presenta para valorar el ancho de la placa, ya que la longitud de las barras es mayor en las diagonales, aumentando el ancho a 150 mm.

El mínimo número de pares de separadores que tendrá cada barra se encuentra condicionado a que con ellos se garantice que el pandeo ocurrirá primero alrededor del eje de mayor inercia. Para obtener la distancia a la que se colocarán, se debe tener ya calculada la sección para la que la barra satisface las condiciones de seguridad al emplear el radio de giro correspondiente al plano analizado ( $r_z$ ) y suponiendo que la condición ha quedado satisfecha. Después, se comparan los valores de  $KL/r$  con los que resultan de utilizar el radio de giro menor y variando la longitud con  $L/2$ ,  $L/3$ , etc., hasta que la relación de esbeltez sea menor a la que se utilizó en el diseño, es decir, que  $KL/r_z > K(L/n)/r_{Menor}$ . En todos los miembros del alma sujetos a compresión de las armaduras principales se obtuvo que hasta que  $n$  asume el valor de 5 se cumple lo anterior y por lo tanto se deben colocar cuando menos 4 pares de las placas definidas en el párrafo anterior, tanto en los montantes como en las diagonales a compresión.

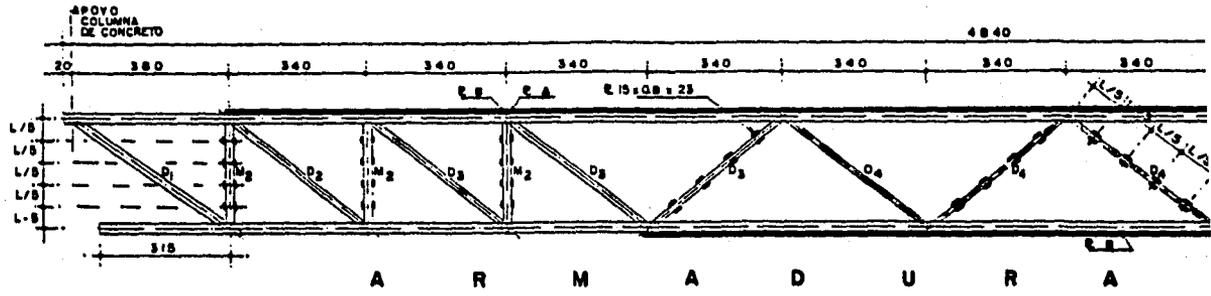
Los contraventeos laterales de estas trabes representan el mayor volumen de los perfiles auxiliares y al igual que la mayoría de los elementos estructurales en el auditorio se encuentran excedidos. Su función consiste en rigidizar las armaduras principales en la dirección perpendicular a estas, evitando que se desplacen ante una solicitud sísmica. En esta situación la losa de concreto transmite la fuerza cortante generada por el sismo hacia la colindancia de la cubierta, es decir, a los muros perimetrales. Así, las vigas que sirven como contraventeos se diseñaron para resistir su peso propio, el cual ha disminuido, y la carga de compresión en sentido horizontal provocada solamente por el peso propio de las armaduras, sin tomar en cuenta el resto de la carga de azotea, y cuidando obviamente la relación de esbeltez. De esta manera se llegó a la determinación de reemplazar la sección compuesta de 2 CE 254 X 22.76 espaciadas a cada 4.50 m por 2 CE 152 X 12.20 y separándolas entre sí una distancia de 10.20 m y apoyadas en la cuerda inferior en el eje definido por cada seis largueros, a partir del muro en el eje 5. Se contará entonces con un total de 4 vigas de este ejemplar entre las armaduras VM-A1 que son las de mayor claro.

Finalmente se sugiere que las trabes primarias sean armadas con contraflechas en la cuerda inferior, un poco menores a las calculadas, con los siguientes valores: 11 cm en VM-A1 y VM-A2; 9 cm en VM-B; 7 cm en VM-C. Debido a que fabricar una armadura que presente contraflechas ideales, es decir, formando un radio de curvatura, es en extremo difícil, la proposición consiste en continuarlas por dos o tres de los módulos centrales en forma de línea horizontal, y cambiar la dirección de la cuerda hasta llegar al nivel de proyecto en los extremos, cuidando que la pendiente empiece en un nudo estructural.

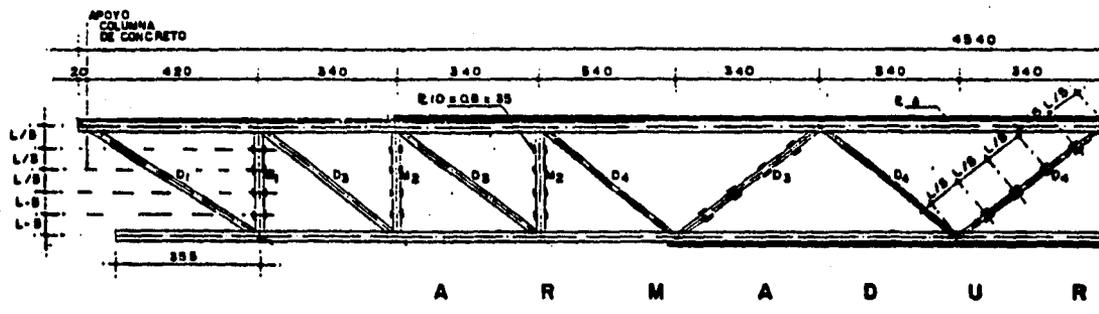
En seguida aparece el plano con el diseño modificado de los cuatro tipos de armaduras principales que se tienen en el área de la sala del Auditorio.



