



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**CONSTRUCCION Y MONTAJE DE UNA
ESTRUCTURA METALICA INCLINADA**

T E S I S
Que para obtener el Título de
I N G E N I E R O C I V I L
p r e s e n t a

ROGELIO ACOSTA CASTELLANOS



México, D. F.

1993

**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 está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

I N D I C E

I	INTRODUCCION.	1
II	INTRODUCCION A LAS ESTRUCTURAS ESPACIALES.	3
	II.1 Antecedentes.	3
	II.2 Definiciones y Clasificación.	9
	II.2.1 Reticulados de vigas de una capa.	12
	II.2.2 Reticulados de vigas de dos capas.	15
	II.2.3 Prismas triangulares.	17
	II.2.4 Prismas tetraedros y semiocetaedros.	17
	II.2.5 Pirámide hexagonal.	20
	II.2.6 Sisistemas patentados.	23
III	ALTERNATIVAS DE SOLUCION	25
	III.1 Solución con Angulos.	25
	III.2 Solución con Canales.	28
	III.3 Solución con Tubos Redondos.	28
	III.4 Perfiles Rectangulares P.T.R. o P.E.R.	33
	III.4.1 Características generales.	33
	III.4.2 Ventajas.	35
IV	PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION.	37
	IV.1 Descripción General del Proyecto.	37
	IV.2 Planos de Diseño.	39
	IV.3 Presupuesto.	40
	IV.4 Planos de Taller.	42
	IV.5 Adquisición del Material.	44

IV.6	Construcción de la Estructura.	45
IV.6.1	Personal de trabajo.	45
IV.6.2	Habilitado del material.	45
IV.6.3	Fabricación de las pirámides o "pifias".	48
V PROCEDIMIENTO DE MONTAJE		
V.1	Introducción.	59
V.2	Planos de Montaje.	60
V.3	Ventajas en el montaje de la Estructura Metálica.	62
V.4	Plan de Montaje.	63
V.5	Selección del Método de Montaje.	63
V.6	Duración del montaje.	64
V.7	Descripción del Montaje.	64
VI	CONCLUSIONES.	76
-	BIBLIOGRAFIA.	78

I INTRODUCCION.

Este trabajo es el resultado del Programa Escuela-Industria, vínculo entre la Facultad de Ingeniería y el Instituto Mexicano de la Construcción en Acero (I.M.C.A.) y las empresas privadas que la agrupan; el cual tiene como finalidad poner a los alumnos recién egresados en contacto con el ámbito profesional en las diferentes ramas de la Ingeniería Civil, a fin de poner en práctica los conocimientos adquiridos así como promover su desarrollo profesional.

El tema de ésta tesis está enfocada a la construcción y montaje de una estructura espacial a base de retículas o pirámides, dado que en los últimos años se ha marcado la tendencia a utilizar estructuras reticulares a fin de abastir tiempos de ejecución, montaje y costos, además de que presentan un aspecto agradable y una gran facilidad de mantenimiento. Si a todo lo anterior se agrega que se necesita poca mano de obra y existe un gran ahorro de material, se puede decir que son algunos de los factores más importantes por lo que se ha venido acrecentando el uso de las estructuras espaciales.

En el capítulo dos se presenta una introducción a la evolución de las estructuras espaciales que tuvo como origen la armadura convencional haciendo énfasis en la forma geométrica.

En el capítulo tres se describen las diferentes alternativas de solución recalcando las ventajas, desventajas y factibilidad de ejecución de cada una de ellas. El procedimiento constructivo de la estructura es tema del cuarto capítulo desde habilitado en taller del material, transporte y construcción al pie de la obra de algunos elementos. A continuación en el capítulo cinco se describe como etapa final el montaje de la estructura, así como las ventajas para una construcción de ésta naturaleza. Por último se presentan las conclusiones de la construcción y montaje de la estructura especial resaltando lo más relevante de la misma.

II INTRODUCCION A LAS ESTRUCTURAS ESPACIALES.

II.1 ANTECEDENTES.

El progreso tecnológico sobre materiales, estructuración y cálculo, han dado origen a la aparición de un tipo de construcciones de grandes claros, como puentes y lugares de reunión pública, con características y problemáticas específicas que definen una parte muy concreta de la ingeniería.

Ese tipo de construcciones son las llamadas "Estructuras Espaciales", que son una transformación de las diferentes estructuras tradicionales provocada por:

- Los modernos procesos constructivos, en los que se toma en cuenta la estructura, en términos lógicos y funcionales, es decir, la que ordena y organiza los componentes individuales, creando y logrando formas y dimensiones de estructuras completamente diferentes en belleza, ligereza y resistencia. Sin extrañarnos que tales estructuras concebidas por el hombre, sean parecidos a ciertos sistemas encontrados en la naturaleza, - como es la configuración tetraédrica. Así la estructura -sistema que tiene por objeto distribuir las fuerzas estáticas y dinámicas que actúan sobre ella- es un subsistema dentro del conjunto estructural lógico y la construcción será la realización efectiva de este subsistema ayudada de diversos materiales y procedimientos de armado.

- Los resultados de la investigación industrial y técnica que nos proporcionan en el caso de la industria siderúrgica, aceros de alta resistencia y en la investigación técnica la fabricación de concretos (materiales esenciales en la estructura resistente) con diferentes características que permiten el diseño y construcción de elementos cada vez más resistentes y económicos que apoyan el desarrollo de los procesos constructivos y de los proyectos arquitectónicos.

- El progreso de mecanismos auxiliares como son las computadoras y de métodos de análisis que en conjunto reducen las dificultades para el cálculo de tales obras.

Estos rompieron con los obstáculos en el desarrollo de las estructuras espaciales, las cuales se mencionan a continuación:

- 1.- Dificultades para el cálculo de tales obras. Superadas por el desarrollo de métodos matriciales para el cálculo de estructuras y el progreso de las computadoras.

- 2.- Las dificultades para ensamblar en el espacio elementos dispuestos según ángulos diferentes. Solucionados por los diferentes tipos de conexiones a base de esferas o pernos.

- 3.- La carencia de materiales adecuados con sus consecuentes dificultades constructivas.

La mayor parte de estas dificultades han sido superadas sin embargo, han sido los métodos modernos de prefabricación y montaje los que más han contribuido al desarrollo de tales estructuras, como se mencionará en los capítulos posteriores.

El antecedente de la estructura espacial, la armadura -- (llamada también viga en celosía o entramado), se basa en la triangulación, por ser el triángulo la forma geométrica más rígida que puede obtenerse en el plano. Esta disposición en triángulos hace que la armadura conserve los nudos en tensión y compresión como de viga continua, pero el alma queda sustituida por una red de barras, unas a tensión y otras a compresión, que absorben los esfuerzos cortantes. La evolución de estas estructuras fue consecuencia de tratar de absorber los empujes que provoca sobre los muros un techo a dos aguas ---- fig. 1. mediante un tirante a partir del cual, para evitar la excesiva flexibilidad nació el pendolón, que a su vez dió origen a los codales.

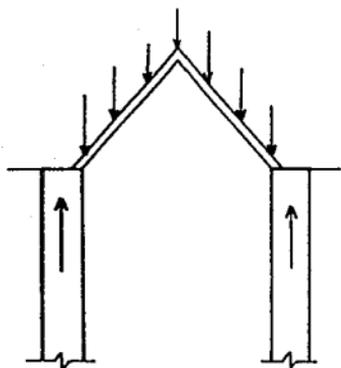
Para poner en práctica éstas innovaciones para el aligeramiento de vigas o arcos de grandes claros, dió lugar primero, a un tipo de celosías basadas en arrancar con varias diagonales desde los apoyos (fig. 2), de tal manera que cada par de diagonales recibiera la carga del montante correspondiente sin embargo, debido a que los ángulos son así muy agudos o -- muy obtusos, junto a la dificultad de la existencia de miembros de gran longitud (un estado de cargas no previsto puede hacerlos trabajar a compresión con el correspondiente riesgo de pandeo), la tendencia general se inclinó a mantener los ángulos semejantes entre si de 45° a 60° , con pocas barras que-

dió lugar a la armadura tipo Warren, Howe y Pratt, que sustituyó a la anterior pues tienen la ventaja de que las diagonales trabajen a tensión sin problemas de pandeo. Dada la posibilidad de cambiar el estado de cargas dió origen a la armadura en Cruz de San Andrés que presenta un número excesivo de barras y que además tiene también, toda una serie de diagonales a compresión, teniendo la ventaja de que si se aumentan el número de nudos en el cruce de las barras reduce la longitud de pandeo de las mismas.

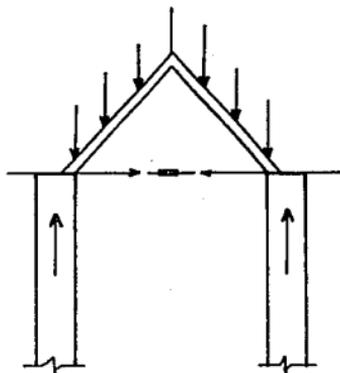
La necesidad, en fin, de que no actúen cargas mas que sobre los nudos (para evitar flexiones en las barras) junto con la de tener elementos de sección muy grande, da lugar a la armadura en K, que logra una separación entre los nudos medios, así como una disminución en la longitud de montantes y diagonales. Y a partir de aquí encontramos toda la gama de triangulaciones secundarias justificadas así mismo por la necesidad de concentrar la cargas en los nudos y reducir el peligro de pandeo de las barras.

Sin embargo, la estructura plana, aún pudiéndose adecuar a cualquier tipo de exigencias, no tiene grandes posibilidades arquitectónicas, así como de salvar grandes claros con poco material, temas en los que el uso de la estructura espacial ha generalizado su uso en los últimos diez años, ya que solo se les conocía hasta hace poco (principalmente la construida con barres tubulares) en cimbras y construcciones provisionales.

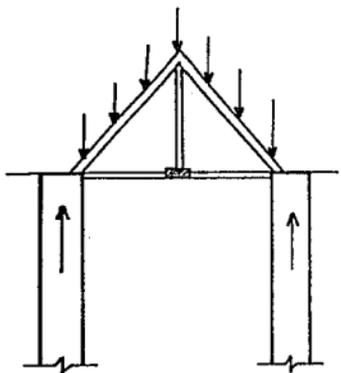
EVOLUCION DE LA ARMADURA



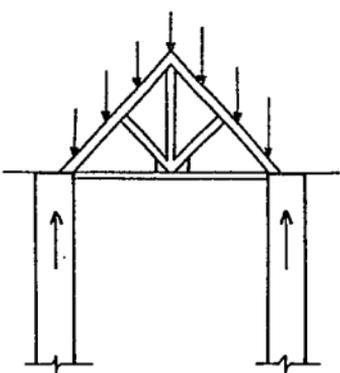
1. _ Empuje sobre los muros de un _
techo de doble vertiente



2. _ Colocación del tirante para
absorber empujes

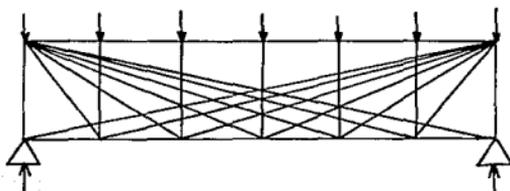


3. _ Nace el pendolon para
flexibilidad excesiva

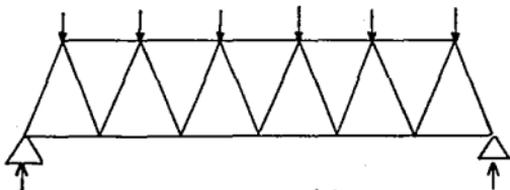


4. _ Codales que reducen aún más
la flexibilidad y dan origen
a la armadura

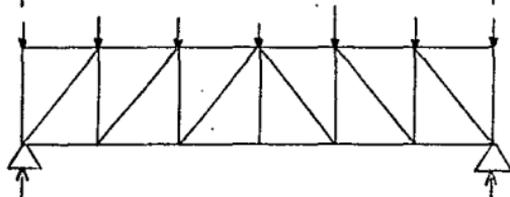
TIPOS DE ARMADURAS



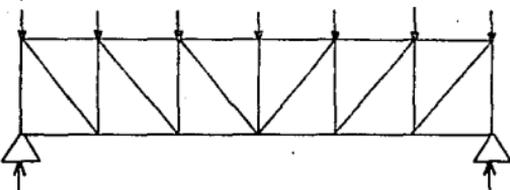
Diseño original



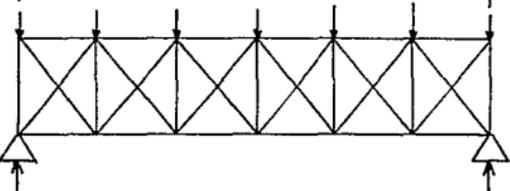
Warren



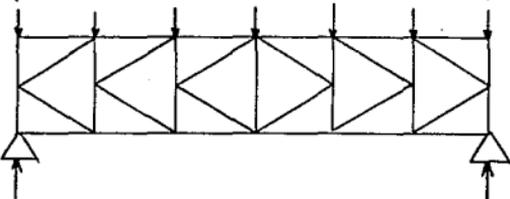
Howe



Pratt



Cruz de San Andres



Viga "K"

II.2 DEFINICIONES Y CLASIFICACION.

