

LA CUBIERTA ESPACIAL "SIEMET": SUS COMPONENTES, TECNOLOGIA DE PRODUCCION Y MONTAJE

Sonia Cedrés de Bello (*)
Josef Dragula (**)

(*) Profesor Agregado. Investigador en el Area de Desarrollo Experimental del IDEC, FAU, UCV, desde 1982.

(**) Profesor Titular, Investigador del IDEC, FAU, UCV, desde 1978.

RESUMEN

La cubierta espacial "SIEMET" está formada por tramas tubulares de acero con apariencia homogénea, sus elementos primarios están conformados por barras las cuales son de diferentes tipos de acuerdo a sus dimensiones, ubicación y función dentro de la trama.

Esta cubierta presenta una forma de apoyo, la cual obedece al cerramiento integral del espacio, por lo tanto es adaptado al diseño y función de la edificación.

En este trabajo se analizan los distintos componentes de la trama, los tipos de barras y sus características, así como su forma de ensamblaje y montaje en su sitio definitivo en el espacio, utilizando como caso de estudio el proyecto de una edificación deportiva donde se aplicó el sistema.

CONTENIDO :

- 1 - Introducción
- 2.- Descripción Técnica
- 3 - Tecnología de Producción y Montaje
- 4 - Consideraciones Generales
- 5 - Bibliografía.

1.- INTRODUCCION.

La cubierta espacial "SIEMET" (Sistema de Estructura Metálica Tubular) está formada por tramas tubulares de acero cuyos elementos primarios están conformados por barras, que a pesar de su apariencia homogénea en conjunto, son de diferentes tipos de acuerdo a sus dimensiones, ubicación y función dentro de la trama.

Esta cubierta presenta una forma de apoyo, la cual obedece al cerramiento del espacio, por lo tanto es adaptado al diseño y función de la edificación, integrándose los aspectos de estructura y arquitectura.

En este trabajo se analizan los distintos componentes de la trama, los tipos de barras y sus características, así como sus formas de ensamblaje y montaje en su sitio definitivo en el espacio. Como caso de estudio se seleccionó el proyecto de una edificación deportiva, como es el Gimnasio para 5.000 espectadores, realizado por la Empresa Universitaria TECNIDEC en 1987 para la Empresa RECORDSPORT.

Descripción del caso de estudio.

La edificación seleccionada como caso de estudio presenta estructuralmente dos cuerpos: el cuerpo base de la edificación y la cubierta. Las características de la cubierta son las siguientes: es de forma abovedada en su sección transversal, formada de 6 módulos romboidales (módulo de trama) de 8.8 m. de largo lo cual da una luz libre de 52.8 m. Su planta es rectangular de 52.8 x 64.8 m. con un área de 3.700 m². y un peso de 32.630 Kg. (8.8 Kg/m²). Esta cubierta está apoyada en 18 soportes de concreto (9 de cada lado) separados cada 7.2 m. entre los soportes centrales y 10.8 m. en los extremos (Fig. 1).

El cuerpo base de la edificación es de concreto armado, formada por 4 cajones ubicados en las esquinas, entre ellos en sentido longitudinal se ubicaron 10 soportes aporticados (5 de cada lado) para apoyo de las gradas longitudinales y de la cubierta, y en sentido transversal, 8 soportes (4 de cada lado) para el apoyo de las galerías transversales y mezzanina. (Fig. 2).

Los cajones de las esquinas sirven de elementos rigidizadores de todo el conjunto, para absorber las cargas tanto verticales como horizontales en todas las direcciones, y garantizar la estabilidad de la cubierta; además de alojar internamente espacios funcionales (Fig. 3).

Los cajones y unidades de soporte están fundados directamente sobre 3 cimientos longitudinales y transversales ligados entre sí ortogonalmente por riostras, produciendo presión uniforme sobre el suelo.

El cuerpo base está diseñado para recibir las cargas en todos los sentidos y amortiguar las vibraciones producidas en la cubierta por efecto del viento. Estas vibraciones son acentuadas, por ser cubierta abierta por sus dos superficies (superior e inferior). Paralelamente existen cargas vivas provenientes del gran número de espectadores ubicados en las graderías, las cuales son apoyadas también en las pantallas de concreto.

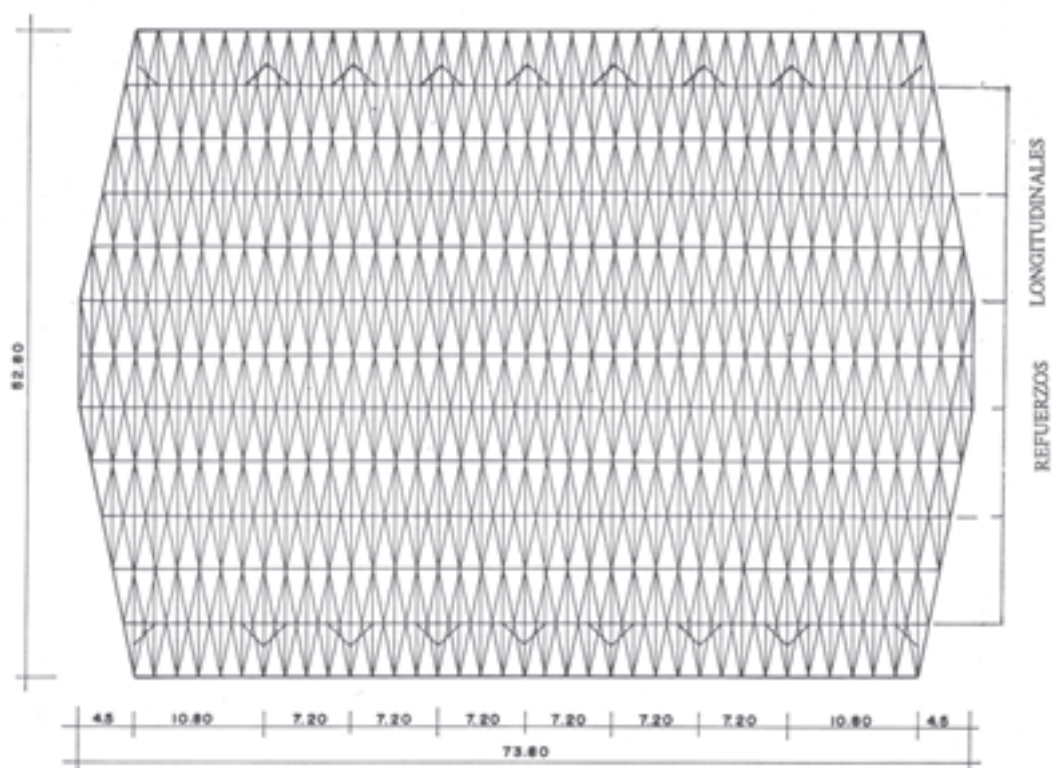
Comportamiento estructural de la cubierta.

En este caso donde la cubierta es abierta por ambas caras (superior e inferior) las cargas por efecto del viento y succión son superiores (aprox. 8 veces) al peso propio. La cubierta está diseñada para eliminar la torsión producida por ese efecto, mediante refuerzos transversales adicionales que reparten la carga en los apoyos; las barras de la trama paralelas a los refuerzos transversales en ambos lados de los ejes, se incorporan al apoyo como refuerzos secundarios. Se produce un efecto de compresión en la cara externa de la trama y de tracción en las barras inferiores de refuerzos. (Ver Fig. 4).