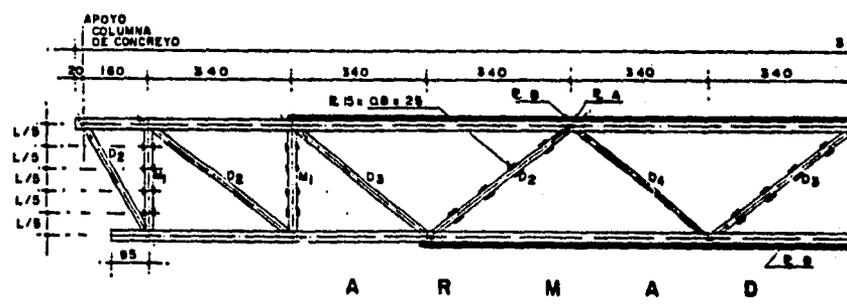
A R M A D U R A V I



A R M A D U R A



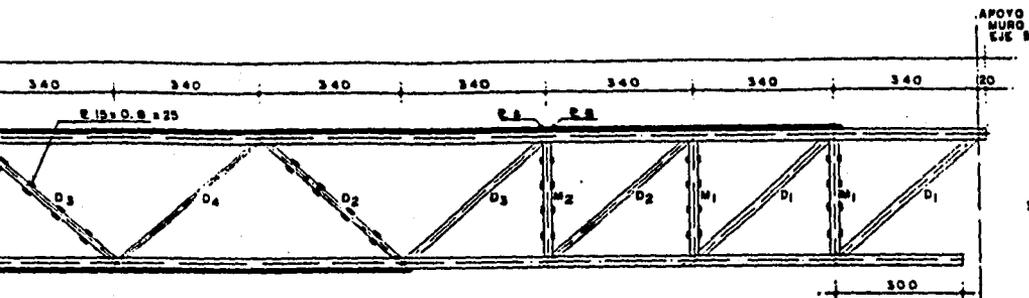
A R M A D U R A



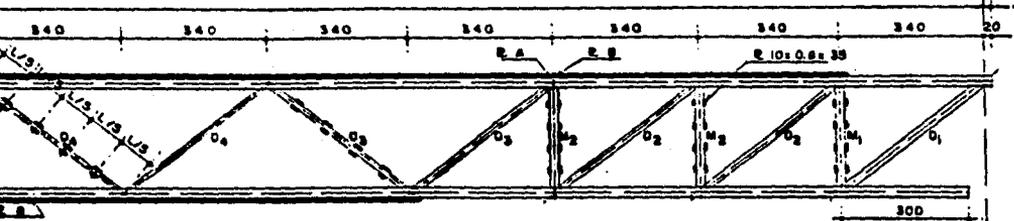
A R M A D U R A

TABLA DE PERFILES				
ELEMENTO	ARMADURA VM-A1	ARMADURA VM-A2	ARMADURA VM-B	ARMADURA VM-C
CUERDA SUPERIOR	2 CE 234 X 44.64	2 CE 234 X 44.64	2 CE 234 X 44.64	2 CE 234 X 29.76
CUERDA INTERIOR	2 CE 234 X 44.64	2 CE 234 X 44.64	2 CE 234 X 29.76	2 CE 234 X 29.76
PLACA PL-A	PL 350 X 23.4	PL 350 X 23.4	PL 350 X 12.7	PL 350 X 19.1
PLACA PL-B	PL 350 X 12.7	PL 350 X 12.7		PL 350 X 12.7
DIAGONAL D-1	2 CE 203 X 20.46	2 CE 203 X 20.46	2 CE 203 X 17.11	2 CE 152 X 13.63
DIAGONAL D-2	2 CE 152 X 13.63	2 CE 152 X 13.63	2 CE 152 X 13.63	2 CE 152 X 12.20
DIAGONAL D-3	2 CE 152 X 12.20	2 CE 152 X 12.20	2 CE 153 X 12.20	2 CE 102 X 8.04
DIAGONAL D-4	2 CE 102 X 8.04	2 CE 102 X 8.04	2 CE 102 X 8.04	2 CE 76 X 6.10
MONTANTE M-1	2 CE 203 X 20.46	2 CE 203 X 20.46	2 CE 203 X 17.11	2 CE 203 X 17.11
MONTANTE M-2	2 CE 203 X 17.11	2 CE 203 X 17.11	2 CE 152 X 13.63	

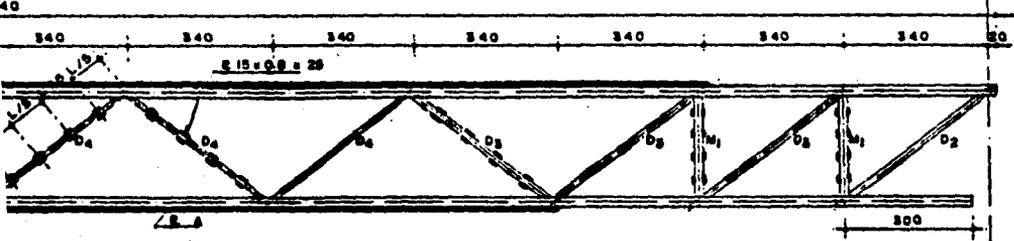
- 1.- ACOTACIONES EN CENTIMETROS
- 2.- NOMECLATURA DE LOS PERFILES DE ACERO (DACA A.C., L.D.TUSA 1999)
- 3.- DESIGNACION DE LOS PERFILES
- 4.- ACERO ESTRUCTURAL SEGUN NORMA IGUAL A 2.370 kg/cm<sup>2</sup>
- 5.- SOLDADURA CON LENGUETE ELAS
- 6.- ESTE PLANO SERVIRA COMO B



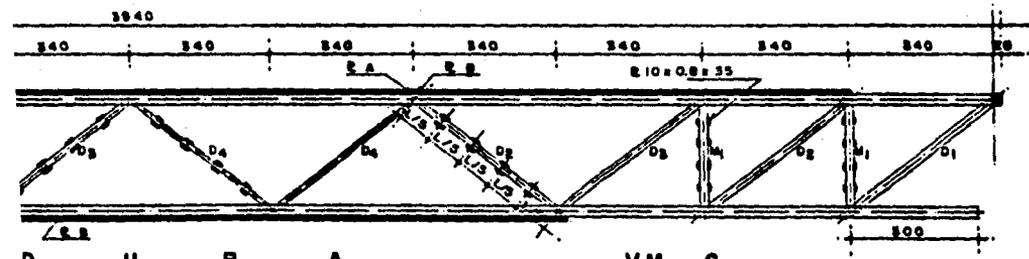
VM - A1



VM - A2



VM - B



VM - C

**NOTAS GENERALES**

EN CENTIMETROS.  
 DE LOS PERFILES LAMINADOS DE ACUERDO AL MANUAL DE CONSTRUCCION EN  
 L.C., LINTUSA 1990, 2ª EDICION).  
 DE LOS PERFILES EN MILIMETROS Y/O KILOGRAMOS/METRO.  
 TURAL SEGUN NORMA NOM B-234 (A-36 ASTM), CON LIMITE ELASTICO MINIMO  
 370MP.  
 EN LIMITE ELASTICO MINIMO IGUAL A 4,000 kg/cm².  
 VERIFICA COMO BASE PARA LOS PLANOS DE TALLER.