Se puede definir a las estructuras espaciales bajo puntos de vista diferentes aunque todas cumplen objetivos comunes.

Desde el punto de vista de su apariencia, lo que se ha dado en llamar estructura espacial no es mas que la versión en tres dimensiones de las cerchas o armaduras de celosía usadas anteriormente. Es decir, que una estructura espacial expresa una disposición estructural consistente en un gran número de barras de longitud pequeña comparada con la de toda la estructura, unida entre sí a través de sus extremos, dando lugar a una red tridimensional. Son hasta cierto punto una extensión al espacio de la armadura tradicional.

Prácticamente son una forma de construcción, caracterizada por la tendencia de ingenieros y arquitectos, a repartir cargas, distribuir y reducir los esfuerzos actuantes y sacar la máxima utilidad de la materia en las que armonizan estrechamente las ventajas técnicas y la belleza arquitectónica.

Por su comportamiento la división que aún subsiste, entre las estructuras planas y espaciales se refiere no a la estructura en sí, que siempre es espacial, sino a los métodos de análisis. En una estructura plana, todos los elementos sustentantes se encuentran en un mismo plano de modo que las líneas de acción de las fuerzas son coplanarias, soportando estas estructuras esfuerzos que actúan en su propio plano. La -

armadura de cubierta clásica y el pórtico son los distintivos de los sistemas tradicionales. Mientras que en la espacial -- pueden estar dispuestos siguiendo diversas direcciones en el -- en donde las fuerzas actuantes pueden actuar en cualquier punto de la superficie exterior bajo cualquier ángulo y cualquier dirección (la cúpula es un ejemplo típico) al estar las barras y en consecuencia las líneas de acción de las fuerzas -- ramificadas en el espacio, las fuerzas se igualan en su mayor parte y constituyen sensiblemente un campo de fuerzas homogéneo, sin puntos de sobrecarga grande, confiando a la estructura una gran resistencia a las sollicitaciones exteriores. -- Las tensiones internas disminuyen y con ellas las secciones -- necesarias de los elementos en tensión o compresión, lo que -- conduce a un ahorro apreciable de material. Logrando así construcciones ligeras tendiéndose a eliminar el uso de los perfiles y estructuraciones convencionales (T, I, \square), losas nervadas, elementos compuestos, etc., que conllevan a una gran economía y belleza.

Por lo anterior, la eficacia de una estructura espacial -- reside, en la posibilidad que presenta de distribuir tan ampliamente como sea factible cualquier acción concentrada de -- las cargas y gracias a la disposición de un gran número de -- elementos unidos entre sí, las cargas aisladas que actúan en ciertos puntos de la estructura no son sostenidas únicamente -- por los elementos cargados directamente, sino también por -- otros situados a considerable distancia de la carga, logrando -- se una distribución más homogénea de las sollicitaciones en toda la estructura, reeditando así en ligereza, economía y belleza aunado a esto una mayor seguridad dado el alto grado de

hiperestaticidad.

Los diferentes tipos de estructuras espaciales pueden agruparse en tres categorías principales:

- 1.- Entramados, constituidos por un conjunto de barras — unidas entre sí por nudos.
- 2.- Las estructuras de láminas metálicas, en las que los revestimientos de cierre participan en la resistencia a los esfuerzos solicitantes.
- 3.- Las construcciones de cubiertas colgantes.

Las cúpulas de entramado, las bóvedas de cañón de entramado y los reticulados de las capas son ejemplos típicos de la primera clase. Entre las construcciones laminares que forman la segunda clase están las construcciones plisadas y dentro del tercer grupo las cubiertas de cables son construcciones colgantes.

De acuerdo a la clasificación anterior, es lógica la tendencia a utilizar las estructuras espaciales como cubiertas — exclusivamente lo cual es bastante razonable por sus características, como su ligereza mencionada anteriormente, que permite el uso de éstas para cubrir grandes claros.

Tomando en cuenta lo anterior se ve la importancia de utilizar a la estructura espacial no solo como cubierta sino — como estructura sustentante principal, ya que mientras en las

estructuras clásicas, los esfuerzos producidos por el peso -- propio y las cargas permanentes son generalmente muy elevadas en las estructuras espaciales se ha conseguido reducir los pesos propios de la obra lograndose con ello aumentar la carga-útil. Un daño local del reticulado dificilmente conduce al de rrumbamiento de toda la estructura.

Dentro de las estructuras espaciales que podemos utili--zar como estructura de una cubierta, caemos en la primera categoría de la clasificación anterior, por lo que eliminando - a las cúpulas y bóvedas de cañon se mencionan los distintos - reticulados (por geometría y estructura) posibles de utilizar con dicho fin.

RETICULADOS DE VIGAS DE UNA CAPA.

El reticulado de una capa es la forma más simple de las-estructuras espaciales. Está constituido por dos redes de vi-gas sitúdas en un plano, cruzandose en ángulo recto (reticula-do rectangular) u oblicuamente (reticulado en diagonal). Las-vigas estan unidas rígidamente en sus puntos de cruce, las --cargas actúan normalmente al plano de las vigas y los vecto--res representativos de los momentos se encuentran sobre este-plano. El hecho de ser ortogonales entre sí permite a que sus cuatro lados sean utilizados como apoyos. Existen igualmente-reticulados con voladizo o circulares.

Hay varios tipos de estructuras de reticulado utilizados en la construcción y si bien desde el punto de vista de la re-partición de esfuerzos el reticulado diagonal es más aconseja

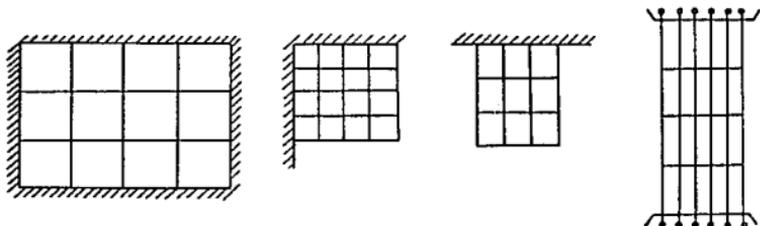
ble, ya que tiene mayor rigidez, conduciendo a una apreciable reducción de flechas suele utilizarse en la práctica el reticulado rectangular por las diferentes ventajas de apoyo que presenta.

Los reticulados de viga son utilizados en general para cubrir grandes superficies y salvar grandes claros sin apoyos intermedios. Pero también son económicamente competitivas --- para pequeños espacios. Cada problema ha de ser analizado por separado; con frecuencia son las condiciones de sollicitación--- las que determinan la decisión. Actualmente se acostumbra a dejar las estructuras al descubierto, el reticulado presenta por sí mismo un efecto muy decorativo.

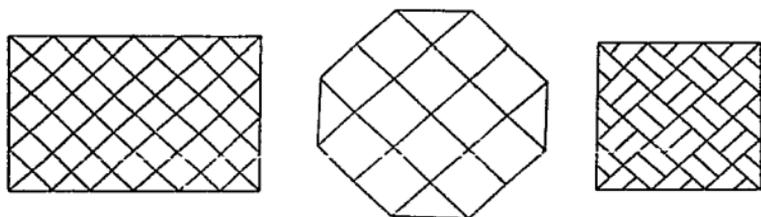
Estos sistemas tienen una extraordinaria rigidez y conducen a una repartición mas uniforme de las tensiones y las compresiones; se logra un mejor reparto de los esfuerzos de tensión con el reticulado diagonal que se compone de vigas que forman ángulo oblicuo con los muros.

La diferencia fundamental entre los dos sistemas reside en el hecho de que las vigas del reticulado en diagonal son de diferentes longitudes. Por ésta razón la rigidez relativa EI/L varía notablemente aun en el caso de que el valor EI de las vigas sea idéntico. La consecuencia de esto, es que las vigas de esquina más cortas tienen mayor rigidez a la flexión y sirven de apoyo a las más largas que pasan a ser vigas continuas sobre apoyos elásticos; y así se reducen los momentos de flexión en el centro. Debido a su rigidez, los reticulados de vigas de una capa presentan una altura bastante inferior a

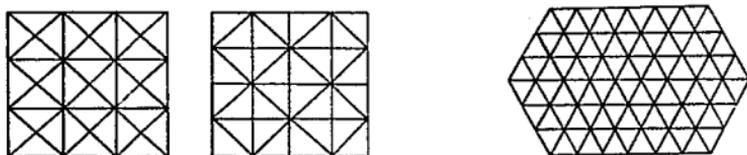
RETICULADO DE VIGAS O MALLAS DE UNA CAPA



RETICULADOS RECTANGulares APOYADOS SUS LADOS EN DISTINTAS FORMAS



RETICULADOS TRIANGULARES SIEMPRE APOYADOS EN SUS CUATRO LADOS



RETICULADOS TRIANGULARES

la de los sistemas habituales y son económicos para claros - de hasta 30 m.

RETICULADOS DE VIGAS DE DOS CAPAS.

Para lograr cubrir claros más grandes, es indispensable una mayor rigidez de la estructura, lo cual se ha logrado por medio de los reticulados de vigas de dos capas, estas se componen de dos redes de vigas dispuestas en dos planos paralelos, redes que no han de tener necesariamente la misma configuración, ya que dependiera para cada sistema de reticulado, - de la o las unidades espaciales (módulos) que se utilice para conformar el sistema; la capa del plano superior esta unida - a la capa del plano inferior por un gran número de barras rectilíneas verticales o diagonales unidas entre si en los nudos con lo que se obtiene un tipo de construcción tridimensional en la que la acción de las cargas exteriores se reparte inmediatamente en un gran número de elementos con diferentes direcciones lograndose un alto grado de hiperestaticidad.

Las evidentes ventajas constructivas de los reticulados de dos capas han llevado a la realización de un elevado número de construcciones de este género en la actualidad.

De una manera general los reticulados de dos capas pueden dividirse, en dos grupos principales:

- 1.- El reticulado de entramado, constituido por vigas de celosía entrecruzadas.

- 2.- El reticulado tridimensional propiamente dicho, formado por la reunión de un cierto número de elementos en forma de tetraedro, octaedro, pirámide de base -- cuadrada, pentagonal y hexagonal.

En función de la forma que tiene la unidad espacial, se mencionan los distintos sistemas de reticulados.

Sistemas reticulados espaciales compuestos por:

PRISMAS RECTANGULARES. Dentro de este sistema encontramos tres tipos diferentes:

"A" El primer tipo es el sistema, en el que los prismas tienen reticulado simple en cada una de sus caras.

"B" El segundo tipo, las caras de los prismas tienen doble reticulado.

"C" En el tercer tipo, el sistema tiene reticulado diagonal en los prismas.

De estos sistemas los dos primeros tipos, forman parte de los reticulados, del primer grupo, en el que el entramado está constituido por vigas de celosía (armaduras) entrecruzadas, como sería el caso del reticulado espacial de dos capas y con dos direcciones formado por armaduras planas tipo Warren en donde los prismas rectangulares que se forman (o los prismas que forman el sistema) tienen doble reticulado en sus caras.

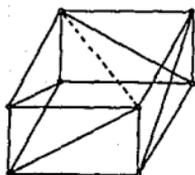
PRISMAS TRIANGULARES. En este sistema encontramos prismas triangulares de base triangular y de base cuadrada y en ambos casos, el reticulado en la cara de los prismas puede ser simple o doble.

Los de base triangular forman un sistema al que puede considerarse, como una variante entre los reticulados del primer y segundo grupo, debido a que pueden verse como mallas formadas por vigas con celosías triangulares y en tres direcciones a 60° definiendo triángulos equiláteros cayendo así en el primer grupo, o de otro modo, una malla de dos capas que son triángulos equiláteros unidos entre sí por barras diagonales de modo que se formen prismas triangulares de base triangular, siendo así las del segundo grupo.

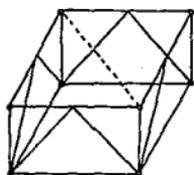
Con los prismas triangulares de base cuadrada se construye un prisma conocido como malla multitriangulada en donde sus dos capas son iguales y los prismas en sus caras tienen reticulado simple.