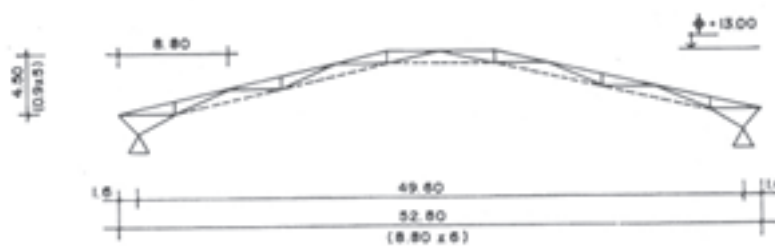
2.- DESCRIPCION TECNICA.

El "SIEMET" es un sistema de cubierta espacial que forma un entramado de una sola capa con barras en tres direcciones con nodos fijos y barras adicionales de conexiones, rigidizado en dos direcciones ortogonales. La trama se forma al unir diferentes componentes tubulares producidos en taller y ensamblados en la obra

FIG. 1
CUBIERTA GIMNASIO 5000 ESPECTADORES



PLANTA



CORTE TRANSVERSAL

PLANTA DE LA ESTRUCTURA DEL
GIMNASIO
FIG. 2

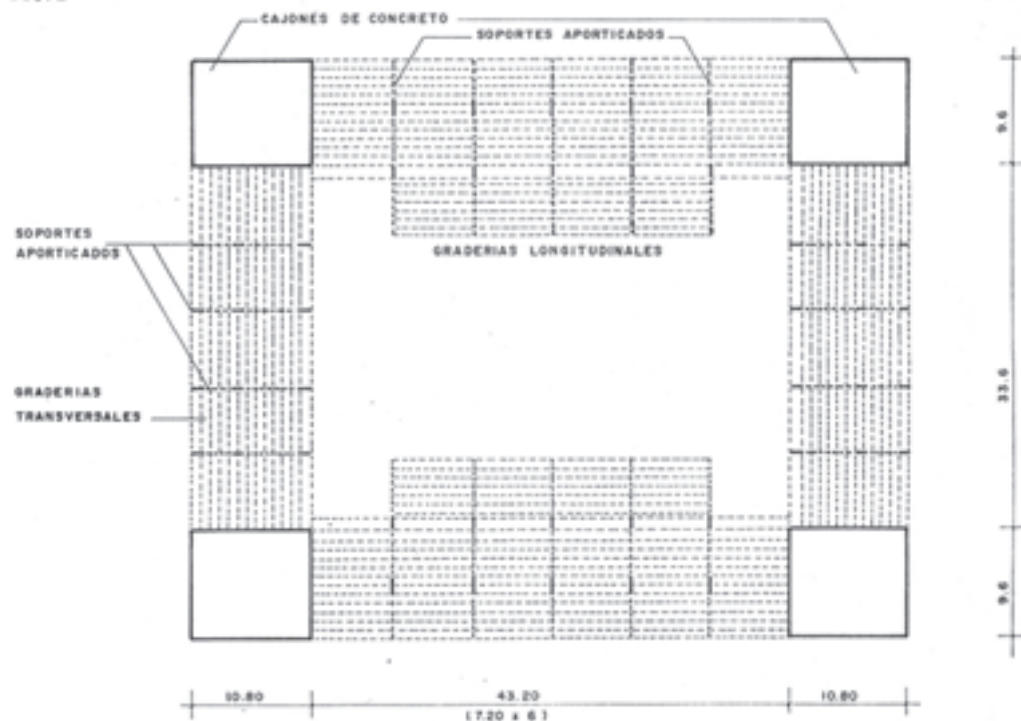


FIG. 3
DETALLE DE LA ESTRUCTURA

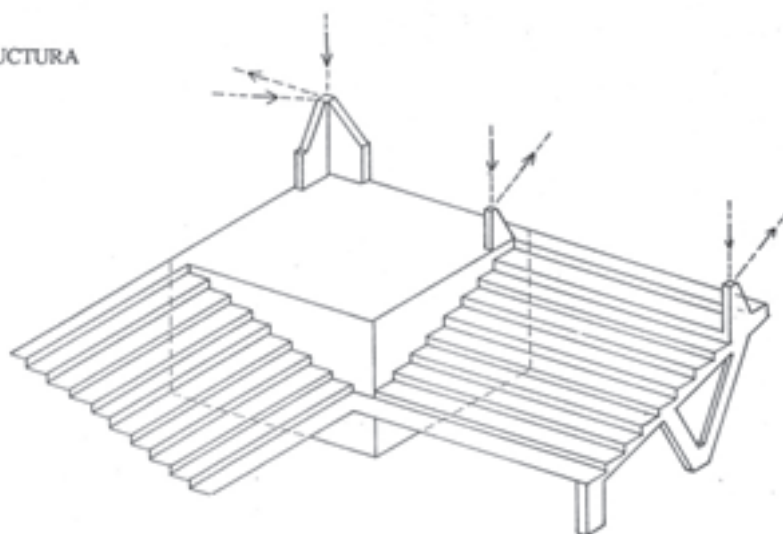
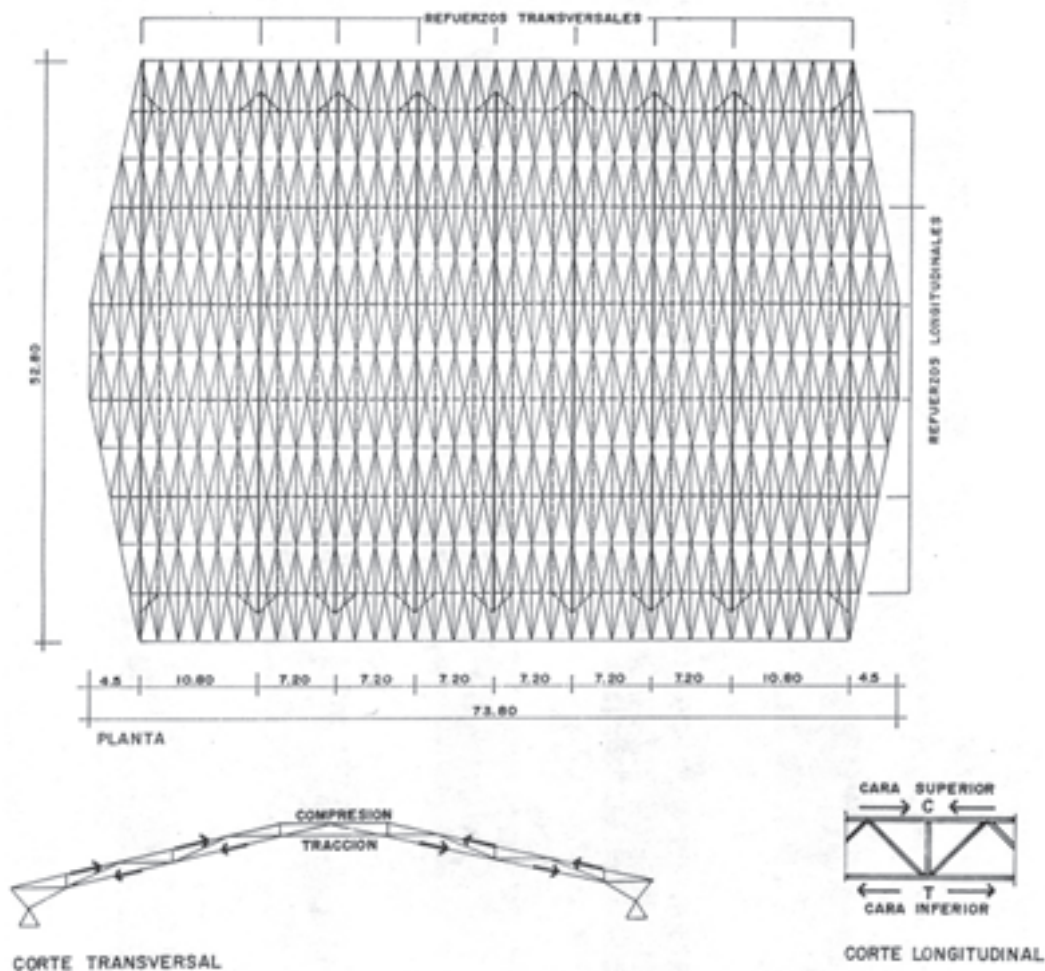


