



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

142  
213

FACULTAD DE INGENIERIA

**"ESTUDIO COMPARATIVO DE ALTERNATIVAS DE  
CONSTRUCCION DE CUBIERTAS LIGERAS PARA  
NAVES INDUSTRIALES."**

**FALLA DE ORIGEN**

**T E S I S**

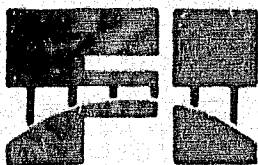
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**

**I N G E N I E R O C I V I L**

**P R E S E N T A N**

**EUGENIO GERARDO** **SANTIN BLASCO**  
**ZESATI MARTINEZ**

**DIRECTOR: ING. MIGUEL MORAYTA MARTINEZ**



**MEXICO D.F.**

**1995**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-196/94

Señores  
**EUGENIO SANTIN BLASCO**  
**GERARDO ZESATI MARTINEZ**  
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. MIGUEL MORAYTA MARTINEZ**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrollen ustedes como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

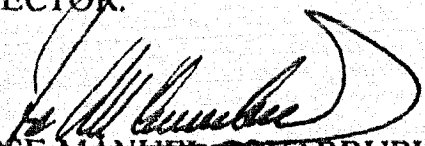
**"ESTUDIO COMPARATIVO DE ALTERNATIVAS DE CONSTRUCCION DE  
CUBIERTAS LIGERAS PARA NAVES INDUSTRIALES"**

- I. INTRODUCCION**
- II. DESCRIPCION DE SISTEMAS**
- III. ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS PROPUESTOS**
- IV. EJEMPLO PRACTICO**
- V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

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

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

Atentamente  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
Cd. Universitaria, a 20 de febrero de 1995.  
EL DIRECTOR.

  
ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/RCR\*nl



**DEDICATORIA**

**A mis padres  
Arq. Gonzalo Zesati Andrade  
Ma. Aurora Martínez de Zesati**

**A mis hermanos  
Ing. Gonzalo Zesati Martínez  
Arq. Gabriel Zesati Martínez**

**A la Facultad de Ingeniería  
Universidad Nacional Autónoma de México**

**A MIS PADRES  
ADALBERTO SANTIN POTTS  
MA. CRISTINA BLASCO DE SANTIN**

**A LA FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

## INDICE

Capítulo I	Introducción.....	1
Capítulo II	Descripción de Sistemas.....	4
Capítulo III	Estudio Comparativo de los Sistemas Propuestos.....	65
Capítulo IV	Ejemplo Práctico.....	95
Capítulo V	Conclusiones y Recomendaciones....	102
	Bibliografía.....	107

## CAPITULO I INTRODUCCION

En los tiempos modernos donde la necesidad de crear espacios suficientes y apropiados para el desarrollo de las actividades humanas se ha vuelto prioritario, surge la idea de buscar materiales y procesos con los cuales se obtengan los espacios buscados reduciendo al mínimo tiempo y costos.

Con referencia a lo anterior hemos abordado el tema de la resolución de una cubierta que nos proporcione el espacio suficiente para la operación de una industria específica.

Hasta la década de los sesentas se desarrollaban en mayor escala proyectos de edificios industriales resueltos a base de elementos de concreto como columnas, traveses y losas (cascarones). El auge que se tuvo para utilizar el concreto en estos edificios se debió al poco desarrollo de la industria de la construcción por buscar otras alternativas a base de estructura metálica y cubiertas de lámina.

En ésta época se ha suprimido casi en su totalidad el uso del concreto para cubiertas de edificios industriales debido a que se tienen las técnicas y los materiales suficientes para realizar éstos con costos más bajos y tiempos menores. Se tiene desarrollado casi por completo y con una gran diversidad de materiales lo referente al aislamiento acústico y térmico. Dichas condiciones favorecían en el pasado al concreto en una comparación hecha con la lámina propiamente. Ahora podemos contar con sistemas compuestos con

lámina metálica y aislantes necesarios para reducir al mínimo los problemas descritos e incluso superar las ventajas que ofrecían las cubiertas de concreto.

Este desarrollo que se ha tenido en cuanto a los materiales de cubierta ha hecho posible utilizar estructuras metálicas en la mayoría de los casos sin descartar la posibilidad de colocar dichos sistemas de cubiertas metálicas en estructuras de concreto generalmente preesforzadas.

Estos variados sistemas de techado se utilizarán dependiendo de las diferentes necesidades de cada industria en particular; así, habrá industrias para las cuales la solución más adecuada será mediante elementos de concreto, pero en la mayoría de los casos se ha optado por estructura metálica y cubierta de lámina.

Debido al auge que ha tenido en la actualidad la construcción metálica para crear espacios cubiertos en el ramo de la industria, dedicamos éste trabajo a mostrar de manera comparativa los parámetros más importantes que pueden influir en la toma de decisiones tanto del sistema estructural como de cubierta óptimo para alguna industria específica.

Durante el desarrollo de ésta tesis nos abocaremos a:

- 1) Determinar los sistemas que vamos a estudiar

- 2) Descripción de las soluciones de dichos sistemas. Soluciones estructurales, de cubierta, de ventilación, de aislamiento térmico y acústico y de impermeabilización.
- 3) Comparar ventajas y desventajas de los sistemas propuestos, determinando los parámetros así como las prioridades.
- 4) Desarrollaremos posteriormente un ejemplo en el que teniendo necesidades y requerimientos específicos determinaremos el sistema de cubierta mas adecuado.

Cabe mencionar que los usos y aplicaciones que se le dan a las cubiertas ligeras a base de lámina metálica no es exclusivamente industrial, podemos observar edificios destinados a otros usos como centros comerciales, salas de exhibición, hangares, agroindustrias, mercados, invernaderos, etc. Para los cuales también se aplican las soluciones que mostraremos.

## CAPITULO II DESCRIPCION DE SISTEMAS

En este capítulo se describirán tres sistemas distintos de estructuración así como del tipo de cubiertas que se pueden utilizar en cada uno de ellos. Se escogieron los tres sistemas que a nuestro juicio son los más representativos y comerciales, en la práctica son los más usados.

La descripción de éstos sistemas tiene por objeto exclusivamente conocerlos tanto en sus geometrias, materiales, acabados y funciones específicas de cada elemento descrito.

Es importante mencionar que éstos tres sistemas que se proponen no son los únicos, incluso entre ellos mismos se pueden combinar obteniendo así la solución optima para una industria específica.

Los parámetros para la elección de éstos tres sistemas fueron resultado de consultas con expertos profesionales en la materia, los cuales coincidieron en éstos sistemas, explicando que tanto por funcionalidad como por economía, son los sistemas más empleados, además de sus características se puede hacer una comparación objetiva y real.

### **Propuesta de tres sistemas:**

#### **1) Sistemas a dos aguas.**

Dichos sistemas reciben su nombre debido a su geometría, ya que proporcionan dos superficies de escurrimiento al agua pluvial en distintas direcciones. Se les puede dar distintas pendientes dependiendo del material a utilizar en la cubierta así como de las condiciones climatológicas de la zona.

El reglamento de construcciones del D.F. determina una forma de cálculo para cubiertas a dos aguas con pendiente menor al 5% y otra distinta para cubiertas con pendientes mayores al 5% esto debido a la distinta distribución de carga accidental provocada por el granizo ó la nieve en su caso. Por lo anterior si la pendiente es menor al 5% la carga accidental por el granizo ó nieve se tomará como una carga uniformemente repartida en toda la superficie de la cubierta teniendo con esto una estructura más robusta. Si la pendiente es mayor al 5% ésta implicaría que el granizo ó la nieve escurran a las partes más bajas en las cuales se tienen que considerar una carga accidental mucho mayor pero exclusivamente en éstos elementos.

**-) Estructura portante.**

La estructura portante para cubiertas a dos aguas se puede resolver de las siguientes formas:

**+) Con armaduras principales de alma abierta.**

Dichas armaduras se fabrican por perfiles laminados de acero estructural pudiendo utilizar diferentes elementos como angulos de lados iguales, angulos de lados desiguales, perfiles rectangulares tipo PTR, etc. Las armaduras pueden desplantarse sobre columnas



metálicas o sobre columnas de concreto con la preparación necesaria en el capitel para recibir la armadura. Con estas armaduras se pueden librar diferentes claros entre apoyos, vale la pena considerar el peralte de estas armaduras para determinar el claro óptimo, como receta podemos mencionar que el peralte de dichas armaduras anda sobre el 10% de la longitud del claro, por lo anterior es recomendable limitar dicha longitud del claro para no tener armaduras demasiado peraltadas. Las armaduras de alma abierta se complementan de otros elementos estructurales como puntales, estos elementos tienen como función principal atiesar las armaduras entre sí para que el sistema sea estable. Otros elementos a utilizar para soporte propiamente de la cubierta son los largueros que también se determina el perfil laminado a utilizar en base a la separación entre armaduras. La separación de estos largueros estará dada en función de la carga viva de diseño de la cubierta así como del sistema de cubierta a utilizar.

Otra forma de solucionar una nave con armaduras de alma abierta y a dos aguas es por medio de armaduras de cuerdas paralelas colocadas con la pendiente necesaria del proyecto. Dichas armaduras irán apoyadas en columnas de las dimensiones necesarias para dar la pendiente antes mencionada. Los elementos estructurales secundarios como puntales y largueros son los mismos que los descritos con anterioridad y su diseño se realiza en forma similar. Cabe mencionar que en ocasiones cuando el claro así lo amerite los largueros pueden ser armaduras de pequeño peralte, lo que garantiza la estabilidad de la estructura.

Podemos mencionar aquí que la estructura portante óptima para la cubierta de una nave es aquella que con el menor peso posible logre darnos un área cubierta mayor, sin sacrificar seguridad en el interior de la nave, esto es, que el diseño óptimo estará dado con la menor densidad de acero por m<sup>2</sup>. Para lograr esto es necesario tener bien definidas las utilidades que tendrá la nave y por supuesto conocer todos los sistemas que existen en el mercado para cubiertas. Creemos que el sistema portante debe de ser concebido siempre considerando el sistema de cubierta y nunca por separado, haciendo esto se logrará optimizar el proyecto.

+ ) Con marcos rígidos de alma llena con sección variable o constante.

La diferencia de este sistema portante con el de armaduras de alma abierta es que los marcos se fabrican con secciones de alma llena, pudiendo utilizar perfiles laminados estandares como viguetas IPR o canales o fabricar los propios perfiles necesarios para dar las secciones correspondientes, dichos perfiles fabricados se hacen generalmente con tres placas soldadas. El desplante de los marcos se realiza desde un dado de cimentación en donde se colocan las anclas necesarias para recibir el marco. La determinación de la sección de los marcos esta en función de las cargas a las que será sometido, conociendo dichas solicitaciones y los diagramas de esfuerzos a los que serán sometidos los marcos se determinan las secciones pudiendo estas disminuirse en lugares donde el marco este expuesto a cargas menores. En base a lo anterior podemos determinar si el marco será de sección constante o variable. Si las diferencias en los

diagramas no son muy representativas se fabricarán marcos con sección constante y tomando como punto de partida la condición mas desfavorable. Si las diferencias son considerables, y representan un verdadero ahorro en la fabricación vale la pena diseñar los marcos con las secciones mínimas. En cuanto a los elementos secundarios como puntales, largueros y otros, las consideraciones son iguales que para armaduras de alma abierta.

#### -) Cubierta.

Hasta hace poco tiempo, se utilizaba en gran cantidad para cubiertas ligeras, paneles prefabricados de asbesto cemento; éstos han sido sustituidos poco a poco por la lámina metálica; las causas de dicha sustitución han sido las ventajas que ofrece la lámina sobre el asbesto de las cuales mencionaremos algunas. Una de las principales, se refiere a la capacidad de carga, el asbesto con el paso del tiempo se intemperiza de tal forma que se vuelve un material frágil y quebradizo causando muchas dificultades y gran riesgo para el mantenimiento de la cubierta debido a que su falla es de manera frágil e instantánea. Este material al paso del tiempo por las mismas contracciones y dilataciones por cambios de temperatura se llega a fracturar; el sistema de fijación para el asbesto es por medio de birlos, los cuales en un momento dado llegan a aflojarse. La lámina metálica resuelve todos los problemas mencionados anteriormente, el principal el de la capacidad de carga, se ve ampliamente superado por ésta, con lo cual se obtienen estructuras portantes más ligeras ya que se utilizan separaciones entre largueros más grandes; la falla en la lámina

metálica es una falla dúctil, con esto se tiene menor riesgo en cuestiones de mantenimiento de cubierta; en la lámina metálica, con el paso del tiempo, lo único que se daña es el recubrimiento, debiendo reponer exclusivamente éste, si bien es cierto que el asbesto tiene una mayor capacidad como aislamiento térmico, la lámina metálica se ha podido conjuntar con otros materiales como poliestireno ó fibra de vidrio logrando iguales ó mejores condiciones de aislamiento térmico que el asbesto. En cuanto a sistemas de fijación en la lámina metálica se tienen tan desarrollados, que existen ya las cubiertas metálicas sin perforaciones para dichos elementos resolviendo la fijación por medio de grapas sujetas a la estructura y engargoladas con la misma cubierta haciendo con esto un techo completamente impermeable. El coeficiente de dilatación de la lámina metálica es mucho mayor al del asbesto, lo anterior se resuelve utilizando lienzos de lámina no muy largos para que la deformación sea despreciable. Existen ya sistemas flotantes en donde las deformaciones debidas a las temperaturas se absorben en las grapas, moviendose el techo en toda su longitud y no nada más en puntos específicos.

Para sistemas estructurales a dos aguas existen en el mercado una gran variedad de láminas metálicas propias para dicho tipo de cubiertas.

#### **+ ) Acanalada trapezoidal.**

Este perfil se ha convertido en uno de los más utilizados debido a que por su geometría proporciona una capacidad de carga adecuada para una separación entre largueros de hasta 2.2 mts

aproximadamente Cabe señalar aquí, que las láminas mostradas se fabrican en distintos calibres, logrando con esto diferentes

### PERFIL ACANALADO TRAPEZOIDAL ( TÍPICO )

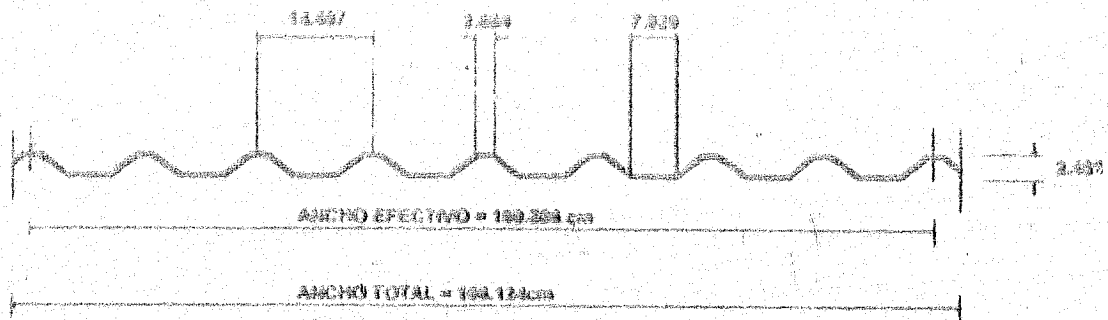


FIG A

capacidades de carga para un mismo claro. (figura A)

### PERFIL SEMIESTRUCTURAL ( TÍPICO )

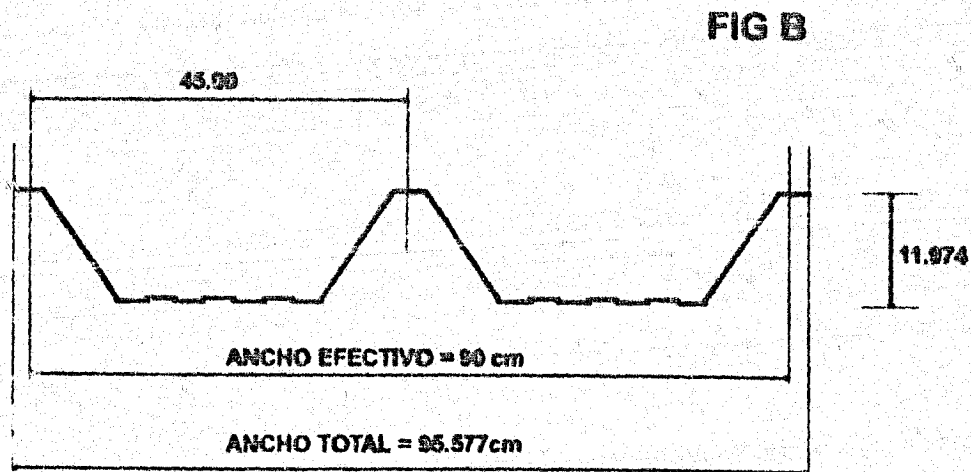


FIG B

Por lo anterior es muy importante que el proyectista de la estructura, conozca las características de la lámina, para proyectar una estructura óptima para la lámina a utilizar. Más adelante veremos, como combinando calibres de láminas, se puede lograr reducir el costo total de la cubierta ya que la estructura se puede aligerar considerablemente en algunos casos.

#### 4) Acanalada Semiestructural.

Por su geometría proporciona una capacidad de carga mucho mayor que la lámina acanalada trapezoidal. Alcanza a tener una capacidad adecuada para una separación entre largueros de hasta 4.5 mts lo que puede reducir considerablemente la estructura portante. (figura B)

Este tipo de lámina utilizada sobre una estructura diseñada según sus características, puede resultar una alternativa muy adecuada para cubiertas a dos aguas. Cabe mencionar que el factor costo interviene directamente en la elección, tanto de la estructura, como del tipo de lámina.

El sistema de fijación de las láminas anteriores es por medio de pijas autoroscantes "AB" con rondana cónica y rondana de neopreno para garantizar el sellado o con birlos (Ver figura 1).

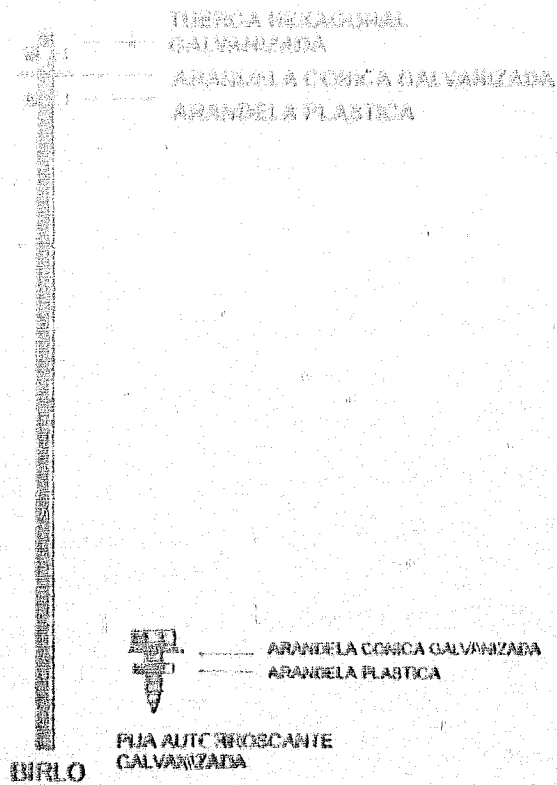


FIG 1

La forma de fijación recomendable es con pija autoroscante, mientras el elemento portante no sea mayor a calibre 10; si el elemento portante es mayor, se recomienda utilizar el birlo o gancho.

La ventaja principal de utilizar pijas es que se integra la cubierta haciendo que lámina y estructura trabajen en conjunto. El birlo presenta desventajas tales, que la fijación no es confiable ya que pueden presentarse movimientos los cuales propician las goteras en éstas cubiertas (ver figura 2).