**EDUARDO MUÑOZ MADRID**  
 TESIS PROFESIONAL

PLANO: ARMADURAS PRINCIPALES	ZONA: AREA DE LA SALA
PROYECTO: CUBIERTA DEL AUDITORIO DE TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS	
VERSION: PROYECTO MODIFICADO	

#### **IV.4.- RESULTADOS GENERADOS**

Con el propósito de evaluar si las modificaciones presentadas conducen por un lado a un mejoramiento del comportamiento estructural del sistema de soporte en la cubierta del Auditorio, y por otro a un ahorro significativo en la cantidad del acero utilizado respecto del que se tenía contemplado en el diseño original, se hace ineludible la presentación de los resultados generados en el nuevo diseño de las traveses, para contar de esta manera con parámetros de referencia y determinar si se logrará un funcionamiento mas adecuado de cada tipo de trabe metálica en particular. Estos resultados deben corresponder al equivalente de las traveses cuyos análisis fueron presentados en la revisión estructural, la armadura principal VM-A1 y el ahora larguero LM-1.

El valor de las nuevas cargas concentradas de diseño para el caso de la armadura VM-A1 quedó definido por:

$$P = 200 \text{ kg/m}^2 \times 1.70 \text{ m} \times \frac{(8.00 + 7.78)\text{m}}{2} + 91 \text{ kg} = 2,773 \text{ kg}$$

donde el segundo término de la operación corresponde al promedio del peso de los largueros LM-1 y LM-2.

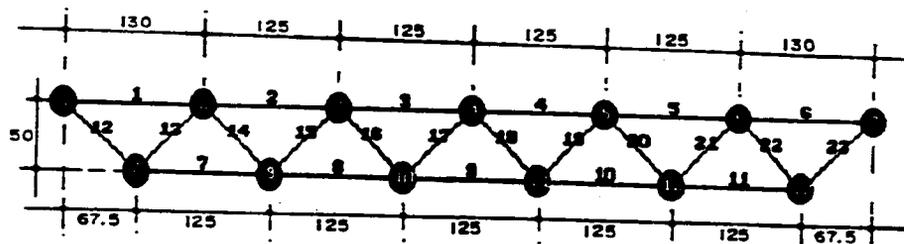
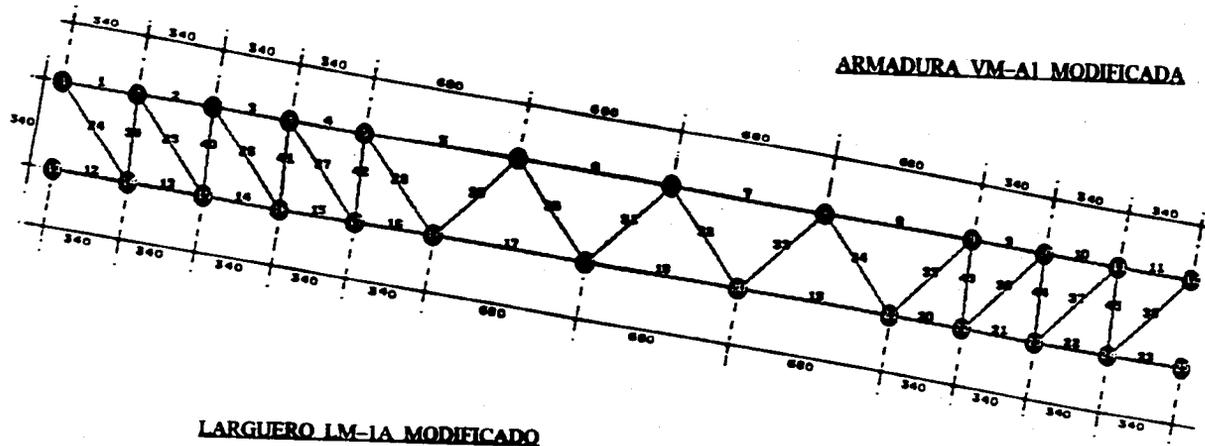
En general, los lineamientos para el cálculo de las propiedades geométricas de las secciones en las nuevas armaduras se han conservado en relación con los expuestos en el capítulo anterior. Las diferencias derivadas del ajuste en la posición de las cargas y perfiles se describen a continuación:

- Al no contar con cubreplaca algunos tramos de la cuerda superior en las armaduras principales que se encuentran sometidos a fuerzas de compresión, las canales que las forman tenderán a deformarse de manera

independiente, por lo que el esfuerzo permisible a compresión de toda la barra es función de la relación de esbeltez que se obtiene al considerar el radio de giro menor de una sola de estas canales.

- La longitud libre de pandeo con la que se valora la relación de esbeltez de la cuerda superior en las traveses primarias esta confinada por la separación de los largueros que forman una restricción al desplazamiento debida a la transmisión del peso de la losa de concreto.
- En estas armaduras no existen elementos con relaciones de esbeltez mayores al coeficiente de columna, dando lugar a que el pandeo permanezca en el rango elástico.
- Los separadores contenidos en la descripción de las secciones son válidos únicamente para los miembros que se encuentren sometidos a compresión. En caso contrario se entenderá que no son necesarios.
- En los largueros todas las barras se han transformado en ángulos sencillos, por lo que el radio de giro menor siempre está asociado a un eje girado  $45^\circ$  respecto del eje Z de la sección transversal, a excepción de la cuerda superior, que sigue estando restringida por la losa de azotea.