FIG. 4
COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA



MODULO ROMBOIDAL: BASE MODULAR DE LA
TRAMA TUBULAR
FIG. 5

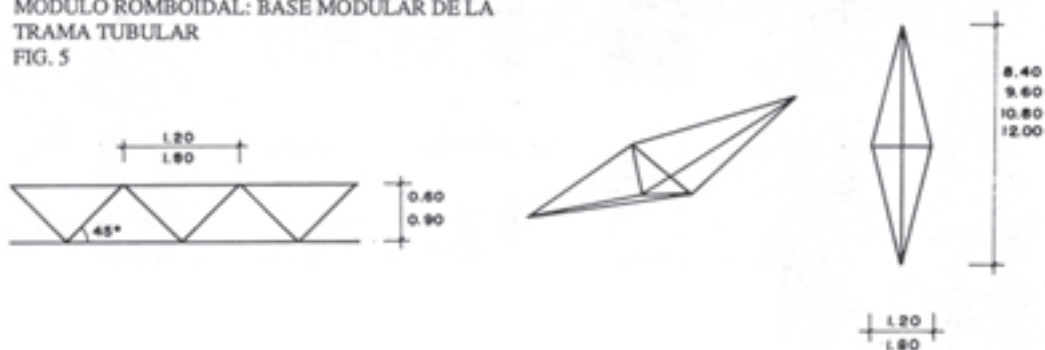


FIG. 6
CORTE TRANSVERSAL

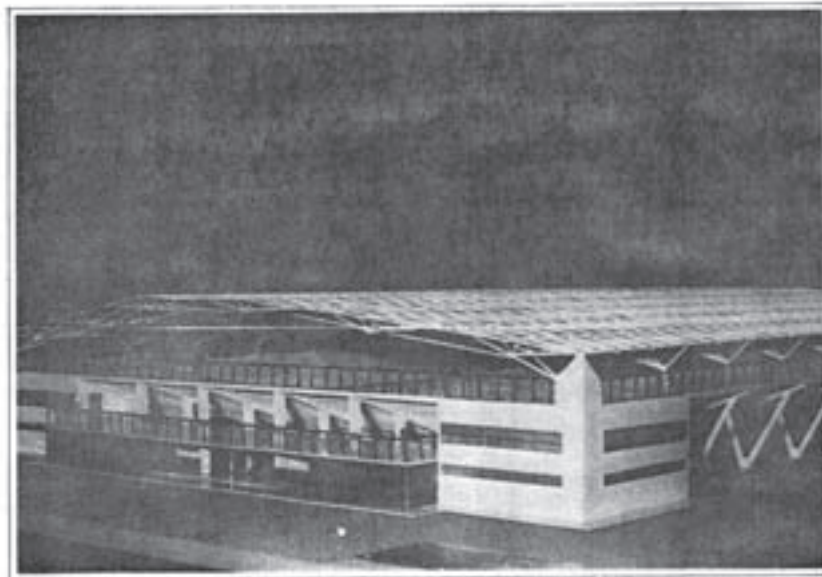
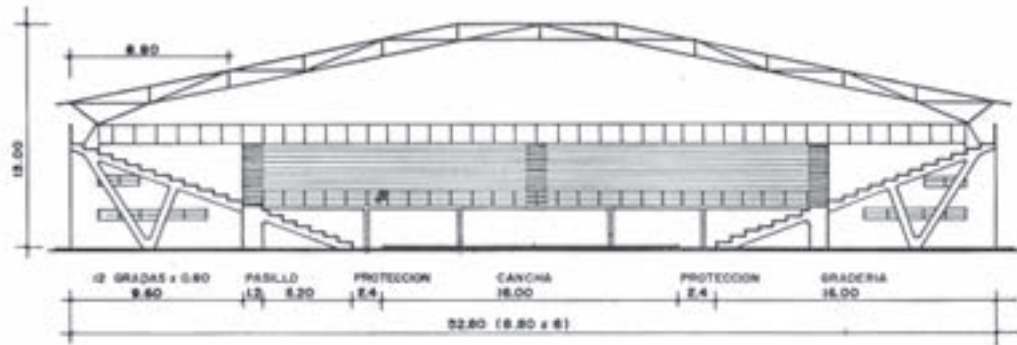


FIG. 7
CLAVE



FIG. 8
RIOSTRA



mediante soldadura y cuya base modular al ser ensamblada la trama, es un elemento romboidal tridimensional de cinco vertices.

2.1.- COORDINACION MODULAR

La coordinación modular supone la selección de una reducida cantidad de medidas correlacionadas entre sí de modo que sea fácil su combinatoria, normalizando el proceso de fabricación de los componentes.

El módulo de crecimiento o estructura metálica tridimensional está definido por un módulo romboidal, el cual presenta las siguientes dimensiones tipificadas: en sentido longitudinal es de 8.40 m., 9.60 m., 10.80 m., hasta 12.00 m. de largo. En sentido transversal la dimensión corresponde a 1.20 m. o 1.80 m. y altura del elemento, con barras a 45°, de 0.60 m. y 0.90 m. respectivamente. Estas dimensiones son una generalidad del sistema (Fig. 5).

En el caso de estudio, se seleccionaron las siguientes dimensiones del módulo romboidal: 8.80 m. de largo, 1.80 m. de ancho y altura 0.90 m. Estas dimensiones fueron el resultado de la adaptación de las dimensiones de la cubierta a los requerimientos espaciales de la edificación, como son el ancho de las gradas, de los pasillos y de la cancha (según normas) en sentido transversal, y la altura de 13.00 m. en el centro de la cancha (Fig. 6). En sentido longitudinal el módulo estructural fue el resultado de combinaciones de 1.80 m. (ancho del módulo romboidal de la trama) obteniéndose luces de 7.20 y 10.80 m.

Los cerramientos tienen módulos resultantes de la subdivisión de las luces, adoptándose para las ventanas 1.80 m. de ancho y para las barandas exteriores 1.20 m. x 1.20 m. (Ver Foto).