PRISMAS TETRAEDROS Y SEMI-OCTAEDROS. Este sistema está formado por pirámides de base cuadrada, que al ensamblarse una al lado de la otra originan dos capas iguales de cuadrados, siendo este un reticulado espacial de dos direcciones, es decir, que cada capa esta formada por dos redes de barras entrecruzadas. Es común en el uso de cubiertas formar el sistema por pirámides con el vértice hacia abajo uniendo las bases cuadradas entre sí por medio de tornillos o soldadura. En el caso de débil sollicitación se puede suprimir una pirámide-

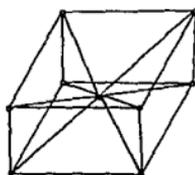
PRISMAS RECTANGULARES



A



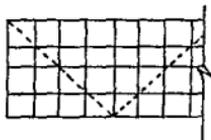
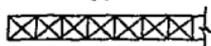
B



C

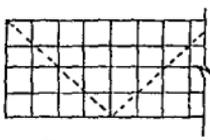
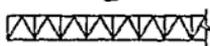
Reticulado simple

A



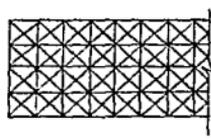
Reticulado doble

B

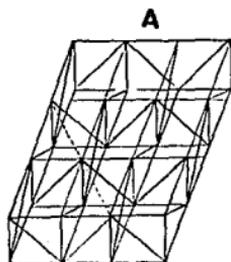


Reticulado Diagonal

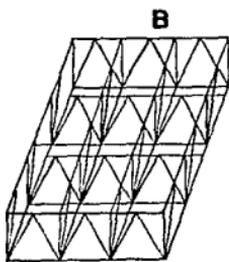
C



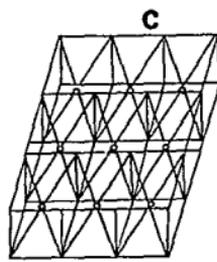
PLANTA Y CORTES



A

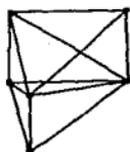


B

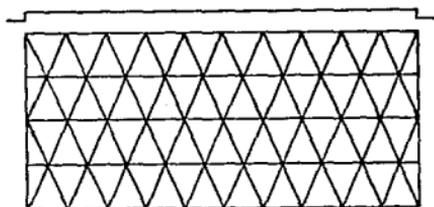
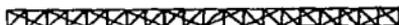
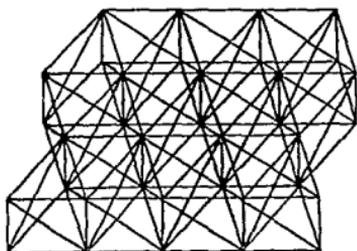


C

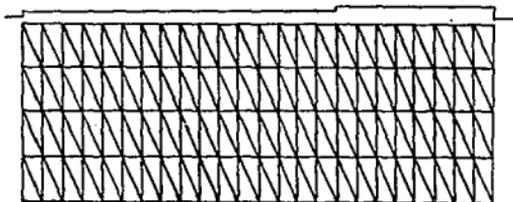
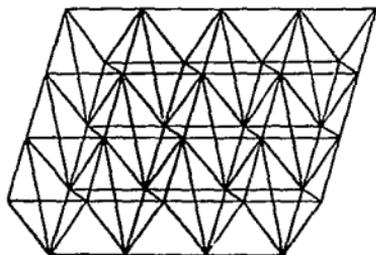
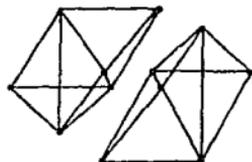
PERSPECTIVA



**PRISMAS TRIANGULARES DE
BASE TRIANGULAR**



**PRISMAS TRIANGULARES DE
BASE CUADRADA**



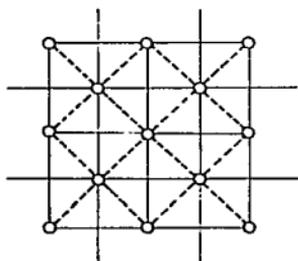
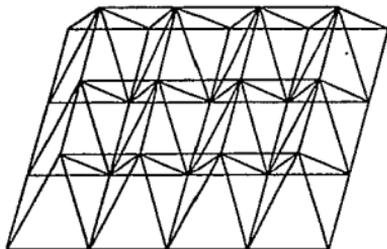
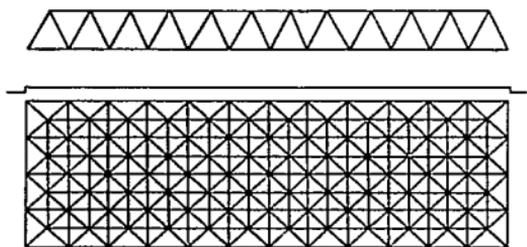
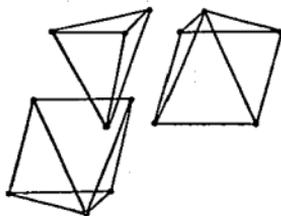
de cada dos.

Otra alternativa para originar este sistema, es utilizar de las armaduras tipo Warren inclinadas a 45° y uniendo los cordones superiores e inferiores.

PRISMAS TETRAEDROS Y OCTAEDROS. Es el sistema más común en donde las dos capas son iguales a base de triángulos equiláteros, resultado del ensamble de tetraedros. La combinación de tetraedros y octaedros regulares dan como resultado un reticulado espacial en tres direcciones, sistema muy eficaz, de excepcional rigidez a la flexión y a la torsión, y susceptible de cubrir grandes espacios.

PIRAMIDE HEXAGONAL. Es el resultado de la idea actual, de conseguir estructuras de dos capas formadas por unidades hexagonales prefabricadas, se pueden concebir diversas variantes, pero el tipo más rígido esta formado por pirámides prefabricadas de base hexagonal, cuyas cúspides estan unidas por tirantes. Las dos capas tienen barras en tres direcciones y las dos capas son distintas entre sí, siendo que la capa exterior, está formada por triángulos y la interior por hexágonos Este tipo de reticulados son ideales para las bóvedas de cañón y las cúpulas.

PRISMAS TETRAEDROS Y SEMI-OCTAEDROS



Barras y nudos superiores

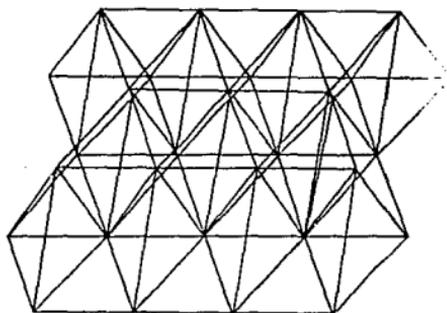
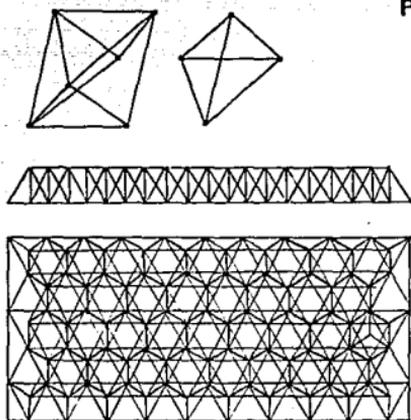


Barras y nudos inferiores

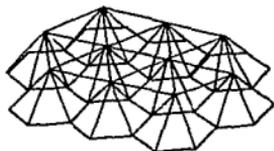
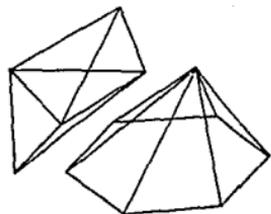
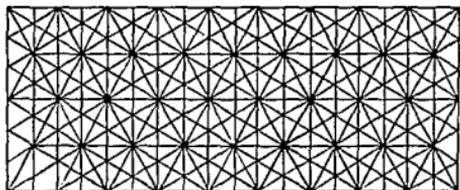
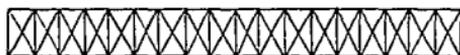


Diagonal

**PRISMAS TETRAEDROS
Y OCTAEDROS**



PIRAMIDE HEXAGONAL



SISTEMAS PATENTADOS.

1.- Sistema Wero. El conector utilizado es un poliedro - de 18 caras cuadradas y 8 triángulos equiláteros redondeados - lo que lo hace aparecer como una esfera, por lo que permite - colocar axialmente 18 barras centradas ya que la distancia de cada cuadrado al centro del conector es la misma, tiene además este conector el mismo número de ejes de simetría que el cubo y el octaedro. Con esto se tiene una variabilidad casi - sin límites de la composición geométrica. Los nudos y las barras están roscados por lo que pueden ser montados o desmontados muchas veces sin que se dañen.

2.- Sistema Octaplatte. El reticulado espacial de tres - direcciones a base de una combinación de tetraedros. Este reticulado presenta una gran rigidez a la flexión y a la torsión por lo que se usa comúnmente para cubrir grandes claros. En el sistema Octaplatte se unen las barras a una esfera perforada por medio de soldadura. El sistema no es desmontable - y es exclusivamente para construcciones permanentes.

3.- Sistema Unistrut. El sistema es técnicamente muy sencillo: las barras están formadas de perfiles laminados en frío o en forma de canal. El nudo consiste en una lámina prensada y doblada en los que se atornillan los canales. Todas las partes pueden volver a utilizarse varias veces sin que se dañen.

A partir de estas formas clásicas, la variedad de la tipología es prácticamente infinita, de modo que las mallas espaciales proporcionan una excepcional libertad de diseño, una facilidad constructiva basada en la posibilidad de prefabricación cuyo tamaño puede ir desde el simple módulo (unidad espacial -tetraedro o pirámide- por ejemplo). y una economía notable de material que redundo en la utilización de poca mano de obra, facilidad de transporte y un costo reducido.

Esta libertad naturalmente plantea un grado de optimización difícil. Una tipología estructural con pocas limitaciones será difícil plantearla en forma óptima. La experiencia al respecto, sin embargo, ha producido en cuanto a la forma del módulo, las mallas tetraédricas (es decir, a base de tetraedros y octaedros) en pirámide cuadrada (tetraedros y semi-octaedros)-multitrianguladas (prismas triangulares de base cuadrada) siendo éstas la tendencia fundamental de la forma estructural para mallas de dos capas planas, posibles a utilizar como superestructuras de cubiertas.

III ALTERNATIVAS DE SOLUCION.

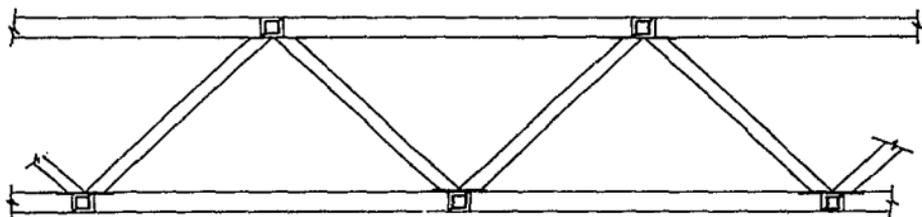
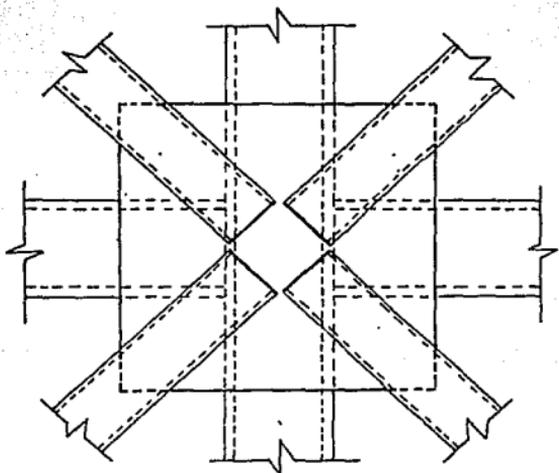
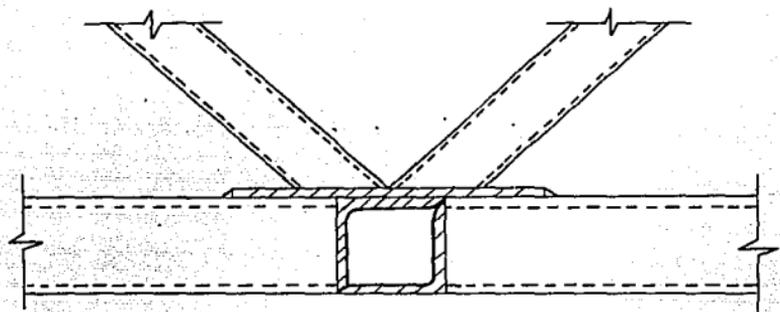
Para la realización del proyecto definitivo se tuvieron que elegir entre diferentes alternativas de solución de acuerdo estructural, arquitectónico, de funcionalidad, economía y la utilización de los métodos de fabricación y montaje.

III.1 SOLUCION CON ANGULOS.

La estructura original que se concibió consistió en formar cada uno de los elementos principales de la estructura -- tridimensional por medio de dos ángulos en cajón de 10.2 X -- 0.6 cm. (cuerdas superior, inferior y diagonales) punteados -- con soldadura. A pesar de que en términos prácticos sí era -- realizable de ésta forma tenía problemas de armado y estéticamente no era muy agradable su acabado como se explicará a continuación.

Desde el punto de vista de fabricación el primordial problema que se tenía era el supuesto de necesitar un banco de -- trabajo especial con pinzas o prensas para fijar el o los ángulos y ensamblar el otro para fijarlos con puntos de soldadura hasta quedar bien alineados y de ahí soldarlo perfectamente cuando se requiera para quedar debidamente rígido. Aunado a esto que la cantidad de uniones era considerable, el tiempo de elaboración era un factor importante en cuanto al avance -- del programa de obra; por lo que fue una de las razones primordiales para objetar su realización. Además que el peso de-

OPCION CON ANGULOS DE 2" x 2"



éstos perfiles es de 9.82 kg/m lo que daba como resultado -- una estructura bastante pesada.