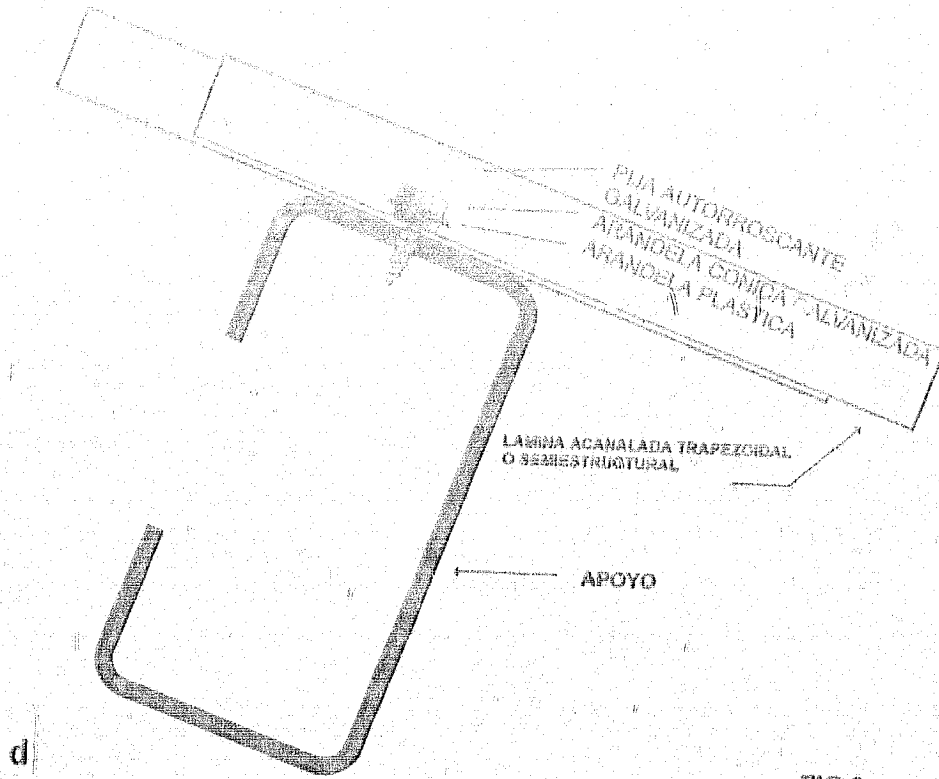


FIG 2

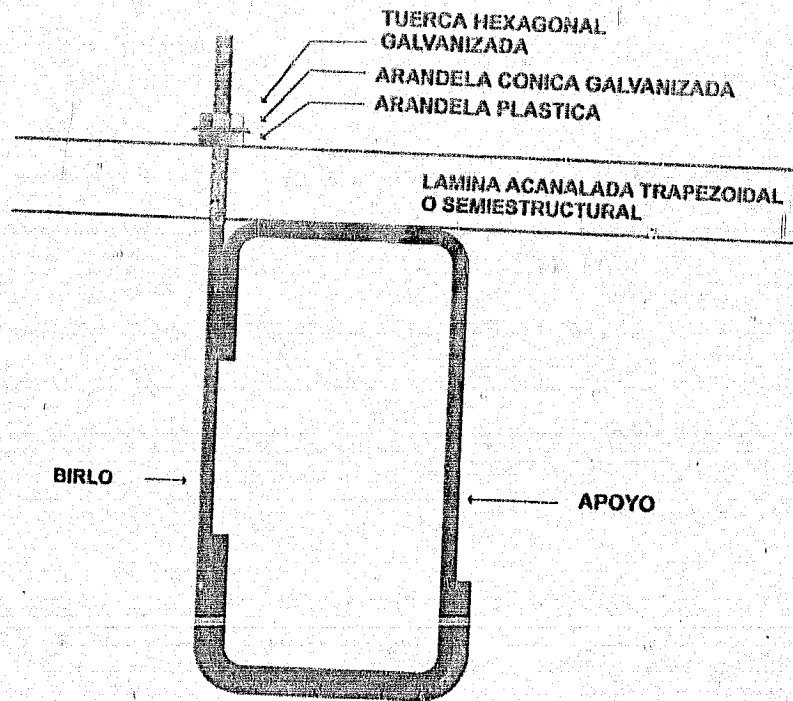


FIG 2



La densidad de pijas o birlos se determina en base a las condiciones eólicas del sitio en cuestión, reconociéndose dos zonas:

- \*) Zona costera de la República Mexicana con 200 km/hr.
- \*) Zona central de la República Mexicana con 140 km/hr.

Los efectos de empuje y succión del viento en una cubierta han hecho que se demarquen dos zonas en una cubierta afectada por el viento. (Ver figura 3)

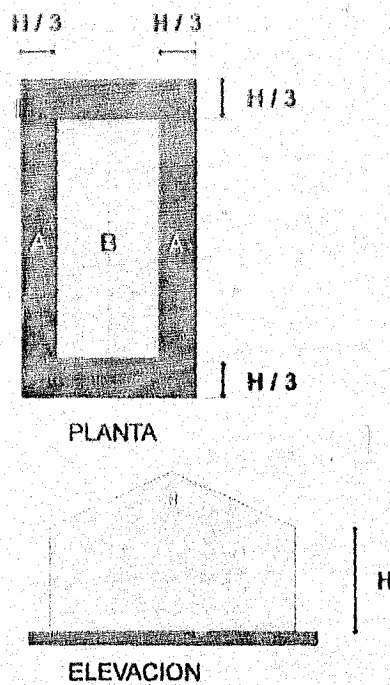


FIG 3

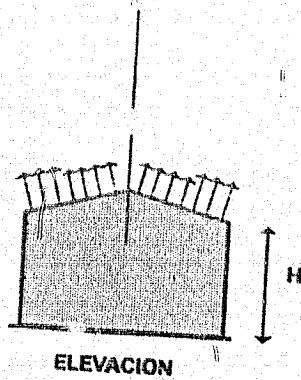
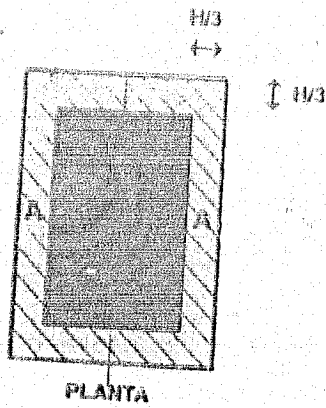
\*) Zona A: comprendida en las franjas extremas de la cubierta ( $H/3$ ).

\*) Zona B: parte central de la cubierta.

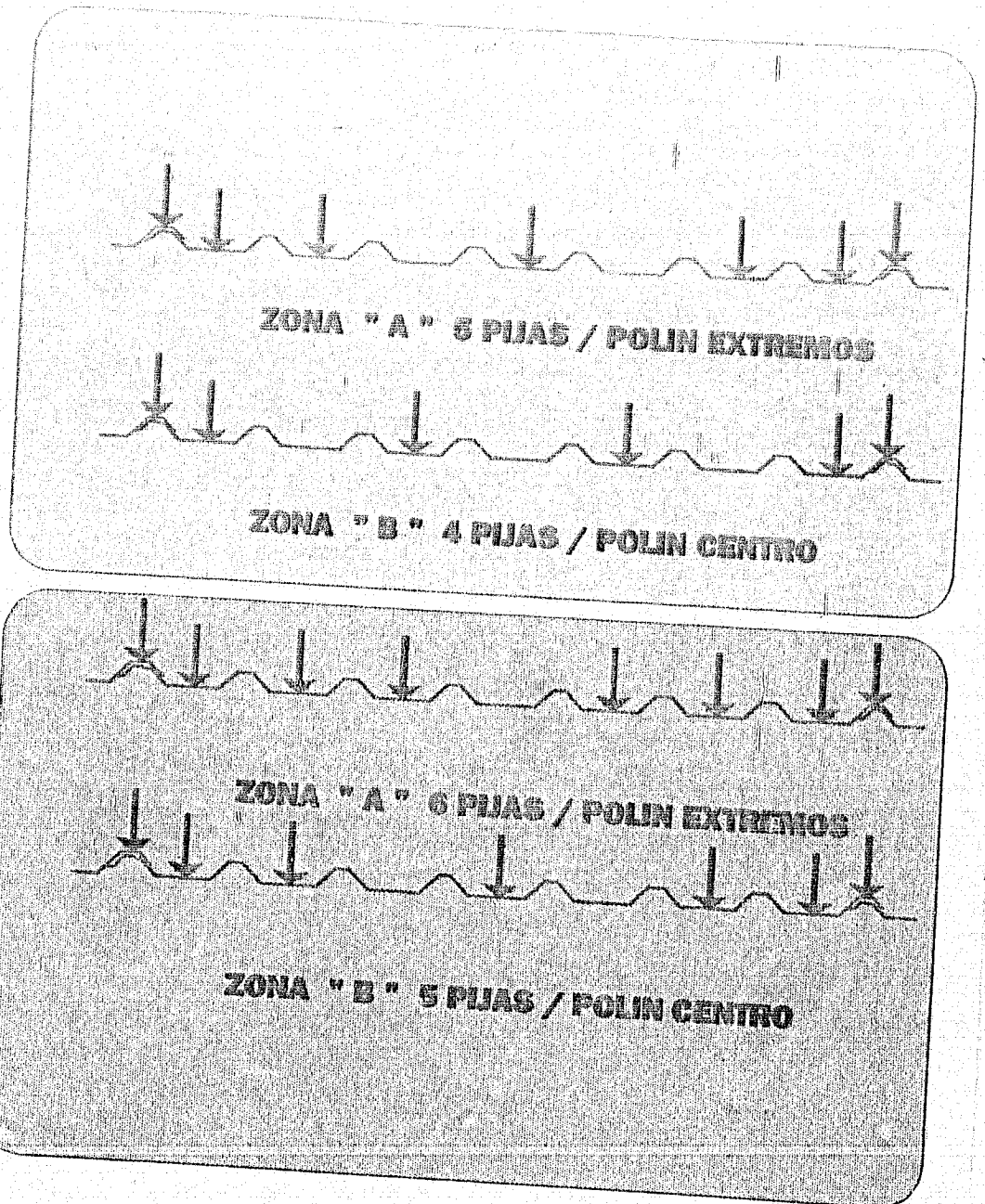
De acuerdo a lo anterior se propone la densidad  
Para lámina acanalada trapezoidal. (Ver figura 4)  
Para lámina semiestructural. (Ver figura 5).

# LAMINA ACANALADA TRAPEZOIDAL

VELOCIDAD DE VIENTO 140 KM/HR.



VELOCIDAD DE VIENTO 200 KM/HR.

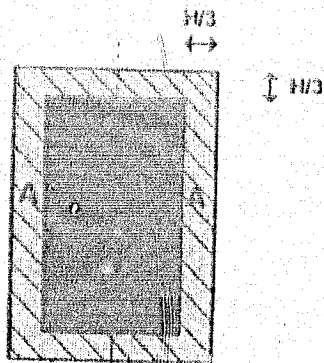


EN LOS TRASLAPES, PARA TODOS LOS CASOS DEBERAN COLOCARSE UN MINIMO DE 2 PIJAS ENTE POLINES, O BIEN A UNA SEPARACION MAXIMA DE 60 CM.

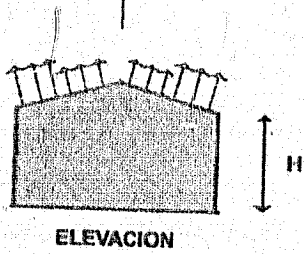
FIG 4

# LAMINA SEMIESTRUCTURAL

VELOCIDAD DE VIENTO 140 KM/HR.

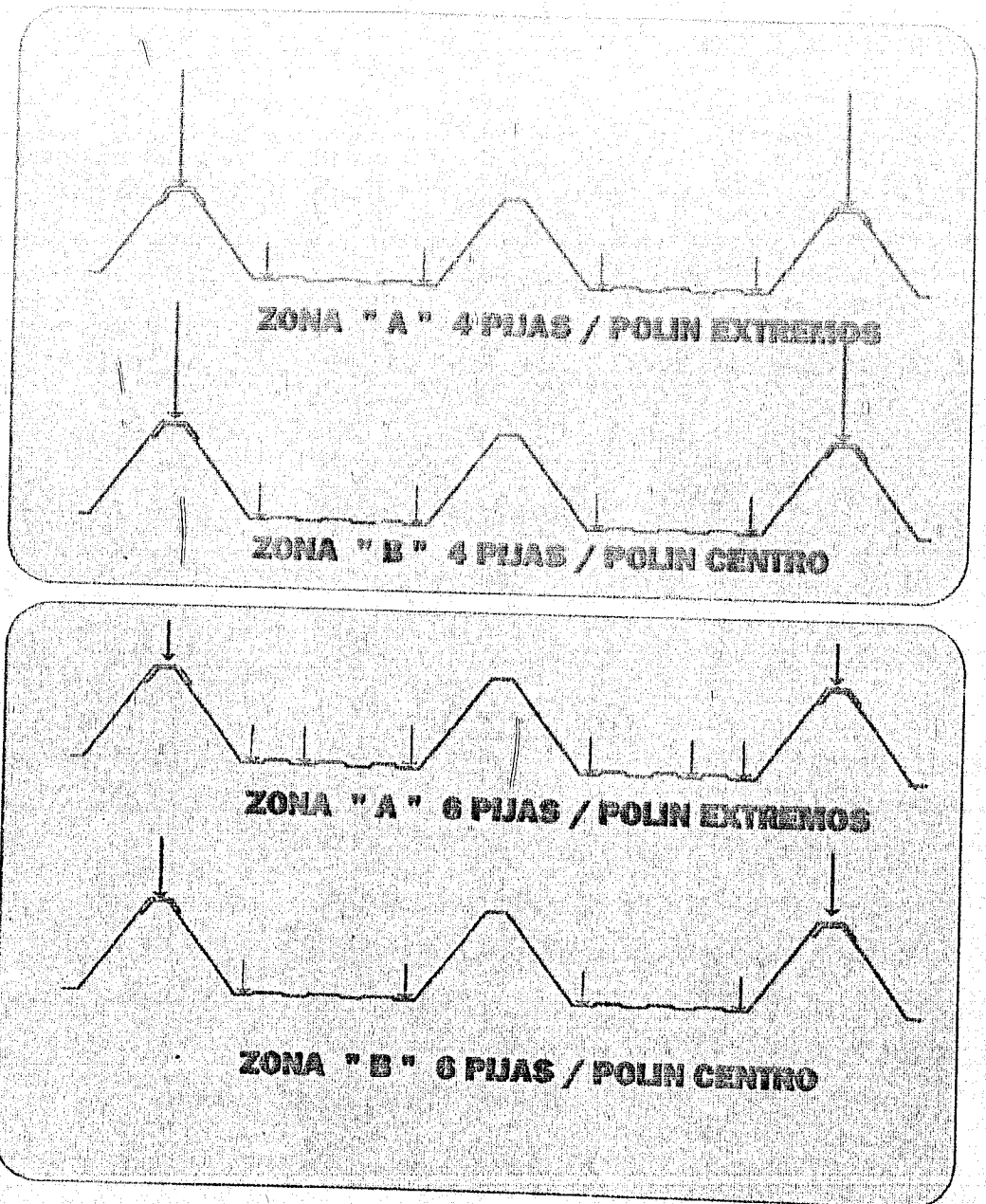


PLANTA



ELEVACION

VELOCIDAD DE VIENTO 200 KM/HR.



↓ EN LOS TRASLAPES LATERALES, PARA TODOS LOS CASOS DEBERAN COLOCARSE UN MINIMO DE DOS PIJAS ENTRE POLINES, O BIEN A UNA SEPARACION MAXIMA DE 60 CM.

FIG 5

Consideramos que la fijación de la lámina es un punto importante a tocar ya que ésta debe ser tal que trabajen en conjunto estructura y lámina.

No entramos a otros detalles de colocación ya que se salen del alcance de ésta tesis.

#### **+) Charola engargolada.**

Esta lámina ultimamente ha tenido mucho auge debido a que por su sistema de fijación engargolado proporciona un sellado absoluto de la cubierta.

Su fácil colocación y su capacidad de carga (similar a la acanalada trapezoidal) han hecho de éste sistema uno de los mejores para industrias con requerimientos estrictos de impermeabilidad y hermetismo en su cubierta. Otra gran ventaja de éste sistema es que su rolado y fabricación es continuo y en obra, lo que nos beneficia en tiempos de ejecución, así como en calidad.

Se pueden fabricar lienzo largos hasta de 35 mts con sus inconvenientes de maniobrabilidad, pero a la fecha se tienen técnicas de montaje que lo hacen posible.

Debido a lo largo de los lienzo de éste sistema de cubierta se ha desarrollado, junto con este, más sobre la investigación de las dilataciones y contracciones en cubiertas metálicas. Al presentarse lienzo tan largos la deformación pinta considerablemente para el funcionamiento de la cubierta.

Fórmula para el cálculo de la deformación máxima en lienzos de lámina de acero continuos.

$$d = Cdt L (AT) \quad \text{donde:}$$

d = deformación del lienzo dilatación -  
contracción.

Cdt = coeficiente de dilatación térmica del  
material

0.0000113 m/m/°C (acero)

AT = diferencial de temperaturas.

L = longitud del lienzo en mts.

Lo anterior se ha resuelto por medio de los elementos de fijación llamados Clips o Grapas (Ver figura 6). Las cuales, por medio de un dispositivo, se hacen móviles logrando con ésto que los Clips absorban las deformaciones diferenciales de la cubierta.

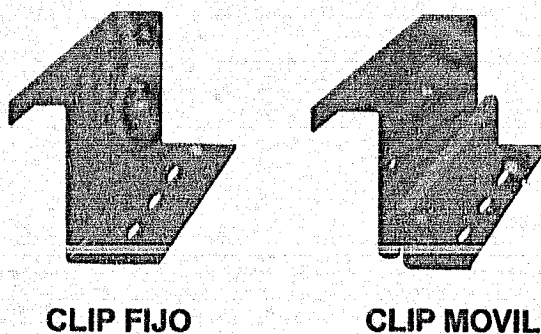


FIG 6

Este sistema descrito recibe el nombre de cubierta flotante. Si la longitud del lienzo no es tan larga, tal que las dilataciones y contracciones sean despreciables, los Clips o Grapas se colocan fijos.

La densidad de colocación de los clips es de una en cada apoyo siempre, y se debe de tener especial cuidado en el engargolado, que verdaderamente engargole el clip.

Al igual que con las láminas acanaladas trapezoidal y semiestructural, se tocó el tema de la fijación como el único detalle de su colocación por considerarlo el más importante para el funcionamiento óptimo de la cubierta.

Para concluir presentamos las tablas que proporcionan los fabricantes en cuanto a capacidad de carga se refiere así como propiedades de la sección de los tres tipos de lámina aptos presentados en éste trabajo para cubiertas a dos aguas. (ver figura 7).