2.2.- COMPONENTES DE LA CUBIERTA

Desde el punto de vista de su producción los componentes de la cubierta son:

1. Clave.
2. Riostra.
3. Barras de la trama.

4. Barras rigidizadoras.
5. Barras de conexión (Pendolón).
6. Barras adicionales (Codales).

1. Clave: es un elemento lineal compuesto por varias barras unidas mediante láminas de empalme (Fig. 7).

2. Riostra: es un elemento tipo cercha compuesta por dos cordones, (inferior y superior) con dos tipos de nodos de empalmes y barras conectoras inclinadas y su función es de rigidizar las tramas en sentido longitudinal. (Fig. 8)

3. Barras de la trama: son elementos tubulares que se unen a las láminas de empalme de la riostra y las claves para formar el módulo romboidal de la trama espacial (Fig. 9).

4. Barras rigidizadoras: están ubicadas en los ejes de apoyo de la cubierta en sentido transversal, son barras adicionales a la trama básica, se conectan a las riostras directamente en el nodo del cordón inferior y a las claves a través del pendolón (Fig. 10).

5. Pendolón: es un elemento formado por dos barras, y sirve de conexión entre las claves y las barras rigidizadoras, su función es la de disminuir las flechas (Fig. 11).

6. Codales: son barras adicionales que conforman el apoyo de la cubierta. La trama espacial varía en su forma de apoyo según el diseño de la edificación, éste puede ser corrido o puntual. En este caso se utilizaron apoyos puntuales y se diseñaron elementos combinados entre: una base tubular perteneciente a la cubierta y una base de concreto perteneciente a la estructura de la edificación. A esta base tubular se ha llamado arranque y esta formada por cuatro codales y una base de láminas. Estos codales al ser los elementos de transmisión de las cargas de la cubierta al soporte de concreto, están conectados en la línea de esfuerzos de los refuerzos transversales principales y secundarios; se incorporan a la trama en cuatro direcciones y están constituidos por barras de mas alto calibre que las de la trama básica. Los arranques se colocaron en la parte superior de la gradería en forma tal que no interrumpe el pasillo de circulación. (Fig 12).

FIG. 9
MODULO ROMBOIDAL

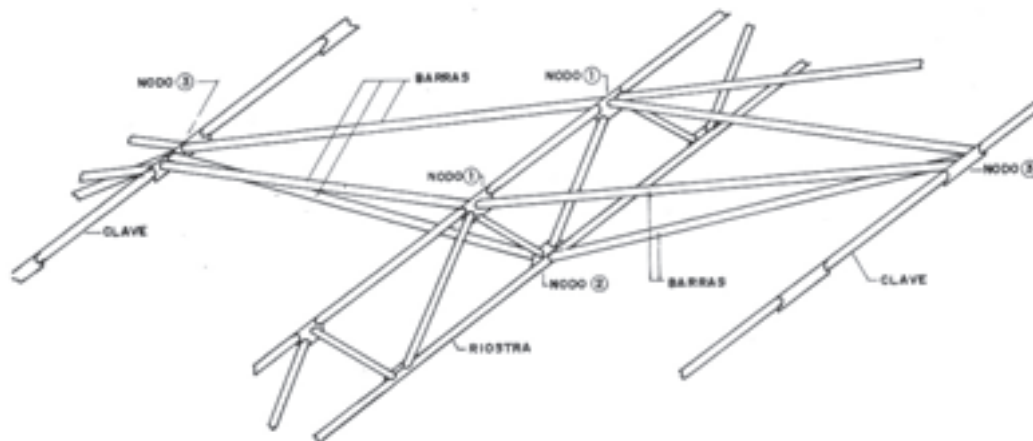


FIG. 10
BARRAS RIGIDIZADORAS

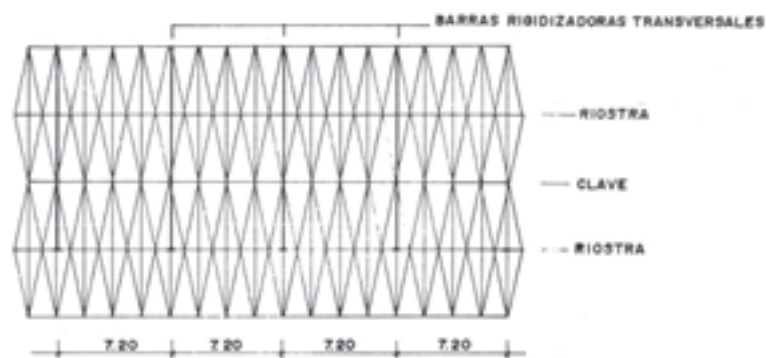


FIG. 11
PENDOLON



La base del arranque está formada por una lámina metálica que se acopla con el cabezal del soporte de concreto por medio de pernos, y luego de colocado y ajustado, se termina con soldadura. (Fig. 13)

2.3.- UNIONES

Se diseñaron tres tipos de nodos para la unión de las barras que conforman la trama. Estos nodos se realizan mediante soldadura de las barras a una lámina de acero conformándose unos nodos indeformables. Las láminas de empalme se preparan taller en forma serial y son incorporadas a los componentes. La ejecución de estos nodos se realiza en nivel ± 0.00 , en obra, antes de su colocación definitiva en el espacio.

Para el acoplamiento de las barras a los nodos, se cierran las puntas en forma semiesférica (mediante herramienta preparada especialmente para este sistema), se ranuran en el centro y se soldan a la lámina de empalme alrededor de la ranura por ambas caras. Las barras que se unen ortogonalmente a la lámina se soldan alrededor de su sección. Este sellado del tubo con soldadura, permite protegerlo interiormente de la corrosión. (Fig. 14).

2.4.- CARACTERISTICAS Y UBICACION DE LAS BARRAS EN LA TRAMA SEGUN SU FUNCION

En el caso de la cubierta que estamos analizando, se especifican cinco tipos de barras según las características de su sección transversal, como son:

Barra A = ϕ 73.0 mm e=2.25 mm.
Barra B = ϕ 60.3 mm e=2.25 mm.
Barra C = ϕ 48.3 mm e=2.00 mm.
Barra D = ϕ 73.0 mm e=5.16 mm.
Barra E = ϕ 88.9 mm e=5.49 mm.

Estas barras se encuentran conformando los diferentes componentes de la trama y su ubicación depende de las solicitaciones a que estén sometidas dentro del conjunto.

Barras de la trama básica:

Barra A: de ϕ 73.0 mm y e=2.25 mm., forman la superficie plana de la trama y también se colocan como refuerzos transversales en los ejes de apoyo, sustituyendo las barras del módulo romboidal que van en forma de zig-zag (Fig. 15).

Barra B: de ϕ 60.3 mm y e=2.25 mm., forman el eje de los módulos romboidales de la trama, excepto en los ejes de apoyo, van en forma de zig-zag (Fig. 16).

Barra C: de ϕ 60.3 mm y e=2.25 mm., forman las riostras y claves, que son los elementos rigidizadores longitudinales de la trama, sirven de unión entre las barras para conformar los módulos romboidales (Fig. 17).