Las siguientes hojas despliegan los resultados finales en el cálculo de los factores de seguridad, para la versión modificada de las traveses tipo mencionadas, apareciendo en primer plano la figura esquemática de referencia IV.1, y en la que se puede observar que ambas estructuras son isostáticas.



ACOTACIONES EN CENTIMETROS

**FIGURA IV.1**

PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LOS ELEMENTOS QUE FORMAN LAS ARMADURAS

ARMADURA VM-A1 MODIFICADA

N° de sección	Perfiles estructurales [min. kg/m]	Fy [kg/cm²]	Tipo de elemento	Longitu [m]	Area [cm²]	$\bar{Z}$ [cm]	$\bar{I}_z$ [cm⁴]	S <sub>1</sub> [cm³]	S <sub>2</sub> [cm³]	R <sub>Menor</sub> [cm]	K	KL/r	Cc	Fa [kg/cm²]	R <sub>Z</sub> [cm]	F <sub>e</sub> [kg/cm²]
1	2 CE 254 X 44.64 + PL 350 X 25.4	2,530	Cuerda	1.700	202.70	9.11	18,362.7	975.3	2,015.0	9.52	1.0	18	126	1,457	9.52	32,912
2	2 CE 254 X 44.64 + PL 350 X 12.7	2,530	Cuerda	1.700	158.25	10.22	14,264.4	867.4	1,395.1	9.49	1.0	18	126	1,456	9.49	32,748
3	2 CE 203 X 20.46 Con separadores	2,530	Montante 1	3.146	51.88	10.16	2,818.2	277.4	277.4	7.37	1.0	43	126	1,333	7.37	5,763
4	2 CE 203 X 17.11 Con separadores	2,530	Montante 2	3.146	43.36	10.16	2,688.8	264.6	264.6	7.87	1.0	40	126	1,349	7.87	6,578
5	2 CE 152 X 15.63 Con separadores	2,530	Diagonal 2	4.632	39.62	7.62	1,257.0	165.0	165.0	5.63	1.0	82	126	1,062	5.63	1,553
6	2 CE 152 X 12.2 Con separadores	2,530	Diagonal 3	4.632	30.84	7.62	1,082.2	142.0	142.0	5.92	1.0	78	126	1,093	5.92	1,717
7	2 CE 102 X 8.04 Con separadores	2,530	Diagonal 4	4.632	20.12	5.08	316.4	62.3	62.3	3.97	1.0	117	126	755	3.97	770
8	2 CE 254 X 44.64	2,530	Cuerda	1.700	113.80	12.70	8,574.4	675.1	675.1	1.70	1.0	100	126	912	8.68	27,374
9	2 CE 203 X 20.46 Con separadores	2,530	Diagonal 1	4.632	51.88	10.16	2,818.2	277.4	277.4	7.37	1.0	63	126	1,206	7.37	2,658

ANÁLISIS DE LOS ESFUERZOS INDUCIDOS EN LAS ARMADURAS QUE COMPONEN LA TECHUMBRE

ARMADURA VM-A1 MODIFICADA

Barra N°	Sección asociada	Tipo de Elemento	Fuerza Axial (ton)	Momento Flexionante (ton-m)	fa [kg/cm²]	fb [kg/cm²]	fa/Fa	R	fa/Fa + R	Barra N°
1	8	Cuerda Superior	44.163	-1.912	388.09	283.20	0.423	0.161	0.586	1
2	2	Cuerda Superior	86.596	1.957	547.21	225.62	0.376	0.128	0.504	2
3	2	Cuerda Superior	122.345	1.674	773.11	193.00	0.531	0.111	0.641	3
4	2	Cuerda Superior	152.340	1.608	962.65	185.39	0.661	0.107	0.768	4
5	1	Cuerda Superior	172.741	3.246	852.20	537.86	0.585	0.309	0.894	5
6	1	Cuerda Superior	194.808	5.289	961.07	542.27	0.660	0.313	0.973	6
7	1	Cuerda Superior	190.501	5.895	939.82	383.90	0.645	0.337	0.982	7
8	1	Cuerda Superior	155.432	5.630	766.81	577.24	0.526	0.331	0.857	8
9	2	Cuerda Superior	130.705	1.461	825.94	168.44	0.567	0.097	0.664	9
10	2	Cuerda Superior	96.066	2.115	607.05	243.84	0.417	0.139	0.556	10
11	8	Cuerda Superior	34.636	-1.891	480.11	280.09	0.526	0.160	0.686	11
12	8	Cuerda Inferior	0.022	0.134	0.19	19.85	0.000	0.011	0.011	12
13	8	Cuerda Inferior	-50.261	1.503	-441.66	-222.62	0.291	0.147	0.438	13
14	8	Cuerda Inferior	-92.133	-1.061	-609.60	-157.15	0.533	0.104	0.637	14
15	8	Cuerda Inferior	-127.045	-1.489	-1116.39	-220.54	0.735	0.145	0.881	15
16	8	Cuerda Inferior	-146.170	-1.227	-1284.45	-181.74	0.846	0.120	0.966	16
17	2	Cuerda Inferior	-191.744	-1.594	-1211.65	-114.25	0.798	0.075	0.873	17
18	2	Cuerda Inferior	-198.704	-1.476	-1255.63	-105.80	0.827	0.070	0.897	18
19	2	Cuerda Inferior	-177.956	-1.447	-1124.52	-103.72	0.741	0.068	0.809	19
20	8	Cuerda Inferior	-128.188	-1.026	-1126.43	-151.97	0.742	0.100	0.842	20
21	8	Cuerda Inferior	-92.240	-1.463	-810.54	-216.69	0.534	0.143	0.677	21
22	8	Cuerda Inferior	-50.107	-1.058	-440.31	-156.71	0.290	0.103	0.393	22
23	8	Cuerda Inferior	0.029	-1.368	0.25	202.62	0.000	0.113	0.114	23
24	9	Diagonal 1	-67.476	-0.317	-300.62	-186.39	0.857	0.123	0.980	24
25	9	Diagonal 1	-55.870	-0.440	-1076.91	-158.63	0.709	0.104	0.814	25
26	5	Diagonal 2	-66.516	-0.235	-1174.05	-142.46	0.773	0.094	0.867	26
27	6	Diagonal 3	-38.314	-0.170	-1242.35	-119.70	0.818	0.079	0.897	27
28	7	Diagonal 4	-24.446	-0.095	-1215.01	-152.53	0.800	0.100	0.901	28
29	6	Diagonal 3	24.102	-0.116	781.52	81.68	0.715	0.084	0.799	29
30	7	Diagonal 4	-5.513	-0.030	-274.01	-48.17	0.181	0.032	0.212	30
31	7	Diagonal 4	4.116	-0.034	204.57	54.39	0.271	0.042	0.313	31
32	6	Diagonal 3	13.376	-0.079	433.72	55.63	0.397	0.042	0.438	32
33	7	Diagonal 4	-14.735	-0.030	-732.36	-48.17	0.482	0.032	0.514	33
34	5	Diagonal 2	33.504	-0.155	845.63	93.96	0.797	0.116	0.913	34
35	6	Diagonal 3	-34.139	-0.353	-1106.97	-248.55	0.729	0.164	0.893	35
36	5	Diagonal 2	-47.499	-0.174	-1198.86	-105.48	0.790	0.069	0.859	36
37	9	Diagonal 1	-56.087	-0.432	-1081.09	-155.74	0.712	0.103	0.815	37
38	9	Diagonal 1	-66.840	-0.609	-1288.36	-219.55	0.849	0.145	0.993	38
39	3	Montante 1	44.194	1.120	851.85	403.78	0.639	0.265	0.904	39
40	3	Montante 1	37.663	1.413	725.96	509.41	0.544	0.326	0.871	40
41	4	Montante 2	31.010	-1.262	715.18	476.86	0.530	0.300	0.830	41
42	4	Montante 2	25.617	1.778	590.80	671.84	0.438	0.413	0.851	42
43	4	Montante 2	32.012	-1.755	738.28	663.15	0.547	0.418	0.966	43
44	3	Montante 1	37.353	1.308	719.99	471.35	0.540	0.302	0.842	44
45	3	Montante 1	44.651	1.355	860.66	488.50	0.645	0.322	0.967	45