En cuanto a cuestiones arquitectónicas el acabado de tal estructura no era uniforme dado que en la unión de ángulo con ángulo quedaban los puntos de soldadura a la vista y entre -- cordón y cordón había un hueco que definitivamente no era de buen aspecto. Al quedar éstos huecos en la estructura existe la posibilidad de que penetre agua y se cree una atmósfera -- dentro de la misma y como consecuencia haya corrosión trayendo graves efectos a la estructura que al cabo de poco tiempo --- puede perder su capacidad a los esfuerzos que están actuando. Dicha solución se presenta en la figura III.1 .

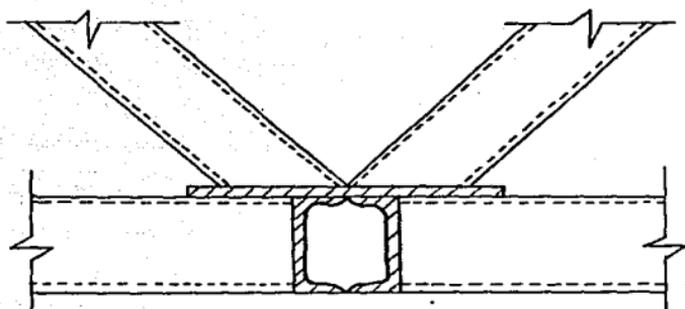
En cuanto a la fabricación de ésta estructura se puede -- realizar ya sea en el taller o directamente en la obra, aun-- que en éste último caso se trasladaría el material y las he-- rramientas necesarias como se describirá posteriormente.

III.2 SOLUCION CON CANALES.

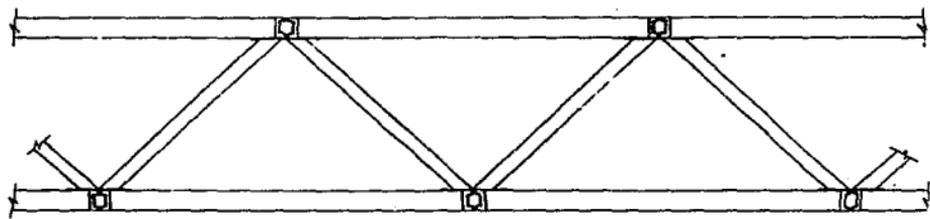
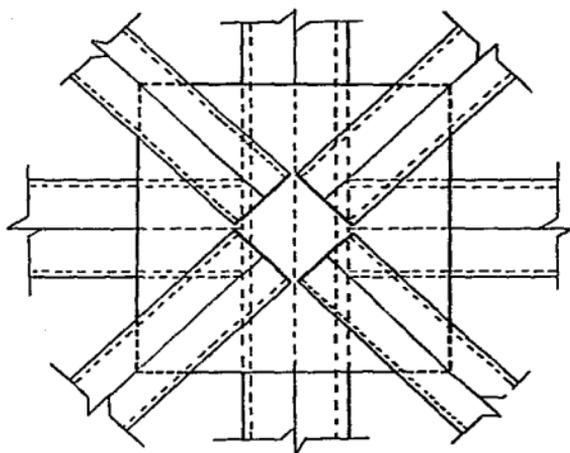
Como una alternativa de solución que se presentó fue realizar la estructura por medio de canales en sección cajón y - unidos por cordones de soldadura. Al igual que la solución -- por medio de ángulos en cajón las cuestiones de armado y de es-tética pusieron en duda la utilización de los canales para fa-bricar la estructura aún cuando el acabado de la soldadura -- era más uniforme. Además de que en el punto de unión de las - diagonales se hubiera tenido que utilizar una placa más gran-de y un cordón de soldadura mayor. Esta solución se muestra - en la figura III.2 . Sin embargo el peso de cada uno de los - perfiles de 10.2 cm. es de 8.64 kg/m y la volvía bastante pe-sada además de voluminosa, por lo que ésta posibilidad aunque factible se eliminó.

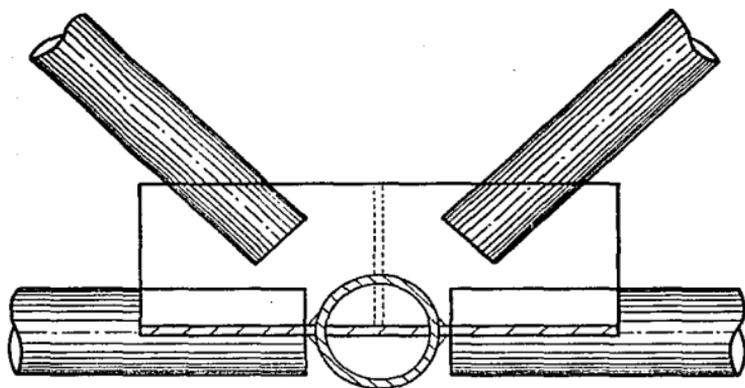
III.3 TUBOS REDONDOS.

Como tercera solución se presentaron los perfiles tubula-res "OR" de las siguientes dimensiones, cuerda superior "OR", de 0 10.2 cm. ced. 80, cuerda inferior "OR" de 0 10.2 cm. ced 40 y diagonales "OR" 0 6.4 cm. ced. 40. El peso de dichos -- elementos era mayor que el de ángulos y canales al formar su-componente básico que es la pirámide volvía a la estructura - muy pesada. Además de que presentaba problemas en el armado-

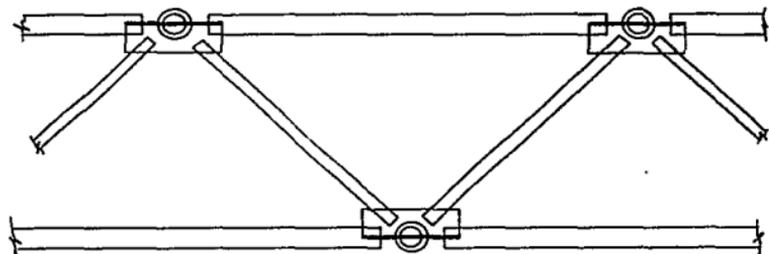


OPCION CON CANALES





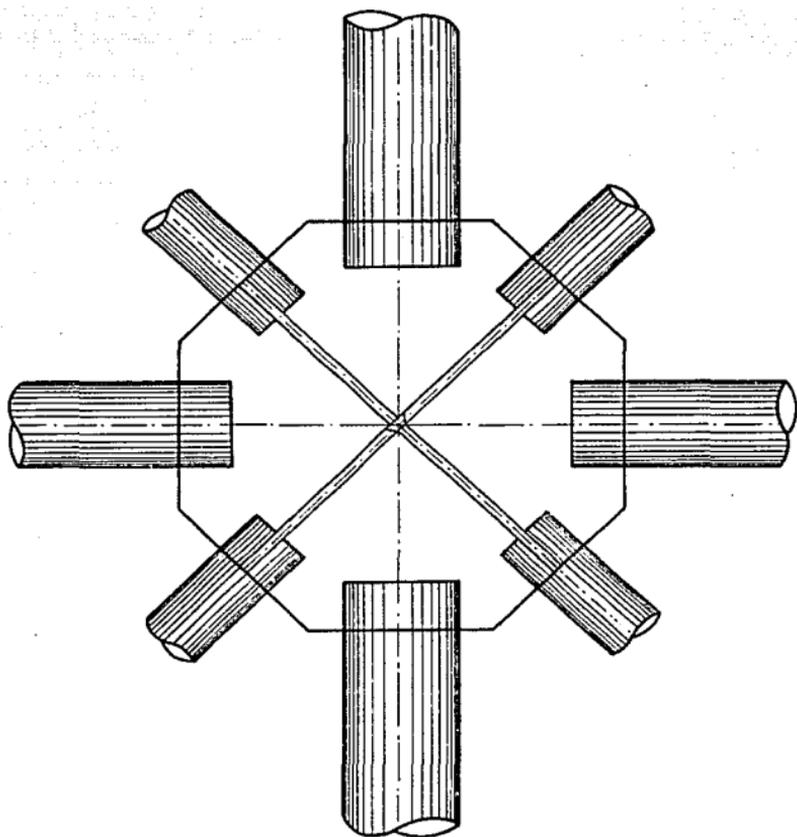
OPCION CON TUBO DE 2" x 2"



ý en la soldadura.

La unión de éstos elementos consiste en una placa base-ortogonal de 13 mm. de espesor y dos placas rectangulares de 1 cm. de espesor de sujeción donde han de coincidir las diagonales y cruzarán las cuerdas inferiores en las dos direcciones. Resultaba muy laborioso ranurar los tubos para permitir la entrada de la placa y dicha ranura tenía que hacerse con el disco de corte por fricción. Y el que tener que soldar en dicha unión por medio de ranuras presentaba obstáculos de maniobrabilidad, ver fig. III.3 .

El perfil tubular tiene la ventaja de que no presenta costuras y su apariencia estética es excelente, eliminándose así la necesidad de aplicar soldadura; además de que las propiedades de rigidez son aceptables.



OPCION CON TUBOS DE 2"x2"

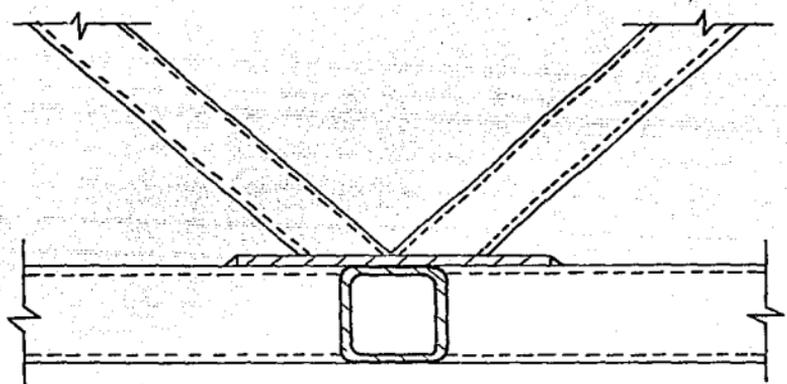
III.4 PERFIL RECTANGULAR P.T.R. O P.E.R.

Por último se presenta la solución con perfiles P.T.R.--ya que posee características de fabricación, estructurales y manejabilidad para la fabricación de estructuras metálicas -- excepcionales que se mencionarán a continuación.

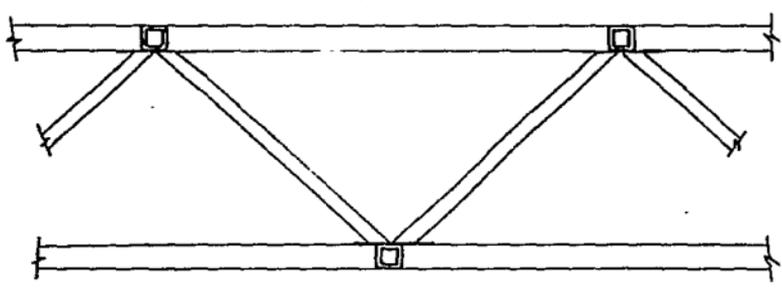
El perfil P.T.R. es un producto de alta calidad que posee una serie de cualidades que lo distinguen de los perfiles de acero actualmente utilizados en el diseño y construcción -- de estructuras metálicas. Está fabricado con un acero espe---cial que le dá alta resistencia, tiene un tratamiento térmico que le dá una homogeneidad en toda su sección.

III.4.1 CARACTERISTICAS GENERALES.

El perfil P.T.R. es un producto estructural de forma -- cuadrada o rectangular, de alta resistencia, calibre tipo ligero sección compacta, acabado negro y con una gran variedad de dimensiones y espesores adecuados para la fabricación de -- cualquier diseño de estructuras.



OPCION DEFINITIVA DE PTR DE 2½" x 2½"



III.4.2 VENTAJAS.

- No requiere de enderezado previo por su estricta tolerancia en rectitud.
- Sus propiedades a la tensión le permiten mayor capacidad para absorber cargas de impacto.
- Su diseño cerrado impide la corrosión en el interior de la estructura al terminarse de soldar.
- El perfil P.T.R. tiene sección compacta. Por esto su factor de columna Q es igual a 1.0 (lo anterior implica que el 100% del área del P.T.R. trabaja a compresión. En el caso de flexión se permite el uso del 60 % del esfuerzo de cedencia).
- Debido a su sección transversal cerrada, su resistencia a la torsión es mayor que en los perfiles abiertos (ángulos y canales).
- Por su forma cerrada (cajón), las características del momento de inercia, modulo de sección y radio de giro son mayores que en los perfiles convencionales. Gracias a esto, se pueden obtener estructuras con mayor rigidez y capacidad de carga.
- Las estructuras diseñadas con perfiles P.T.R. son más ligeras, estéticas y fáciles de soldar que otras.
- En los diseños fabricados con perfil P.T.R. se logra mayor economía y no se requiere de habilitación de perfiles abiertos para lograr secciones cuadradas o rectangulares.
- Los elementos estructurales compuestos con P.T.R. no requieren placa de unión en la mayoría de los casos.

Gracias a dichas características el habilitado del material, el armado de la estructura y el soldado de la misma se realiza mucho más fácil y rápido optimizando así tanto las herramientas usadas y el tiempo de elaboración. Los datos técnicos de fabricación y bajo condiciones de servicio se darán en el tema referente a fabricación de la cubierta inclinada.