Barra D: de ϕ 73.0 mm y e=5.16 mm., forman barras de refuerzo ubicadas en los apoyos. Estas barras forman parte del módulo romboidal, no es adicional, es una barra que sustituye a otra (Fig. 18).

Las barras adicionales a la trama básica:

En este grupo se encuentran: las barras rigidizadoras, los pendolones y los codales, colocados en los ejes de apoyo, están formadas de barras de las siguientes características: (Fig. 19).

Barra rigidizadora:	ϕ 73.0 mm., e= 2.25 mm	Barra A
Pendolón:	ϕ 48.3 mm., e= 2.00 mm	Barra C
Codales:	C1: ϕ 88.9 mm., e= 5.49 mm	Barra E
	C2: ϕ 60.3 mm., e= 2.25 mm	Barra B
	C3: ϕ 73.0 mm., e= 2.25 mm	Barra A

2.5.- CANTIDAD DE BARRAS SEGUN SUS CARACTERISTICAS

Si además de la sección transversal de las barras, se considera su longitud, se obtienen 21 tipos de barras diferentes conformando los distintos componentes de la trama, distribuidos de la siguiente manera :

COMPONENTES	TIPOS DE BARRAS
Barras de la trama:	9 tipos
Codales:	3 tipos
Pendolón:	1 tipo
Claves:	2 tipos
Riostras:	6 tipos
Total	21

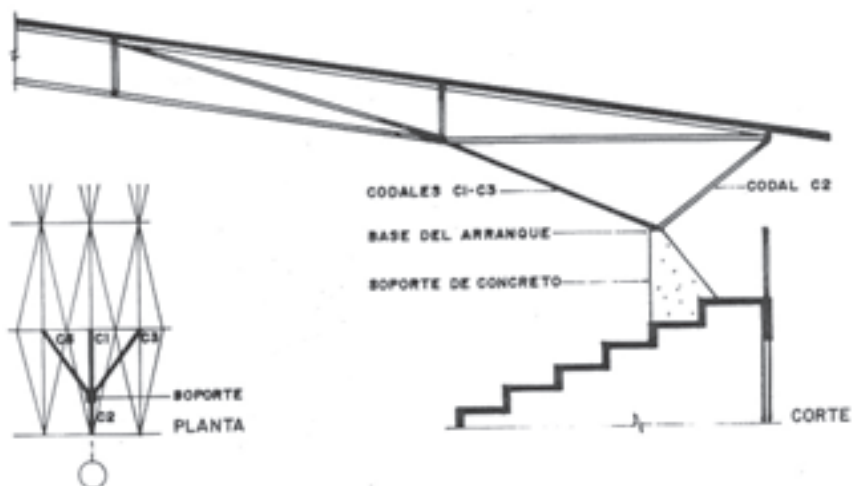


FIG. 12
ARRANQUE

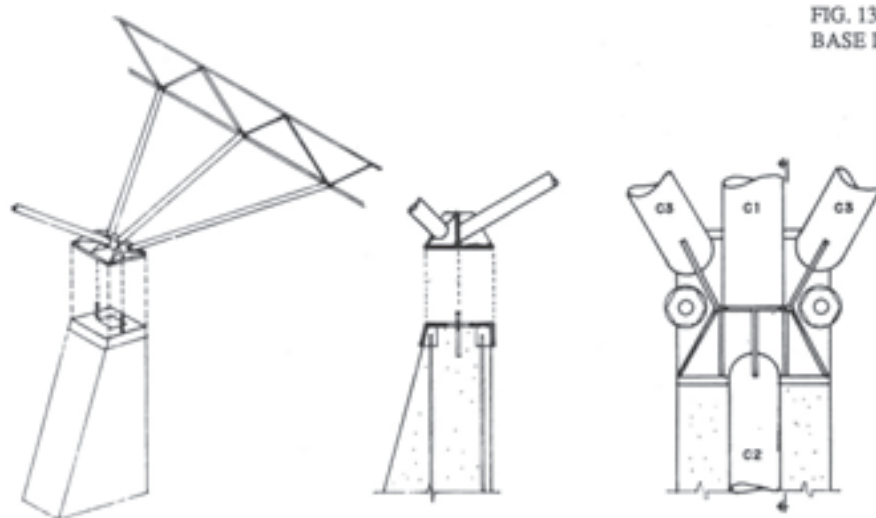
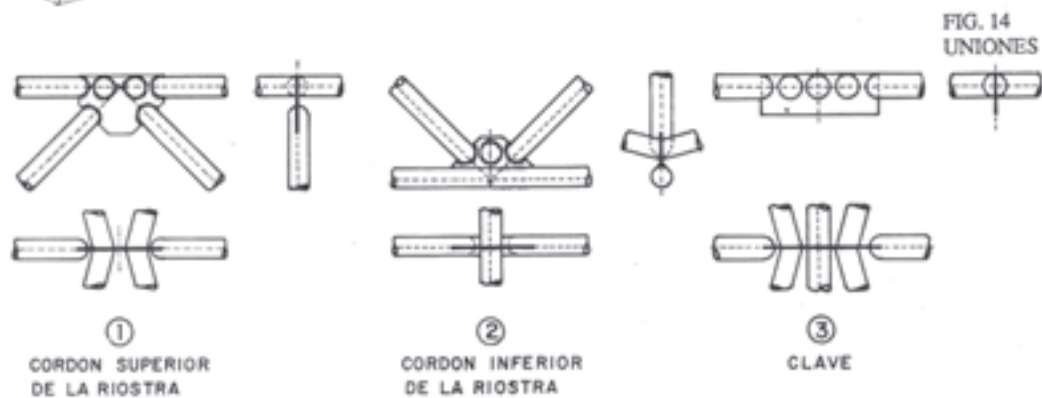


FIG. 13
BASE DEL ARRANQUE



3.- TECNOLOGIA DE PRODUCCION Y MONTAJE DE LA CUBIERTA

La tecnología aplicada en la producción y ensamble de la cubierta es bifásica. La primera fase es producción en talleres en forma serial e industrializada de los componentes de la estructura espacial, tales como: riostras, claves, barras, cordales y pendolones, los cuales son trasladados en paquetes a la obra. La segunda fase es la producción en la obra a nivel 0.00 de las tramas que forman la cubierta, conectando los diferentes componentes por medio de soldadura y luego montándolas en su posición final mediante gruas rodantes.

PRODUCCION	I Fase: Producción de componentes en el taller					
	<table> <tr> <td>I Etapa:</td><td>Ensamblaje de componentes primarios en tramas pequeñas.</td></tr> <tr> <td>II Fase:</td><td>Ensamblaje de componentes en la obra a nivel ± 0.0</td></tr> <tr> <td>II Etapa:</td><td>Ensamblaje de las tramas de I etapa para producir tramas de mayor tamaño.</td></tr> </table>	I Etapa:	Ensamblaje de componentes primarios en tramas pequeñas.	II Fase:	Ensamblaje de componentes en la obra a nivel ± 0.0	II Etapa:
I Etapa:	Ensamblaje de componentes primarios en tramas pequeñas.					
II Fase:	Ensamblaje de componentes en la obra a nivel ± 0.0					
II Etapa:	Ensamblaje de las tramas de I etapa para producir tramas de mayor tamaño.					
MONTAJE	Montaje de las tramas de II Etapa en su nivel en el espacio. Unión entre ellas y fijación con los soportes de concreto.					