FLECHA MAXIMA (NUDO 19) = 12.56 cm < FLECHA PERMISIBLE = 14.17 cm

PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LOS ELEMENTOS QUE FORMAN LAS ARMADURAS

LARGUERO LM-1 MODIFICADO

Nº de sección	Perfiles estructurales [mm, kg/m]	Fy [kg/cm <sup>2</sup> ]	Tipo de elemento	Longitud [m]	Area [cm <sup>2</sup> ]	$\bar{Z}$ [cm]	$\bar{I}_z$ [cm <sup>4</sup> ]	S <sub>1</sub> [cm <sup>3</sup> ]	S <sub>2</sub> [cm <sup>3</sup> ]	R <sub>áximas</sub> [cm]	K	KL/r	Cc	Fa [kg/cm <sup>2</sup> ]	R <sub>z</sub> [cm]	Fc [kg/cm <sup>2</sup> ]
1	LI 64 X 6	2,530	Cuerda sup	1.250	7.68	1.83	29.14	6.45	15.92	1.95	1.0	64	126	1,196	1.95	2,350
2	LI 51 X 5	2,530	Cuerda inf.	1.250	4.61	1.45	11.45	3.15	7.90	0.99	1.0	126	126	659	1.58	1,669
3	LI 38 X 3	2,530	Diagonal 2	0.780	2.34	1.07	3.25	1.19	3.04	0.73	1.0	107	126	850	1.18	2,397
4	LI 32 X 3	2,530	Diagonal 3	0.780	1.93	0.89	1.83	0.80	2.06	0.60	1.0	130	126	621	0.97	1,636
5	LI 51 X 5	2,530	Diagonal 1	0.780	4.61	1.45	11.45	3.15	7.90	0.99	1.0	79	126	1,089	1.58	4,286
6	LI 64 X 6	2,530	Cuerda sup	1.300	7.68	1.83	29.14	6.45	15.92	1.95	1.0	67	126	1,178	1.95	2,357