CAPACIDAD DE CARGA VIVA NETA (KG/M) ACANALADO TRAPEZOIDAL										
TIPO	CALIBRE	CLARO ENTRE APOYOS (MTS)								
		1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60
APOYO SIMPLE (UNO O DO CLAROS)	10	184	127	92	70					
	26	258	178	130	98	77	61			
	30		225	164	124	97	74			
APOYO CONTINUO (TRES O MAS CLAROS)	10			276	210	164	125	92	69	
	26		159	116	88	69				
	30		223	163	124	97	78	64		
	36		282	206	157	123	99	81	67	
	40			243	184	145	116	95	79	
	44				264	207	166	136	113	81
										66

- CONSIDERACIONES DE CALCULO:
- A) ESFUERZO DE TRABAJO DEL ACERO ( $f_b=1400\text{kg}/\text{CM}^2$ )
  - B) DEFLEXION MAXIMA PERMISIBLE ( $A=\text{CLARO}/120$ )
  - C) LAS CARGAS PERMISIBLES PUEDEN INCREMENTARSE UN 33% PARA CARGAS DE VIENTO



TIPO	CALIBRE	CAPACIDADES DE CARGA (KGM) EN APOYO (M)											
		1.40	1.80	2.20	2.60	3.00	3.40	3.80	4.20	4.60	5.00	5.40	
APOYO SIMPLE	30	106	91	81	72	64	-	-	-	-	-	-	-
	28	134	117	103	91	81	73	65	-	-	-	-	-
	26	160	142	127	115	103	93	85	77	71	67	62	-

NOTA: LAS CAPACIDADES DE CARGA ANTERIORES FUERON CALCULADAS PARA UN ACERO GRADO "A" ( $f_b=1400 \text{ kg/cm}^2$ )

### CAPACIDADES DE CARGA (KGM) EN LAMINA EN CARGO (M)

TIPO	CALIBRE	SECCIONES EN APOYO (M)							
		0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50
APOYO SIMPLE (UNO O DOS CLAROS)	30	684	386	249	171	127	93	78	64
	28	816	459	293	205	151	117	93	73
	26	1192	674	430	298	220	166	132	103
	24	1442	811	518	362	264	205	161	132
APOYO CONTINUO (TRES O MAS CLAROS)	30	855	484	308	215	156	122	98	78
	28	1021	577	367	254	186	142	112	93
	26	1490	841	538	376	274	210	166	137
	24	1798	1016	650	450	332	254	200	161

### PROPIEDADES DE LA SECCION ACANALADA TRAPEZOIDAL

CALIBRE	PESO (KG/M.L.)		PESO (KG/M)		COMPRESION EN LA FIBRA EXTERNA			
					SUPERIOR		INFERIOR	
	R-101	R-101	R-101	R-101	INERCIA (CM <sup>4</sup> /M)	MODULO DE SECCION (CM <sup>3</sup> /M)	INERCIA (CM <sup>4</sup> /M)	MODULO DE SECCION (CM <sup>3</sup> /M)
30	2.58	3.44	3.58	3.41	3.0574	1.6717	1.9381	1.3699
28	3.14	4.19	4.36	4.15	3.9299	2.3412	2.6155	1.8809
26	3.70	4.93	5.14	4.88	4.7211	2.9548	3.3975	2.4642
24	4.25	5.67	5.90	5.61	5.5124	3.4759	4.2395	2.9680
22	5.93	7.91	8.24	7.83	7.8861	4.9727	7.0114	4.5479

NOTA: LAS PROPIEDADES ANTERIORES FUERON CALCULADAS PARA UN ACERO GRADO "A" ( $f_b=1400 \text{ kg/cm}^2$ )

PROPIEDADES MECANICAS DE LOS ACEROS

GRADO	$\sigma_{yk}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{tk}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{yk}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{tk}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
26	4.93	5.43	61.4755	6.9246
24	5.87	5.3	100.0756	11.2592
22	7.91	8.79	155.9275	18.3919

LAS PROPIEDADES ANTERIORES FUERON CALCULADAS PARA UN ACERO GRADO "A" ( $\rho=1400 \text{ kg/cm}^3$ )

PROPIEDADES MECANICAS DE LOS ACEROS

GRADO	$\sigma_{yk}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{tk}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{yk}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{tk}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{yk}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{tk}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
26	4.99	2604	15.23	2.7	15.08	3.1
24	5.85	2604	18.87	3.37	18.48	3.69
20	8.35	2604	28.96	5.51	28.24	5.4
22	10.02	2604	34.55	6.56	33.44	6.51

-)Accesorios

En cubiertas a dos aguas, independientemente del sistema de cubierta utilizado (lámina acanalada trapezoidal, acanalada semiestructural o engargolada) existen accesorios necesarios para el buen funcionamiento de la cubierta. Si bien es cierto que estos accesorios no pintan de una manera importante para comparación en términos de costo, si intervienen directamente en el funcionamiento de la cubierta, es decir, en una comparación técnica de la cubierta a utilizar. A continuación damos una breve descripción de estos



accesorios en forma general, ya que cada fabricante o instalador de cubiertas puede tener sus propios métodos de fabricación e instalación.

+) Cumbreras: dicho accesorio se coloca en la unión más alta de las dos aguas, a este eje se le denomina cumbreira (ver figura 8).

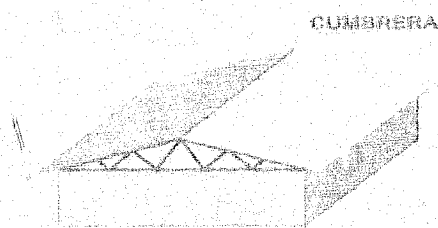


FIG 8

Existen diversas formas de solucionar esta junta para evitar la entrada del agua y del polvo. En muchas ocasiones se utiliza la cumbreira para dar ventilación a la nave, por ser el lugar más alto dentro de la misma. El aire caliente tiende a subir por lo tanto si se colocan ventilaciones en la cubreira se da un flujo de aire natural dentro de la nave. Más adelante veremos más a fondo lo relacionado con la ventilación.

La cumbreira, en ocasiones, también se utiliza para dar iluminación natural a la nave; más adelante trataremos éste tema.

Por lo anterior, para solucionar una cumbrera sin ventilación y sin iluminación, se utilizan dos tipos de accesorios.

1.- El caballete liso, fabricado con lámina metálica y de acuerdo al perfil de la lámina del techo (ver figura 9).

#### CABALLETE LISO ( SEMIESTRUCTURAL )

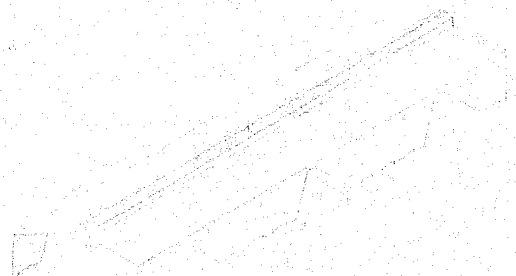


FIG 9

2.- La cumbrera acanalada es una lámina metálica de 1.2 m con un golpe al centro que le da el ángulo de la cumbrera, esta lámina es de la misma sección que la lámina del techo (ver figura 10).

#### CUMBRERA

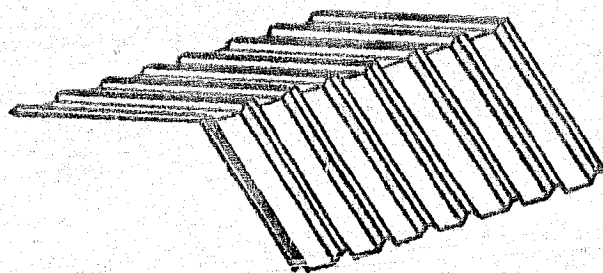


FIG 10

A continuación presentamos un croquis esquemático de colocación del caballete de la lámina (acanalada trapezoidal y acanalada semiestructural, decimos esquemático porque de igual forma se coloca la cumbrera (ver figura 11).

### COLOCACION DEL CABALLETE LISO (TRAPEZOIDAL)

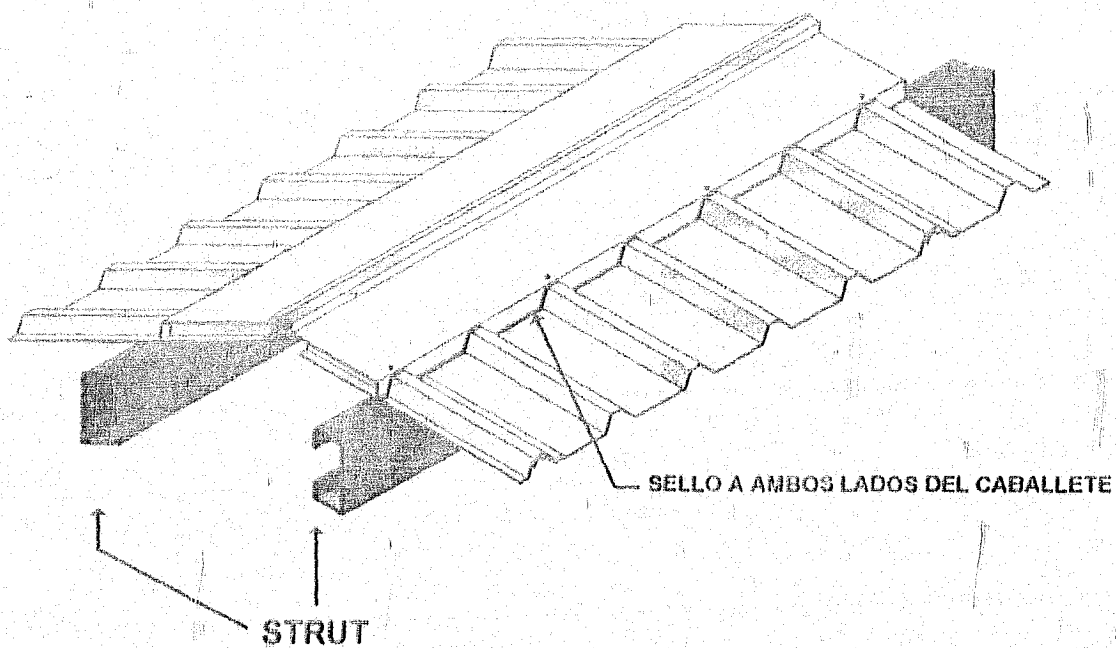


FIG 11

La cumbrera por ser el lugar más alto de la nave no presenta muchos problemas en cuanto al flujo del agua ya que por gravedad el agua naturalmente se aleja de la cumbrera, el problema surge cuando existe una lluvia con fuertes vientos, el agua tiende a regresar y a provocar goteras en la cumbrera; cabe señalar aquí, que para proyectar un buen techo metálico es necesario considerar que la lluvia cae en

todas direcciones y no solo en forma vertical como se podría pensar. Esto anterior considerando los vientos que acompañan a las lluvias.

→) **Canalones:** estos accesorios llamados canalones se colocan en la parte más baja de las dos aguas, su función es recolectar toda el agua que recibe el techo o cubierta y canalizarlo a los drenajes por medio de las bajadas de agua pluvial (BAP).

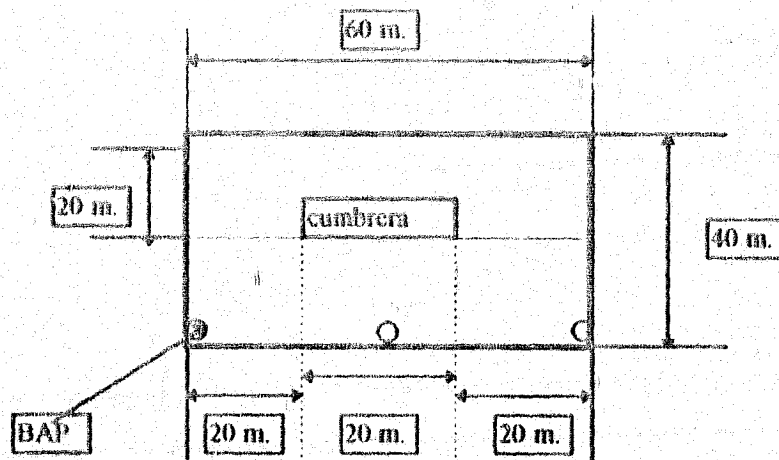
En los canalones se debe poner especial cuidado tanto para su diseño como para su colocación ya que en ellos se va a presentar un flujo considerable de agua.

Cabe señalar que si realizamos un estudio teórico de un canalón de 90 cms de sección a tirante máximo (  $y = 30$  cms ) nos dará un gasto mucho mayor que el provocado por la lluvia máxima registrada en el D.F. para una cierta area tributaria, por lo anterior podríamos decir que el canalón con sección de 90 cms sería suficiente, sin embargo en condiciones extremas de granizo todo nuestro estudio teórico del canalón, no nos ayuda de nada debido a los taponés hidráulicos y condiciones tan desfavorables que se presentan con el granizo.

Existen métodos racionales para determinar la sección óptima de un canalón (como el mostrado más abajo). En realidad la experiencia en casos concretos nos da la mejor pauta para un diseño apropiado de canalones.

A continuación presentamos el ejemplo del cálculo de un canalón en sus especificaciones y datos de Architectural Graphic Standards (AGS) de E.U.A.

Ejemplo: Supongamos una cubierta de 120 m. x 40 m. El canalón se aloja en el sentido largo de la nave, teniendo 3 bajadas de agua pluvial localizadas una en cada extremo y una al centro. Consideramos también que la nave se encuentra en el D.F. por lo cual la intensidad de lluvia según fig. 15 es de 25 cm/hr = 10 in/hr.



Area tributaria típica (1):  $20 \times 20 = 400 \text{ m}^2 = 4300 \text{ ft}^2$

Factor area x intensidad:  $400 \times 0.25 = 100 \text{ m}^2 \times \text{m} = 43000 \text{ ft}^2 \times \text{in.}$

Si  $M = \text{profundidad/anchura}$ ;  $M=0.75$  y  $L=\text{longitud}$ ;  $L= 20 \text{ m} = 65 \text{ ft.}$

De la figura 13 obtenemos un ancho de 11 in. = 30 cms.

Como  $M = \text{prof}/\text{ancho}$ ; profundidad =  $0.75 \times 30 \text{ cms.} = 22.5$

0713.

ANCHO DE CANALES RECTANGULARES PARA AREAS DETERMINADAS E INTENSIDADES DE LLUVIA

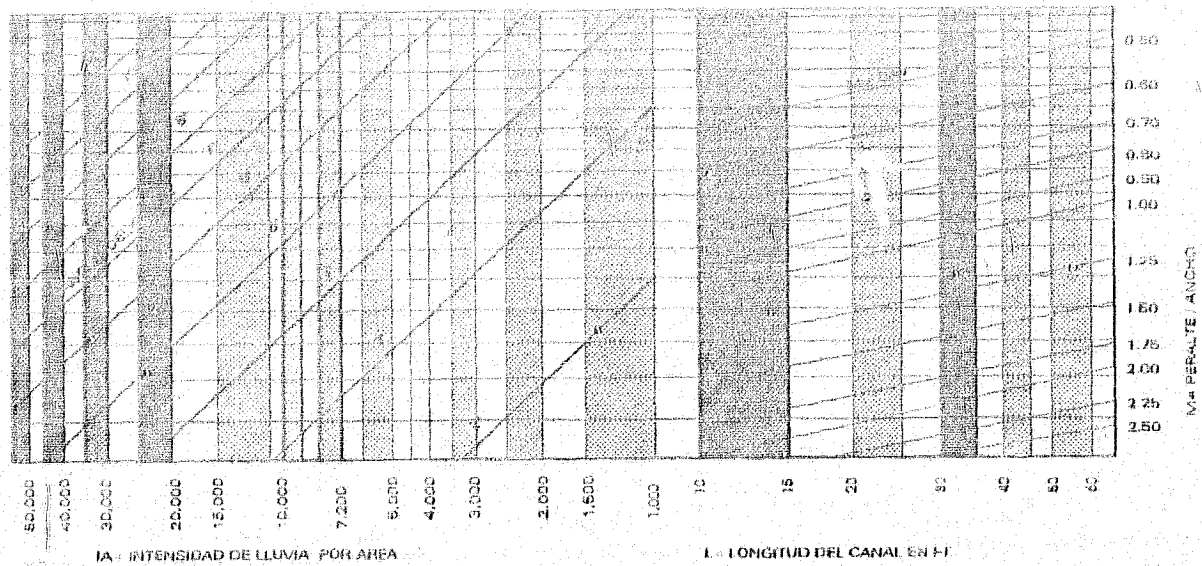
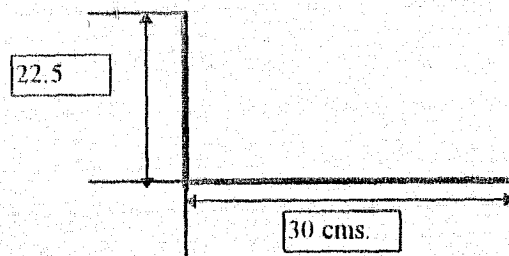


FIG 13



A continuación se presentan los registros de las lluvias máximas registradas en la República Mexicana (figura 14) y una propuesta de las intensidades de lluvia en el país (figura 15).

TABLA DE INTENSIDAD DE LLUVIA.

REGISTRO	FECHA	INTENSIDAD	ESTACION	POBLACION
Mensual	Julio de 1955	2859 mm	Tierra Blanca	Tierra Blanca, Veracruz.
Diaria	24 oct. 1955	723 mm	Comalcalco	Comalcalco, Tabasco.
Horaria	16 oct. 1960	167.4 mm	Piedras Negras	Piedras Negras, Coahuila.

FIG 14

**INTENSIDADES DE LLUVIA**

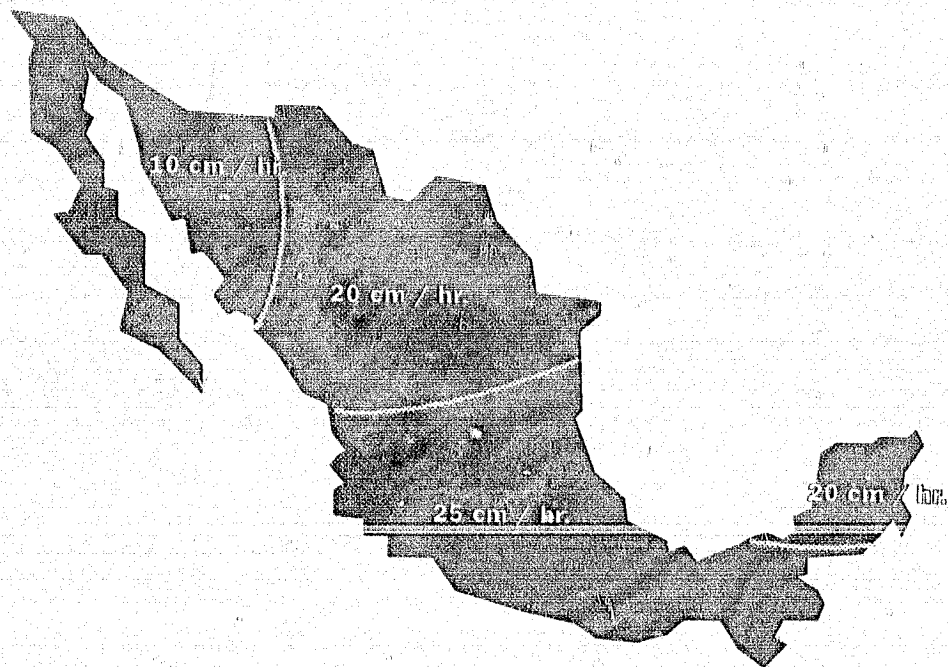
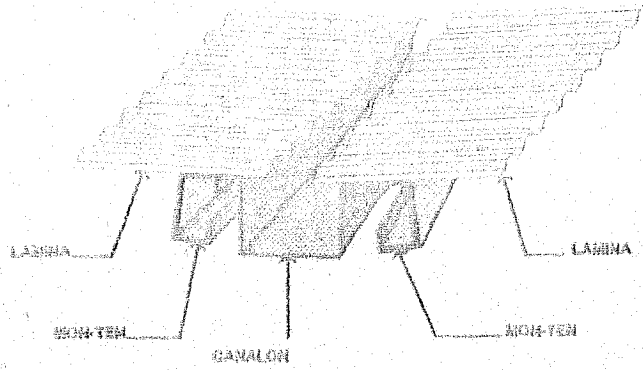


FIG 15

La distinta forma de fijar los canalones depende tanto del sistema de cubierta como del instalador o del proyecto arquitectónico. En sistemas a dos aguas los canalones generalmente rematan contra muros, ya sea de block o tabique o contra muros de lámina. Existe también el caso de un canalón al centro de dos vertientes. Dichas situaciones se muestran en la figura 16. Las consideraciones necesarias dependiendo del tipo de remate no son extraordinarias, únicamente habría que revisar el área tributaria si se trata de un canalón central. Como observamos en el ejemplo de cálculo es necesario conocer con anterioridad el número de bajadas de agua pluvial necesarias para lograr los drenajes requeridos, esta situación resulta de tal forma importante que si no se considera, puede provocar problemas graves en el flujo del agua del propio canalón. La ubicación de estas bajadas es importante para fabricar los canalones con las pendientes necesarias que ayuden al flujo; esta pendiente se recomienda que sea cerca de 1%. El colocar un canalón sin pendiente, podría no representar mayor problema ya que el desagüe se logra por puro gradiente al momento en que se forma un tirante, el problema radica en que el desagüe es más lento y además se retendrá constantemente una pequeña lamina de agua en el interior del canalón lo que puede reducir considerablemente su vida útil.