Es importante acotar que la construcción de la estructura de la edificación que sirve de soporte a la cubierta, se realiza previamente a la producción y montaje de la trama espacial.

Después de colocada la cubierta se procede a completar la edificación, en sus aspectos de cerramientos y acabados.

Fase: La producción de los componentes en taller se realiza mediante equipo y herramientas tales como: cortadoras de tubo, dobladora, sierra, soldadora, y herramienta acopladora de barras diseñada espacialmente para producir los nodos del Sistema Siemet, además de mesas de trabajo y equipo de pintura.

Estos componentes son llevados a la obra en paquetes identificados, listos para ser ensamblados; cada uno de ellos tiene su localización dentro de la trama; de allí la necesidad de tener documentación

detañada para producción en taller y para el ensamble en obra, separadamente.

I Fase: Producción de las tramas en la obra a nivel ± 0.00 colocando los componentes estratégicamente en la obra, se unen mediante soldadura y se elaboran las tramas.

Este proceso se hace en dos etapas secuenciales:

- I Etapa: ensamble de componentes
- II Etapa: unión de las tramas primarias

3.1 TRAMAS DE LA I ETAPA

Las tramas de I Etapa se forman al unir varios módulos romboidales de 8.80 m. de largo, en sentido longitudinal de la cubierta, y se clasifican en tramas izquierdas y derechas según su ubicación final (Fig. 20)

Estas tramas se forman al unir los componentes prefabricados preparados en taller que son: las barras de la trama, las riostras y las claves, con ayuda de caballetes preparados para tal fin. Posteriormente se depositan en el lugar destinado para ello mediante montacargas.

Para el caso de estudio, la cubierta se dividió para su producción en 30 tramas de I Etapa (Fig. 21).

Según sus componentes se obtuvieron 12 tipos de tramas. Según su posición: izquierda o derecha se obtuvieron 18 tipos (Ver tabla).

La diferencia entre unas tramas y otras obedecen a diversas circunstancias:

- de la ubicación de las barras de refuerzo de los ejes.
- de la inclinación de la superficie superior de la trama, (la cumbrera presenta doble inclinación).
- del número de claves, las de la cumbrera presentan dos.
- de la ubicación en la cubierta, de centro o borde.

Los pesos de las tramas de I Etapa en este caso varían entre 771 Kg. (T1a) y 1.112 Kg (T2b)

FIG. 15

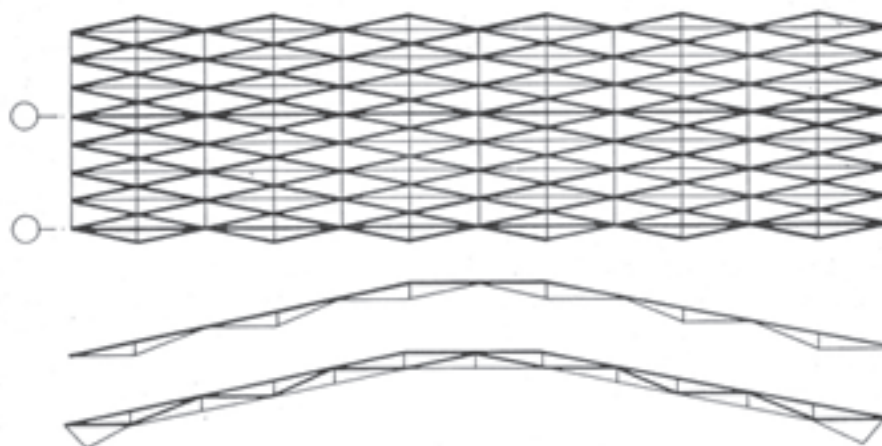


FIG. 16

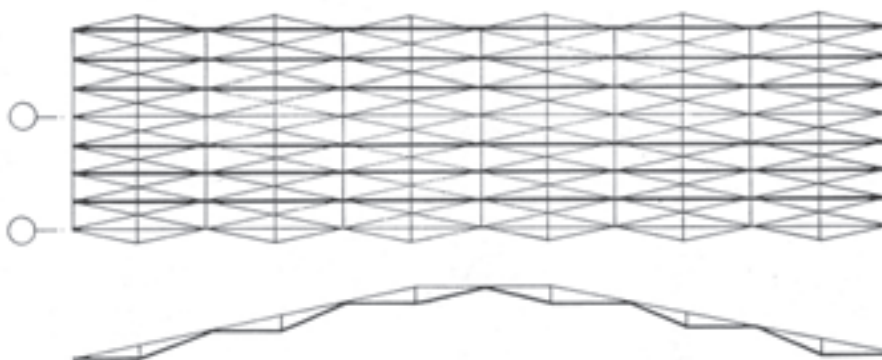


FIG. 17

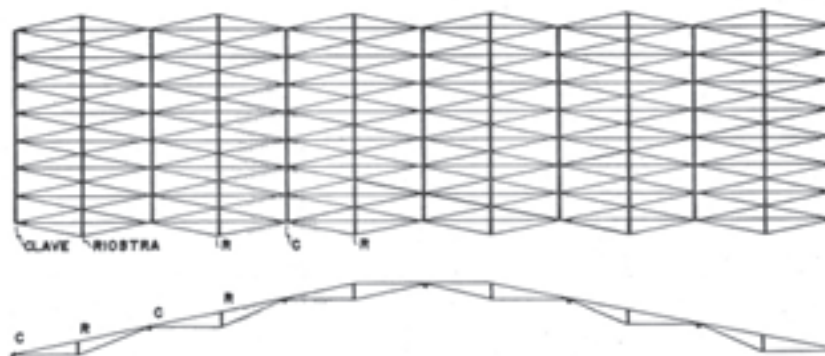


FIG. 18

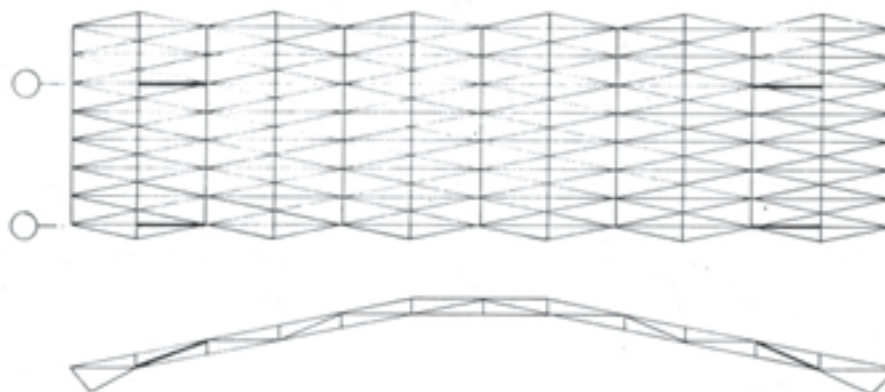


FIG. 19



3.2 TRAMAS DE LA II ETAPA

Estas se forman uniendo las tramas de I etapa en sentido transversal de la cubierta hasta completar su ancho total, en el caso de estudio se unieron 6 módulos de 8.40 m. para obtener una longitud total de 50.40 m. Todo este proceso se realiza con ayuda de caballetes (Fig. 22).