ANÁLISIS DE LOS ESFUERZOS INDUCIDOS EN LAS ARMADURAS QUE COMPONEN LA TECHUMBRE

LARGUERO LM-1 MODIFICADO

Barra N°	Sección asociada	Tipo de Elemento	Fuerza Axial (ton)	Momento Flexionante (ton-m)	fa (kg/cm <sup>2</sup> )	fb (kg/cm <sup>2</sup> )	fa/Fa	R	fa/Fa + R	Barra N°
1	6	Cuerda Superior	1.697	0.051	220.96	791.08	0.188	0.489	0.676	1
2	1	Cuerda Superior	4.043	0.045	526.43	698.01	0.440	0.493	0.933	2
3	1	Cuerda Superior	5.205	0.032	677.73	496.36	0.566	0.379	0.945	3
4	1	Cuerda Superior	5.205	0.032	677.73	496.36	0.566	0.379	0.945	4
5	1	Cuerda Superior	4.043	0.045	526.43	698.01	0.440	0.493	0.933	5
6	6	Cuerda Superior	1.697	0.051	220.96	791.08	0.188	0.489	0.676	6
7	2	Cuerda Inferior	-3.178	0.002	-689.37	-63.41	0.634	0.042	0.496	7
8	2	Cuerda Inferior	-4.904	-0.005	-1063.77	-63.32	0.701	0.042	0.742	8
9	2	Cuerda Inferior	-5.493	-0.005	-1191.54	-63.32	0.785	0.042	0.817	9
10	2	Cuerda Inferior	-4.904	-0.005	-1063.77	-63.32	0.701	0.042	0.742	10
11	2	Cuerda Inferior	-3.178	0.002	-689.37	-63.41	0.454	0.042	0.496	11
12	5	Diagonal 1	-2.042	-0.020	-442.95	-634.06	0.292	0.418	0.709	12
13	5	Diagonal 1	1.860	0.004	403.47	126.81	0.371	0.078	0.449	13
14	3	Diagonal 2	-1.080	-0.001	-461.54	-84.31	0.304	0.056	0.360	14
15	3	Diagonal 2	1.076	-0.001	459.83	32.92	0.541	0.023	0.564	15
16	4	Diagonal 3	-0.374	-0.002	-193.78	-249.73	0.128	0.165	0.292	16
17	4	Diagonal 3	0.360	-0.001	186.53	48.63	0.300	0.031	0.331	17
18	4	Diagonal 3	0.360	-0.001	186.53	48.63	0.300	0.031	0.331	18
19	4	Diagonal 3	-0.374	-0.002	-193.78	-249.73	0.128	0.165	0.292	19
20	3	Diagonal 2	1.076	-0.001	459.83	32.92	0.541	0.023	0.564	20
21	3	Diagonal 2	-1.080	-0.001	-461.54	-84.31	0.304	0.056	0.360	21
22	5	Diagonal 1	1.860	0.004	403.47	126.81	0.371	0.078	0.449	22
23	5	Diagonal 1	-2.041	-0.020	-442.73	-634.06	0.292	0.418	0.709	23

FLECHA MAXIMA (NUDO 22) = 1.25 cm < FLECHA PERMISIBLE = 2.11 cm

ANÁLISIS DE LOS ESFUERZOS INDUCIDOS EN LAS ARMADURAS QUE COMPONEN LA TECHUMBRE

LARGUERO L.M.-I MODIFICADO

Barra N°	Sección asociada	Tipo de Elemento	Fuerza Axial (ton)	Momento Flexionante (ton-m)	fa (kg/cm²)	fb (kg/cm²)	fa/Fa	R	fa/Fa + R	Barra N°
1	6	Cuerda Superior	1.697	0.051	220.96	791.08	0.188	0.489	0.676	1
2	1	Cuerda Superior	4.043	0.045	526.43	698.01	0.440	0.493	0.933	2
3	1	Cuerda Superior	5.205	0.032	677.73	496.36	0.566	0.379	0.945	3
4	1	Cuerda Superior	5.205	0.032	677.73	496.36	0.566	0.379	0.945	4
5	1	Cuerda Superior	4.043	0.045	526.43	698.01	0.440	0.493	0.933	5
6	6	Cuerda Superior	1.697	0.051	220.96	791.08	0.188	0.489	0.676	6
7	2	Cuerda Inferior	-3.178	0.002	-689.37	-63.41	0.454	0.042	0.496	7
8	2	Cuerda Inferior	-4.904	-0.005	-1063.77	-63.32	0.701	0.042	0.742	8
9	2	Cuerda Inferior	-5.493	-0.005	-1191.54	-63.32	0.785	0.042	0.827	9
10	2	Cuerda Inferior	-4.904	-0.005	-1063.77	-63.32	0.701	0.042	0.742	10
11	2	Cuerda Inferior	-3.178	0.002	-689.37	-63.41	0.454	0.042	0.496	11
12	5	Diagonal 1	-2.042	-0.020	-442.95	-634.06	0.292	0.418	0.709	12
13	5	Diagonal 1	1.860	0.004	403.47	126.81	0.371	0.078	0.449	13
14	3	Diagonal 2	-1.080	-0.001	-461.54	-84.31	0.304	0.056	0.360	14
15	3	Diagonal 2	1.076	-0.001	459.83	32.92	0.341	0.023	0.364	15
16	4	Diagonal 3	-0.374	-0.002	-193.78	-249.73	0.128	0.165	0.292	16
17	4	Diagonal 3	0.360	-0.001	186.53	48.63	0.300	0.031	0.331	17
18	4	Diagonal 3	0.360	-0.001	186.53	48.63	0.300	0.031	0.331	18
19	4	Diagonal 3	-0.374	-0.002	-193.78	-249.73	0.128	0.165	0.292	19
20	3	Diagonal 2	1.076	-0.001	459.83	32.92	0.341	0.023	0.364	20
21	3	Diagonal 2	-1.080	-0.001	-461.54	-84.31	0.304	0.056	0.360	21
22	5	Diagonal 1	1.860	0.004	403.47	126.81	0.371	0.078	0.449	22
23	5	Diagonal 1	-2.041	-0.020	-442.95	-634.06	0.292	0.418	0.709	23

FLECHA MAXIMA (NUDO 22) = 1.25 cm < FLECHA PERMISIBLE = 2.11 cm

Las observaciones más relevantes que se pueden comentar son las siguientes:

**Armadura principal VM-A1.-** como se esperaba hay un incremento considerable de los momentos flexionantes en las barras centrales de la cuerda superior como consecuencia de las cargas concentradas transmitidas por los largueros que no se apoyan en nudos de conexión en esa zona, llegando hasta un valor de 5.695 toneladas por metro. A pesar de ello, en ninguna barra se presenta un factor de seguridad mayor al límite establecido de 1.000. el valor superior que se obtiene en los diferentes tipos de elementos es de 0.982 en la cuerda superior, 0.966 en la inferior, 0.993 en las diagonales y 0.967 en los montantes verticales, con lo que se cumple que se encuentran lo mas cercano posible a la unidad, es decir, se optimizó el diseño. Solamente en los extremos de la cuerda inferior y en tres de las diagonales centrales resultaron valores menores a 0.500. El promedio de los factores de seguridad para esta trabe resulta de 0.735. La flecha aumentó, pero se mantiene por debajo de la permisible.