Para finalizar diremos que antes de elegir la forma y disposición de la estructura metálica tal y como se procederá a su fabricación se presentó otra alternativa de P.T.R. con la diferencia de que las cuerdas superiores e inferiores se formarían con dos perfiles P.T.R. de 76 X 76 mm. de peralte pero se eligió solo uno de 76 X 102 X 3.2 mm. con el que se evitaba el tener que unir las cuerdas con dos perfiles ver la fig. III.4 .

IV PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION

IV.1 DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO

El proyecto consiste en construir una estructura espacial de dos capas. Por capa se entiende cada plano paralelo al plano paralelo que contiene a las cuerdas superiores e inferiores que contienen placas que forman nudos, de modo que el plano que contiene la cuerda superior es una capa y el plano que contiene la cuerda inferior, es otra, así la estructura espacial elemental formada por una pirámide como en este caso es de dos capas, cuyos elementos estaran formados por los siguientes perfiles:

- Cuerda superior y cuerda inferior formadas por perfiles tubulares P.T.R. de 76 X 102 mm. X 10.2 kg/m.
- Diagonales formadas por P.T.R. de 64 X 64 mm. X 5.84 kg/m.
- Placas de unión de 6 X 300 X 300 mm.

Los nudos estarán unidos por soldadura eléctrica a los P.T.R. que forman las barras diagonales en cualquier dirección y tienen el cometido de transmitir los esfuerzos a lo largo de la estructura. Por considerarse a las barras articuladas en éstas, estarán sometidos solamente a esfuerzos de tensión y compresión determinables a partir de las fuerzas que les transmiten las barras concurrentes.

Haciendo una analogía de la estructura espacial, con una armadura, las diagonales en ésta, son los elementos que forman a las pirámides con las que se construye la estructura espacial, así se eliminan prácticamente los montantes y en cada extremo serán fijados en ménsulas formadas por medio de placas en cajón, ya que soportarán las fuerzas cortantes en los apoyos.

Las cuerdas inferiores soportarán los esfuerzos de tensión, las cuerdas superiores lo harán con los esfuerzos de compresión, todo esto debido a las deflexiones ocasionadas por el peso propio de la estructura y la cubierta de lámina acrílica.

Tanto los nudos de la capa superior e inferior quedan contraventeados transversalmente por medio de los P.T.R. que forman una retícula triangular y rectangular que van de extremo a extremo de la estructura y van soldadas a cada nudo.

Los elementos de la malla superior e inferior también han sido diseñados para absorber los esfuerzos ocasionados por el transporte y montaje de la estructura.

Así pues, la cubierta esta constituida por una estructura metálica electrosoldada, y segun la clasificación descrita en el capítulo II, es un reticulado de entramado (vigas o mallas) de dos capas cuyos módulos son prismas tetraedros. En general la altura de las pirámides para este caso será de 1.22 m el largo de la cubierta del primer tramo será de 34.16 m. y el ancho será de 21.76 m. y para el segundo tramo será de 34.16 m X 7.32 m. Estas se conformarán con hileras de pirámides y se -

unirán tantas como lo requiere el ancho de la cubierta y a todo lo largo de la estructura.

IV.2 PLANOS DE DISEÑO.

DATOS QUE DEBERAN CONTENER LOS PLANOS DE DISEÑO.

Primeramente, los planos de diseño deberán describir claramente la estructura a construir, fijando con precisión sus dimensiones y características básicas, tales como distancias entre ejes principales y secundarios, alturas a sus niveles -- componentes, su geometría general y las secciones o perfiles de los miembros que componen la estructura.

El proyecto contará además con información detallada sobre las uniones de los miembros de la estructura, ya sea que estas uniones se efectuen en el taller o en campo.

El diseñador deberá prever el tipo de fabricación que convenga al taller que vaya a construir la estructura, así como el transporte de las piezas al lugar de la obra y el tipo de uniones por efectuar en el campo durante el montaje de la estructura. Dicho plano se adjunta. Una vez teniendo los planos de diseño el fabricante procede a la cubicación del del material extrayendo toda la información que sea necesaria del proyecto a fin de elaborar los planos de montaje, el despiece de materiales y las órdenes de trabajo.

IV.3 PRESUPUESTO.

Para la elaboración del presupuesto como primer paso se deben estudiar a fondo las especificaciones. Alguna persona -- con experiencia debe revisar a fondo los dibujos de diseño, -- calculando las cantidades y tamaños de las piezas por fabricar y montar, sacando su peso total, estimando la cantidad y tipo de soldadura según lo muestren los dibujos de diseño. Posteriormente se debe visitar el lugar de la obra para determinar las condiciones relacionadas con el método de montaje y la influencia que tendrá en el presupuesto, con el fin de familiarizarse con los puntos importantes del proyecto. Los posibles ensambles de taller se deben analizar a fin de reducir el trabajo en el campo, teniendo presentes las limitaciones de fabricación, embarque y acarreo así como la capacidad del equipo de montaje. Debe hacerse una investigación de las posibles obstrucciones u obstáculos para la entrega y descarga del material, montaje y uso del equipo. Con esto, con esto el elaborador del presupuesto estará listo para especificar el método probable de fabricación y montaje de la estructura y llegar a un costo.

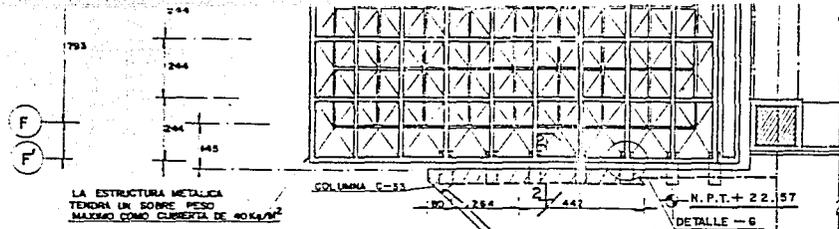
IV.4 PLANOS DE TALLER.

Los planos de taller deben contener todos y cada una de las instrucciones (hasta el detalle más mínimo) que el taller debe seguir en sus diversas operaciones del proceso de fabricación y de todas las operaciones subsecuentes.

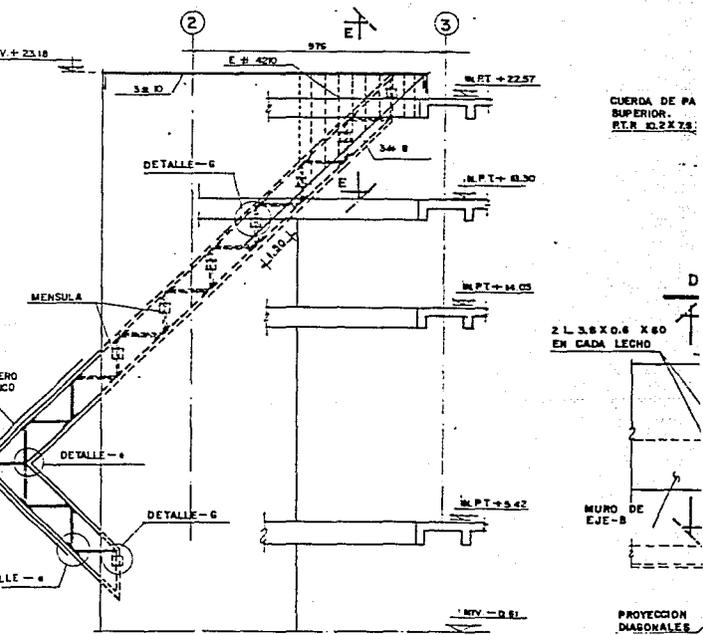
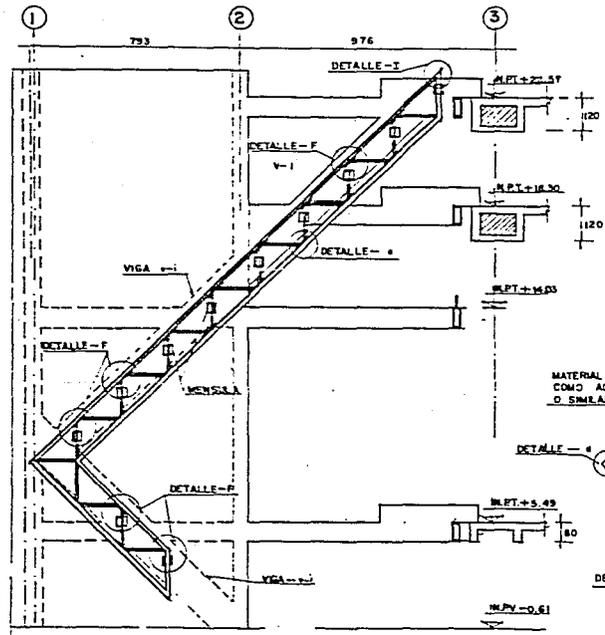
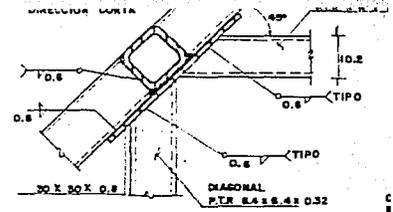
El dibujante que desarrolle los planos debe tener preferentemente una familiaridad amplia con el taller en sí con objeto de disponer de todas las operaciones y procesos por los que pasan las piezas durante su fabricación. La uniformidad en los planos de taller es indispensable para que puedan lograrse buenos resultados de conjunto. La simbología de soldaduras, -- tornillos, acotaciones, escalas, líneas, etc. debe ser siempre la misma.

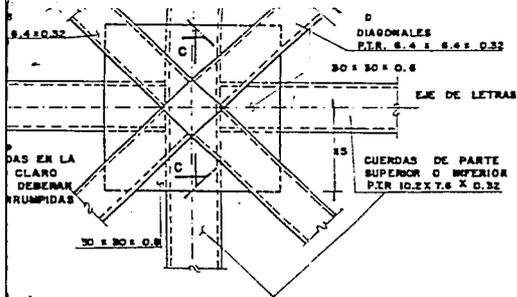
Los planos se comienzan representando los miembros que se vayan a detallar, a una escala conveniente, o bien, en una proporción adecuada, de modo que se aprecien con claridad, los detalles de recortes, barrenos, cotas, soldaduras, etc. sin -- confusiones. La representación anterior se ayuda de tantos cortes, vistas o detalles amplificados como sea necesario.

La operación de marcar las piezas de una estructura es -- una operación importante, ya que esta marca se respetará para identificar a las piezas en cuestión durante todas las etapas de fabricación, transporte y montaje.

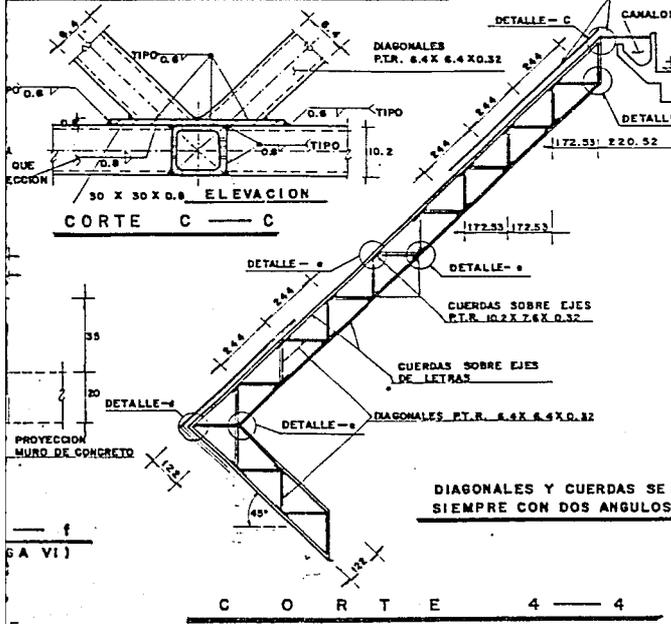


CUBIERTA METALICA INCLINADA
(P L A N T A)

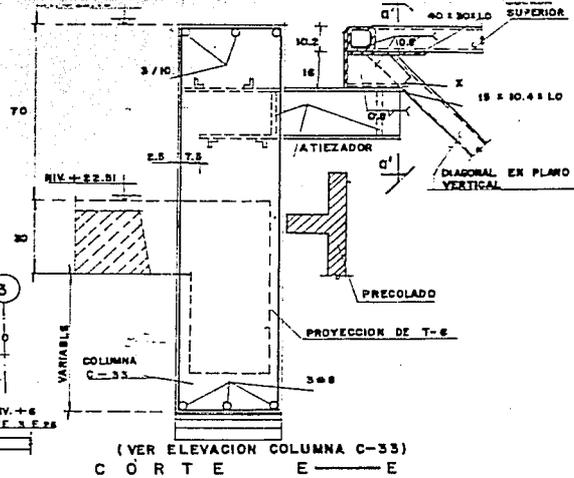




PLANTA
ETALE a

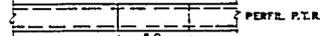


CORTE 4 - 4



NOTAS GENERALES

- 1- ACOTACIONES EN CENTIMETROS, NIVELES EN METROS.
- 2- TODAS LAS ACOTACIONES, PAÑOS, FILOS Y NIVELES DEBERAN VERIFICARSE CON LOS PLANOS ARQUITECTONICOS Y EN LA OBRA.
- 3- TODOS LOS ESQUEMAS ESTRUCTURALES EN LOS QUE SE INDICA EL ARMADO, NO ESTAN A ESCALA.
- 4- ESPECIFICACION DE MATERIALES.
- 5- CONCRETO NORMAL DE PESO VOLUMETRICO P.V. 2.2 TON/M³ Y 15 X 330 Kg/M³
- 6- VER NOTAS DE ESTRUCTURA METALICA EN E 28 C
- 7- TODOS LOS ANGULOS DE CUERDAS ALLO LARGO DE EJES DE NUMEROS, NO SE INTERRUMPEN, SERAN CONTINUOS SOLDANDO A TOPE SUS ANGULOS EN SECCIONES DISTINTAS.