La división de la cubierta del Gimnasio en tramas de II etapa se hizo tomando en cuenta el proceso de montaje, considerando tener la menor variedad posible de tramas y que cada una de ellas tuviera al menos dos ejes de apoyo (Fig. 23).

3.3 ORGANIZACION DE LA PRODUCCION EN LA OBRA

Estratégicamente se colocan los paquetes de componentes en el centro del patio de maniobras, se

colocan dos frentes de soldadores a ambos lados para ensamblar las tramas de la I Etapa. Secuencialmente se ubica el depósito de dichas tramas a ambos lados según sean tramas de derecha o de izquierda. De este depósito pasan a ser ensambladas en un sitio externo a la edificación para formar las tramas de II Etapa (Fig. 24). Las tramas de I y II Etapas se pueden ir ensamblando simultáneamente de acuerdo a la cantidad de frentes de trabajo de que se disponga.

3.4.- PROCESO DE ENSAMBLAJE

1.- Unión de los componentes para formar las tramas de I Etapa en nivel ± 0.00 . Este proceso consta de varios pasos:

- Replanteo en la placa de pavimento de los puntos de colocación de los caballetes de apoyo y colocación de los mismos.
- Colocación sobre los caballetes de las Claves y de las Riostras.

FIG. 22
TRAMA DE LA II ETAPA (TIIb)

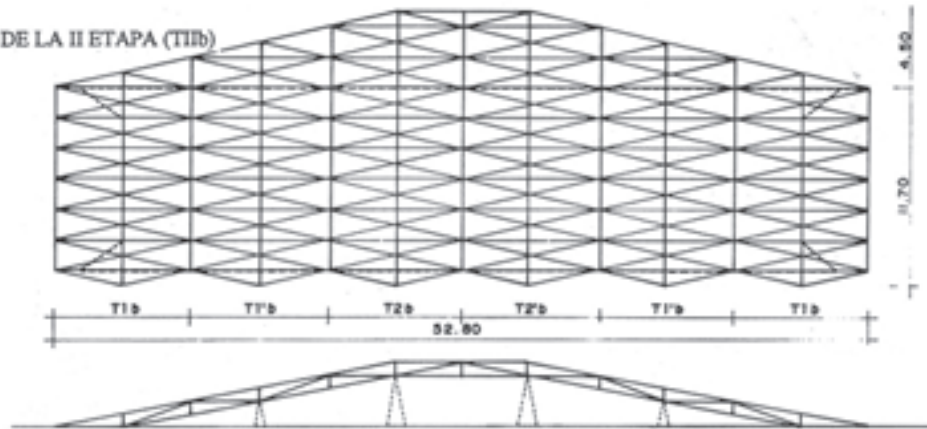
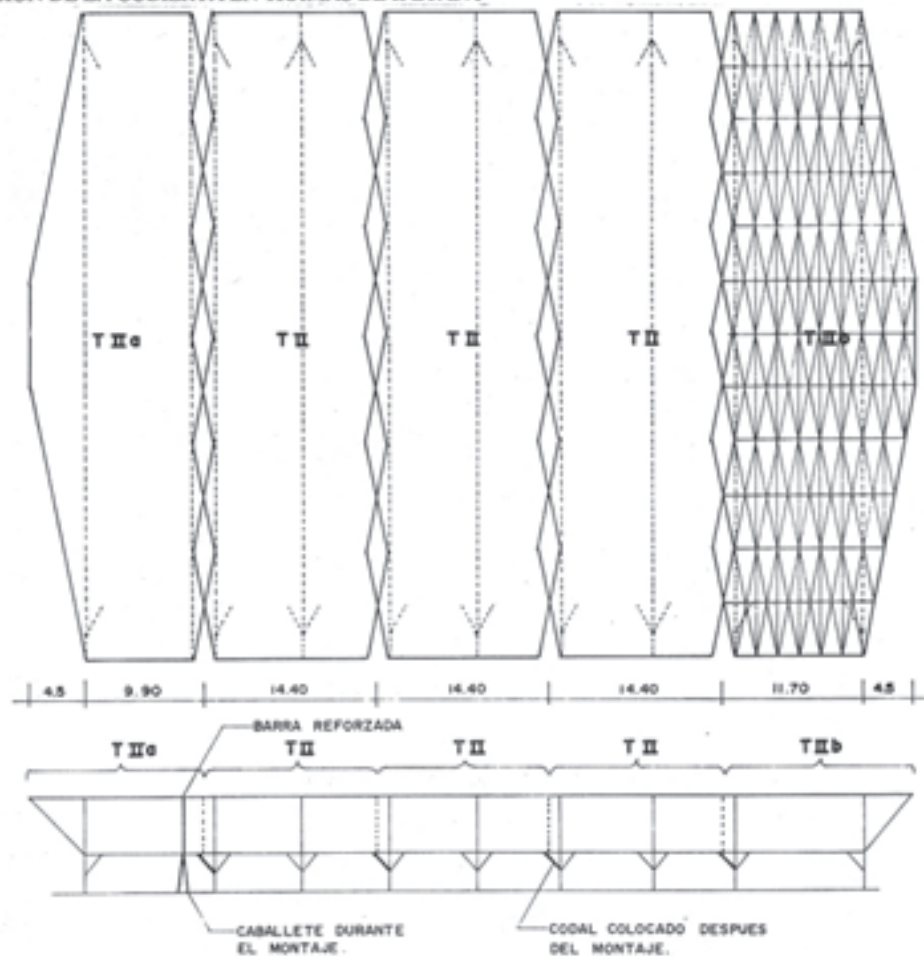


FIG. 23
SUBDIVISION DE LA CUBIERTA EN TRAMAS DE II ETAPA



- Soldadura de las barras tubulares a las láminas de empalme correspondientes de manera que se conformen los módulos romboidales uno al lado del otro, secuencialmente hasta completar el ancho de la trama que se este armando (Fig. 25).
- Al terminar el ensamblaje se deposita la trama en el lugar destinado para ello mediante montacargas.

2.- Ensamblaje de tramas de II Etapa en nivel ± 0.00 . Esta etapa incluye varios pasos:

- Replanteo en la placa de pavimento de los puntos de colocación de los caballetes de apoyo y colocación de los mismos.
- Colocación de las tramas de I Etapa sobre los caballetes.
- Soldadura de las barras de unas tramas a las claves de la siguiente trama.
- Colocación de Pendolones y las barras rigidizadoras transversales en los ejes de apoyo (Fig. 26).
- Izamiento de la trama mediante grúa para cambiar los caballetes y colocar arranques (Fig. 27)

3.- Montaje de las tramas de II Etapa sobre la

estructura de apoyo a lugar transitorio en nivel +6.00 mediante gruas a ambos lados (Fig. 28-30)

4.- Cambio de posición de las gruas y colocación de las tramas en su lugar definitivo sobre los soportes de la estructura, en el nivel +7.20 (Fig. 29-30)

5.- Finalmente fijación de las bases del arranque al cabezal del soporte a través de arandelas y tuercas.

Después del ajuste dimensional se solda la lámina de la base del arranque con la lámina del cabezal del soporte. Se colocan las barras adicionales de unión entre las tramas de la II etapa, se unen las Riostras y las Claves, todo mediante soldadura.