Una observación que se desprende de los fuerzas actuantes en la trabe, es que las barras extremas de la cuerda inferior presentan prácticamente solo momentos y sus reacciones son muy inferiores a las de la cuerda superior, como resultado de que son los únicos miembros que no son parte de un triángulo. Si se prescindiera de ellas, la armadura se mantendría en condiciones de equilibrio en el plano analizado; la razón por la que esto no es aconsejable radica en la pérdida de continuidad de la cuerda, reduciendo considerablemente la resistencia a la torsión

**Armadura secundaria LM-1.-** al centro de la cuerda superior se presenta el mejor resultado de esta trabe con un valor de 0.945. La cuerda inferior solo pudo alcanzar 0.827 y aunque las diagonales permanecen con factores de seguridad por debajo de estos, el promedio de todos los valores

alcanza 0.601. Finalmente, la máxima deflexión no supera a la correspondiente permitida.

El resumen del nuevo peso derivado de las modificaciones aplicadas al sistema de soporte de la cubierta del auditorio, se desglosa en la siguiente hoja.

Se ha incluido adicionalmente una tabla de comparación de resultados para visualizar con mayor facilidad el grado obtenido en cuanto al mejoramiento de los factores de seguridad y del ahorro obtenido en el dimensionamiento de los perfiles de diseño, contraponiendo las versiones original y modificada.

**RESUMEN DE PESO PROPIO DE ESTRUCTURA METALICA**

**AREA DE LA SALA**

***DISEÑO MODIFICADO***

<b>ELEMENTO</b>	<b>CLARO [m]</b>	<b>PESO UNITARIO [ton]</b>	<b>N° DE PIEZAS</b>	<b>W TOTAL [ton]</b>
ARMADURA VM-A1	51.00	15.093	2	30.186
ARMADURA VM-A2	48.00	13.834	2	27.668
ARMADURA VM-B	45.00	10.232	2	20.464
ARMADURA VM-C	39.00	8.05	2	16.100
LARGUERO LM-1	8.00	0.092	29	2.668
LARGUERO LM-2	7.78	0.09	56	5.040
LARGUERO LM-3	7.14	0.071	52	3.692
LARGUERO LM-4	6.11	0.06	46	2.760
LARGUERO LM-21	8.35	0.096	22	2.112
<b>SUMA DE LARGUEROS PERIMETRALES (36 PIEZAS) :</b>				<b>2.136</b>
<b>TOTAL DE PESO BRUTO :</b>				<b>112.826</b>
VIGAS DE CONTRAVENTEIO EN ARMADURAS :				5.784
SEPARADORES EN MONT. Y DIAG. DE ARMADURAS :				1.363
ATIESADORES EN CUERDAS DE ARMADURAS :				0.242
APOYO DE LARGUEROS EN ARMADURAS :				0.931
VARILLAS DE CONTRAVENTEIO EN LARGUEROS :				1.199
<b>TOTAL DE PERFILES AUXILIARES :</b>				<b>9.519</b>
<b>TOTAL DE ESTRUCTURA METALICA :</b>				<b>122.345 ton</b>

**TABLA IV.1**

ARMADURAS PRESENTADAS				
FACTORES DE SEGURIDAD:	PRINCIPALES		SECUNDARIAS	
	VM-A1 Original	VM-A1 Modificado	LM-1A Original	LM-1 Modificado
<i>Valores máximos</i>				
Cuerda superior	0.771	0.982	0.554	0.945
Cuerda inferior	0.713	0.966	0.519	0.827
Diagonales	0.878	0.993	0.457	0.709
Montantes	1.033	0.967	0.446	—
<i>Promedios</i>				
Cuerda superior	0.590	0.737	0.438	0.851
Cuerda inferior	0.476	0.628	0.379	0.661
Diagonales	0.587	0.747	0.249	0.451
Montantes	0.613	0.890	0.189	—
<b>Total de la trabe</b>	<b>0.564</b>	<b>0.735</b>	<b>0.315</b>	<b>0.601</b>
GEOMETRIA:				
Número de nudos conectores	34	23	25	13
Número de barras reales	67	45	47	23

	PESO DE LAS ESTRUCTURAS [Ton]			Porcentaje de Ahorro
	Proyecto Original	Proyecto Modificado	Diferencia	
Armaduras principales	123.084	94.418	28.666	23.29%
Armaduras y vigas secundarias	32.058	18.408	13.650	42.58%
<b>Suma de trabes</b>	<b>155.142</b>	<b>112.826</b>	<b>42.316</b>	<b>27.28%</b>
Perfiles auxiliares	16.209	9.519	6.690	41.27%
<b>Suma Total</b>	<b>171.351</b>	<b>122.345</b>	<b>49.006</b>	<b>28.60%</b>

TABLA IV.2

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Tomando como principal referencia los resultados globales de la revisión estructural, contemplando todos los componentes presentados o no, de la red de traves metálicas y perfiles auxiliares que constituyen el sistema estructural y cuya objetivo es dar soporte al conjunto de cargas, incluyendo su propio peso, previstas en la techumbre que cubre el nivel superior del Auditorio de Tuxtla Gutiérrez, se hace evidente que el sobrediseño de los elementos demostrado en el tercer capítulo de este trabajo, obedece al uso de criterios de análisis conservadores y en cierta medida obsoletos.

Por sobrediseño se entiende que la estructura excede el proporcionamiento necesario y suficiente para cumplir con los requisitos que establecen los reglamentos, normas y tratados en materia de seguridad, por lo que no representa un riesgo de colapso o falla para la edificación y que pudiera poner en peligro a las posibles personas o bienes alojados en el inmueble.

Lo anterior se presenta constantemente en el proyecto original de la superestructura, salvo pocas excepciones como la de barras con relaciones de esbeltez mayores a las permitidas en miembros a compresión o un menor número de perfiles auxiliares de los necesarios para cumplir su función, y en los que bastarían pequeñas reformas para satisfacer los las condiciones citadas.

Los criterios conservadores mencionados en el primer párrafo se refieren al diseño de elementos basados en valores mínimos, pero solo recomendados, sin efectuar análisis mas profundos, para el caso del diseño de perfiles auxiliares, por la comprensible y beneficiosa necesidad de ahorrar tiempo.