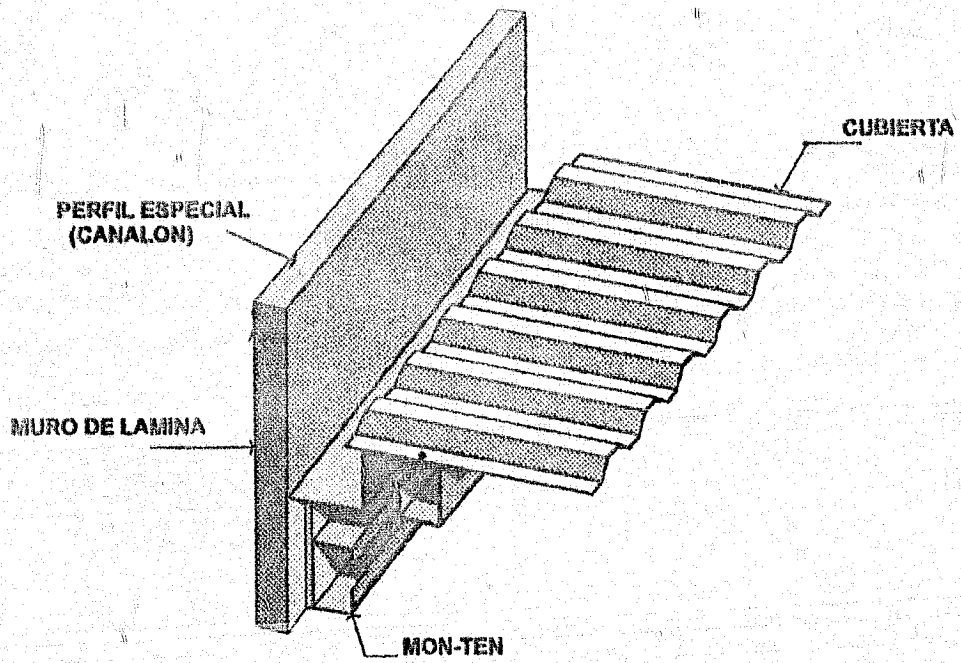


**COLECCION DE CANALON AL CENTRO**



**FIG 13**

**UNION DE CUBIERTA DE LAMINA CON MURO DE LAMINA**



**FIG-16**

## UNA CUBIERTA DE LAMINA CON MURO DE BLOCK

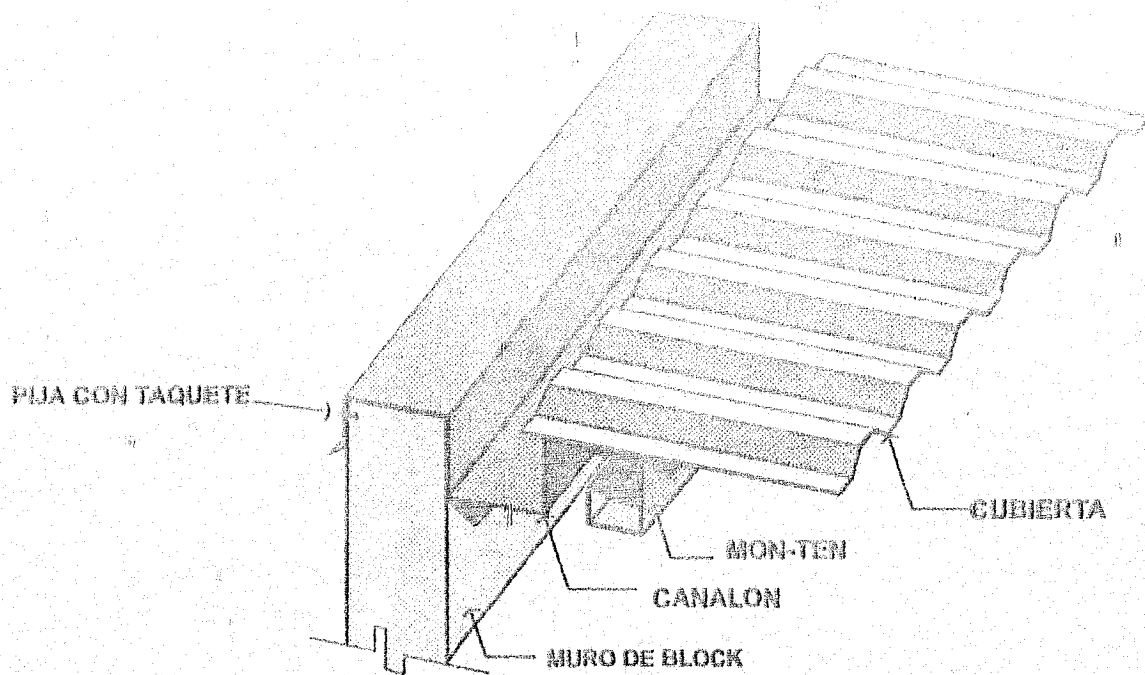


FIG 16

La colocación de canalones por la parte exterior de la nave logra resolver el grave problema de filtraciones en los canalones que afecten considerablemente la operación de la planta. Esta solución si bien es cierto que representa un mayor costo y alguna modificación al proyecto arquitectónico para ocultarlo de las fachadas principales, resuelve de buena forma las goteras en el interior.

**+)Remates:** Existen también una serie de remates especiales para el buen terminado de la cubierta; estos remates cambian en cuanto a su forma y son muy particulares en cada obra.

**Algunos ejemplos de estos remates son:**

**\*)Remate muro-techo**

**\*)Goteros, etc.**

Estos remates en muchas ocasiones se convierten en elementos de vista en fachadas y sus formas dependen mucho del propio colocador. Se fabrican en largos estandares para dobladoras y en lámina metálica lisa de diversos calibres.

En nuestro estudio comparativo estos remates los consideraremos como mínimos para el estudio técnico y económico debido a que sus soluciones y sus costos son relativamente bajos en relación a todo el proyecto.

**+\*)Iluminación, impermeabilidad, ventilación y aislamiento:**  
El principal objetivo de una cubierta es el de proporcionar condiciones idóneas a un cierto espacio para el desempeño de alguna labor humana.

Partiendo de lo anterior, a continuación presentaremos una breve descripción de soluciones de elementos necesarios en una cubierta para proporcionar dichas condiciones de: ventilación, impermeabilidad, iluminación natural y aislamiento térmico y acústico.

**\*)Impermeabilidad:**

Para lograr una cubierta impermeabilizada, actualmente como hemos mencionado con anterioridad, se cuenta con los sistemas engargolados que garantizan esta condición. Si la cubierta no se resuelve con este sistema es muy importante atender a

cubierta no se resuelve con este sistema es muy importante atender a situaciones especiales en la colocación y en el diseño de la cubierta para lograr evitar la filtración de agua de lluvia. Las situaciones de proyecto que se deben vigilar serán: determinación de una pendiente óptima, diseño de canalones y remates especiales. En cuanto al trabajo de campo, se debe vigilar la correcta colocación de las láminas, dando los traslapes necesarios y procurando en lo posible no perforar mas que lo necesario la lámina para evitar puntos de filtración. Es necesario vigilar también la correcta colocación de sellos especiales necesarios.

Con un buen control en cuanto a la colocación y sobre todo con un buen diseño de la cubierta, el problema de las goteras se reducirá al mínimo. ( ver figura 17 ).

## IMPERMEABILIZACION

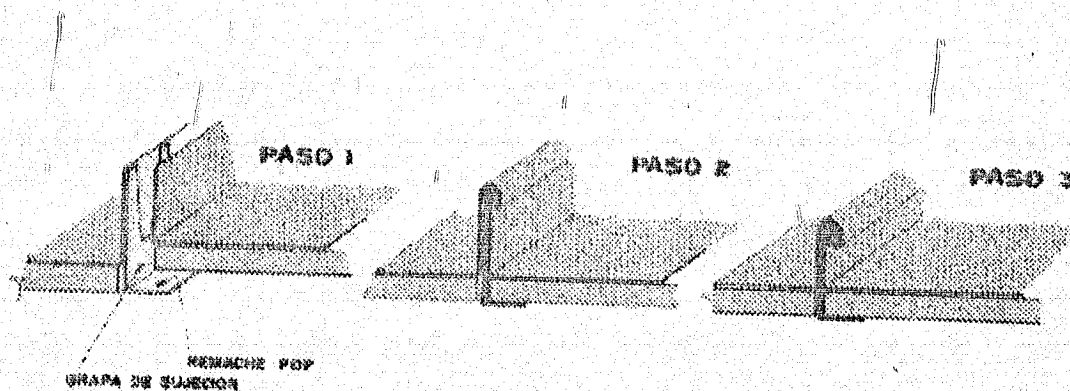


FIG. 17

### \*)Iluminación Natural:

La iluminación natural se logra por medio de láminas de acrílico, fibra de vidrio o policarbonato con la misma

ventaja de la disminución en el consumo de energía eléctrica durante el día, situación que se verá reflejada en la operación de la planta o local.

En sistemas a dos aguas esta lámina translúcida se coloca en la cubierta y en un porcentaje predeterminado en el proyecto; una desventaja de esta colocación en la cubierta, es la incidencia directa de los rayos solares, que por la casi nula capacidad aislante del material acrílico, se reflejará con incremento en la temperatura ambiente dentro del local. Esta representaría un mayor consumo en energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de equipos de aire lavado o aire acondicionado. Por lo anterior, es necesario proyectar la cubierta manejando todos estos parámetros para verdaderamente concebir una cubierta óptima en cuanto a operación y economía. Para resolver este problema, existen algunas soluciones como la de colocación de lámina translúcida en los muros o faldones del edificio; con esto se logra una iluminación adecuada y mejores condiciones en el interior de la nave, ya que los rayos no inciden directamente en la lámina.

Otros sistemas de cubiertas, como el de dientes de sierra, resuelve de una mejor manera este problema en cuanto a la iluminación. Como conclusión podríamos decir, que en un sistema a dos aguas es necesario y recomendable la colocación de espacios traslucidos, que nos den una iluminación natural dentro de la nave, pero cuidando no alterar en forma representativa otras condiciones interiores del área cubierta en cuestión.

En cuanto a los tres tipos de materiales aptos para iluminar naturalmente (acrílico, fibra de vidrio y policarbonato) es necesario e

importante mencionar que no poseen la misma capacidad de carga que la lamina por lo que se debe tener especial cuidado al caminar sobre una cubierta. ( ver figura 18 ).

### ILUMINACION EN SISTEMA A DOS AGUAS EN LAMINA ENGARCOLADA

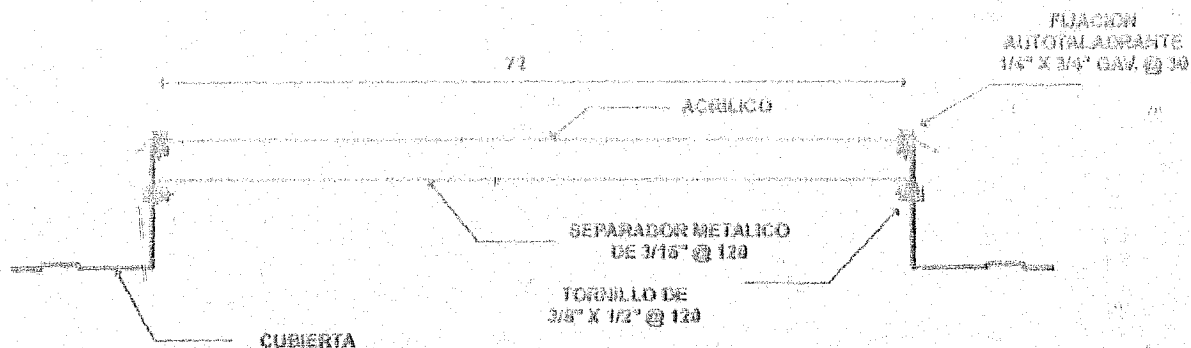


FIG 18

A continuación presentamos una breve descripción de cada uno de los materiales a utilizar para iluminar naturalmente, indicando sus ventajas y desventajas.

1) Acrílico: Láminas fabricadas con resinas acrílicas y refuerzos de fibra de vidrio. Su principal ventaja, es el proceso de fabricación, ya que se ofrece en toda la gama de perfiles de lámina metálica que existen en el mercado. Su capacidad de transmisión de luz es hasta del 84%. Resiste satisfactoriamente los efectos solares y la intemperie, conservando su transmisión luminosa y color original con el transcurso del tiempo. Su colocación es muy fácil y rápida, de igual forma que la lámina metálica de la cubierta. Es necesario poner especial cuidado en que la lámina de acrílico no posee la misma capacidad de carga que la metálica. Su coeficiente de dilatación térmica es muy elevado ( $0.0000738 \text{ m/m}^\circ\text{C.}$ ), por lo que no se

deben utilizar piezas muy largas para evitar abocardar los barrenos de los elementos de fijación. Por lo anterior, si la deformación calculada es de dimensiones considerables, el sistema de fijación deberá realizarse sin perforar la lámina. Creemos que es el material más recomendable para la iluminación de naves industriales, sobretodo por su disponibilidad en cualquiera de los perfiles metálicos, por funcionar de manera adecuada en cuanto a transmisión luminica, y por su bajo costo.

2)Policarbonato: Aprovecha en un mayor porcentaje la luz natural, es decir, su capacidad de transmisión de luz es mayor a la del acrílico. Presenta una muy buena resistencia contra impactos generados por agentes externos, es prácticamente irrompible. Su composición estructural es a base de celdas o túbulos longitudinales, lo que le da una mayor capacidad aislante al producto. Su gran desventaja es la dificultad en su colocación y en los traslapes con lámina metálica, no se tienen desarrollados los perfiles, por lo que las situaciones de frontera o traslapes con los elementos metálicos de la cubierta, requieren de accesorios adicionales a la lámina. Su presentación es en láminas planas, ya sean rectas o curvas, lo que provoca el escurrimiento del agua en todas direcciones. Creemos que su uso ideal, es exclusivo para casos arquitectónicos ornamentales específicos, como domos planos, domos cañon, etc. Descartamos su uso en naves industriales por las dificultades mencionadas en cuanto a su colocación.



3) Fibra de vidrio: Muy parecido al acrílico, de hecho las láminas acrílicas se refuerzan con fibra de vidrio. Una lámina hecha exclusivamente con fibra de vidrio, sin utilizar resinas acrílicas, producirá que el material se opaque con mayor rapidez. Al cabo de dos años es necesario cambiar las piezas de fibra de vidrio debido a que su transmisión de luz se reduce considerablemente por la opacidad mencionada. Otra desventaja es, que la fabricación de los perfiles también se encuentra limitada. En cuanto al costo, podría representar la mejor alternativa si consideráramos el costo real de inversión, pero al considerar costos de reemplazo a corto plazo, se convierte en una alternativa desventajosa.

Como conclusión podemos decir, que el material adecuado para obtener iluminación natural dentro de una nave para usos industriales, es el acrílico con refuerzo de fibra de vidrio, por presentar mejor funcionalidad, mejor transmisión de luz y mayor duración al mas bajo costo.

#### **\*) Ventilación:**

La ventilación necesaria dentro del espacio cubierto, estará dada por las condiciones deseadas en el interior de la nave. Dependiendo de los procesos que se realicen en el interior, se podrá determinar la cantidad y la calidad de la ventilación requerida.

Esta ventilación puede ser proporcionada de diversas formas: Una ventilación natural, dada exclusivamente por gravedad y

diferencia de temperaturas en el aire del interior de la nave. Sabemos que un aire con mayor temperatura, tiene un menor peso y por lo mismo una densidad menor lo que produce que este aire tienda a subir y a buscar una salida natural en la parte superior de la nave. Este principio tan sencillo nos da la pauta para proporcionar en el interior de la nave las condiciones necesarias para desalojar en forma adecuada y continua el aire caliente que se encontrará en la parte superior de la nave. La otra forma de ventilación, es por medio de extractores mecánicos que funcionan eléctricamente; dichos extractores tienen como principal función, como su nombre lo indica, extraer en forma mecánica el aire del interior de la nave. Otras formas de ventilación, podrá ser un sistema de aire lavado en el interior de la nave, lo que al contrario de los sistemas anteriores, necesita tener la nave una hermeticidad necesaria, ya que el aire es reciclado por medios mecánicos. Decimos reciclado, porque los sistemas de aire lavado, tanto inyectan aire, como lo extraen por su propia cuenta. Determinamos que para usos industriales en donde los procesos no arrojen gases tóxicos, el sistema de ventilación adecuado es el sistema por gravedad el cual describiremos a continuación; dicho sistema de ventilación, produce unas condiciones adecuadas en el interior de la nave en cuanto a temperaturas. Cabe mencionar que para lugares donde los procesos arrojen gases con cierta toxicidad o se encuentren maquinarias que generen un calor excesivo, es necesario realizar un estudio mas minucioso para la determinación del sistema de ventilación dentro de la nave.

El sistema de ventilación por gravedad, por su funcionamiento estorizado ya con anterioridad, es el óptimo para una cubierta a dos aguas en donde la parte mas alta de la edificación la tenemos precisamente en la cumbrera. Esto nos ayuda, debido a que la colocación de elementos suficientes y necesarios en la cumbrera para provocar la salida continua del aire, es muy fácil. Estos elementos que en realidad son ventiladores de gravedad, se les conoce vulgar y comercialmente como magnavales. Dichos ventiladores se pueden encontrar fabricados con medidas estandares o comerciales o bien se pueden diseñar para el volumen necesario de extracción. La extracción real del inmueble, está en relación directa con la abertura del ventilador o ancho de garganta. ( ver figura 19 ).

## VENTILACION

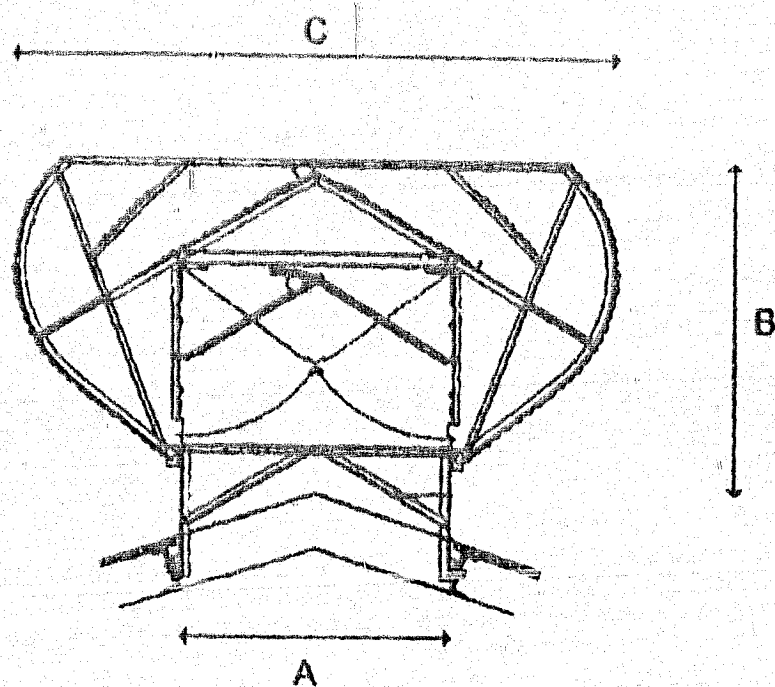


FIG. 19

## DIMENSIONES Y PESOS

A		B	C	Peso en kg/m <sup>2</sup>
Garganta del ventilador		Altura	Ancho	Marcos @ 2.44 m c. a. c. Pintado ó Galvanizado
mm	plg	mm	mm	
610	24	1038	1460	65
914	36	1162	2095	92
1220	48	1456	2781	118
1524	60	1752	3390	140
1829	72	1982	4000	167
2438	96	2578	5397	219
3048	120	3184	6692	306
3657	144	3886	7962	357
4267	168	4457	9271	434
4572	180	4765	9956	495

**NOTA:** No se consideran las tapas del ventilador

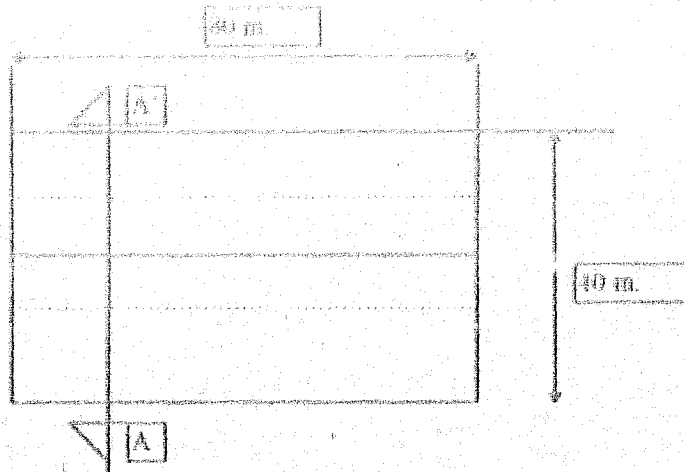
TABLA DE VELOCIDADES		Para calcular la capacidad del ventilador, multiplíquense los metros lineales por minuto, por la abertura de garganta, en metros cuadrados (m <sup>3</sup> /min)			
		Velocidad del Viento en km/h			
Δt Diferencial de Temperatura (°C)	Altura Efectiva de tiro (m)	3	6	9	12
		ml/min	ml/min	ml/min	ml/min
5	3	45	62	79	98
	6	57	74	91	109
	9	66	83	101	118
	12	74	91	109	126
	15	81	98	115	132
10	3	57	74	91	109
	6	74	91	109	126
	9	87	104	121	138
	12	96	115	133	150
	15	108	125	142	159
15	3	66	83	101	118
	6	87	104	122	139
	9	103	120	137	155
	12	116	134	151	168
	15	128	145	163	180

**NOTA:** Para asegurar una extracción óptima del ventilador, es necesario un área de admisión adecuada. Generalmente el área libre de entrada, debe ser cuando menos, 1.5 veces el área de extracción del ventilador.