- 7- LOS PERFILES P.T.R. DE CUERDAS EN EJES DE LETRAS SE INTERRUMPEN CON LAS CUERDAS DE EJES DE NUMEROS EXCEPTO EN LOS BORDES SOBRE EJES B Y F DONDE SERAN CONTINUOS.

U.N.A.M.		
FACULTAD DE INGENIERIA		
TESIS PROFESIONAL		
ROGELIO ACOSTA CASTELLANOS		
CUBIERTA METALICA INCLINADA		
MEXICO D.F.	SIN ESCALA	JULIO 92

Un plano de taller no consiste simplemente en representar los elementos de la estructura a fabricar.

Requiere además entre otras cosas, tomar en cuenta que al detallar todos los elementos debe pensarse en que su montaje sea posible de hacer con operaciones simples. Resulta frecuente que al fijar las "holguras" de los miembros en una estructura, se descuide la forma en que vaya a montarse, dando como resultado que al intentar colocar ese elemento en su posición final en la estructura, haya necesidad de hacer recortes, desplomes y maniobras costosas y laboriosas.

Es indispensable elaborar una lista de materiales para cuantificar las cantidades de piezas de cada elemento así como su respectivo peso.

La pieza a detallar normalmente requiere de dibujos de uno o más subensambles y de las piezas que lo componen. Un subensamble muestra una parte de la pieza a detallar, conteniendo varias de las piezas componentes en su posición correcta, sin conexiones (soldadas, atornilladas, o remachadas) y la marca de cada una de ellas.

Los planos deben indicar con claridad cuáles piezas no pertenecen a algún ensamble en particular y deben mandarse sueltos. Por último deben también indicar el tipo de terminado de algunas superficies, llámese este maquinado, pintado con tal o cual tipo de pintura, esmerilado, etc.

También es necesario estudiar los detalles para facilitar

tar la construcción sin incrementar los costos del fabricante. Deberán ampliarse los detalles de conexiones complicados si -- con ello se puede simplificar y expeditar el montaje.

IV.5 ADQUISICION DEL MATERIAL.

El procedimiento de construcción de la estructura requiere ciertas normas a seguir desde la adquisición del material -- necesario para la fabricación, hasta el embarque de las piezas que forman la misma.

Para la adquisición del material es conveniente dirigirse a las casas más serias, que pueden garantizar el material -- que venden, para que se ajuste a las normas y especificaciones de acuerdo con el tipo de acero que se va a emplear.

Una vez adquirido el material, su almacenamiento debe hacerse de acuerdo a sus características técnicas y longitudes -- con el objeto de emplear el material más largo para la fabricación de las piezas más largas, inspeccionándolo y al mismo --- tiempo desechando el que no cumpla las normas de calidad aceptadas.

IV.6 CONSTRUCCION DE LA ESTRUCTURA.

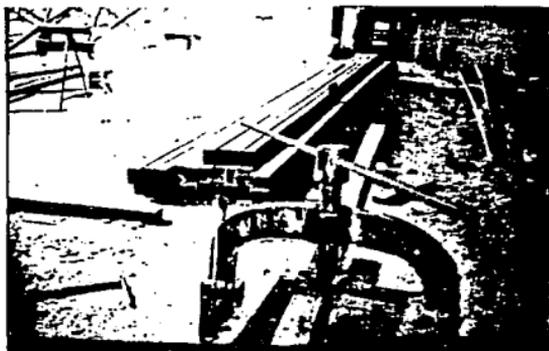
La estructura metálica puede ser construída al pie de la obra o en el taller totalmente y en ocasiones se hace mediante un proceso intermedio, es decir, fabricar parte en taller y la otra parte en el campo.

IV.6.1. Personal de trabajo.

Se debe confirmar la disponibilidad de personal capacitado para los diferentes trabajos, aprendices, habilitadores, -- soldadores, armadores, montadores, operadores, etc. El personal debe ser capaz de realizar reparaciones menores del equipo que esta utilizando. Un capataz de soldadores debe tener la -- habilidad de soldar en todas las posiciones, de manera que pueda saber si el trabajo se esta realizando en forma correcta. -- Debe tener conocimientos suficientes sobre generadores, transformadores o rectificadores, cortadoras, sopletes, según sea -- el equipo que se use, para instruir a su personal y saber si -- lo estan utilizando en forma correcta, así como para darse -- cuenta de algún desperfecto en las máquinas.

IV.6.2. Habilitación del material.

Para empezar la construcción y tener un control durante la misma se elaboran "ordenes de trabajo", tomadas de los planos de fabricación, una para cada pieza distinta que se vaya a fabricar y en la que se nota el número de piezas, el perfil, -- el peso y la marca que debe llevar de acuerdo con los planos -- y un croquis con la forma y los cortes de cada pieza y en los



ENDEREZADO DEL MATERIAL



RESOLUCIÓN DEL MATERIAL

que el almacenista indica de donde debe tomarse el material para tener el menor desperdicio posible.

Estas ordenes de trabajo se entregarán al jefe de producción del taller para que las distribuya al personal encargado.

ENDEREZADO.

El primer paso en el proceso de fabricación de cualquier trabajo de taller o de campo es el de enderezar y corregir defectos apreciables en el material. La mayor causa de defectos en el material es originada en la laminación, en el enfriamiento posterior o por fuerzas externas.

En general hay un sistema de enderezado para cada problema en especial, aunque puede haber casos en los que deba emplearse una combinación de varios sistemas para la solución del problema

APLICACION	EQUIPO O HERRAMIENTAS
- Golpe Directo	- Martillos - Macetas - Marros

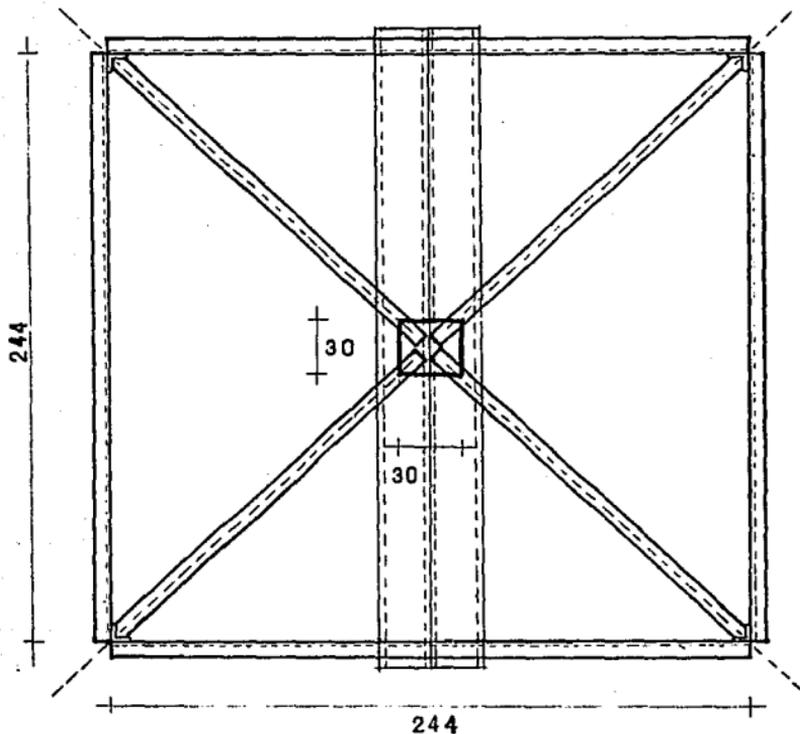
Trazo del Material. Una vez enderezado el material se procede al trazado y marcado del mismo, ya sea por medios mecánicos o por fusión dándole la forma pedida; dicha operación es de suma importancia ya que requiere la mayor precisión posible para obtener los mayores resultados en cuanto a la fabricación. En esta forma se completa el primer paso que se conoce por habilitado del material.

FABRICACION DE LAS "PIRANIDES O PIÑAS".

Dado que son las condiciones y características de la obra las que determinan el método de fabricación de la estructura y considerando que el taller está alejado de la obra se hace necesario transportar la estructura en elementos pequeños y también parte de la fabricación en talleres provisionales, éstas últimas son el caso en que la fabricación se hace a pie de la obra.

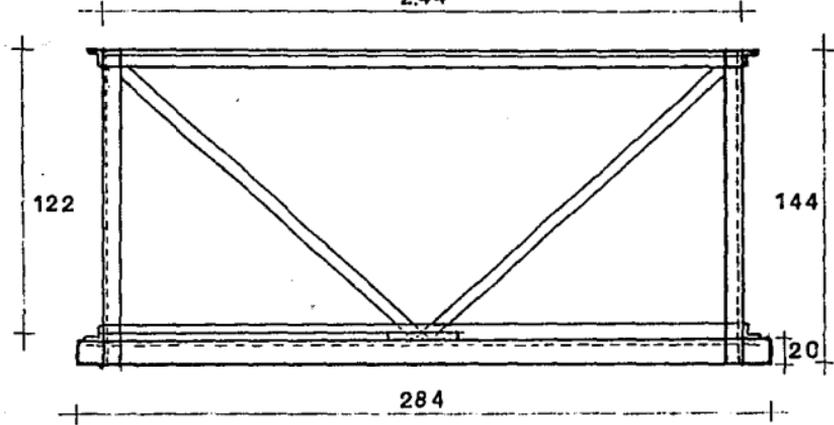
En la mayoría de los casos se opta por fabricar en taller y transportar la estructura seccionada hasta el sitio de la obra en donde se procede a ensamblarla para después montarla.

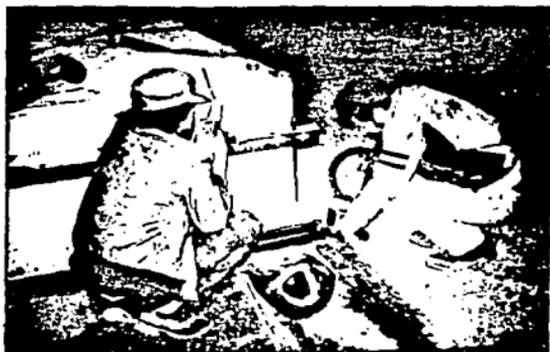
El procedimiento de fabricación se lleva a cabo de tal forma que su producción se haga en planta o taller, ya sea que ésta este al pie de la obra o no. En este proyecto una parte se realizará en taller - la fabricación de las piñas - y la otra en obra - el ensamblado de aquellas a las cuerdas superiores e inferiores-.



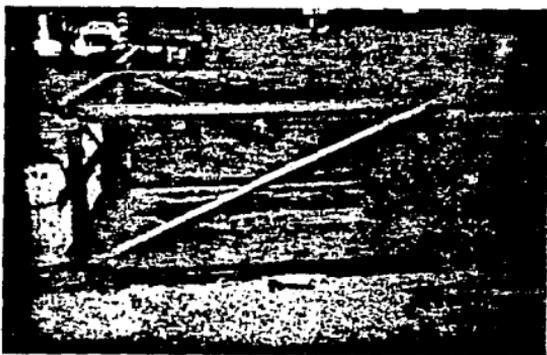
ESCANTILLON PARA ARMADO DE "PIÑAS"

2.44





ARMADO DEL ESCANTILLON PARA LAS PIRAMILES O "PIÑAS"





CONSTRUCCION DEL ESCAMILLON





CONSTRUCCION DE LAS PIRAMIDES O PIÑAS



Una vez elaborados los planos de fabricación se procede al despiece del material y se elaboran las ordenes de trabajo para las "piñas" las cuales estan formadas por los siguientes elementos:

- Diagonales, formadas por perfiles P.T.R. de 64 X 64 mm. X 5.84 Kg/m ; 4 piezas.

- Placa base o de nudo, con medidas de 6 X 300 X 300 mm.

Como el trabajo a realizar es una producción en masa que se repite en gran número con ligeras variaciones en largos o tipos de perfiles, se optó por utilizar accesorios especiales para dicho efecto. Las instalaciones o accesorios para este fin pueden agruparse en general en los siguientes, según su objeto y aplicación y que en este caso se utilizarán para escantillones.

SISTEMAS DE CORTE Y EQUIPO USADO. Los sistemas de corte del material pueden dividirse en dos grandes grupos tomando en cuenta los medios que se usen para hacer el corte. Así hay sistemas mecánicos y sistemas por fusión.