Esto se justifica para este tipo de elementos porque representan un bajo volumen de material en comparación con las traves, donde el uso de métodos, como diseñar armaduras como vigas o considerar los nudos articulados, representaban un medio útil para resolver estructuras. Sin embargo, estas

hipótesis de comportamiento conllevan a errores que pueden ser apreciables si se tiene en cuenta, por ejemplo, que construir una armadura con nudos articulados solamente sería posible si se colocara un tornillo o remache como medio de unión de las juntas de manera que se inhiba al máximo la rotación del nudo, lo que no resulta práctico en la realidad.

En la actualidad estos métodos son menos utilizados por la aparición de una herramienta que facilita enormemente la resolución de estructuras complejas, la computadora digital, con la cual se pueden obtener resultados rápidos, haciendo viable la optimización de los diseños.

Una ventaja de particular importancia radica en la posibilidad de analizar las armaduras como marcos rígidos, sin ignorar los efectos secundarios que esto implica. También se tiene que ya no es necesario realizar estimaciones aproximadas en el peso propio de los elementos dentro del análisis, porque ahora se puede tener presente en todo momento. Todo esto se traduce en que el modelo matemático se aproximará más a la realidad.

Debido al auge de las computadoras personales a partir de la década pasada, el empleo de técnicas para resolver estructuras en forma manual se está volviendo inadmisibles, ya que la inversión por concepto de equipo de cómputo y la paquetería respectiva se vuelve recuperable por la economía obtenida desde los primeros diseños.

El aspecto más relevante de la modificación al proyecto presentada en el cuarto capítulo, lo constituye el innegable ahorro de material obtenido. Debido a que, como ya se ha hecho mención, el peso mínimo no satisface por sí mismo los criterios de optimización, solo será válida la propuesta demostrando que se cumplen los requerimientos restantes para catalogar una estructura como ideal: seguridad y facilidad de fabricación. Lo primero ha quedado plenamente

demostrado con los factores de seguridad desplegados en el mencionado capítulo.

La confirmación del segundo punto es la razón por la que se incluyó en la tabla comparativa de los diseños original y modificado (tabla IV.2) el número de barras y nudos conectores, en la que se puede observar la notable disminución de esos elementos en el nuevo diseño. La propuesta de aligeramiento con la nueva configuración minimiza la cantidad de zonas de armado y por consecuencia de soldadura. Se desprende también una reducción en el tiempo de montaje, como beneficio adicional, y que repercutirá en el programa de obra del inmueble.

La nueva configuración que presentan las trabes principales fue posible por la forma como se distribuyen las fuerzas internas en armaduras de cuerdas paralelas, ya que los mayores esfuerzos en el sector central los adoptan las cuerdas y los miembros del alma tienden a reducir su esfuerzo de trabajo. La situación inversa se presenta en los extremos de estas trabes.

Las principales críticas que se pueden efectuar al proyecto de la estructura metálica original, independientemente del sobrediseño, consisten, en primer lugar, en el uso indiscriminado de perfiles IR en una posición en la que se desaprovecha la capacidad para resistir flexiones, al colocarlos de manera que estas se producen alrededor del eje de menor inercia, por lo que se infiere que fueron empleados con la finalidad primordial de dar continuidad al alma con los perfiles que forman las cuerdas, en el plano transversal. Se hace notar que esto es innecesario ya que para tal efecto se cuenta con las cubreplacas de las cuerdas y con los separadores que tendrán los miembros del alma a compresión.

En segundo lugar se tiene el haber considerado la carga debida al peso propio de las trabes de alma abierta incluida en la carga por metro cuadrado que soportará la estructura. Con esta medida se provoca que los largueros, al

tomar cargas que no les corresponden, queden excedidos en su proporcionamiento.

Adicionalmente, y en forma independiente del proyecto que sea aprobado, se presentan algunas recomendaciones que se consideran oportunas:

- Se sugiere que al pasar de los planos estructurales a los de taller (fabricación) se supervise, con la dirección encargada de la obra, corroborar que las uniones sean centroidales.
- Llevar a cabo inspecciones radiográficas y ultrasónicas para verificar la calidad de la soldadura y su tamaño mínimo especificado.
- Verificación de las deflexiones producidas en las armaduras principales, por medio de nivelaciones periódicas, para tener un control del comportamiento a través del tiempo de las estructuras o para comprobar que las contraflechas propuestas, si las hay, han funcionado adecuadamente contrarrestado el efecto del desplazamiento de la trabe.
- Alisar las placas que vayan a estar en contacto, en los apoyos de las trabes principales, en el extremo que se encuentra restringido para que la transferencia de cargas se realice por asiento directo.

Finalmente, y en vista de que en la práctica un gran porcentaje de las cubiertas de edificaciones se diseñan planas, se exhorta al empleo de techumbres curvas, donde las armaduras de arco y cuerda representan una eficiente solución como estructuras de soporte.

## **BIBLIOGRAFIA**

- **DISEÑO DE ACERO ESTRUCTURAL.**  
Joseph E. Bowles.  
1984, Editorial Limusa, México D.F.
- **DISEÑO DE ESTRUCTURAS METALICAS**  
Jack C. M<sup>o</sup>Cormac.  
1972, Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A., México D.F.
- **REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL.**  
2 de Agosto de 1993, Diario Oficial de la Federación, México D.F.
- **NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS DEL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES DEL DISTRITO FEDERAL.**  
2 de Agosto de 1993, Diario Oficial de la Federación, México D.F.
- **MANUAL DE CONSTRUCCION EN ACERO.**  
Instituto Mexicano de la Construcción en Acero A.C.  
1990, 2ª Edición, Editorial Limusa, México D.F.
- **MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES.**  
Comisión Federal de Electricidad.  
1993, México D.F.
- **DISEÑO SIMPLIFICADO DE ARMADURAS DE TECHO PARA ARQUITECTOS Y CONSTRUCTORES**  
Harry Parker  
1989, Editorial Limusa, México D.F.