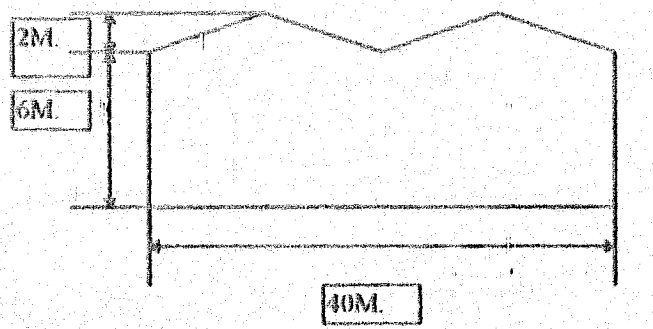
El procedimiento adecuado para el cálculo del área de extracción estará dado de la siguiente forma: Determinación del número de cambios de volumen que se deseen en función del tiempo. Para esto es necesario conocer la geometría de la nave, para poder determinar el volumen de aire en el interior. Una vez conocido dicho volumen y el número de cambios necesarios o deseados, se calcula el diferencial de temperaturas dado por la diferencia en la temperatura del aire de inyección, que será la temperatura en el exterior de la nave, esto debido a que el aire se suministrará por rejillas en los costados de la nave y dicha inyección será del aire del exterior menos la temperatura del aire en el interior de la nave y una vez afectado por los procesos de la operación en el interior de la nave. La determinación de la altura efectiva de tiro, estará dado por la diferencia de niveles entre la salida y la entrada del aire.

Otro dato importante para el cálculo del área de salida, es la velocidad del aire en la salida, la cual se determina en m/min. A continuación presentamos un ejemplo del cálculo del área necesaria de salida en la cumbrera de una nave a dos aguas, tomando en cuenta todas las consideraciones antes mencionadas.

**DATOS:** Se trata de una nave de 40 m. de ancho por 80 m. de largo a dos aguas según el croquis anexo.



PLANTA GRAL.



CORTE A-A'

Considerando los datos mostrados en los croquis y considerando que se requieren realizar 3 cambios de volumen por hora tenemos lo siguiente:

Volumen de la nave:  $40 \times 6 \times 80 = 19,200 \text{ m}^3$

$20 \times 2 / 2 \times 2 \times 80 = 3,200 \text{ m}^3$

TOTAL VOL.= 22,400 m<sup>3</sup>

Con la consideración de los 3 cambios de volumen por hora tenemos que:

<u>VOL. x No. DE CAMBIOS/HORA</u>	Esto nos dará el volumen a mover por minuto
60	

$$22,400 \times 5 = 1,120 \text{ m}^3/\text{min}.$$

60

De la tabla anexa proporcionada por el fabricante, considerando un diferencial entre la temperatura del interior con el exterior de  $10^\circ \text{C}$ ., una altura efectiva de tiro de 6.00 m. y una velocidad de salida del viento de 3 km/hr. de las tablas obtenemos: 74 ml/min

Tomando en cuenta que el área de salida está dada por el volumen a mover entre los ml/min obtenidos de tablas, tenemos lo siguiente:

$$\text{Area de salida} = \frac{1,120 \text{ m}^3/\text{min}}{74 \text{ ml/min}} = 15.14 \text{ m}^2.$$

$$74 \text{ ml/min}$$

Si consideramos que ventilaremos por las dos cumbres, tenemos un area en cada una de estas de  $15.14 / 2 = 7.57 \text{ m}^2$ . El ancho de garganta propuesto será de 40 cms. por lo que  $7.57 / 0.40 = 18.92 \text{ m}$  con este ancho de garganta, proponemos colocar 8 pzas de 2.44 m. en cada cumbre. Como comprobación obtenemos el área total de salida, que estará dada por:  $8 \times 2.44 \times 0.40 \times 2 = 15.62 \text{ m}^2$  mayor que el área necesaria, por lo tanto se acepta.

Las rejillas de recuperación estarán dadas considerando vez y media más que el área de salida, por lo que:  $15.62 \times 1.5 = 23.43 \text{ m}^2$  de rejillas de recuperación. Si consideramos un tamaño estandar de rejillas de 2.44 m. x 1.22 m., tenemos que cada rejilla proporciona 2.97



m<sup>2</sup>. Si colocamos 4 rejillas de estas en cada lado de la nave, tenemos de área neta de entrada:  $8 \times 2.97 = 23.76$  m<sup>2</sup>, mayor que la necesaria, por lo tanto se acepta.

En conclusión, la ventilación necesaria dentro de la nave estará dada por el uso o destino final del inmueble así como el ambiente que dentro de la misma se desee, creemos que lo más recomendable en cuanto a costo y funcionalidad es la utilización de extractores que trabajen por simple gravedad.

#### **\*)Aislamiento:**

El aislamiento necesario en la cubierta estará dado al igual que la ventilación por las condiciones deseadas en el interior de la nave. Dicho parámetro de aislamiento está íntimamente ligado al anterior descrito de ventilación. El aislamiento comúnmente utilizado tiene como función principal la de aislar el interior de la nave para conservar una temperatura ambiente óptima, es decir hablamos de un aislamiento térmico. Otra función importante del aislante en las cubiertas es el aislamiento acústico. En láminas metálicas resulta molesto el ruido que produce el agua de lluvia o granizo al chocar con la cubierta, con la utilización de estos elementos aislantes podemos satisfacer ambas necesidades de aislamiento. ( ver figura 20 )

## AISLAMIENTO

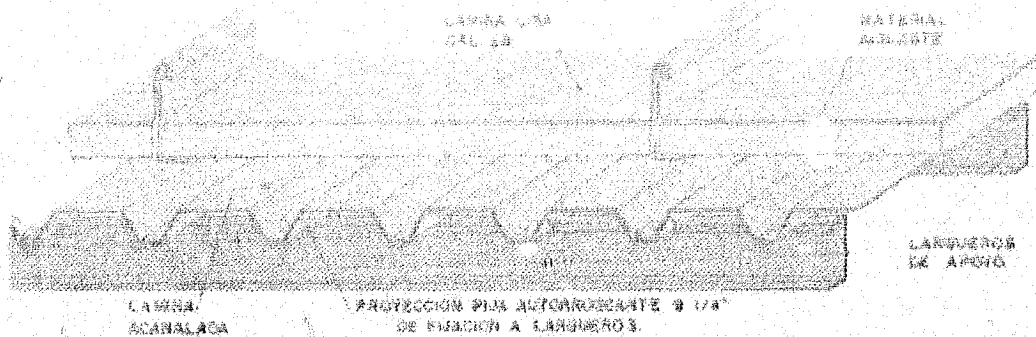


FIG. 20

Los principales materiales utilizados como aislante son paneles de poliestireno, poliuretano o fibra de vidrio. Cabe mencionar que se debe de revisar cada sistema de cubierta para ver la factibilidad de aislarlo con alguno de estos paneles, en general si es posible adaptar los paneles aislantes a los distintos sistemas pero es necesario considerarlo desde el proyecto para efectos de diseño y presupuestación. A continuación presentamos una tabla comparativa de las capacidades aislantes de los tres materiales mencionados. Dichos materiales se pueden utilizar de distintos espesores, dependiendo éste de las condiciones climatológicas de la zona y de la temperatura que se desea preservar.

TIPO DE AISLANTE	CONDUCTANCIA KCAL/H/M <sup>2</sup> /°C/M
POLIESTIRENO A.D.	0.034
FIBRA DE VIDRIO	0.027
POLIURETANO RIG.	0.014

El factor de conductancia, mientras sea menor, mejor es el material como aislante térmico.

## 2) Sistema dientes de sierra.

Dicho sistema recibe su nombre por la fachada que presentan estas naves en uno de sus costados. El desagüe de estos sistemas por sus características geométricas es en un solo sentido de la nave, siendo este desagüe interrumpido por la armadura siguiente.

Para las consideraciones de la pendiente necesaria, generalmente estos sistemas tienen pendientes mayores al 5% debido al corto tramo entre armaduras principales y al peralte de dichas armaduras.

### -) Estructura portante:

La estructura necesaria para este sistema es a base de armaduras con alma abierta y cuerdas paralelas. En este sistema debemos identificar las armaduras principales de las armaduras

secundarias o struts los cuales se colocan uniendo cada una de las armaduras y son a la vez el sistema portante propiamente dicho de los largueros. Las armaduras principales, al igual que las armaduras de alma abierta a dos aguas, se fabrican con perfiles laminados de acero estructural como ángulos de lados iguales, ángulos de lados desiguales y PTR. Dichas armaduras se soportan sobre columnas de concreto o sobre columnas metálicas, dependiendo del proyecto general. ( ver figura 21 ).

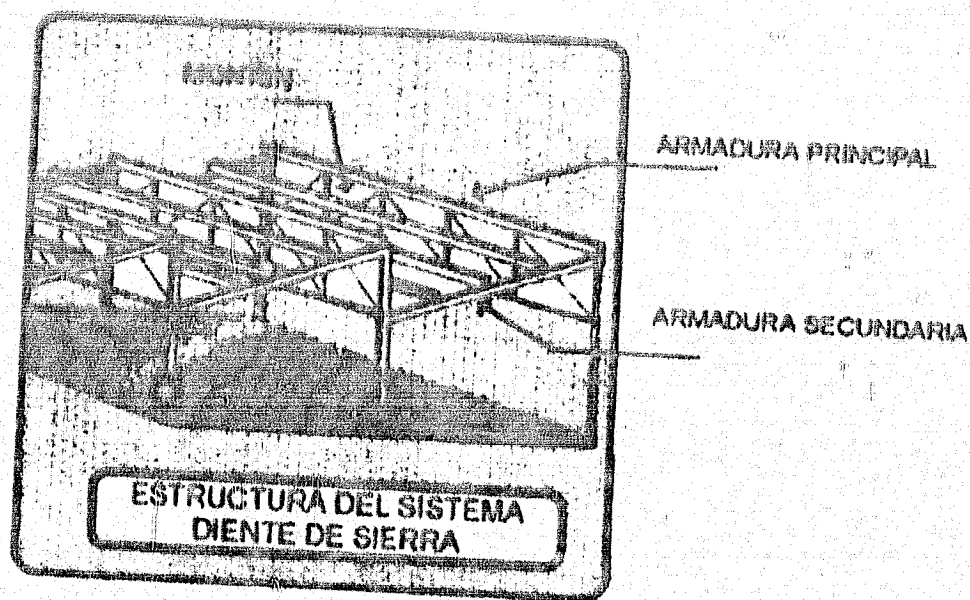


FIG 21

Las armaduras secundarias en este sistema cumplen con dos funciones principalmente, la primera es la de atiesar las armaduras principales entre sí, para lograr la estabilidad de la estructura y la otra función es la de ser el apoyo de los largueros. Por lo anterior el diseño de dichas armaduras secundarias debe de considerar la carga viva suficiente para la cubierta elegida, así como la necesaria para la

transmisión de dichas cargas a las armaduras principales, las cuales descargan directamente a las columnas.

La principal ventaja que muestra este sistema radica en la iluminación que se recibe indirectamente por las armaduras o dientes, con esto se logra tener muy buena iluminación en el interior de la nave y a la vez no se recibe directamente la incidencia de los rayos solares, obteniendo con esto mejores condiciones de temperatura en el interior. Esto anterior representa una de las diferencias de mayor consideración de este sistema con otros, como el sistema a dos aguas y el arco.

#### -) Cubierta.

Las cubiertas metálicas para naves dientes de sierra pueden resolverse con los mismos tipos de lámina mencionados en las cubiertas a dos aguas. En este tipo de cubiertas se eliminan algunos de los problemas mencionados con anterioridad para el sistema de cubierta, un ejemplo de esto es las deformaciones en las láminas debidas a las diferencias de temperaturas, este problema no se presenta ya que las longitudes de los lienzos de lámina no son tan grandes como podrían presentarse en naves resueltas con sistema a dos aguas.

En realidad, en naves dientes de sierra, pueden utilizarse sin mayor problema cubiertas con lámina acanalada trapezoidal, semiestructural y engargolada. Otro detalle importante a mencionar, es que como mencionamos con anterioridad, la iluminación en sistemas dientes de sierra se proporciona por el diente propiamente (armaduras

principales revestidas con material traslúcido) con esto logramos que la cubierta sea resuelta de manera uniforme con un solo material, siendo este la lámina metálica, evitándose detalles necesarios en juntas entre dos materiales como pueden ser los traslapes de lámina metálica con acrílica.

#### **-)Accesorios:**

En cuanto a estos accesorios, si existen algunas diferencias, si no demasiado considerables, si dignas de merecer algo de atención especial en la elaboración del proyecto, así como en la ejecución de los trabajos. Detallaremos un poco más esto anterior en cada inciso correspondiente.

#### **+ )Cumbreras:**

En estos sistemas no existen los remates denominados cumbreras, el parteaguas esta formado por la terminación de la lámina la cual a diferencia del sistema a dos aguas no forma una junta a tope entre láminas, más que cumbrera en sistemas dientes de sierra, se denomina Flashing o Botaguas y consiste en fabricar un remate especial que será colocado para tapar la junta entre la armadura principal y la lámina de cubierta (ver figura 22).

## CUMBRERA EN SISTEMA DE DIENTES DE SIERRA

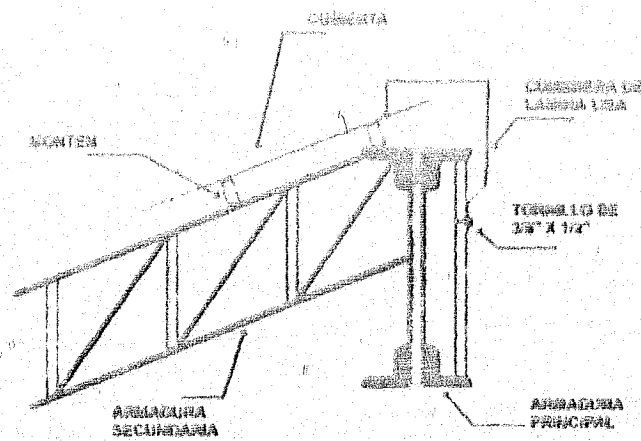


FIG 22

En resumen, en sistemas dientes de sierra, el tratamiento que se le debe de dar a las antes mencionadas cumbreras, se reduce a tratarlos como remates, fabricando estos con la sección tomada en campo y haciéndola de tal forma que impida el escurrimiento al interior de la nave.

### + )Canalones:

En sistemas dientes de sierra es muy importante dedicar mayor atención tanto al diseño como a la colocación de los canalones, debido a que estos se encuentran francamente en el interior de la nave. Como mencionamos anteriormente, los canalones son puntos en una cubierta con grandes probabilidades de filtraciones de

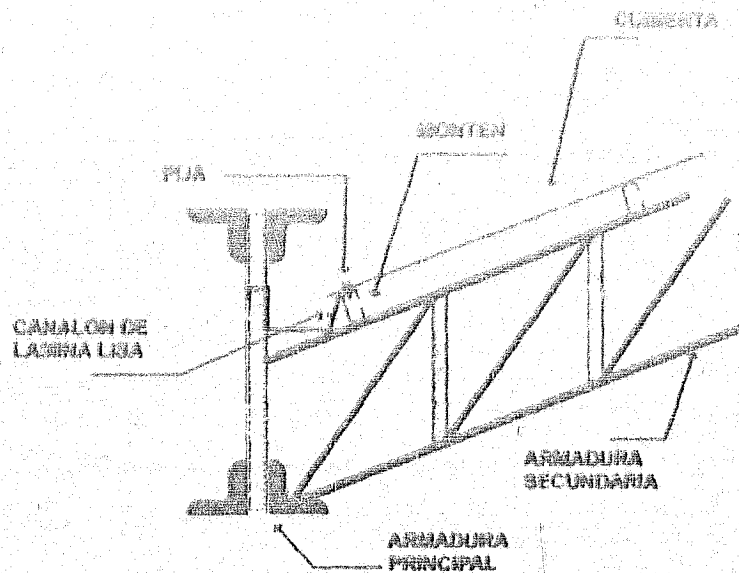


agua, debido a que en ellos se presentan tirantes y en ocasiones el volumen de agua que recolectan llega a ser importante.

En cuanto al diseño de estos canalones, se realiza en forma empírica o empleando el mismo método que se muestra para el diseño de canalones en sistemas a dos aguas. Es recomendable aumentar un poco los parámetros de diseño para que las secciones arrojadas por este diseño queden sobradas. Es muy importante considerar una sección tal que nunca permita que el canalón se desborde ya que esto alteraría en forma significativa la operación de la nave, sirva esta aclaración para no olvidar el granizo y la nieve en su caso.

Una de las diferencias más marcadas en la colocación de estos canalones, es que estos siempre se soportarán en la armadura principal o en algún elemento colocado exclusivamente para esta función en la propia armadura, así como en el primer larguero de la cubierta. (ver figura 23). Así también las pendientes que se acostumbra dar en los canalones es de 0.5 a 1.0% encontrándose los desagües o BAP'S, en los extremos de las armaduras principales, es decir, en los apoyos de esto, ayudándose de las columnas para la colocación de las bajadas.

## CANALÓN EN SISTEMA DE DIENTES DE SIERRA



### + ) Remates:

Estos remates, al igual que en sistemas a dos aguas, sirven para tapar posibles filtraciones de agua y polvo en distintas juntas de materiales, como juntas muro-techo, goteros, juntas constructivas, etc. Estos accesorios se fabrican dando las secciones en campo y habilitándolas a la medida y resolviendo cualquier situación dada. Algunos de estos detalles muchas veces son parte de las fachadas por lo que se pone algún cuidado para no transformar la estética de la nave.

#### + Impermeabilidad y aislamiento:

En realidad estos aspectos se cuidan exactamente de igual forma que en naves a dos aguas. La impermeabilidad depende mucho, como ya hablamos, del sistema de cubierta elegido, si tomamos un sistema engargolado, esta impermeabilidad se puede garantizar mas tiempo con una supervisión menor, si la cubierta se resuelve con lámina acanalada trapezoidal o semiestructural, es necesario supervisar que se den los traslapes necesarios, y los sellos adecuados en todas las perforaciones de la lámina, para reducir al máximo los posibles puntos de filtración, como mencionamos, el sistema engargolado es el que menos problemas presenta en cuanto a la impermeabilidad, debido a que no existen perforaciones en la cubierta.

En cuanto al aislamiento, este se dá con las mismas características y materiales que el sistema a dos aguas. Cabe mencionar aquí, que los sistemas aislados se encuentran ya desarrollados por algunos colocadores de lámina, es conveniente asesorarse de estos para proyectar un aislamiento óptimo para el destino de la nave.

#### \*) Iluminación:

Como mencionamos al principio de la descripción de este sistema, la iluminación en éste se resuelve de mejor forma que en otros, debido a que el área traslúcida no recibe directamente los rayos solares, provocando con esto que la temperatura en el interior de la nave se mantenga más constante. Dichos elementos traslúcidos, que por lo general son: láminas acrílicas, políester, fibra de vidrio o incluso en ocasiones vidrio, se colocan como revestimiento exterior de las armaduras principales (ver figura 24). Es importante cuidar los detalles de las fronteras de dichos elementos traslúcidos con sellos o molduras necesarias, en caso de cristal, se colocan sobre manguetería de aluminio o lámina; ésta fijada a la armadura.

### ILUMINACION EN SISTEMA DE DIENTES DE SIERRA

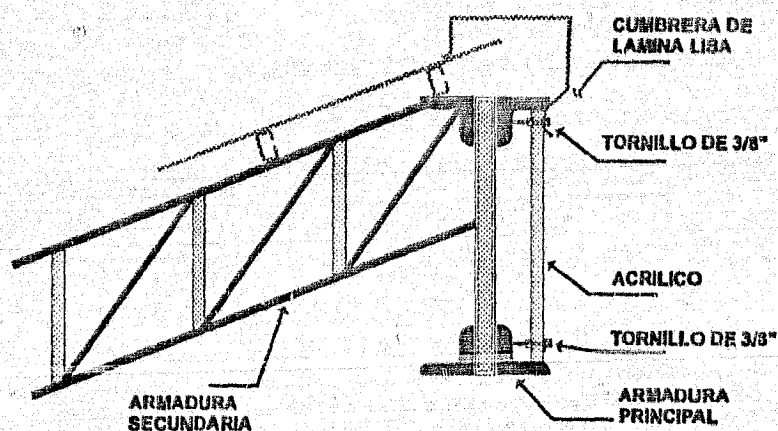


FIG 24

En general la iluminación en estos sistemas, no es muy complicada de resolver, considerando que se trata solo de un recubrimiento. En ocasiones es necesario hacer algún pequeño bastidor para la fijación de las láminas, este bastidor se encuentra adosado a las armaduras principales y a éste directamente se fijan las láminas traslúcidas con pijas o birlos.