<u>SISTEMA</u>	<u>ACCION O PROCESO</u>	<u>MAQUINAS, EQUIPOS O HERRAMIENTAS</u>
- mecánico	- aserrar en frío	- seguetas - sierras - esmeril

- flama oxidante - sopletes de oxiacetileno y gas butano
- por fusión
- arco eléctrico - soldaduras de arco eléctrico con electrodos de carbón, grafito y de electrodo metálico.

CORTE DE DIAGONALES. Los perfiles estructurales P.T.R. que se utilizan en las diagonales de la estructura (aristas de una pirámide) se seleccionaron según su sección y espesor de acuerdo a las cargas de diseño consideradas y con la longitud necesaria se cortan con una sierra eléctrica de disco abrasivo (corte por fricción) y dependiendo de su posición como arista de la pirámide la posición de la misma inclinada se efectúan también los cortes geométricos definidos en gabinete y marcados en los planos, a fin de que queden de la misma medida y su armado sea uniforme y rápido.

Dependiendo del peralte total de la estructura (distancia entre cuerda superior e inferior) el número de capas que la forman y la sección de los perfiles de las diagonales que forman las pirámides, éstas, tendrán una cierta inclinación y posición, mismas que se le darán mediante un escanti-lón metálico, el cual se fabrica de acuerdo a las dimensiones de las pirámides o "piñas" que conformarán la estructura

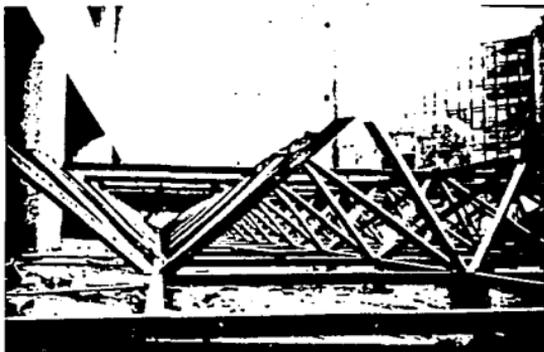
Posteriormente se procede a cortar las placas que conformarán el nudo de 6 X 300 X 300 mm. para lo cual se efectuó con el método de corte de placas con llama oxígeno-butano.

Soplete de oxígeno-butano: el corte con soplete de gases consiste en precalentar el material a cortar hasta su temperatura de ignición y oxidarlo rápidamente por medio de un chorro de oxígeno regulado exactamente. Es por lo tanto esencialmente un proceso químico de oxidación rápida del metal ferroso en el cual el gas butano sirve de combustible y el oxígeno como oxidante.

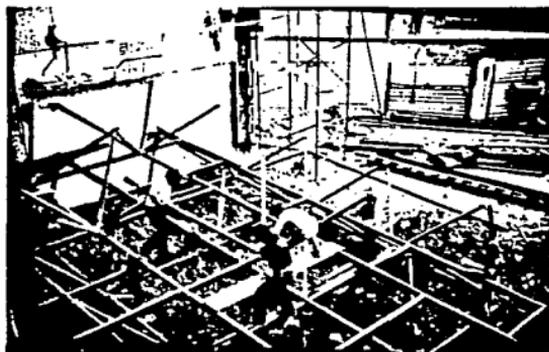
La flama se produce combinando dos gases (oxígeno y butano) a presión mezclandolos en sopletes adecuados con reguladores a presión y control de flama mediante válvulas.

Bien ejecutado el corte por medio del soplete presenta bordes casi tan iguales como el practicado con la sierra. En ocasiones resulta más económico que éste último y debe utilizarse en los siguientes casos:

- a) cuando el espesor de las placas por cortar sean mayores de 10 mm.
- b) cuando los cortes por ejecutar sean de formas complicadas que no haya forma de obtener con la cizalla o sierra
- c) para el corte de placas, barras, tubos y perfiles en general.



UNION DE DIAGONALES CON CUERDAS SUPERIOR E INFERIOR



El corte con soplete es más económico cuando se realiza fuera del taller o a pie de obra debido a que su equipo es portátil y permite efectuar, aún en los lugares más inaccesibles cortes diversos.

Así pues, una vez cortadas las placas se procede al armado de la "piña"; para tal efecto se armará una plantilla a base de ángulos y dos canales de soporte como se muestran en la figura el cual cumple una función específica que se menciona a continuación:

- a) Facilitar la colocación de las partes por armarse - (placa y diagonales) en la posición correcta sin la necesidad de mediciones, evitando toda posibilidad de colocar las partes en forma incorrecta.
- b) Facilitar la fijación de las partes por medio de accesorios de operación sencilla colocados en posición conveniente libre de obstrucciones para permitir puntear las piezas.
- c) Facilitar la remoción de las piezas una vez armada y punteada.

Colocando cada diagonal en su lugar se fijan cada una de las diagonales en las esquinas por medio de puntos de soldadura cuyo procedimiento se describe a continuación:

El método de soldadura utilizado es el proceso de arco eléctrico con el uso de un metal de aportación.

Una vez punteadas las piezas se procede a soldarlas --

completamente utilizando soldadura del tipo de filete y así queda constituida una pirámide o "piña". Con esto se procede a la fabricación en masa. Terminada de soldar e inspeccionada la pieza, se pasa a pintar al departamento correspondiente donde se marca de acuerdo con los planos, quedando disponible para el embarque.

Al embarcar la pieza es conveniente en algunas ocasiones estudiar la posición en que va a quedar la estructura en el momento de desembarcar, para facilidad del armado en el campo.

Lista de embarque. Esta son en esencia una lista donde aparecen las marcas, longitudes, cantidades, peso unitario y peso total de cada uno de los elementos a embarcar. De esta forma el encargado de los embarques revisa que todas las partes que se envían vayan completas.

Transporte. Para el transporte de las pifias se utilizan camiones pequeños de redilas y se van suministrando conforme se vayan utilizando en la obra para el armado de la estructura.

V PROCEDIMIENTO DE MONTAJE.

V.1 INTRODUCCION.

Una vez terminada la construcción de la estructura se procedió a realizar los preparativos para el montaje.

Primeramente se realizó una limpieza general del lugar quitando todo tipo de interferencias que pudieran obstaculizar el izaje de la estructura. Terminado lo anterior se colocaron las grúas en su posición para iniciar el montaje y paralelamente se le colocaron estobos y candados para proceder a izarla.

Una vez izada la estructura y colocada sobre los apoyos se procede a plomearla y alinearla para fijarla definitivamente en la posición de proyecto por medio de puntos de soldadura primero y posteriormente por filetes de soldadura, a fin de que se logre la unión deseada y adquiera la rigidez suficiente para trabajar en condiciones de servicio.

Debe destacarse que se cuidaron los aspectos de seguridad tanto del personal laboral como de la obra misma, así como también el control de calidad de los trabajos realizados.

V.2 PLANOS DE MONTAJE.

Siempre hay que esforzarse por el método que implique el menor riesgo para el personal y el equipo. La velocidad de montaje que se espera lograr debe estar en relación con la velocidad con que se arme la estructura inclinada.

El concepto más importante en los planos de montaje es el número asignado a cada pieza individual; el sistema de numeración, debe seguir una secuencia lógica en los planos. Si varias piezas son idénticas y pueden intercambiarse en la estructura, por lo general se les da el mismo número a todas; este número aparece no solo en el diagrama de montaje sino también en el plano de detalle con el que se fabrican todas las piezas de la estructura y el fabricante lo pintará sobre ellas.

Como su nombre lo indica muestra al montador lo que debe hacer con las piezas estructurales que le llegan del taller. Por tal motivo el montador tiene todo el derecho a que se le entregue un plano que sea fácil de usar y no atestado de detalles o información innecesarios que le ayude a montar la estructura en forma correcta y rápida; ya que un plano confuso obstruye el montaje, un plano claro y bien dibujado lo expedita. Un plano de montaje satisfactorio es tan necesario como un buen plan de montaje. A menudo, el fabricante no dibuja un nuevo plano, sino que obtiene copia de los dibujos-

y agrega en ellas las marcas para montaje.

Las instrucciones contenidas en los planos por eso deben de ser precisas y muchas veces complementados con las especificaciones de montaje. Los planos de montaje, muestran la fase final de la estructura ya montada con todas sus componentes unidas entre si, con sus marcas, orientación correcta y con el tipo de conexiones que se especifican. Debe confirmarse si existen algunas medidas relacionadas con la secuencia de montaje, si hay demoras durante el montaje, para permitir que se hagan algunos otros trabajos necesarios para seguir avanzando.

El montaje de la cubierta metálica se realizó eludiendo la necesidad de cimbras completas que la sostengan durante su erección, Por tal motivo se procedió a armar la estructura en el piso para posteriormente colocarla en su posición definitiva. Cuando los claros por cubrir de la estructura — son muy grandes como para necesitar cimbras en sus primeras fases de montaje, es posible intentar su construcción total en el piso y ulterior colocación mediante el uso de elevadores.

V.3 VENTAJA EN EL MONTAJE DE LA ESTRUCTURA METALICA.

Es indispensable para la rapidez del montaje que las vías de acceso a la obra puedan ser transitadas por los vehículos de transporte del material a una cierta hora del día, así como para las grúas móviles y de espacio para su estancia en la misma.

Corto tiempo de montaje. La estructura de acero es ideal para conseguir en un corto tiempo el montaje, pues se compone de elementos prefabricados que se montan en la obra mediante grúas móviles. Las conexiones del montaje son la mayoría de las veces atornilladas o soldadas. De ahí que la exactitud y precisión de la fabricación de la misma se haga de manera eficiente.

El montaje de la estructura de acero es independiente de las condiciones atmosféricas y la época del año. También se minimiza el tiempo de colocación de la cubierta que podrá ser de lámina acrílica.

Reducción del espacio necesario en la obra. El montaje de elementos de acero tiene la ventaja de necesitar poco espacio a pie de la obra, ya que el traslado de los materiales puede organizarse de tal forma que no sea necesario almacenar cantidades de ellas en espera de ser montado como el caso de las pirámides o piñas. Basta el espacio necesario para la grúa de montaje y un malacate para los materiales pequeños. El montaje de las estructuras de acero causa poco ruido.

V.4 EL PLAN DE MONTAJE.

Una vez obtenido el contrato de la obra, debe iniciarse de inmediato los trabajos para preparar un plan de montaje seguro eficiente y económico. Siempre debe hacerse una visita de inspección después de haber establecido el plan de montaje, preparado los dibujos, entregado el material, etc.

Deben compararse el tiempo que se requiere, el costo, la eficiencia y la seguridad de métodos de montaje en que se utilice un solo tipo o combinación de varios tipos de equipos de montaje, en general, seleccionando el que dé el resultado que se desea, en el tiempo permitido por medio de los métodos más seguros y al menor costo.

La decisión en cuanto a las opciones de montaje y sus alternativas se fundamenta en los siguientes parámetros: espacio libre para maniobrar, número de tramos consecutivos por montar, peso de los tramos, el programa general de obra, etc.

V.5 SELECCION DEL METODO DE MONTAJE.

El método seleccionado depende de la rapidez requerida y del equipo disponible, ya sea propio o que se tenga que rentar. Es necesario tomar en cuenta el tipo, tamaño y altura de la estructura, las posibles interferencias con otras operaciones, que pudiesen demorar la entrega de materiales.

V.6 DURACION DEL MONTAJE.

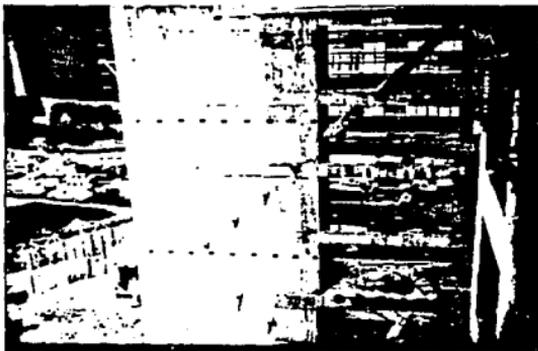
La rapidez del montaje depende del número de equipos -- izadores disponibles y del número de operaciones de elevación, la accesibilidad del punto de colocación, el grado de dificultad de la sujeción, las piezas armadas en obra, etc.

El tiempo que dura una operación de elevación se compone del tiempo necesario para sujetar al gancho la pieza o -- parte de la estructura que se carga, aún en el suelo; el -- tiempo que dura la elevación y el desplazamiento de la carga el tiempo para colocar en el debido sitio la pieza trasladada para ser soldada y desligarla del gancho y el tiempo para el descenso del gancho y cargarlo nuevamente.

V.7 DESCRIPCION DEL MONTAJE.

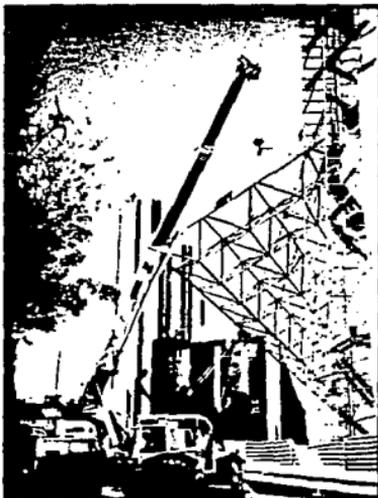
Por lo general para el montaje se coloca en el centro o en los extremos de la estructura un estrobo con ojos en am bos extremos y un cable adicional; a continuación se iza la pieza hasta el lugar donde la esperan los encargados de colo carla, usando el cable adicional para guiarla hacia ellos.