4.- CONSIDERACIONES GENERALES

El sistema de estructura metálica tubular "SIEMET", permite adaptarse a una variedad de edificaciones con requerimientos propios, manteniendo su tecnología y su forma de producción industrializada. Es decir, cada aplicación requiere de un diseño particular de la cubierta

FIG. 24
ORGANIZACION DE LA PRODUCCION EN LA OBRA

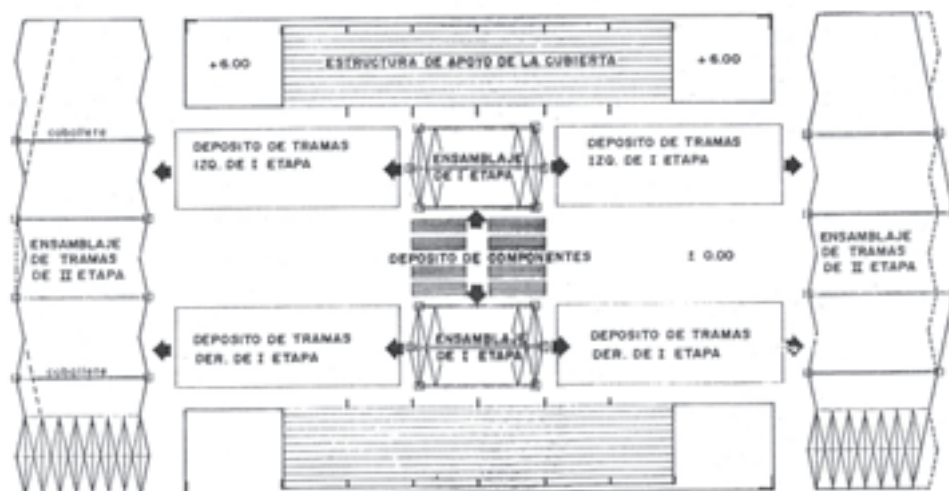


FIG. 25
ENSAMBLAJE DE LAS TRAMAS DE I ETAPA

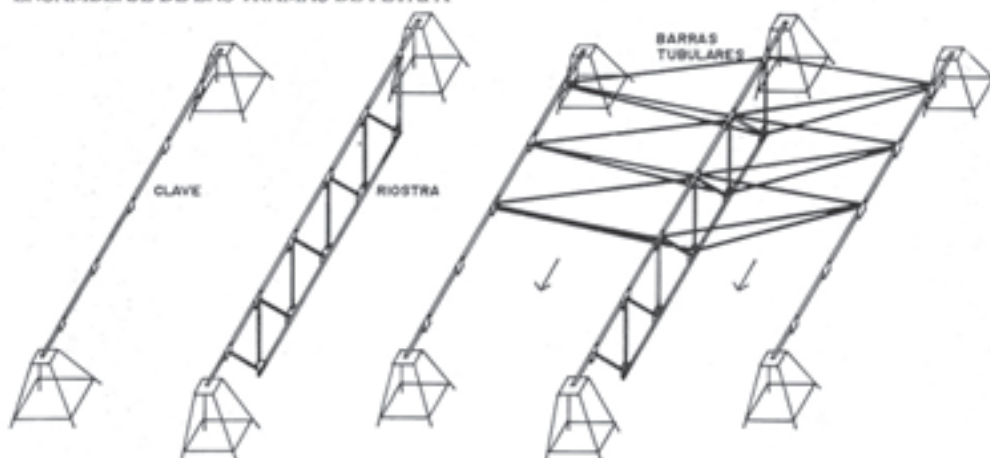


FIG. 26 ENSAMBLAJE DE LAS TRAMAS EN II ETAPA



FIG. 27 COLOCACION DE LOS ARRANQUES



FIG. 28 MONTAJE DE LAS TRAMAS DE II ETAPA EN LUGAR TRANSITORIO



FIG. 29 COLOCACION DE LAS TRAMAS EN SU LUGAR DEFINITIVO



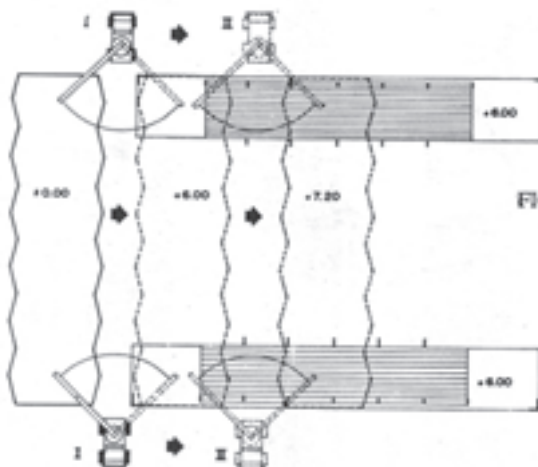


FIG. 30: MONTAJE DE LAS TRAMAS DE II ETAPA
I: EN NIVEL + 6.00 (LUGAR TRANSITORIO)
II: EN NIVEL + 7.20 (LUGAR DEFINITIVO)
PLANTA.

para ajustarse a sus condiciones, lo cual se ha comprobado en las diferentes aplicaciones en proyectos y anteproyectos que se han realizado.

El diseño de la edificación incide en el diseño de la cubierta en los siguientes aspectos:

- La geometría de la cubierta.
- La ubicación de los apoyos.
- El diseño de los soportes y los elementos de arranque.
- La forma y dimensiones del módulo base.
- Las dimensiones de las tramas y la subdivisión de éstas para su producción y montaje.
- La organización de la producción en la obra.

El sistema permite la realización de edificaciones que requieren cubrir luces de gran alcance (hasta de 90 m) sin apoyos intermedios. Permite adicionalmente incorporar gruas-puentes y polipastos en la misma estructura de la cubierta (en el caso de edificaciones para talleres y depósitos).

La tecnología de su producción utiliza equipos y procedimientos comunes de la industria Metalmecánica pudiéndose realizar en cualquier taller de herrería, en cualquier zona del país. (Exceptuando la herramienta acopladora de tubos especialmente diseñada para realizar los nodos del sistema, pero que en caso dado presenta características sencillas y de fácil traslado.)

Las gruas utilizadas para el montaje son de características comunes que se consiguen en cualquier obra mediana. la mano de obra requerida contempla el empleo de soldadores y supervisores.

El sistema pretende ofrecer una construcción a un precio más racional por la utilización más eficiente del acero, por su diseño, por su forma de producción industrializada y por ser de tecnología nacional.

BIBLIOGRAFIA

BRODKA, et., al "Cubiertas Estructurales" Editorial Arkady Varsovia 1985.

CONTRERAS, Miguel A. "Elaboración de tecnología constructiva de cubierta en voladizo para hangares de 48-120 m." Tesis de Grado. Facultad de Ingeniería. UCV. 1985.

DRAGULA, Josef. "Desarrollo de los Sistemas de Edificaciones, con originales conceptos estructurales, tecnológicos y arquitectónicos para producción masiva, serial e industrializada". Trabajo de ascenso, IDEC-FAU-UCV. 1985.

MAKOWSKY. "Estructuras Especiales de acero". Editorial Gustavo Gill S.A. Barcelona. 1972.

Caracas, julio de 1989.