Es importante mencionar, que si la iluminación proporcionada exclusivamente por las armaduras principales, no es suficiente para las condiciones de servicio de la nave, los sistemas de cubierta mencionados permiten agregar láminas traslúcidas en la cubierta, con esto se pierden un poco las ventajas que muestra este sistema, pero en ocasiones es necesario.

#### **+Ventilación:**

La ventilación en sistemas dientes de sierra se resuelve mediante ventanas o rejillas en los dientes o armaduras principales. Como estas rejillas o ventanas se encuentran en las partes mas altas de la nave, la ventilación se presenta por simple convección o gravedad..

Los parámetros de diseño para la necesidad de áreas de rejilla y ventana así como las rejillas de recuperación, se realiza con la misma metodología que la mostrada en el inciso referente a la ventilación de sistemas a dos aguas. Si por requerimientos operativos de la nave es necesario algún sistema de aire acondicionado o aire lavado, se debe realizar el proyecto específico.

### 3) Arcos y sistemas curvos:

La estructuración con arcos o curvas equivale a utilizar la estructura que por su geometría representa una de las mejores formas estructurales y de las más viejas, el arco fue uno de los primeros elementos utilizados para estructuraciones, esto debido a la transmisión de esfuerzos que éste produce, logrando repartir los esfuerzos de manera muy adecuada. Por esto anterior, la estructuración en forma de arco tiene algunas ventajas sobre los sistemas antes mencionados. El problema de estos sistemas radica en que se limitan algunos de los otros elementos, como la cubierta, la ventilación, la impermeabilidad, etc.

Los sistemas resueltos con arcos tuvieron mucho auge con la lámina de asbesto, ya que los fabricantes de asbesto desarrollaron la lámina curva apta para colocarse en dichos sistemas, ahora con las innovaciones de la lámina metálica ha caído un poco en desuso, ya que los fabricantes de lámina no han desarrollado mucho el campo de los sistemas curvos. Es decir, que no se tiene gran variedad de láminas



aptas para este sistema, ni de perfiles como los que hemos mencionado, que nos den mayor capacidad de carga o que nos garanticen la impermeabilidad. Al hablar de las cubiertas de estos sistemas profundizaremos más en esto.

En cuanto a los sistemas curvos podemos mencionar, que a diferencia de los otros dos mostrados en estos, es obvio que no tenemos el parámetro de la pendiente debido a que la cubierta es en forma de arco. En contraparte tenemos la flecha o peralte al centro del claro, el cual en muchas ocasiones es dado como porcentaje del claro de la armadura. Algunas otras consideraciones particulares de estos sistemas se mencionarán en cada uno de los incisos siguientes.

**-)Estructura portante:**

Como ya mencionamos, la estructura portante es a base de armaduras cuyas cuerdas superior e inferior, hablando de armaduras de alma abierta, describen un arco o semicírculo con distintos radios dependiendo del proyecto. Dichas armaduras de alma abierta se fabrican con perfiles laminados como ángulos de lados iguales, de lados desiguales, perfiles tubulares de acero, etc. En realidad, se utilizan los mismos elementos que para los sistemas a dos aguas o dientes de sierra. La diferencia principal en la fabricación de estas armaduras, radica en el arco que se puede lograr de dos formas. Una sería rolado con el radio necesario la pieza completa (cuerda superior o inferior) (ver figura 25 ) y la otra es asemejar lo más posible a un arco, pero con pequeñas cuerdas rectas.





FIG. 25

En realidad la preferencia de realizarlo de alguna de estas dos formas dependerá del proyecto, de su flexibilidad, de la vista arquitectónica y de las facilidades del propio fabricante. Verificamos que algunas veces el costo por el combado o rolado curvo es un poco más alto, que realizarlo con pequeñas cuerdas rectas.

Otra forma de colocar las armaduras principales dentro de los sistemas de curvas o arcos, es por medio de marcos de sección constante y de alma llena (IPR). Esta forma está casi completamente fuera de uso, debido al costo excesivo de curvar las viguetas.

Al igual que los sistemas antes descritos, estas armaduras se pueden colocar sobre columnas de concreto o de acero dependiendo de la forma del análisis. Y también lleva los elementos adicionales antes mencionados como struts, para ligar armadura con armadura, largueros para el soporte propio del sistema de cubierta, etc.

En sistemas curvos se debe tener especial cuidado en el análisis de las columnas de desplante o en su caso del análisis del marco, ya que por su geometría se presentan esfuerzos grandes en los capiteles de las columnas provocados por el propio arco que tenderá a abrir dichas columnas. Por esto anterior, es muy recomendable ligar estas columnas por medio de un tensor a lo largo del claro, para que estas no resulten tan robustas. En ocasiones, por razones de espacio dentro de la nave, la colocación de este tensor no es posible, entonces tendremos que analizar las columnas y la cimentación de tal forma que soporte los coceos provocados por las armaduras.

Existen ya en el mercado sistemas de cubierta autoportantes, éstos como su nombre lo indica no requieren de ninguna estructuración salvo la necesaria para su desplante, tomando en cuenta lo mencionado sobre los coceos. Dichos sistemas autoportantes se encuentran un poco limitados y se debe de consultar directamente al fabricante para conocer las características propias de estos sistemas. En general han tenido auge debido a que se libran claros de dimensiones regulares (hasta 20 M.), con el puro sistema de cubierta, teniendo capacidades de carga adecuadas.

#### **-) Cubierta:**

Los sistemas de cubierta, como mencionamos anteriormente, se encuentran un poco limitados. Esto, debido a que para garantizar la eficacia de un sistema de cubierta es necesario colocar la lámina describiendo exactamente el arco de la estructura y

por esto anterior los fabricantes, difícilmente han podido sacar al mercado una lámina estandar con cierta curvatura, sin embargo si existen algunos tipos de ellas. En asbesto, por ejemplo, existen de linea láminas onduladas estandar con cierta curvatura. En cuanto a cubiertas metálicas, existe la lámina ondulada curva en diferentes calibres, ésta lámina no es muy recomendada para grandes áreas de cubiertas, debido a que se maltrata demasiado al momento de su colocación y al momento de realizar algun trabajo de mantenimiento sobre ella.

Existen fabricantes que manejan los perfiles semiestructurales, parecidos al que mencionamos en los sistemas anteriores, a este perfil semiestructural, (ver figura 26 ) se le dan ciertos golpes con un troquel, que logran dar una deflexión, logrando con esto la curva necesaria para cada tipo de estructura, el inconveniente radica en la falta de soporte técnico del fabricante para dar esa misma curvatura, así como un deficiente control de calidad en ésta, sin embargo, esta alternativa si representa la posibilidad mas viable de una cubierta curva con un buen funcionamiento.

## CUBIERTA EN ARCO

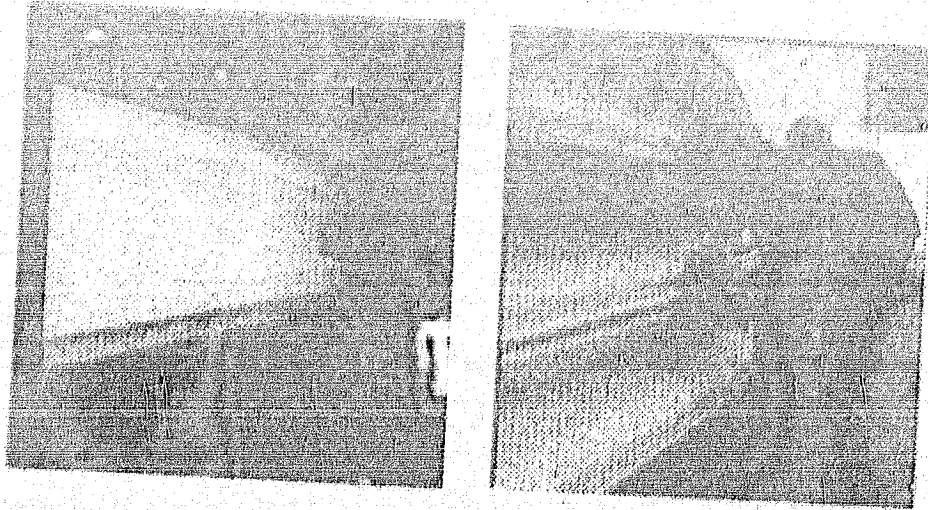


FIG. 26

Las consideraciones de diseño para la fijación y las consideraciones propias de la colocación de estas tres láminas mencionadas para sistemas curvos, son las mismas que para un sistema a dos aguas.

Existen también, como ya mencionamos anteriormente, los sistemas de cubiertas autoportantes, los cuales se realizan con lámina metálica de diversos calibres, desde 26 hasta 22. Estos sistemas de cubierta representan una buena alternativa de solución, si se resuelve de manera óptima la estructuración del elemento de desplante. Decimos que representan un sistema viable debido a que la capacidad de carga de estos es razonable incluso para la colocación de colgantes para iluminación o instalaciones necesarias, además, dichos sistemas son engargolados para darle uniformidad a la cubierta, además de ligarla en una sola pieza y lograr su capacidad autoportante. Otra de

Las grandes ventajas de estos sistemas es que la lámina se rola en el sitio, logrando no tener errores, tanto en la longitud como en la flecha. Consideramos que sus principales ventajas son: amplia garantía de impermeabilidad, debido al sistema engargolado, y a que se fabrica de una sola pieza. Ahorro considerable de la estructura, de hecho no es necesaria ninguna estructuración, solo considerar las traveses de desplante.

A continuación presentamos algunas figuras referentes a estos sistemas autosoportantes, detalles como su fijación, como lograr su iluminación, etc. ( ver figura 27 ).

### FIJACION DE ARCO

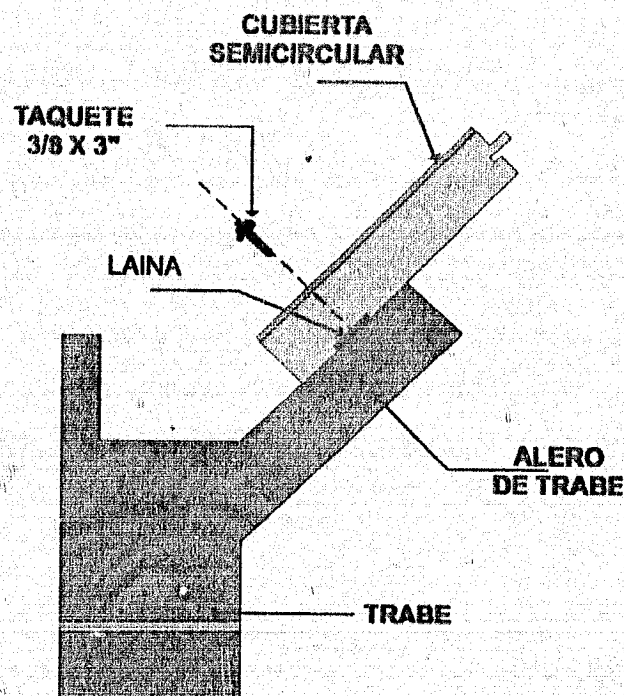


FIG 27



Dichos sistemas presentan también algunas desventajas, como la ventilación, la cual no se puede resolver por la cubierta ya que esta no se puede perforar. Otra desventaja es que la iluminación se restringe un poco debido a que esta no tiene ninguna capacidad portante, así también, esta iluminación se realiza integrada a la misma cubierta, teniendo el inconveniente antes mencionado de que inciden directamente los rayos solares generando calor en el interior de la nave.

**-) Accesorios:**

En realidad los accesorios que hemos mencionado en los dos sistemas anteriores son muy similares a los de sistemas curvos por lo que no existe mayor diferencia en cuanto a su diseño, especificación e incluso colocación.

**+) Cumbreiras:**

En sistemas curvos o arcos por ser continuos no existen estos accesorios, la parte mas alta de la curva se resuelve con el mismo sistema de la cubierta en forma continua, evitando con esto el uso de las cumbreiras.

**+) Canalones:**

El tratamiento que se le da a los canalones en sistemas curvos o arcos, es exactamente igual al de los canalones del

sistema a dos aguas. Considerando que tanto el diseño como la colocación y especificaciones de éstos se realizan de manera idéntica.

**+ ) Remates:**

En cuanto a los remates, de igual forma se realizan de manera similar que lo expuesto en sistemas a dos aguas. En realidad los sistemas curvos o arcos se resuelven en forma muy parecida a los sistemas a dos aguas debido a su similitud en cuanto a geometrias.

**+ ) Impermeabilidad y aislamiento:**

El hablar de sistemas curvos o arcos podría reflejar una repetición de lo visto con anterioridad para lograr impermeabilidad en una cubierta, nos remitimos a mencionar que para lograrla en estos sistemas curvos es necesario conocer que exista en el mercado el tipo de lámina apropiada para la curvatura que deseamos en algún proyecto específico. Así también, la supervisión en campo, en cuanto a dar los traslapes necesarios y la utilización de selladores en estos traslapes, garantizará al cien por ciento la impermeabilidad de la cubierta.

En los sistemas curvos es posible la utilización de las charolas engargoladas con las que se garantiza la condición de impermeabilidad al no tener ningún tipo de traslape ni perforaciones sobre la lámina.



En cuanto al aislamiento, es muy difícil lograrlo ya que los paneles de poliestireno, poliuretano o fibra de vidrio, se encuentran de manera lisa, por lo cual no pueden ser acoplados en los sistemas curvos, debido a esto, la única manera de lograr el aislamiento es mediante poliuretano espreado. Debido a lo anterior el costo de aislamiento en sistemas curvos, se incrementa notoriamente llegando hasta sacar a dicho sistema de la competencia con los demás expuestos.

#### **+ ) Ventilación:**

Como se mencionó anteriormente, la ventilación está en función de las condiciones deseadas en el interior, así como de los procesos que se realicen. La ventilación la podemos proporcionar de varias formas; una es mediante el efecto de la gravedad dada por la diferencia de temperaturas obtenidas en el interior de la nave. Al igual que en el sistema a dos aguas, los elementos (magnavales) son colocados en la parte más alta de la edificación. Otra forma de ventilación es mediante extractores mecánicos o bien mediante sistemas de aire lavado.

#### **+ ) Iluminación:**

La iluminación se logra por medio de láminas de policarbonato, fibra de vidrio o acrílico. En los sistemas curvos, por la misma geometría de la edificación, se debe de realizar en tramos cortos para poder lograr la curvatura de la misma.

En este sistema se tiene el mismo problema que en el sistema a dos aguas, el cual es la incidencia directa de los rayos solares, logrando así mayores temperaturas en el interior de la nave. Mediante las especificaciones de proyecto, así como de las necesidades de la operación de la nave, es como se determina el porcentaje de cubierta que se colocará con lámina traslúcida.

## CAPITULO III ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS

### PROPUESTOS

Este capítulo tratará ya en forma específica, la comparación propiamente de los sistemas mencionados. Trataremos de realizar la comparación en forma muy objetiva de acuerdo a los parámetros definidos mas adelante. Esta comparación se realizará tratando de que en todo momento se comparen sistemas iguales en sus distintas modalidades, es decir, que los elementos de comparación satisfagan una misma función.

En términos prácticos el mejor sistema de cubierta para una nave industrial es aquel, que al más bajo costo satisfaga todas las necesidades requeridas en el interior de la nave, en cuanto a ambiente se refiere, las mejores condiciones estarán dadas de acuerdo a la temperatura deseada en el interior, aspecto ligado a la resolución de ventilación en la cubierta; la impermeabilidad necesaria en cualquier nave de acuerdo a los procesos que se tendrán en la operación de ésta; La iluminación natural deseada para optimizar costos de energía

eléctrica en la operación del inmueble. Otro aspecto importante es la estética o arquitectura que tendrá que guardar el lugar.

Al hablar del más bajo costo, nos referimos a costos tanto de inversión inicial o construcción, así como los de mantenimiento. Para esto es de vital importancia no realizar la comparación partiendo únicamente del costo de construcción, ya que un sistema que pudiera parecer el más económico en su construcción, podría acarrear costos de mantenimiento altos, por lo que no se optimizaría el sistema de cubierta.

El esquema de esta comparación será un cuadro en el cual mostraremos los costos de los tres sistemas descritos en el capítulo anterior, con sus distintas posibilidades para resolver la cubierta, los accesorios, y en forma general las soluciones a cada uno de los elementos mencionados, como lo son la iluminación natural, la ventilación y el aislamiento. Una vez obtenida la comparación referida al costo, describiremos las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas mostradas en cuanto a sus soluciones, a su durabilidad y a

sus consideraciones de mantenimiento, para con esto determinar que sistema representa la mejor alternativa.

Las consideraciones particulares hechas para este estudio, así como los parámetros determinados son:

-)Estructura Portante. Para el análisis de la estructura portante de los tres sistemas propuestos tomamos como punto de partida la obtención de una cruzja típica que de acuerdo a las fuentes consultadas optimiza el peso de la estructura, logrando con esto la mejor solución de la estructura. La determinación de estas cruzjas se fijó, en base a fines prácticos, en un rango de entre 20 a 30 m. de claro por 8 a 10 m de separación entre marcos o armaduras principales. Hemos determinado para nuestro análisis, una cruzja típica de 30 m. x 8 m con una altura libre útil de 6 m.

Otra consideración importante para la comparativa de la estructura portante, es el método de diseño, el cual se consideró analizando cada uno de los sistemas portantes principales, como un solo marco autosoportante de 30 m de claro, logrando con esto

homogeneizar el estudio. Lo anterior debido, a que tanto las armaduras de alma abierta a dos aguas, como las de cuerdas paralelas (dientes de sierra) y los arcos, pueden ser desplantadas sobre columnas de concreto, lo cual modifica las consideraciones de diseño debido a la dificultad de lograr empotramientos en los apoyos por ser construcción mixta; además, esto implicaría considerar las armaduras con apoyos simples o articulaciones e involucrar los elementos necesarios para absorber las cargas horizontales provocadas por sismo o viento. El considerar todos los elementos portantes principales como marcos, nos lleva a considerar todas las columnas como metálicas. Nuestro estudio no descarta la posibilidad de realizar la construcción de sistemas portantes mixtos, los cuales para efectos prácticos de esta comparación no los tomaremos en cuenta.

El cuadro comparativo muestra las densidades de acero por metro cuadrado de cada uno de los tres sistemas, dichas densidades fueron calculadas cuantificando todos los elementos de la estructura en una cruzija típica y dividiéndolos entre el área neta cubierta de ésta. Los datos necesarios para la determinación de estas densidades, fueron proporcionados por Organización Bimbo, de



acuerdo a los proyectos que han realizado con las mismas dimensiones. Estas densidades consideran todos los elementos metálicos necesarios para resolver la estructura portante de la cubierta como son: columnas, armaduras o marcos principales, armaduras secundarias en su caso, largueros, puntales, contravientos, contraflambeos, etc.

El costo aproximado fue obtenido en base a un estudio de mercado realizado en la ciudad de México. El costo de la estructura estará dado multiplicando la densidad de acero por m<sup>2</sup> por el precio por kg. Todos los costos mostrados estarán dados por metro cuadrado cubierto en planta.

-)Cubierta: De acuerdo a lo descrito en el capítulo anterior para un mismo sistema de estructura portante es posible utilizar diferentes sistemas de cubierta, en el cuadro comparativo mostramos todas las posibilidades en cuanto a la combinación de los sistemas portantes descritos así como los sistemas de cubierta. Estas posibilidades son:

**1. En sistemas a dos aguas:**

**a) Con marcos rígidos y lámina acanalada trapezoidal.**



- b) Con marcos rígidos y lámina semiestructural.
- c) Con marcos rígidos y lámina engargolada.
- d) Con armaduras de alma abierta y lámina acanalada trapezoidal.
- e) Con armaduras de alma abierta y lámina semiestructural.
- f) Con armaduras de alma abierta y lámina engargolada.

## 2. Sistemas dientes de sierra:

- a) Con armaduras de alma abierta y cuerdas paralelas y lámina acanalada trapezoidal.
- b) Con armaduras de alma abierta y cuerdas paralelas y lámina semiestructural.
- c) Con armaduras de alma abierta y cuerdas paralelas y lámina engargolada.

## 3. Sistemas curvos o arcos.

- a) Con armaduras de alma abierta y lámina ondulada combada.
- b) Con sistemas curvos de lámina autosoportada.

El utilizar la lámina semiestructural modifica de alguna forma la estructura. Esta modificación está dada debido a que la lámina

semiestructural, como pudimos observar, soporta una mayor separación entre largueros de apoyo, esto modifica de alguna forma las consideraciones hechas para el cálculo de la densidad de acero.

✓ Todos los sistemas de cubierta fueron considerados con lámina metálica en calibre 24 con acabado galvanizado y pintado, el cual da una mejor estética y tiene un periodo de vida útil mayor. En cuanto al calibre de la lámina éste influye directamente en la densidad de la estructura debido a la separación entre largueros, la cual se da según la capacidad de carga de la lámina y cumpliendo con el reglamento de construcciones vigente.

El costo aproximado del sistema de cubierta fué dado al igual que el de la estructura en base a un estudio de mercado realizado entre diferentes especialistas en dicho ramo de la construcción. Este costo, por supuesto, incluye todo lo necesario en cuanto a accesorios de fijación y selladores, así como la adecuada colocación de la lámina según las especificaciones mostradas en el capítulo II. Este costo está representado en base al metro cuadrado cubierto en planta.

-)Accesorios: Los accesorios considerados para cada uno de los sistemas son aquellos necesarios para el óptimo funcionamiento de la cubierta. Estos accesorios están considerados con el mismo acabado que la lámina de la cubierta. Los accesorios considerados para cada uno de los sistemas son:

En sistemas a dos aguas se consideran canalones con un diseño adecuado según metodología antes vista. Cumbre con lámina del sistema en cuestión. Molduras de remate canalón-muro, y cubierta-muro en piñones.

En sistemas dientes de sierra se consideran canalones también calculados con la metodología antes vista. Remates en cumbres y en costados cubierta-muro.

En sistemas curvos o arcos se consideran los canalones y los remates o molduras en juntas como canalón-muro y en muros piñones también.

Los costos de estos accesorios en realidad no pintan demasiado en el costo total del sistema de cubierta, sin embargo los incluimos en el estudio para tener una idea de costo del sistema completo.

-) Impermeabilidad, iluminación, ventilación y aislamiento.

Para cada uno de los sistemas incluimos en el estudio, las soluciones para cada uno de los factores mencionados, en realidad para cada uno de los sistemas en cuestión existen diferentes maneras de resolver estos incisos. Elegimos los que cumplen con la mejor funcionalidad y comercialmente más accesibles. A continuación presentamos las consideraciones hechas para cada uno de los sistemas:

**Impermeabilidad:** Para sistemas a dos aguas, dientes de sierra y curvos o arcos, este factor de impermeabilidad está implícito en el diseño de la cubierta, como mencionamos en el capítulo anterior, existen sistemas que logran garantizar la impermeabilidad de forma más adecuada que otros, específicamente mencionamos el sistema engargolado, el cual nos resuelve de mejor manera la impermeabilidad en el interior de la nave, los otros sistemas de cubierta garantizan la impermeabilidad llevando a cabo una buena ejecución de los trabajos de colocación. Podemos mencionar que los costos de cada uno de los sistemas de cubierta, incluyen los trabajos necesarios para garantizar la impermeabilidad de la cubierta.

Iluminación: La iluminación se realiza dependiendo del sistema en cuestión. Para sistemas a dos aguas la iluminación más adecuada se logra por medio de acrílico en un porcentaje que está entre el 15 al 20 % de traslúcidos en la cubierta. Esta iluminación se ha visto en la práctica que representa un porcentaje adecuado para no utilizar energía eléctrica en el interior de la nave durante la operación de ésta en el día. Así mismo no se recomienda mucho subir este porcentaje, debido a que la incidencia directa de los rayos solares puede provocar un aumento en la temperatura interior de la nave. No se considera en el estudio comparativo la utilización de lámina traslúcida de menor calidad que el acrílico, como la fibra de vidrio, la cual si bien es cierto que es más económica, al cabo de un par de años se requerirá de la renovación de estas piezas por el opacamiento que sufren. En sistemas dientes de sierra se considera la iluminación resuelta con láminas acrílicas colocadas en vertical en cada diente. La ventaja que presenta este sistema, como ya lo hemos mencionado es que no se recibe directamente la incidencia de los rayos solares, y la iluminación es de tal forma suficiente para operar la nave sin el uso de energía eléctrica para la iluminación durante el día. En sistemas curvos la

iluminación se resuelve de igual forma que las naves a dos aguas ocupando el mismo porcentaje de iluminación. Para homogeneizar el estudio el porcentaje de iluminación utilizado en sistemas a dos aguas y curvos es del 15% del área de la cubierta.

**Aislamiento:** El aislamiento también depende del sistema de cubierta utilizado, como mencionamos existen diferentes materiales para lograr este aislamiento, en la tabla mostramos el costo del más comunmente utilizado. En cubiertas a dos aguas y dientes de sierra se consideró resolver el aislamiento por medio de placas de 2" de espesor de poliuretano, el cual además de ser accesible en costo, proporciona el mejor coeficiente de conductancia, logrando así un mejor aislamiento en el interior de la nave. Además del aislamiento propiamente del sistema, en este costo por aislamiento se considera la colocación de una capa superior con lámina lisa engargolada la cual tiene como función, proteger el material aislante del intemperismo, así como darle al techo las cualidades de impermeabilidad que le dan los sistemas engargolados. Esta capa de lámina la consideramos en este inciso por ser la solución integral de un sistema aislado. Existen diversos sistemas para lograr este aislamiento, el que mencionamos y



ocupamos es el que cumple con las mejores características de aislamiento y en general es un sistema muy comercial y ampliamente utilizado. Este sistema mencionado es un sistema generalmente hecho en obra, existen también paneles prefabricados con alguno de los materiales aislantes mencionados, en general el costo utilizado para el estudio, representa un promedio adecuado de los diversos sistemas que existen en el mercado.

Hacemos la observación que el costo por metro cuadrado del aislante no lo incluimos en la suma del costo por metro cuadrado total de las distintas alternativas, esto debido a que el aislante se utiliza en situaciones especiales, debido a la operación y a las condiciones ideales en el interior de la nave. Además como podemos observar en la tabla, el costo de este aislante representa un porcentaje muy alto del costo de la cubierta y tomando en cuenta que una cubierta queda resuelta sin la utilización del aislante, decidimos realizar la comparación sin el costo por metro cuadrado de aislante.

**Ventilación:** La ventilación se puede decir que es un elemento un poco difícil de homogeneizar para un estudio de ésta índole, en general esta



ventilación está dada por el destino que vaya a tener el inmueble y encontramos rangos muy amplios, desde lo necesario para tener un lugar completamente hermético y sin ventilación, como para bodegas donde no se permita la entrada de polvo, como pueden ser las bodegas o plantas destinadas al sector alimenticio, como podemos encontrar naves que necesiten de condiciones de mucha ventilación por generar gases tóxico, por ejemplo, como podría ser el caso de naves destinadas al sector de industrias químicas. Por lo anterior, hemos fijado un parámetro intermedio entre las dos situaciones expuestas, dicho parámetro será el de lograr tres cambios de volumen por hora. Para el diseño de esta ventilación consideramos la metodología expuesta en el capítulo anterior. A su vez, también consideramos en este estudio exclusivamente la ventilación lograda por gravedad, es decir, sin el uso de equipos eléctricos o mecánicos. Esto anterior debido a que la utilización de estos equipos, no influye directamente con la solución de la cubierta.

Todo lo relacionado con la impermeabilidad, ventilación, aislamiento e iluminación natural se muestra en el cuadro prorrateando su costo por metro cuadrado cubierto en planta y utilizando para su

cálculo la cruja típica antes mencionada. Al igual que la estructura, así como la cubierta y los accesorios, los costos aproximados fueron obtenidos de acuerdo a consultas con especialistas y realizando un estudio de mercado.

## CUADRO COMPARATIVO DE COSTOS DE LOS DIFERENTES SISTEMAS PROPUESTOS.

### SISTEMAS A DOS AGUAS:

SISTEMA	DENS. ST. KG/M2	COSTO EST. NS/KG	COSTO EST. NS/M2	COSTO CUB. NS/M2	COSTO ACC. NS/M2	COSTO ILUM. NS/M2	COSTO VENT. NS/M2	COSTO TOT. NS/M2	COST. ABS. NS/M2
<b>1. MARCO RIGIDO CON LAMINA ACANALADA TRAPEZOIDAL.</b>	25.70	7.20	185.04 66.60%	62.90 22.64%	12.40 4.45%	15.00 5.40%	2.80 0.99%	272.54 100.00%	152.40 55.92%
<b>2. MARCO RIGIDO CON LAMINA ACANALADA SEMIESTRUCTURAL.</b>	25.30	7.20	182.16 63.32%	70.50 24.51%	12.60 4.55%	19.90 6.92%	2.20 0.87%	287.56 100.00%	139.50 48.52%
<b>3. MARCO RIGIDO CON LAMINA ENGARGOLADA.</b>	25.70	7.20	185.04 63.04%	73.00 24.87%	11.60 3.85%	21.40 7.29%	2.80 0.85%	293.84 100.00%	124.10 42.24%
<b>4. ARMADURAS DE ALMA ABIERTA CON LAMINA ACANALADA TRAPEZOIDAL.</b>	22.30	7.90	180.12 66.00%	62.90 23.05%	12.40 4.54%	16.00 5.50%	2.80 0.92%	274.62 100.00%	150.40 54.78%
<b>5. ARMADURAS DE ALMA ABIERTA CON LAMINA ACANALADA SEMIESTRUCTURAL.</b>	22.20	7.90	175.38 62.44%	70.50 25.10%	12.60 4.49%	19.90 7.08%	2.40 0.89%	280.68 100.00%	135.40 48.24%
<b>6. ARMADURAS DE ALMA ABIERTA CON LAMINA ENGARGOLADA.</b>	22.80	7.90	180.12 62.41%	73.00 25.25%	11.60 4.02%	21.40 7.41%	2.80 0.87%	289.62 100.00%	124.10 42.84%

### SISTEMAS DIENTES DE SIERRA.

SISTEMA	DENS. ST. KG/M2	COSTO EST. NS/KG	COSTO EST. NS/M2	COSTO CUB. NS/M2	COSTO ACC. NS/M2	COSTO ILUM. NS/M2	COSTO VENT. NS/M2	COSTO TOT. NS/M2	COSTO ABS. NS/M2
<b>1. ARMADURAS CON CUERDAS PARALELAS Y LAMINA ACANALADA TRAPEZOIDAL.</b>	31.70	7.90	250.43 64.34%	77.50 19.91%	20.30 5.22%	38.00 9.78%	3.00 0.77%	389.23 100.00%	111.40 28.37%
<b>2. ARMADURAS CON CUERDAS PARALELAS Y LAMINA ACANALADA SEMIESTRUCTURAL.</b>	31.10	7.90	245.69 62.39%	86.80 22.04%	20.30 5.18%	38.00 9.63%	3.00 0.75%	393.79 100.00%	102.60 26.05%
<b>3. ARMADURAS CON CUERDAS PARALELAS Y LAMINA ENGARGOLADA.</b>	31.70	7.90	250.43 62.34%	80.00 22.40%	20.30 5.05%	38.00 9.48%	3.00 0.75%	391.73 100.00%	102.60 26.19%

### SISTEMAS CURVO O ARCOS

SISTEMA	DENS. ST. KG/M2	COSTO EST. NS/KG	COSTO EST. NS/M2	COSTO CUB. NS/M2	COSTO ACC. NS/M2	COSTO ILUM. NS/M2	COSTO VENT. NS/M2	COSTO TOT. NS/M2	COSTO ABS. NS/M2
<b>1. CON ARMADURAS DE ALMA ABIERTA Y LAMINA ONDULADA COMBADA.</b>	22.30	7.90	176.17 62.30%	74.00 26.17%	12.40 4.38%	17.70 6.28%	2.80 0.83%	283.77 100.00%	240.80 84.88%
<b>2. CON LAMINA ESTRUCTURAL AUTOSOPORTANTE.</b>	16.90	7.20	121.66 36.10%	185.20 54.94%	6.00 1.75%	24.30 7.11%	0.00 0.00%	337.16 100.00%	280.60 83.24%

La tabla nos arroja los costos por metro cuadrado de cada uno de los sistemas propuestos. De acuerdo a lo mencionado con anterioridad, que la solución más económica puede no ser aquella que en cuanto a su construcción sea la más barata, a continuación presentamos algunas observaciones en cuanto a funcionamiento de cada uno de los sistemas presentados.

Un comentario importante que podemos mencionar de acuerdo a los datos mostrados es en lo referente a la densidad de acero de la estructura en donde podemos ver que la utilización de la lámina semiestructural no representa un gran ahorro en el sistema portante ya que si bien es cierto, que se reduce la cantidad de largueros su diseño se modifica volviéndose estos más robustos, generando con esto que la densidad de acero casi permanezca igual.

Como podemos observar en general, los sistemas a dos aguas representan la alternativa más favorable para la resolución de una cubierta en cuanto al costo. Además del costo, se deben de ponderar otros parámetros para la selección del sistema más

adecuado, dichos parámetros son muy variados y pueden ir desde la ubicación de la nave hasta el contexto arquitectónico o incluso la necesidad de atenerse a un proyecto específico, los comentarios que a continuación presentamos de cada uno de los sistemas puede ayudar a evaluar algunos de estos parámetros.

## SISTEMAS A DOS AGUAS.

SISTEMA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>1. Marco rígido con lámina acanalada trapezoidal</p>	<p>-)Estructura:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• bajo costo</li> <li>• limpieza de estructura</li> <li>• elementos esbeltos</li> <li>• fácil fabricación</li> </ul> <p>-)Cubierta:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• fácil colocación</li> <li>• fácil mantenimiento</li> <li>• lámina en hojas de fácil reposición.</li> <li>• buena ventilación al centro del claro</li> <li>• fácil solución de remates.</li> <li>• bajo costo</li> </ul>	<p>-)Estructura:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• mayor densidad de acero que con armaduras de alma abierta.</li> <li>• la sección variable produce mucho desperdicio de material</li> </ul> <p>-)Cubierta:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• iluminación cenital (incidencia directa de rayos solares)</li> <li>• perforación en lámina para su fijación (posibles puntos de filtración)</li> <li>• en marcos continuos se tienen canalones interiores.</li> </ul>

## SISTEMA

## VENTAJAS

## DESVENTAJAS

### 2. Marco rígido con lamina acanalada semiestructural

#### -)Estructura:

- bajo costo
- limpieza de estructura
- elementos esbeltos
- menor número de largueros.
- fácil fabricación

#### -)Cubierta:

- fácil colocación
- fácil mantenimiento
- lámina en hojas de fácil reposición.
- buena ventilación al centro del claro
- fácil solución de remates.

#### -)Estructura:

- mayor densidad de acero que con armaduras de alma abierta.
- la sección variable produce mucho desperdicio de material
- largueros mas robustos

#### -)Cubierta:

- iluminación cenital (incidencia directa de rayos solares)
- perforación en lámina para su fijación (posibles puntos de filtración)
- en marcos continuos se tienen canalones interiores.



## SISTEMA

## VENTAJAS

## DESVENTAJAS

### 3. Marco rígido con lámina engargolada.

#### -)Estructura:

- bajo costo
- limpieza de estructura
- elementos esbeltos
- fácil fabricación

#### -)Cubierta:

- buena ventilación al centro del claro
- fácil solución de remates.
- sin perforación en lámina
- lienzos continuos sin traslapes
- mínimas posibilidades de filtraciones.

#### -)Estructura:

- mayor densidad de acero que con armaduras de alma abierta.
- la sección variable produce mucho desperdicio de material

#### -)Cubierta:

- iluminación cenital (incidencia directa de rayos solares)
- dilataciones y contracciones en la cubierta.
- en marcos continuos se tienen canalones interiores.
- dificultad para reponer láminas dañadas
- costo elevado

**SISTEMA****VENTAJAS****DESVENTAJAS**

4. Armaduras de alma  
abierta con lámina  
acanalada trapezoidal

-)Estructura:

- bajo costo
- elementos estructurales ligeros.
- facilidad en el montaje

-)Cubierta:

- fácil colocación
- fácil mantenimiento
- lámina en hojas de fácil reposición.
- buena ventilación al centro del claro
- fácil solución de remates.
- bajo costo

-)Estructura:

- poca limpieza en estructura.
- mayor cantidad de elementos estructurales.
- fabricación complicada (mano de obra)
- armaduras mas robustas.

-)Cubierta:

- iluminación cenital (incidencia directa de rayos solares)
- perforación en lámina para su fijación (posibles puntos de filtración)
- en marcos continuos se tienen canalones interiores.

## SISTEMA

## VENTAJAS

## DESVENTAJAS

5. Armaduras de alma abierta con lámina acanalada semiestructural.

-)Estructura:

- bajo costo
- elementos estructurales ligeros.
- facilidad en el montaje
- menor número de largueros.

-)Cubierta:

- fácil colocación
- fácil mantenimiento
- lámina en hojas de fácil reposición.
- buena ventilación al centro del claro
- fácil solución de remates.

-)Estructura:

- poca limpieza en estructura.
- mayor cantidad de elementos estructurales.
- fabricación complicada (mano de obra)
- armaduras mas robustas.
- largueros mas robustos

-)Cubierta:

- iluminación cenital (incidencia directa de rayos solares)
- perforación en lámina para su fijación (posibles puntos de filtración)
- en marcos continuos se tienen canalones interiores.

**SISTEMA****VENTAJAS****DESVENTAJAS**

6. Armaduras de alma abierta con lámina engargolada.

-)Estructura:

- bajo costo
- elementos estructurales ligeros.
- facilidad en el montaje

-)Cubierta:

- buena ventilación al centro del claro
- fácil solución de remates.
- sin perforación en lámina
- lienzos continuos sin traslapes
- mínimas posibilidades de filtraciones.

-)Estructura:

- poca limpieza en estructura.
- mayor cantidad de elementos estructurales.
- fabricación complicada (mano de obra)
- armaduras mas robustas.

-)Cubierta:

- iluminación cenital (incidencia directa de rayos solares)
- dilataciones y contracciones en la cubierta.
- en marcos continuos se tienen canalones interiores.
- dificultad para reponer láminas dañadas
- costo elevado

## SISTEMAS DIENTES DE SIERRA

SISTEMA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>1. Armaduras con cuerdas paralelas y lámina acanalada trapezoidal.</p>	<p>-)Estructura:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• elementos estructurales ligeros.</li> <li>• facilidad en el montaje.</li> </ul> <p>-)Cubierta:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• buena iluminación, sin incidencia directa de rayos solares.</li> <li>• buena ventilación.</li> <li>• fácil colocación</li> <li>• fácil mantenimiento</li> <li>• lámina en hojas de fácil reposición.</li> <li>• fácil solución de remates.</li> </ul>	<p>-)Estructura,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• poca limpieza en estructura</li> <li>• gran cantidad de elementos estructurales.</li> <li>• mayor densidad de acero que en sistemas a dos aguas</li> <li>• fabricación complicada (mano de obra)</li> <li>• armaduras mas robustas.</li> <li>• costo alto.</li> </ul> <p>-)Cubierta:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• perforación en lámina para su fijación (posibles puntos de filtración)</li> <li>• canalones siempre en el interior de la nave.</li> </ul>

## SISTEMA

## VENTAJAS

## DESVENTAJAS

2. Armaduras con cuerdas paralelas y lámina acanalada semiestructural.

-)Estructura:

- elementos estructurales ligeros.
- facilidad en el montaje.
- menor cantidad de largueros.

-)Cubierta:

- buena iluminación, sin incidencia directa de rayos solares.
- buena ventilación.
- fácil colocación
- fácil mantenimiento
- lámina en hojas de fácil reposición.
- fácil solución de remates.

-)Estructura.

- poca limpieza en estructura
- gran cantidad de elementos estructurales.
- mayor densidad de acero que en sistemas a dos aguas
- fabricación complicada (mano de obra)
- armaduras más robustas.
- costo alto.
- largueros más robustos

-)Cubierta.

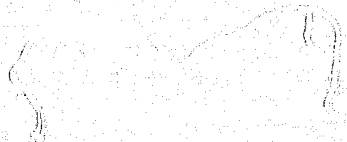
- perforación en lámina para su fijación (posibles puntos de filtración)
- canalones siempre en el interior de la nave.

## SISTEMA

## VENTAJAS

## DESVENTAJAS

3. Armaduras con cuerdas paralelas y lámina engargolada.



-)Estructura:

- elementos estructurales ligeros.
- facilidad en el montaje.

-)Cubierta:

- buena iluminación, sin incidencia directa de rayos solares.
- buena ventilación.
- fácil solución de remates.
- sin perforación en lámina
- lienzos continuos sin traslapes
- mínimas posibilidades de filtraciones.

-)Estructura.

- poca limpieza en estructura
- gran cantidad de elementos estructurales.
- mayor densidad de acero que en sistemas a dos aguas
- fabricación complicada (mano de obra)
- armaduras más robustas.
- costo alto.

-)Cubierta

- dificultad para reponer láminas dañadas
- costo elevado
- canalones siempre en el interior de la nave.



## SISTEMAS CURVOS O ARCOS

SISTEMA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p><b>1. Con armaduras de alma abierta y lámina ondulada combada.</b></p>	<p><b>-)Estructura:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• elementos estructurales ligeros.</li> <li>• facilidad en el montaje.</li> <li>• bajo costo</li> </ul> <p><b>-)Cubierta:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• bajo costo</li> <li>• fácil mantenimiento.</li> <li>• lámina en hojas de fácil reposición.</li> </ul>	<p><b>-)Estructura:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• poca limpieza en estructura</li> <li>• fabricación complicada (mano de obra)</li> </ul> <p><b>-)Cubierta:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• dificultad para conseguir lámina combada de buena calidad</li> <li>• dificultad para realizar traslapes.</li> <li>• perforación en lámina para su fijación (posibles puntos de filtración)</li> <li>• iluminación cenital (Incidencia directa de rayos solares)</li> <li>• en marcos continuos se tienen canalones interiores</li> <li>• difícil solución de remates.</li> </ul>

## SISTEMA

2. Con lámina estructural autosoportante.

## VENTAJAS

-)Estructura:

- muy pocos elementos estructurales. (solo en desplantes de lámina.)
- facilidad en el montaje.
- bajo costo.

-)Cubierta.

- sin perforación en lámina
- lienzos continuos sin traslapes
- mínimas posibilidades de filtraciones.

## DESVENTAJAS

-)Estructura:

- columnas muy robustas.

-)Cubierta:

- difícil colocación de lámina de cubierta.
- costo alto
- baja capacidad de carga para colganteo.
- problemas para ventilar por la cubierta.
- sistemas de iluminación difíciles de resolver. (incidencia directa de rayos solares.
- dificultad para reponer láminas dañadas.
- difícil solución de remates.

Apagándonos a la tabla anterior, podemos considerar los atributos funcionales de cada uno de los sistemas a los que hemos dedicado este estudio comparativo. Como hemos mencionado anteriormente, un verdadero estudio comparativo de las diferentes soluciones planteadas para la resolución de una cubierta ligera, no está únicamente ligada al costo de construcción. La tabla que presentamos con las ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas, puede ayudar en gran medida a considerar las características funcionales de cada uno de los sistemas descritos, esto, con el objeto de lograr la mejor solución para cada uso específico.

La determinación del sistema más adecuado para un uso específico, tendrá que evaluarse en razón de las necesidades básicas de servicio en el interior de la nave, éstas necesidades deberán de satisfacerse con el sistema de cubierta mas adecuado para lograr las consideraciones deseadas. Este sistema puede no ser el más económico, en cuanto a costo de ejecución, pero tomando en cuenta

que el sistema logra darnos de manera adecuada las condiciones interiores deseadas, consideramos que el sistema es el óptimo.

Es evidente que el costo debe ser un factor no despreciado en un análisis económico-funcional, pero también se debe de considerar que el lograr ciertas características particulares para nuestra nave, tiene un valor agregado que generalmente se refleja en mayor costo de ejecución.

Un ejemplo de lo anterior puede mostrarse con el sistema que en el comparativo de costos resultó mas favorable; el sistema a dos aguas con armaduras de alma abierta y lámina acanalada trapezoidal. Este sistema satisface la necesidad de proporcionar un espacio cubierto para algun uso específico, al más bajo costo de todos los demas sistemas estudiados, sin embargo, presenta algunas desventajas en cuanto a su funcionalidad como es la iluminación cenital, que puede generar más calor en el interior de la nave, si a esto le agregamos el calor que genere alguna máquina de combustión por ejemplo, en el interior de la nave, puede resultar insuficiente la utilización de ventilación por gravedad, siendo necesario proyectar

algún sistema extra de ventilación; otra desventaja importante es la perforación de la lámina para su fijación, lo cual nos produce posibles puntos de filtración, si el proceso que se realice en el interior de la nave es de tal forma estricto que no permita la posibilidad de alguna gotera, este sistema podría ser riesgoso. Así también, este sistema tiene algunas ventajas sobre los otros en su funcionalidad.

La adecuada elección del sistema de cubierta óptimo está ligado directamente al uso específico de la nave. Este estudio comparativo muestra las diferencias en cuanto a costo, así como las ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas analizados para manejarse en una evaluación específica de los requerimientos de una industria dada. Por esto anterior, no podríamos definir la optimización del sistema de cubierta, sin conocer el uso de la nave, sin embargo, aportamos elementos importantes para esta determinación.

#### CAPITULO IV EJEMPLO PRACTICO

Una empresa dedicada al procesamiento de productos alimenticios, requiere ampliar sus instalaciones para la instalación de una línea de proceso para la fabricación de un nuevo producto. El procesamiento se realiza en una sola línea de producción que requiere de un área aproximada de 450 m<sup>2</sup> exclusivos para su instalación. Además, dos áreas libres para selección de materia prima y almacenamiento de producto terminado ubicadas al principio y al final respectivamente, de aproximadamente 400 m<sup>2</sup> cada una. Los servicios necesarios para atender la propia línea de producción, ocupan aproximadamente 10 m. de ancho laterales a ésta. Las áreas aproximadas necesarias, fueron proporcionadas por un "lay out" del proceso, proporcionado por el cliente. De acuerdo a estas consideraciones, proponemos el siguiente arreglo:

Los requerimientos en cuanto a áreas, se resuelve con un claro libre entre columnas de 25 m. y una longitud total de la nave de 60 m. De acuerdo con este dimensionamiento, proponemos una separación entre elementos estructurales principales de 7.50 m. para tener 8 crujeas de 25 m de claro x 7.50 m. de separación entre columnas y 6 m. libres de altura. El área cubierta total es de 1,500 m<sup>2</sup>.

Una vez resueltas las necesidades en cuanto a espacio, obtenemos los requerimientos específicos generados por la operación de la planta, los cuales son:

- a) Iluminación natural para trabajos durante el día sin energía eléctrica.
- b) Impermeabilidad total con garantía extensa.
- c) Las normas de calidad de la planta no permiten registros de drenaje en el interior de la nave, ya que estos pueden emanar gases que contaminen el producto.
- d) La estructura deberá ser suficiente para soportar algunas instalaciones aéreas de mediano peso.
- e) Es necesario proporcionar un sistema de ventilación por gravedad suficiente, para lograr 4 cambios de ventilación por hora.

En general, estos son los lineamientos que interesan al sistema de cubierta proporcionados por el departamento de producción de la empresa, para garantizar una operación adecuada. En base a estos requerimientos y considerando el estudio mostrado en el capítulo anterior, se procede a realizar el estudio comparativo en cuanto a costos y funcionalidad de los diferentes sistemas aptos para este caso específico.

En base a las necesidades solicitadas, presentamos el siguiente estudio con el objeto de seleccionar el sistema estructura-lámina adecuado en cuanto a funcionamiento y costo:

**Sistemas a dos aguas:**



En cuanto al sistema integral estructura-lámina, los sistemas a dos aguas resuelven de manera adecuada los requerimientos solicitados, se logra una iluminación cenital por medio de lámina acrílica en la cubierta, la impermeabilidad con garantía se logra en forma satisfactoria con un sistema de cubierta con lámina engargolada, además, en este sistema, es posible llevar los canalones por el exterior de la nava, logrando con esto reducir por completo los posibles puntos de filtración. El sistema portante, ya sea con marco rígido o con armaduras de alma abierta, es lo suficientemente capaz de soportar los colgantes necesarios para las instalaciones aéreas. Los sistemas a dos aguas, resuelven en forma satisfactoria la ventilación por gravedad necesaria por medio de la colocación de magnavales en la cumbre.

Para la selección del sistema de estructura portante, mencionamos a continuación algunas características importantes de éstos.

- 1) Marco rígido: El marco rígido representa una alternativa atractiva, debido a que para un claro de 25 m. se tiene una densidad de acero relativamente baja en comparación con los otros sistemas. Otra gran ventaja del marco rígido, es la esbeltez en los elementos estructurales, tanto en columnas como en cabezales.
- 2) Armaduras de alma abierta: Presentan una densidad de acero un poco menor que los marcos rígidos, por lo mismo se trata de elementos estructurales más ligeros. Sin embargo, las armaduras

resultan con un peralte mayor, además de que la estructura resulta menos limpia que el marco rígido.

En relación al sistema de cubierta, descartamos la posibilidad de ocupar lámina acanalada trapezoidal y lámina semiestructural, debido a que la fijación de estos sistemas, perforando la lámina, podría generar filtraciones al interior de la nave.

La comparación en cuanto a sistemas a dos aguas se reduce a analizar los sistemas estructurales propuestos (marco rígido y armaduras de alma abierta) con lámina engargolada.

#### Sistema dientes de sierra:

Los sistemas estructura-lámina en dientes de sierra presentan algunas desventajas en comparación con los sistemas a dos aguas. Una de ellas es que la densidad de acero es mayor, elevándose con esto el costo del sistema. La cubierta presenta la ventaja de que la iluminación se produce por el "diente", sin embargo, los canalones quedan francamente en el interior de la nave propiciando con esto mayor riesgo de filtraciones, para colocar las líneas de drenaje por el exterior de la nave no hay mayor problema, los canalones se liberan hacia los extremos y estos descargan por la parte exterior de la nave, la ventilación se resuelve en forma adecuada. En cuanto a la impermeabilización en la cubierta, el sistema con lámina engargolada, presenta las mismas condiciones que los sistemas a dos aguas. El

sistema portante, presenta excelentes posibilidades de soportar los colganteos necesarios para las instalaciones aéreas.

En general, los sistemas dientes de sierra, presentan más desventajas en cuanto a funcionalidad que los sistemas a dos aguas y si consideramos, que además de esto el costo es más elevado, descartamos la posibilidad de resolver ésta nave con un sistema dientes de sierra.

#### Sistemas curvos o arcos.

Los sistemas curvos o arcos, presentan de acuerdo a nuestro estudio, la alternativa con mayores desventajas para la solución de esta cubierta, esto debido a que la ventilación en estos sistemas es difícil de lograr, puesto que no existe un franco parteaguas en el sistema de cubierta, lo que dificulta la colocación de los magnavales. En cuanto a la impermeabilización de la cubierta, los traslapes en lámina combada presentan algunos problemas en los empates de la lámina, esto debido a los diferentes ángulos de curvatura que se pueden dar. Para llevar los canalones por fuera de la nave, así como los drenajes, no se presenta mayor problema, la solución es similar al sistema a dos aguas. La iluminación se debe de hacer por medio de tramos cortos de lámina translúcida combada, lo que genera demasiados traslapes, aumentando con esto las posibilidades de filtraciones en el interior de la nave. El sistema portante en general, no presenta mayores dificultades para los colganteos de las instalaciones aéreas.

Los sistemas curvos autosoportantes, presentan también mayores desventajas, entre estas podemos mencionar columnas más robustas para el desplante de la cubierta, por no tener estructura portante la colocación de magnavales es demasiado difícil de lograr, así como los colgantes necesarios para las instalaciones soportadas por la cubierta, este sistema además, según el comparativo de costos, representa una alternativa de alto costo. En cuanto a la impermeabilidad, se logra en forma adecuada debido a que son sistemas engargolados, los canalones y drenajes se pueden llevar por la parte exterior de la nave sin mayor dificultad.

En general, por las dificultades que presentan los sistemas curvos para satisfacer las necesidades específicas de éste proyecto al igual que los sistemas dientes de sierra, descartamos estas alternativas.

Una vez hecho el estudio anterior, las alternativas para la solución del sistema estructura-lámina en este proyecto específico, se reduce a seleccionar entre marco rígido con lámina engargolada y armaduras de alma abierta con lámina engargolada, ambos en sistemas a dos aguas.

En cuanto a costo se refiere, la diferencia es mínima, por lo que el parámetro costo no se considera como factor importante en la determinación del sistema. El cuadro comparativo de costos nos muestra que esta diferencia es de casi 2 %.

En cuanto a la funcionalidad de los dos sistemas, ambos tienen ventajas y desventajas muy parecidas, por lo que la elección de cualquier sistema logrará satisfacer las necesidades solicitadas por la empresa.

Tomando en cuenta lo anterior, podemos determinar que la solución más adecuada entre estas dos alternativas estará dado ya por un factor subjetivo. Considerando esto y basándonos en la mayor limpieza de la estructura, así como la esbeltez de los elementos proponemos como la solución más adecuada resolver esta nave con marcos rígidos a dos aguas como estructura portante y un sistema de lámina engargolada con un 15 % de iluminación cenital. Los canalones deberán ir por la parte exterior de la nave, así como los drenajes. Para lograr la ventilación, se colocarán magnavales en la cumbrera, así como las rejillas de recuperación de aire necesarias en los muros laterales y en los piñones.

## CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Durante todo este trabajo hemos tratado de reunir los elementos necesarios para realizar un estudio comparativo adecuado de los distintos sistemas de solución de cubiertas ligeras para naves industriales, estos elementos los hemos resumido en tres sistemas propuestos por nosotros como los más comunes o comerciales en cuanto a su diseño y funcionalidad. Sabemos que estos no son los únicos sistemas posibles para solucionar una cubierta, sin embargo, debido a sus características estos tres sistemas propuestos representan ser las alternativas más utilizadas, por lo que en la práctica constituyen soluciones ya probadas, es por esto que las hemos elegido. En realidad las soluciones posibles no mostradas en este trabajo mantienen una gran similitud a alguno de los sistemas descritos.

En la introducción mencionamos que de un tiempo a la fecha se ha tenido un gran desarrollo en cuanto a sistemas de cubierta, por lo mismo existen ya en el mercado una gran cantidad de fabricantes, tanto de estructuras metálicas, como de sistemas de cubierta, esto anterior, hace un poco difícil la estandarización de un sistema para alguna solución específica. Nos referimos a esto, ya que cada fabricante tiene sus propias soluciones, así como sus ventajas y desventajas, para satisfacer las necesidades específicas de algún proyecto. Una de nuestras recomendaciones es conocer los sistemas posibles para la cubierta de nuestra nave e involucrar al fabricante o



especialista en la etapa de proyecto, con esto se optimiza el diseño de la cubierta en cuanto a costo y funcionalidad.

En el capítulo dos de este trabajo logramos describir los tres sistemas propuestos, esta descripción se hizo principalmente en cuanto al aspecto funcional, tratando de mostrar todos los aspectos necesarios para una buena colocación de la lámina. Todos estos accesorios descritos como canalones, cumbreras y remates si bien no pintan en gran proporción en el cuadro comparativo de costos, tienen importancia debido a que son parte vital del funcionamiento de cada uno de los sistemas, estos accesorios se deben revisar también en etapas de proyecto para no tener soluciones que puedan representar riesgos de posibles filtraciones, por ejemplo.

En lo referente a la impermeabilización, ventilación, iluminación y aislamiento, describimos también sus formas más comunes de solución, esto debido a que representan parte de la solución integral de una cubierta. En relación a la ventilación, exclusivamente hablamos de la que se logra por convección natural o por gravedad debido a que es la única solución que interviene directamente en el sistema de cubierta. El hablar de la impermeabilización en realidad es parte de una buena ejecución, tanto de proyecto como en los trabajos de colocación. Así también la iluminación y el aislamiento en la cubierta, logra dar al interior de la nave condiciones adecuadas para el desempeño de alguna actividad específica. Como conclusión de este capítulo, obtenemos los elementos necesarios para realizar la comparativa desde el punto de vista funcional, nos arroja también



todos los elementos necesarios de cada sistema para su comparativa económica. Como recomendaciones podemos decir que la ejecución de un proyecto específico de la cubierta considerando todos sus detalles, trae consigo una colocación mucho más eficiente; para la supervisión de estos trabajos es necesario conocer detalles de fijación, manejo, y colocación de la lámina, así como los procesos de diseño en cuanto a canalones y ventilación que hemos expuesto. Mostramos en este capítulo algunas tablas útiles para la realización de estos diseños.

El capítulo dos muestra también las tablas proporcionadas por los fabricantes de propiedades y capacidades de carga de cada uno de los perfiles de lámina descritos, es recomendable que estas se tomen en cuenta al momento del proyecto para optimizar su utilización.

En cuanto a las comparativas propiamente, podemos mencionar que económicamente lo más pesado está dado por la estructura portante, en realidad en el cuadro comparativo de costos, podemos ver que las variantes mostradas en los sistemas a dos aguas, por ejemplo, se encuentran en un rango de costo muy parecido por lo que la opción más atractiva resulta en base a sus características funcionales y estas a su vez serán dadas por las necesidades del propietario. Como ya hemos mencionado, el costo del sistema de aislamiento en la cubierta lo mostramos por separado, debido a que éste representa una solución muy específica. Los costos de ventilación, accesorios e iluminación en realidad no representan un porcentaje muy alto del costo total, sin embargo, los mencionamos debido a que su función tiene gran importancia en la determinación del sistema más adecuado.

La toma de decisión del sistema más adecuado para los requerimientos específicos, está dada principalmente por la evaluación de las ventajas que nos da algún sistema, como se observó en el ejemplo, la elección del sistema óptimo se hizo en base a ir descartando sistemas que por su funcionalidad no satisfacían adecuadamente las necesidades del proyecto en cuestión. Esto anterior representa una de las conclusiones más valiosas que a nuestro juicio arroja este estudio.

Queremos enfatizar que la decisión más adecuada no está dada exclusivamente por el costo de construcción, se deben ponderar todos los atributos del sistema específico para que la operación de la nave se realiza con las condiciones esperadas.

Posiblemente se piense que este estudio no abarca todas las posibles soluciones para un sistema de cubierta, creemos que los elementos que aportamos pueden servir como metodología básica para el estudio comparativo de cualquier alternativa. Esta metodología estará dada primero por la obtención de los sistemas que arquitectónica y operacionalmente satisfagan las necesidades del propietario. Posteriormente se conocen a fondo dichos sistemas con el objeto de evaluar sus ventajas y desventajas en cuanto a funcionalidad, el estudio económico se realiza con el objeto de conocer los rangos estimados de inversión de los sistemas. Con estos elementos se realiza una evaluación económico-funcional para determinar el sistema de cubierta óptimo.

La elección del sistema más adecuado para una nave industrial, está directamente ligado con el uso que se le da a ésta, esto debido a que las necesidades específicas de alguna industria no pueden llevar incluso a combinar algunos sistemas ya conocidos. Esto anterior nos lleva a tener que considerar una gran cantidad de parámetros para la adecuada elección.

La solución de los sistemas de cubiertas ligeras en algunas ocasiones no reciben la importancia necesaria en etapas de proyecto, esta tesis pretende mostrar que estos sistemas cumplen una función determinante en este tipo de construcciones, por lo que se vuelve necesario realizar un análisis detallado como el que presentamos. Todo esto con el objeto de optimizar el costo de la construcción, así como su funcionalidad.

## BIBLIOGRAFIA

MANUAL DE CONSTRUCCION EN ACERO; Instituto Mexicano de la Construcción en Acero A.C.; Editorial Limusa; 1994.

MANUAL AHMSA, CONSTRUCCION DE ACERO; Altos Hornos de México S.A.; 1975

REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES DEL DISTRITO FEDERAL; Dirección General de Obras Públicas del Departamento del Distrito Federal; 1993.

MANUAL DE INSTALACIONES DE PERFILES ACANALADOS; Gerencia de Ingeniería de Desarrollo y Construcción; Industrias Monterrey S.A.; 1993

BOLETIN TECNICO No. 15; Gerencia de Ingeniería de Desarrollo y Construcción; Industrias Monterrey S.A.; 1993

ARCHITECTURAL GRAPHIC STANDARDS; Downspout and Gutter Sizing; Lawrence W. Cobb; 1992

NORMAS CLIMATOLOGICAS; Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional; SARH; 1982.

Estudios Realizados por Dirección Corporativa Impulsora; Grupo Industrial Bimbo S.A.