Como ya se dijo anteriormente el armado de la estructura consistió en tres hileras longitudinales de "piñas" en la primera etapa. Terminado el armado de dicha parte se procedió al montaje con cables de acero y malacates, ya que había, que izarla hasta el punto más alto de colocación. Para esto--



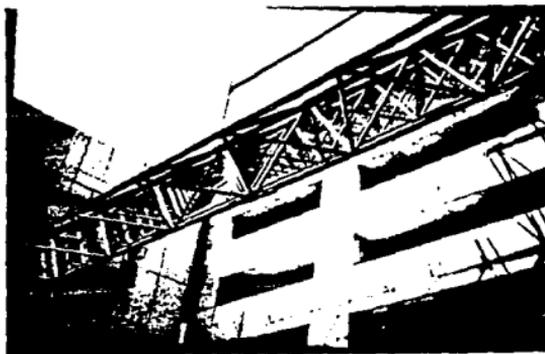
APCIVOS DE LA ESTRUCTURA

16. SEATA DEL
MONTAJE





ESTRUCURUA LONFADA EN SU PRIMERA ETAPA

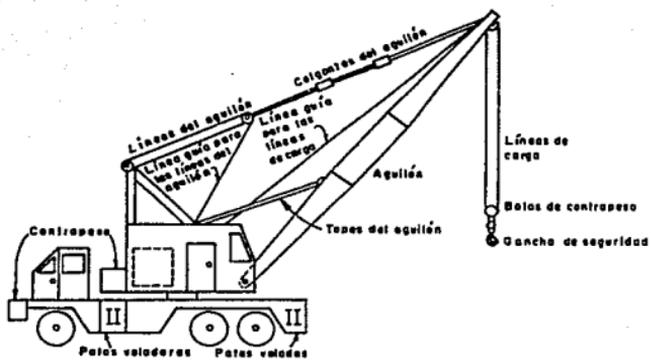


se colocaron cables de acero en los extremos y en la parte media bien sujetados previamente; una vez asegurado esto se inicia el izaje hasta los apoyos donde quedará en su posición definitiva. Al ser descansada la estructura en sus apoyos se procura también no dañar tanto la estructura metálica como la existente de concreto.

Una vez realizadas las maniobras de montaje por el personal abajo como arriba de la misma y colocada en su lugar se procede a puntearla con soldadura en cada uno de sus apoyos en cajón y cuando ya esté debidamente nivelada se procede a soldarla en forma definitiva para que tenga la rigidez de diseño. Los encargados de revisar la soldadura deben asegurarse de que dicho trabajo fue hecho en forma correcta y en caso de alguna anomalía corregirla inmediatamente además de realizar las pruebas de laboratorio de la calidad de la soldadura en forma aleatoria. Así se concluye el montaje de esta primera parte de la cubierta.

El montaje de la segunda etapa consistió en el izaje de seis hileras de pirámides o "pifias" mediante el uso de grúas. Esto debido a que dicha parte era mayor en peso y longitud que la anterior. Para este caso se usaron dos grúas montadas sobre neumáticos que se describen a continuación.

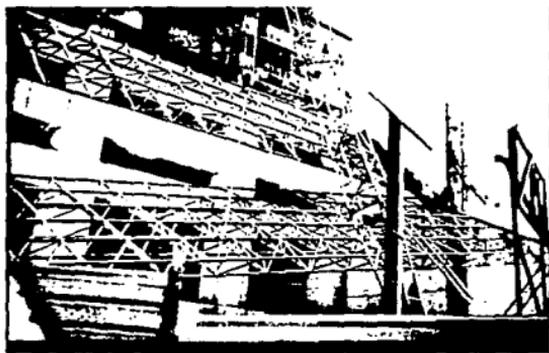
Grúas montadas sobre neumáticos. Constán de un chasis de camión con una cabina en la parte frontal para operar el mecanismo de manejo; este es independiente del cuerpo principal de la grúa, el cual se monta cerca del extremo posterior del chasis, de manera que se permita la rotación del cuerpo



GRUA MONTADA SOBRE CAMION

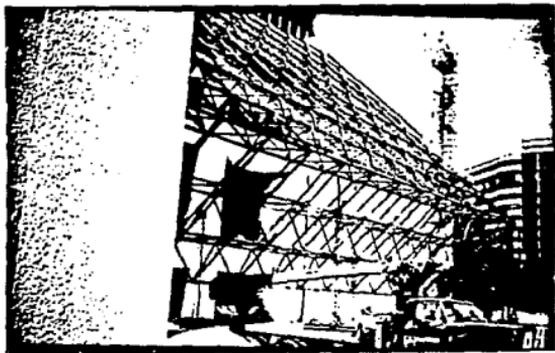


MONTAJE DE LA ESTRUCTURA MEDIANTE GRUA --
HIDRAULICA EN SU 2a.-
ETAPA.

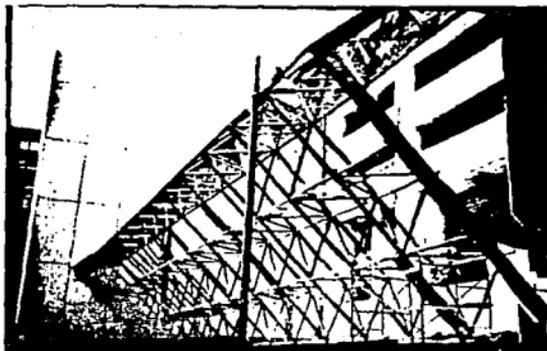


2a. ETAPA DEL MONTAJE

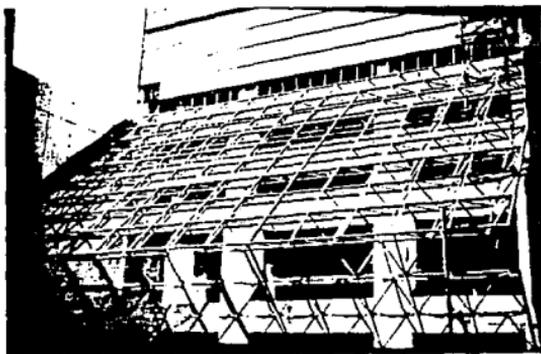


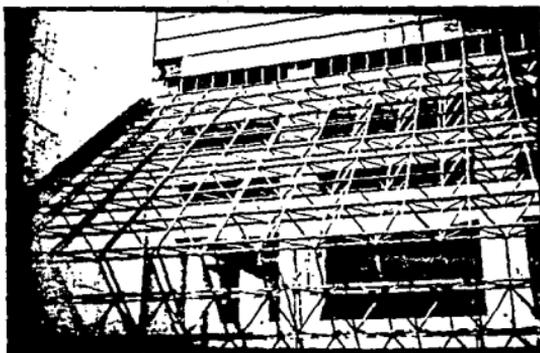


ENCUADRE DE LA ESTRUCTURA EN SU 2a. ETAPA



ESTRUCURA LONIZADA EN SU TOTALIDAD





ESTRUCTURA METALICA ESPACIAL YA TERMINADA

de la grúa en un arco de 360° (ver fig.). La parte del chasis del camión situada bajo el cuerpo de la grúa se equipa con uno o más ejes cada uno con dos o cuatro ruedas neumáticas de hule. En general las ruedas frontales o de dirección están colocadas sobre uno, dos o hasta tres ejes en las grúas de alta capacidad, en el extremo frontal del chasis del camión. También pueden existir uno o hasta dos ejes adicionales cerca del punto central del chasis, equipados con ruedas de hule sencillas o dobles en cada extremo del eje para ayudar a soportar la carga de la grúa sobre el piso.

Se usan apoyos salientes a cada lado del soporte de la grúa, para levantar el chasis lo suficiente para que no se transmita la carga a las ruedas cuando se están izando cargas pesadas; por lo general estos apoyos están retraídos dentro de sus marcos y cuando se necesita se jalan hacia cada uno de sus lados y se colocan sobre bloques en el piso. Algunos apoyos deben de sacarse a mano, mientras que otros están equipados con un mecanismo adicional que extiende las patas de sus extremos de los apoyos salientes se mueven vertical y directamente hacia el piso mediante presión hidráulica.

En algunos modelos de grúas montadas sobre camión, los apoyos salientes están articulados de modo que puedan colocarse a los lados del chasis y, cuando se necesita, se giran hacia afuera en ángulo recto, para colocarlos sobre cuñas o levantar de alguna otra manera el chasis y soportar el cuerpo de la grúa sin cargar sobre las ruedas.

El aguilón se monta sobre el extremo frontal del cuerpo de la grúa por medio de pasadores. Los movimientos del aguilón se controlan por medio de una línea colocada entre la cabeza de este y el cuerpo de la grúa o entre la cabeza del aguilón y un caballete colocado en la parte posterior del cuerpo de la grúa.

El motor de la grúa montada sobre neumáticos es de combustión interna y solo controla la rotación del cuerpo mismo y los movimientos de las líneas principales de carga, la línea auxiliar y la línea del aguilón; el mecanismo de traslación se controla mediante un motor separado situado en el extremo frontal del chasis. El cuerpo de la grúa gira sobre un pasador principal central sobre rodillos (redondos, cónicos, o curvos) o sobre cojinetes de bolas colocadas sobre un anillo adecuado, o sobre un anillo giratorio montado sobre el chasis del camión. La grúa en condiciones totales de operación sin levantar una carga puede pesar más de 80 toneladas—este peso puede reducirse hasta 40 ó 50 toneladas, quitándole el contapeso y parte del aguilón, de modo que la grúa pueda transitar por las calles con el límite legal de peso.

Así pues para el traslado de las grúas, este se hace por las calles procurando hacerlo a una hora en que no haya mucho tráfico o obstáculos que puedan impedir su llegada a la obra o también se traslada en camiones de plataforma para agilizarlo. Normalmente el traslado se hace sin el aguilón y sin el contapeso.

VI CONCLUSIONES.

Como conclusión, se puede decir que la finalidad de una estructura espacial es la de distribuir las cargas de una manera más homogénea en el conjunto de elementos que la conforman produciendo esfuerzos menores en los elementos y reduciendo así en ligereza, economía y belleza de la estructura aunado a un alto grado de hiperestaticidad que produce la gran cantidad de elementos.

Lo que más ha contribuido al desarrollo de tales estructuras han sido los métodos modernos de prefabricación y montaje; Lo anterior gracias a que en los talleres se pueden disponer de mesas de trabajo así como de escantillones para el habilitado del material y posteriormente el armado de las pirámides o "pifias" lo cual hacen que sean de fácil transportación al lugar de la obra y dado que son elementos prefabricados se pueden montar con grúas móviles en un tiempo breve. Lo anterior es independiente del estado del tiempo y la época del año así como el espacio para maniobrar que se requiere es mínimo.

Así, con la tecnología más avanzada y los métodos constructivos más modernos se ha desarrollado una gama de estructuras especiales tanto en el país como a nivel mundial, surgiendo sistemas patentados, tales como el sistema Mero, Octa

platte, Unistrut, etc., que han venido utilizandose cada vez más durante la construcción de edificios tanto de oficinas - como en este caso o en establecimientos de comercio; dando - una mayor versatilidad a las estructuras de acero ligeras - en su aspecto de tiempo de fabricación, montaje y mayor economía.

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

- F. HART, " El atlas de la Construcción Metálica ", Editorial Gustavo Gili S.A., Barcelona (1972).
- J. MARGARIT C. BUCADE, "Las Mallas Espaciales en la Arquitectura " Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona (1977).
- HUTH, STEFFEN " Construir con Células Tridimensionales " - Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona (1977).
- WILLIAM G. RAPP " Montaje de Estructuras de Acero en la - Construcción de Edificios " Editorial Limusa, México D.F. (1978).
- Centro de Educación Continua " Construcción de Estructuras de Acero " Facultad de Ingeniería U.N.A.M. 9 de Junio al 7 de Julio (1975).
- Centro de Educación Continua " Estructuras de Acero " --- Facultad de Ingeniería U.N.A.M. Junio (1979).
- Jaime Rodríguez Fernández " Diseño y Construcción de Piezas Soldadas " Editorial C.E.A.C. Barcelona (1967).

- DAUSSY, ROBERT " Guía Práctica de la Construcción Metálica" Editorial BLUME, Barcelona (1967).
- HAMILTON, FRANK " La Soldadura Autógena y el Corte de los-- Metales " Editorial SINTES, Barcelona (1972).
- WATSON, F. FERCAST. " Manual de Soldadura Eléctrica " Editorial CAYMI, Buenos Aires (1945).
- FERNANDEZ FLORES GUILLERMO. " Manual del Soldador de Meta-- les " Editorial Continental, México (1979).
- Cía. FUNDIDORA DE FIERRO Y AGERO MONTERREY, " Manual para -- Constructores " Monterrey, México (1965).
- Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, A.C. " Manual de la Construcción en Acero " Editorial Limusa, México-- (1987).

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA