



# Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

29  
86

CUBIERTAS DE ASBESTO - CEMENTO  
PARA TECHOS DE NAVES INDUSTRIALES

## TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de  
INGENIERO CIVIL

presenta

JOSE GONZALEZ BEDOLLA

MEXICO, D. F.

1983



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

# C O N T E N I D O

## DEDICATORIAS

## INDICE

CAPITULO	PAG.
I.- <u>INTRODUCCION</u> .....	I
II.- <u>BREVE HISTORIA DEL ASBESTO - CEMENTO</u> .....	4
III.- <u>CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DE LA MATERIA PRIMA DEL ASBESTO - CEMENTO</u> .....	8
- III.1.A.- Asbesto.....	8
- III.1.B.- Algunas Propiedades De Los Asbestos. .	12
- III.2.A.- Cemento.....	14
- III.2.B.- Fraguado Y Endurecido Del Cemento....	16
- III.2.C.- Curado De Cemento En Autoclaves.....	19
- III.3.A.- Sílice.....	21
- III.4.A.- Agua.....	22
IV.- <u>PROCESO INDUSTRIAL EN LA FABRICACION DE LOS PRODUCTOS ASBESTO - CEMENTO</u> .....	24
- IV.1.- Preparación De La Materia Prima.....	24
IV.1.A.- El Asbesto.....	24
IV.1.B.- El Cemento.....	25
IV.1.C.- Sílice.....	26

- IV.2.-	Conjunto Asbesto - Cemento - Silico - Pruebas...	26
-IV.2.A.-	Prueba De Sedimentación.....	26
-IV.2.B.-	Prueba De Resistencia.....	27
- IV.3.-	Proceso De Alimentación Para La Fabricación.....	31
-IV.3.A.-	Fabricación Monolítica ó De Voldeo....	31
-IV.3.B.-	Proceso Multilaminar.....	32
-IV.3.C.-	Sistema De Alimentación.....	36
-IV.3.D.-	Mezcla.....	38
V.-	<u>SISTEMA DE FRAGUADO Y CURADO DEL PRODUCTO A. - .</u>	44
- V.1.-	Fraguado Del A.-C.....	44
- V.2.-	Curado Del A.-C. ....	45
- V.3.-	Curado Con Vapor A Presión.....	48
- V.4.-	Características Del Vapor Y Capacidad Necesaria..	50
- V.5.-	Estabilidad Química Del Producto A.-C.....	57
	Fraguado En Autoclave.	
- V.6.-	Proceso De Autoclave.....	59
- V.7.-	Materiales.....	60
- V.8.-	Cemento Portland.....	61
- V.9.-	Pasta De Cemento.....	63
- V.10.-	Fraguado En Autoclave VS Fraguado Normal.....	65
- V.11.-	Reacción Química De Los Productos En Hidratación Del Cemento.....	66
- V.12.-	Extractos De Las Investigaciones Sobre El Fraguado Por Autoclaves.....	71
VI.-	<u>TIPO DE TECHOS Y ARMADURAS PARA NAVES INDUSTRIALES.</u>	79
- VI.1.-	Diferente Tipo De Techos.....	79
- VI.1.A.-	Techos Curvos.....	83
- VI.1.B.-	Cálculo De Radio De Curvatura.....	84
- VI.1.C.-	Pendiente De Un Techo.....	89



INDICE

TABLAS Y DIBUJOS

	PAG.
Tabla De Los Principales Países Productores De Asbesto.....	11
Tabla De Diámetros y Superficies Especificas De Algunas Fibras....	12
Tabla De Resistencias A La Tensión De Algunos Materiales.....	13
Tabla De Porcientos De Cal Libre En Probetas Sujetas a Distinto Curado.....	21
Proceso De Fabricación De Laminas De A. - C.....	25-A
Transportador Helicoidal.....	25-B
Molino Willow.....	25-C
Ducto De Molino Willow.....	25-D
Prueba De Resistencia Bajo La Aplicación De Una Carga.....	28
Gráfica Del Ejemplo De Una Curva Para Una Mezcla Determinada.....	30
Corte Transversal De La Báscula Automatica.....	37-A
Corte Transversal De Transportador Helicoidal.....	37-B
Elevador De Congilonos.....	38-A
Mezclador De Dos Pasos En Seco.....	39-A
Separador De Polvos Tipo " Ciclón ".....	40-A
Valvula De Distribución.....	41-A
Mezclador De Tres Pasos En Seco.....	41-B
Dry Mixer Triple - Transp. Helicoidal - Conaleta.....	41-C
Ruseno - Conaleta - Intensificador.....	41-D
Tanque Intensificador.....	41-E

Intensificador - Graneleta - Caja De Pasta.....	42-A
Caja De Pasta.....	42-B
Caja De Vacío .....	42-C
Rodillo Motriz.....	42-D
Rodillo Motriz - Alimentador De Mandriles.....	42-E
Partes Principales De La Prensa.....	42-F
Calandra.....	42-G
Autoclave.....	55
Reacción Química De Los Productos En Hidratación Del Cemento.....	56
Tabla Comparativa De Fraguado Normal Y Fraguado En Autoclave.....	60
Porcentajes De Expansión En Soluciones Sulfatadas.....	72
Gráfica De Resistencia De Piezas Fraguadas Con Humedad Y Con Vapor A Alta Presión.....	73
Gráfica De Relación Entre El Módulo Dinámico De Elasticidad Y El Tiempo De Inmersión En Una Solución De Sulfato De Sodio Al 5%.....	75
Tabla Que Muestra La Reducción Del Hidróxido De Calcio Y La Expansión Del Producto Fraguado Por Autoclave.....	75
Tabla Sobre El Efecto Del Fraguado A Vapor A Alta Presión En La Resistencia A Sulfatos De Los Morteros De Piedra Caliza Y Arenas De Silicio.....	76
Información De La Prueba-Contenido De Cal Libre Y Resistencia Al Sulfato En Cementos Fraguados Normalmente Y En Autoclave.....	77
Gráfica Del Porcentaje De Óxido De Calcio Eliminado Por Filtración-En Días.....	78
Tipos Más Importantes Y Comunes De Techos.....	81
Prototipo Clásico De Un Techo Curvo.....	83
Radio De Curvatura.....	84

Lámina Ondulada Curva.....	85
Tabla De Radios De Curvatura-flecha De Lámina.....	87
Desarrollo Del Arco.....	87
Coefficiente De Empuje.....	89
Forma De Obtener La Pendiente De Un Techo.....	90
Gráfica De Inclinaciones ó pendientes desde 10 ° Al 100 ° Con Valores De Angulos y Longitud De Hipotenusa.....	91
Tipos De Armadura.....	92
Tipos De Largueros y Trabes.....	94
Resistencia A La Flexión.....	97
Tabla De Propiedades Físicas Y Químicas De Las Láminas De A - C ....	98
Tabla De Medidas De Las Láminas .....	100
Elementos De Fijación En El Caballete Articulado .....	101
Traslape Horizontal .....	102
Sistema De Colocación Y Corte En Las Láminas .....	102
Sentidos De Colocación De La Lámina .....	103
Tabla De Medidas Del Angulo En El Caballete .....	104
Ensamble Correcto De Los Largueros De Madera .....	105
Colocación Correcta Del Gancho Entre 2 Láminas .....	106
Colocación De Las Láminas En Largueros De Madera .....	107
Fijación De Las Láminas Con Clavo Cabeza De Plomo .....	108
Sistema De Colocación De Lámina Sobre Fierro .....	109
Sistema De Fijación A Base De Grapas .....	110
Techo Curvo Para Usar Lámina De 2.44 M. ....	111
Techo Curvo Para Usar Lámina De 3.05 M. ....	112
Caballete Articulado .....	114
Caballete " P " FIERRO .....	115

Caballote Mandil .....	116
Caballote Shed .....	117
Caballote Terminal Lateral " S " .....	118
Caballote C.C.D. ....	119
Sellado Horizontal De Un Techo .....	120
Sellado Vertical De Un Techo .....	121
Ejemplo Del Cálculo De Sellado Total De Un Techo .....	122
Gráfica Del Ejemplo De Una Nave Industrial .....	125
Distribución De Largueros Para Primer Caso .....	126
Cálculo De Longitud De Pendiente Del Ejemplo .....	127
Juego Completo De La Varilla Galvanizada .....	129
Gráfica De La Longitud De Varilla .....	130
Area Util .....	131
Dis'ribución De Largueros Para Segundo Caso .....	134
Distribución De Largueros Para Tercer Caso .....	138
Tabla No. 1 ( Cantidades De Material ) .....	141
Tabla No. 2 ( Costos ) .....	141

# CAPITULO I

## INTRODUCCION

Desde la alborada del hombre, éste, ha tenido la necesidad de resguardarse de los elementos de la naturaleza, como son : - La lluvia, El Frio, El Calor Los vientos huracanados, etc..... Así como también protegerse de diferentes peligros como : Fie--ras y en algunas ocasiones hasta del mismo ser humano..

Todos estos factores han ido evolucionando en la medida - del desarrollo de la civilización; de tal forma que a partir - del siglo XIX, que es cuando aparece la " Revolución Industrial", ésta provoca en el campo de la construcción la necesidad de albergar en espacios muy grandes la relación "Hombre-Máquina" ; de tal manera que todo éste conjunto de necesidades quedaran satisfechas con los materiales más adecuados y al menor costo posible logrando una seguridad aceptable.

En éste siglo XX por su intenso desarrollo tecnológico, ha originado en la Ingeniería Civil el reto de la construcción de cualquier tipo de edificaciones, provocando diferentes especiali--dades para lograrlo. De tal manera que el "Asbesto-Cemento", es uno de los materiales de la construcción que ha tenido gran acep--tación de aplicación y por ende un gran desarrollo tanto en el - abastecimiento de agua (tuberías) como en la necesidad de cubrir grandes extensiones como material ligero (láminas). El enfoque - de ésta tesis es precisamente el de estudiar a éste material como elemento de "Cubierta Ligera" para cualquier tipo de techo y en - forma especial para las "Naves Industriales", que es donde ha te--nido más desarrollo y aplicación.

Para lograr éste objetivo se ha dividido ésta tesis básica--mente en cuatro partes y con el apoyo informativo de un spendi--ce; Los cuales cubren desde sus aspectos históricos del material,

Así de como éste está formado (capítulos II y III ). En cuanto a su preparación y proceso industrial de su fabricación lo realizan los capítulos IV y V, cubriendo desde sus aspectos físico - químicos así como también las pruebas de resistencia y control de calidad, - extractos de investigación sobre diferentes aspectos de su curado y fraguado por autoclave.

La tercera parte (Capítulos VI y VII ) está enfocada básicamente al tratar todos aquellos aspectos técnicos de la estructura como son los elementos de soporte , siendo estos principalmente : ---- Las armaduras, Largueros ó trabos, los elementos de fijación así - como también los diseños de los diferentes elementos prefabricados que existen en el mercado (específicamente los que produce "Asbestos De México, S.A. " ) de asbesto-cemento como son los diferentes tamaños y medidas de las láminas, Caballetes y piezas especiales - que son necesarias para su implantación.

La última parte (capítulo VIII) se refiere al estudio del costo de un techo a través de un ejemplo con tres diferentes alternativas de solución, para lograr determinar cual sería el más económico, - aplica de un balance técnico de buen funcionamiento entre la seguridad y su costo.

Por último se agrega un apéndice ('A') el cual se refiere por medio de diferentes dibujos a las aplicaciones que tiene el uso de la lámina como un elemento de cubierta tanto en forma horizontal - como vertical.

En conclusión puedo decir que ésta tesis está dirigida a todo aquel ingeniero civil o constructor que se dedique a éste tipo especial de construcción, para que le pueda servir como una guía y referencia técnica; Recomendándole especialmente a los estructuristas que en sus cálculos de diseño y en general en todo el proyecto definitivo tome muy en cuenta la separación de los largueros ó elementos de soporte.

---

0

## C A P I T U L O    I I

### " BREVE HISTORIA DEL ASBESTO - CEMENTO "

La Industria del Asbesto - Cemento es probablemente una de las más nuevas entre las actividades industriales ( en - cuanto a materiales de construcción ) del mundo. Aplicada - por primera vez en las postrimerias del siglo pasado. Tocó a los Ingenieros Magnani, Rocca, y Mazza, de origen italiano perfeccionar dicha industria, hasta llegar a un grado que ha permitido que en Europa durante los últimos 70 años sea uno de los artículos más avanzados por sus grandes cualidades -- como se podrá apreciar en los parrafos siguientes:

El aprovechamiento simultáneo de las propiedades físicas del Asbesto y Cemento no fue puesto en practica sino hasta - casi principios de éste siglo. Aunque se tenia conocimiento - del Asbesto como material y sus características incombustibles eran usadas por los Griegos y Romanos, estudios científicos de sus cualidades físicas y químicas no se registraron sino hasta el siglo XIX.

Fue en el año de 1892 cuando el Ingeniero alemán Kuhlewein unió fibras de Asbesto con Cemento con el objetivo de fabricar placas pequeñas que sirvieran como techos livianos e incombustibles. Es así como por vez primera se unieron las cualidades - de aglutinamiento y resistencia a la compresión que posee el - Cemento, a las propiedades de flexibilidad, incombustibilidad y resistencia a la tensión que ofrecen las fibras de Asbesto.

La fabricación de Láminas de Asbesto-Cemento en una escala que ya podríamos llamar industrial empieza en 1900 al patentar-

El austriaco Ludwig - Hatscheck un proceso para la elaboración de éste material. Hatscheck construyo fábricas en varios países de Europa instalando en ellas formadoras semejantes a las de la industria papeleras. Cabe aquí decir que aún hoy día la maquinaria para la fabricación de productos de Asbesto - Cemento así como para la producción de papel son sumamente parecidas y funcionan bajo los mismos principios.

La primera patente de una máquina para la elaboración de tubería de Asbesto-Cemento se registró en Italia en 1913 por el Ingeniero Adolfo Mazza de la fábrica Eternit en Génova, éste -- proceso que es sin duda alguna el más conveniente para la fabricación de tubería y actualmente el más usado en el mundo, fué -- por varios años, patente exclusiva de la compañía que menciona anteriormente. Esto ocasionó que surgieran otras patentes como por ejemplo: Magnani, Dalmine, entre otras varias de menor importancia, pero ninguna de ellas ofrecía las grandes producciones y calidad de tubería que se obtenía de la máquina Mazza.

Una vez caducados los derechos sobre la patente, éste proceso se ha tornado casi universal para la elaboración de tuberías de presión en las fábricas modernas.

No fue sino hasta principios de 1924 cuando en América Latina se despertó el interés por éste tipo de industria y tocó a México ser el país donde se instaló la primera fábrica de artefactos de Asbesto - Cemento, que usó para la fabricación la técnica de las grandes fábricas establecidas en Italia.

La falta de técnicos especializados en tan novísima industria hizo que se tubieran que vencer innumerables dificultades y superar grandes inconvenientes, como la importación de la materia prima necesaria y el convencimiento al consumidor de la bondad del producto; esto, ligado a las grandes dificultades de -

financiamiento para su desarrollo, que apenas empezaba a encausarse por un sendero franco de progreso, hizo que la industria de Asbesto-Cemento en la América Latina tubiera que afrontar muchos problemas pero que a través de los años ha significado - el progreso de grandes países como el de México, al lograr un abaratamiento en el costo de las instalaciones industriales con lo que se ha facilitado el progreso nacional y en la actualidad contamos con una industria eminentemente mexicana.

En el año de 1930 empezó la primera fábrica de Asbesto-Cemento produciendo lámina y tinacos mediante la adquisición de - patentes propias que mejor se adaptaban a las necesidades del - país y mediante la ayuda del Gobierno, habiéndose establecido - hasta 1934 la industria completa, es decir, agregándole la fabricación de tuberías del sistema del Ingeniero Magnani, con - grande éxito en la historia de esa compañía.

Es en la actualidad que definitivamente se ha aceptado estos productos y de aquella fecha hasta ahora, el uso de tuberías se ha venido generalizando en tal forma que en casi todos los estados de la República Mexicana se han usado para sus instalaciones de agua potable y alcantarillado, tuberías de Asbesto-Cemento. Por otra parte, la mayoría de las grandes industrias del país han empleado y siguen empleando para sus instalaciones de techado lámina de Asbesto-Cemento.

En estos últimos 20 años el desarrollo de la industria del - Asbesto-Cemento es tal que dado el consumo y aceptación por parte del público, ha hecho que se mejore constantemente la elaboración de estos productos, mediante estudios practicados por sus técnicos en las mejores fábricas extranjeras, con lo que se han obtenido grandes experiencias en cuanto a producción y elaboración, habiéndose creado laboratorios especiales para la elección adecuada - del Asbesto - Cemento y, en su caso, de la Sílicé, para lograr en

ésta forma resultados óptimos en la fabricación, en tal forma que se pueda asegurar la bondad del producto.

---

0

## C A P I T U L O    I I I

### " CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DE LA MATERIA PRIMA DEL ASBESTO - CEMENTO."

El Asbesto - Cemento, y de su nombre ya podemos lógicamente suponerlo, se compone de Asbesto y de Cemento, cuya proporción varía, según la resistencia deseada del producto terminado y el tipo de Asbesto que se emplea. La relación del peso del Asbesto al total de la mezcla podemos decir, varía entre un 10 y un 25%.

Sin embargo en los casos en que el proceso de curado del producto es efectuado mediante vapor a una alta temperatura, parte del cemento es substituido por sílice molida. Esta medida -- tiene por objeto que la sílice se combine con la cal libre soltada por el cemento al curarse, formando hidro-silicatos de calcio, elemento inerte que como veremos al tratar el curado del cemento, nos aumentará la resistencia química y mecánica de éste. Cabe mencionar que el adicionamiento de sílice al producto por lo que a México, D.F. respecta aberata el costo, situación, no siempre cierta.

A continuación veremos bajo un analisis las materias primas utilizadas.

#### III.I.A. -            " A S B E S T O "

El nombre Asbesto no es la denominación de una especie mineral determinada, si no más bien es el nombre que se le da a las variedades fibrosas de algunos minerales. Estos varían en composición y por lo tanto sus características físicas como longitud, dureza y flexibilidad de fibra serán diversas a causa de su ca-

acter fibroso, parecido al algodón, ó a la seda, y por poseer otras propiedades como inercia química, incombustibilidad y - en algunas variedades características dieléctricas, el Asbesto ha creado un campo especializado para el cual no se ha logrado encontrar sustituto.

El mineral en la mayor parte de los casos aparece en vetas dentro de masas rocosas, las que hay que destruir para poder aprovechar la fibra. El rompimiento de la roca se efectúa en molinos de impacto ó de quijada, la fibra es recogida por succión y luego clasificada de acuerdo con su longitud en tamices vibratorios.

Las fibras más largas son utilizadas por las plantas textiles para ser elaboradas con hilo y en tela de Asbesto. Las medianas se usan en la industria del Asbesto - Cemento, mezcladas con magnesia como aislante térmico, y en fabricación de papel de asbesto. Mientras que las más cortas, que cabe de cirlo también las más abundantes, se usan en la fabricación de empaques, balatas, pinturas, refuerzos en plásticos, aislantes eléctricos, y multitud de otras aplicaciones.

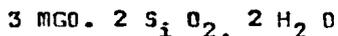
De la variedad de minerales conocidos con el nombre genérico de Asbesto, pocos son los usados comercialmente. De ellos sin duda, el tipo más importante es el crisotilo, que constituye por sí solo alrededor de 90% de la producción total de Asbesto. Su gran uso se debe a que por regla general su fibra es flexible a la vez que resistente.

Las otras variedades de Asbesto usadas industrialmente, pertenecen al grupo mineral de los anfíbolos, y son la antofilita, la tremolita, amosita y crocidolita. Mientras que las fibras de las dos primeras son débiles y bastante quebradizas, - su uso por lo general es limitado, pero las dos últimas ----

mencionadas, la amosita y muy principalmente la crocidolita (Asbesto azul ) son de gran calidad y son usadas comúnmente.

En la industria del Asbesto - Cemento se usan casi exclusivamente crisólito y en algunos casos en la fabricación de tubería, se usa crocidolita en más o menos pequeñas cantidades.

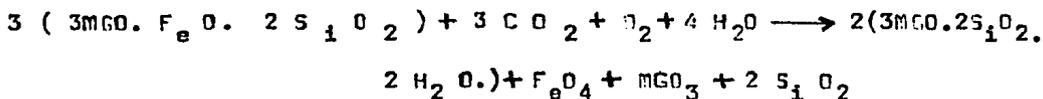
El crisólito es un silicato de magnesio hidratado, es una variación fibrosa del mineral serpentina. Su composición se puede representar por la fórmula química:



Su origen es atribuido a la acción de aguas magnéticas con altos contenidos de oxígeno y anhídrido carbónico disueltos sobre la olivina. La olivina que existe en bastante cantidad en ciertas rocas eruptivas primarias como son la peridotita y la piroxenita, bajo la acción de los gases mencionados y sujetas a grandes temperaturas y presiones produce una reacción química y posteriormente una cristalización que constituye el Asbesto.

(Olivina)

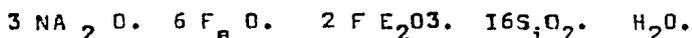
(Crisólito)



Como ejemplo de las presiones y temperaturas que fueron necesarias podemos citar que según los experimentos de --- F. G. WELLS., quien en 1929 sintetizó la fibra de un Asbesto crisólito por vez primera, la sintetización se logró a temperaturas de aproximadamente 475°C y a 230 Kg/CM<sup>2</sup> de presión.

Existen mantos de crisólito en muchas partes del mundo, sin embargo, la calidad y cantidad de los depósitos es muy variable y por lo tanto no en todas partes resulta su explotación económica. Las minas mayores existen en Canadá en la cuenca del Río San Lorenzo y en Rusia en los Montes Urales.

En cuanto a la crocidolita, ésta constituye un silicato de sodio y hierro. El contenido del metal puede llegar a ser tal que destruya las características dieléctricas del Asbesto. Tiene al igual que el crisólito, una variedad rocosa que es la riebeckita. Su fórmula química es:



Este Asbesto solo se encuentra en Sudafrica, en la región Oeste de Australia y en pequeña cantidad en Bolivia.

En la siguiente tabla podemos ver a los principales países productores de Asbesto, cuyos valores en toneladas y porcentajes varían ligeramente año con año, respetando prácticamente la siguiente tabla:

CANADA	1,034,600	TONS	45.30 %
U.R.S.S.	742,000	TONS	32.60 %
UNION SUDAFRICANA	174,800	TONS	7.67 %
RODESIA	136,600	TONS	5.98 %
EUROPA	93,200	TONS	4.08 %
E.E.U.U.	41,000	TONS	1.80 %
ASIA	40,300	TONS	1.77 %
OCEANIA	14,400	TONS	0.63 %
SUD AMERICA	3,900	TONS	0.17 %
<hr/>			
TOTAL MUNDIAL	2,280,800	TONS	100.0 %

III.I.B. - " ALGUNAS PROPIEDADES DE LOS ASBESTOS"

Sin duda, la propiedad sobresaliente del Asbesto es su estructura fibrosa. Esta cualidad, unida a su carácter incombustible y a su resistencia química, es en lo que estriba la ventaja de éste material con respecto a otras fibras de los reinos tanto mineral como animal o vegetal. Otra característica muy importante y tal vez desde el punto de vista de la industria del Asbesto - Cemento la más importante, es la finura de la fibra, cuyo diámetro de  $2 \text{ a } 3 \times 10^{-8}$  metros es unas 2,000 veces más delgado que el grosor de cabello humano. Esta finura ofrece una enorme superficie específica a la cual se puede adherir el aglutinante, que en éste caso es cemento. Esto inmediatamente nos hace darnos cuenta que con una fibra tal se logrará una homogeneidad y una resistencia del producto mayor que con una fibra más gruesa.

En la siguiente tabla podrá compararse los grosores de las fibras de algunos materiales respecto al Asbesto crisótilo, al mismo tiempo podemos comparar la superficie específica expresada en  $\text{m}^2$ . de superficie por gramo de fibra de esos mismos materiales:

DIAMETROS Y SUPERFICIES ESPECIFICAS DE ALGUNAS FIBRAS

FIBRA	DIAMETRO DE LA FIBRA EN MICRAS	FIBRAS POR CM. LINEAL	SUPERFICIE ESPECIFICA $\text{m}^2 / \text{GR.}$
CABELLO HUMANO	40	250	
LANA	25	400	0.96
ALGODON	10	1,000	0.72
RAYON	8	1,250	0.38
NYLON	8	1,250	0.31
LANA DE VIDRIO	7	1,400	0.98
CRISOTILO	0.02	500,000	13.00

Desde luego que con los procedimientos y maquinaria actuales no es posible separar fibras individuales de Asbesto sino que siempre se trabaja con haces de fibras de nominadas en la industria "Lápices". Sin embargo, al avance de la tecnología cada día se logran mayores aperturas y separaciones entre fibras y cada día es mejor aprovechada ésta propiedad de los asbestos. Quisiera antes de pasar a tratar otra característica del Asbesto, mencionar que el diámetro según los últimos tratados, parece ser el grosor de su cadena molecular.

A causa de la gran resistencia a la tensión ofrecida por el asbesto, el conjunto Asbesto - Cemento actúa casi como concreto armado, En efecto los crisótilos muestran resistencias a la tensión del orden de las de un buen acero; mientras que las de crocidolita la sobrepasan. Como una comparación interesante se han juntado los siguientes datos de resistencias a la tensión de algunos materiales:

M A T E R I A L	RESISTENCIA A LA TENSION Kg / CM <sup>2</sup>	
HIERRO DULCE	3,150	Kg/CM <sup>2</sup>
ACERO ESTRUCTURAL	4,500	" "
ACERO AL CARBONO	10,000	" "
ACERO NI - CROM	15,000	" "
FIBRA DE ALGODON	5,600	" "
FIBRA DE VIDRIO	10,500	" "
ASBESTO CRISOTILO	* 6,400	" "
ASBESTO CROCIDOLITA	17,000	" "

\* En la publicación Ural Asbestos, editada por Soviexport, se mencionan resistencias para su crisótilo de 30,000 Kg/cm<sup>2</sup>.

Tanto Europa como Rusia y los Estados Unidos han experimentado grandemente en cuanto a la síntesis del Asbesto. Esta se ha logrado pero su costo de fabricación, además de las condiciones difíciles bajo las cuales se efectúa la cristalización, no han logrado un método práctico ni económico. También las propiedades del producto, como por ejemplo su esfuerzo a la tensión y la finura de la fibra no son iguales a las del producto natural.

Entre los materiales usados como substitutos se tiene - principalmente a la lana de vidrio y algunas fibras sintéticas como lo son el rayón, nylon, fibras de polivinilo y otras.

La lana de vidrio, que ofrece la fibra más parecida al - Asbesto, no se puede utilizar en la industria del Asbesto-Cemento a causa de la avidez que la cal libre cedida por el cemento al fraguarse, presenta por la sílica del vidrio, destruyéndolo por completo.

En cuanto al Nylon y al Rayón, también son destruidos por las reacciones químicas que pasa el cemento. Tan solo el polivinilo en fibras aparenta soportar las reacciones de fraguado y curado del cemento más la resistencia a la tensión y la superficie específica que presenta éste material son pequeñas. Como se puede ver, por lo menos en lo que a la industria del Asbesto - Cemento se refiere, no se ha encontrado substituto que reúna simultáneamente las cualidades de éste material.

### III.2.A. C E M E N T O

En 1824 fué descubierto el Cemento Portland por el inglés maestro en obras J. Aspdin, su nombre se debe por la semejanza al color de las canteras de Portland Inglaterra.

El cemento Portland es un aglutinante hidráulico que --

proviene de la molienda del "Clinker ", producto obtenido de una fusión parcial de los compuestos de :

- SILICATO TRICALCICO
- SILICATO DICALCICO
- ALUMINATO TRICALCICO
- FERRO- ALUMINATO TRICALCICO

Por lo tanto los cementos por poseer propiedades hidráulicas pueden fraguar tanto dentro como fuera del agua.

El Cemento Portland según las normas reconocidas reúne con las características requeridas para la fabricación del Ag besto - Cemento la calidad de un buen cemento depende principalmente de la proporción en que se encuentran sus componentes y el proceso de fabricación.

SILICATO TRICALCICO.- Compuesto con propiedades hidráulicas que proporcionan resistencias mecánicas del cemento a edades tempranas, a los 28 días.

SILICATO DICALCICO .- Compuesto con propiedades hidráulicas que proporcionan resistencias mecánicas del cemento a edades mayores a los 28 días.

La suma de estos dos componentes nos dan idea de la resistencia que pueden alcanzarse en un cemento.

ALUMINATO TRICALCICO .- Compuesto que no presenta propiedades hidráulicas, su misión principal es dar una resistencia inicial leve, acelera el fraguado y genera un elevado calor de hidratación.

Las desventajas de la presencia de éste compuesto es de que al combinarse con los compuestos anteriores forma un ---

compuesto expansivo. " Germen o basilo del cemento " que es un sulfato - aluminato.

### III.2.B. - FRAGUADO Y ENDURECIDO DEL CEMENTO

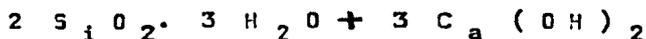
Al mezclar cemento con agua se forma inicialmente una masa plástica la que gradualmente se espesa y pierde su plasticidad pero que carece aún de resistencia. Este período de transformación del cemento se denomina fraguado.

Luego empieza un aumento gradual de resistencia iniciándose el endurecimiento que continuará por un tiempo prolongado.

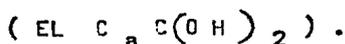
El proceso de fraguado y endurecimiento es un fenómeno físico - químico muy complejo y solo hasta estos últimos años se han hecho avances en su estudio. Desde el punto de vista químico, el proceso se puede explicar de la siguiente manera:

Los compuestos que entran en la constitución del cemento no son estables y bajo la acción del agua reaccionan fuertemente.

El compuesto más importante del Cemento Portland, silicato tricalcico, constituye una especie química bastante inestable que reacciona con mucha avidez hacia el agua formando dos nuevos compuestos: El hidrosilicato tricalcico y el hidróxido de calcio, de los cuales solo el primero es inerte. La reacción química que se lleva a cabo es la siguiente:

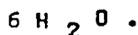
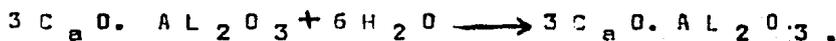


La reacción principia inmediatamente después de agregar el agua y se revela por la separación de cal hidratada --



Otro constituyente del cemento el silicato bicálcico, - sufre la hidratación de una manera mucho más lenta pero dando al final también hidrosilicato tricálcico y cal hidratada.

El aluminato tricálcico se hidrata rápidamente bajo la acción del agua formando hidro-alumato tricálcico:



Finalmente, el compuesto  $4 \text{C}_a \text{O} . \text{AL}_2 \text{O}_3 . \text{Fe}_2 \text{O}_3 .$

usado como fundente al fabricar el " Clinker " bajo la acción del agua da las combinaciones :



Conviene prestar particular atención al hecho de que al unir se el cemento con el agua se desprende cal hidratada, la cual entrará en composición con otras substancias que existen disueltas en el agua. Esta circunstancia constituye el defecto fundamental del cemento Portland.

Desde el punto de vista físico, el proceso de fraguado y endurecido se produce de la siguiente manera:

Bajo la acción del agua sobre las partículas de cemento se originan las formaciones recién nombradas de hidrosilicato -----

tricálcico, hidróxido de calcio e hidro aluminato tricálcico.

El hidrosilicato tricálcico es poco soluble en agua y se separa en estado coloidal. La cal y el hidro aluminato tricálcico en cambio tienen naturaleza cristalina y en fotografías tomadas con microscopios electrónicos aparecen ambos como cristales de forma hexagonal.

Imaginemos primero los coloides de hidrosilicato tricálcico formando al rededor de las partículas de cemento todavía no disueltas una envoltura de geles. El término gel es el usado en química para describir ciertos coloides, fluidos que tienen la propiedad de coagularse. Esta coagulación absorbe dentro del mismo gel toda el agua en la cual estaba disuelto el coloide. De manera que en una solución perfecta toda el agua sería absorbida en los geles formados por los coloides que en esa agua estaban disueltos.

Este proceso está todavía acompañada por eslabonamientos de los geles entre los sólidos de tal manera que se producen verdaderas armaduras que son la causa de la rigidez del cemento hidratado.

La formación de geles y el aglutinamiento de las partículas de cemento es la primera parte del proceso y constituye el fraguado del cemento. Este fraguado demora en el cemento portland Tipo I (normal) no menos de una hora, según norma.

Gradualmente la cal y el hidroaluminato tricálcico habrán ido pasando a un estado cristalino, los cristales atraviesan los geles del hidrosilicato tricálcico y se sueldan entre si. A la vez se habrán disuelto, todos los granos de cemento que existían y la concentración coloidal ha aumentado con lo cual en todo el volumen del cemento se tendrán formados los eslabones resistentes que antes mencionamos.

El endurecimiento del cemento tiene varios factores que lo pueden hacer cambiar ante todo tenemos la composición química - del cemento, mientras que la adición de yeso retarda el fraguado, el aluminato tricálcico que ya mencionamos tiene una hidratación casi instantánea, acelerará el proceso. Sin embargo, si se trabaja constantemente con un solo tipo de cemento éste factor desaparecerá.

Otro factor es la finura de la molienda del cemento, a mayor finura se obtiene una mayor superficie capaz de formación de geles y por consiguiente más rápido es el fraguado.

Finalmente, un tercer punto que afecta la duración del curado, es la temperatura a que se lleva a cabo. A mayor temperatura se observa una mayor solubilidad del hidrosilicato tricálcico y luego una mayor concentración coloidal. Sin embargo, al subir mucho la temperatura hace que se nos evapore el agua de la mezcla, situación que evita la formación de geles y el cemento - resultará poroso y con poca resistencia. Es por esto que el elevar la temperatura de curado debe acompañarse con una mayor cantidad de agua en la mezcla y en los casos en que la temperatura sobrepase la de ebullición, el curado se deberá hacer bajo presión para evitar que el agua del material salga.

### III.2.C .- CURADO DE CEMENTO EN AUTOCLAVES.

Desde 1912 se observarán por vez primera los efectos convenientes que poseía el curado de los morteros bajo presión de vapor. Se encontró que la resistencia a la compresión aumentaba en una cantidad apreciable y que en escasas horas se obtenían - curamientos iguales logrados en 28 días normalmente.

Más tarde en 1920 se reportó que muestras de cemento que - habían sido curadas a vapor mostraban una resistencia al ataque

de los sulfatos. Muchísimo más grande que muestras curadas de la manera convencional. Esto hizo que en 1928 se preparará una serie de ensayos sobre las condiciones óptimas del curado del cemento portland \* .

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

" A temperaturas elevadas de alrededor de  $350^{\circ} \text{F}$  ( $177^{\circ} \text{C}$ ), los geles de sílice, aún libres reaccionan con el hidróxido de calcio soltando durante el fraguado del cemento. Esto ocasiona que el hidrosilicato tricálcico ya no continúe formando geles como venía sucediendo, reduciéndose luego la resistencia del mortero. Sin embargo, la adición de dióxido silícico al mortero permite al hidróxido de calcio reaccionar con el, permitiendo al hidrosilicato tricálcico seguir formando geles independientemente para lograr así compuestos químicamente inertes. Así mismo, la resistencia del mortero aumenta rápidamente con el curado a vapor y en 12 horas las probetas adquirirían curados equivalentes a 28 días de curado convencional " .

Posteriormente experiencias han demostrado que la cal libre disminuye de un 13 a 18 % contenidos en un curado hidráulico hasta un valor inferior al 1 % en cementos curados en autoclave.

Actualmente la temperatura que parece ser la más conveniente es  $340^{\circ} \text{F}$  o sea  $171^{\circ} \text{C}$ . temperatura a la cual corresponde una presión de saturación del vapor de 118 PSIA ( $8.30 \text{ Kg}/\text{cm}^2 \text{ ABS}$ ). El tiempo durante el cual debe curarse la pieza depende del espesor de ella. En la industria, el material permanece un mínimo de 16 horas bajo presión.

Los cementos curados en autoclave observan resistencias a la compresión de hasta  $1,500 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ , en comparación de los ----

\* Thervald, T. Vigfusson, V.C. - The Effects of Steam Curing and The Addition of Silica Gel to Portland Cement Mortars - Engineering Journal. Vol. XI 1928.

1,250 Kg/cm<sup>2</sup> esperados de un cemento normal.

A continuación se muestra en forma tabular la reducción de cal hidratada libre que se observó en una serie de ensayos.

PORCIENTOS DE CAL LIBRE EN PROJETAS SUJETAS A DISTINTO CURADO :

RELACION		CURADO	C <sub>a</sub> (OH) <sub>2</sub>
SILICE/	CEMENTO		
CEMENTO PORTLAND TIPO I	0.6/ 1. 0	AUTOCLAVE 8.8 Kg/cm <sup>2</sup> 16 HRS.	0.4
CEMENTO PORTLAND TIPO I	0.0/ 1. 0	NORMAL EN AGUA 28 DIAS	15.5
ASBESTO-CEMENTO -SILICE	0.6/ 1. 0	AUTOCLAVE 8.8 Kg/cm <sup>2</sup> 16 HRS.	0.2
ASBESTO-CEMENTO	0.0/ 1. 0	NORMAL EN AGUA 28 DIAS	9.6

### III.3.A.- S I L I C E

Es el nombre dado comunmente al bióxido de silicio. Es la sílice el compuesto más abundante en la naturaleza, aparece tanto en estado libre como en combinaciones con óxidos de metales. Constituye y aproximadamente el 60% de la capa terrestre.

Sílice libre es lo que constituye la mayor parte de las arenas y de las piedras areniscas. Más o menos puro aparece en forma de cristales en el cuarzo y sus variedades semi-preciosas como lo son la amatista y jaspé. Bajo aspecto amorfo también se presenta -

constituyendo la caledonia y sus formas menos comunes, ágata, ónix y ópalo entre otras.

En la fábrica en la cual se hizo el estudio para ésta - tésis, se trabaja con conglomerados de arenas de cuarzo. Este conglomerado al ser recibido es sometido a ensayos químicos - para determinar su calidad.

Se exige un mínimo de 90 % en el contenido de  $S_i O_2$  mientras que se tolera un 5% de  $Al_2 O_3$  como máximo.

Aceptado el conglomerado, éste es sujeto a 3 moliendas - sucesivas con el objeto de obtener finalmente una finura tal que 85% pase por una malla 200.

#### III.4.A.- A G U A

Por último, como cuarta materia prima podemos mencionar - el agua. La fabricación de Asbesto-Cemento consume cantidades bastante apreciables de agua en cada una de sus etapas. Primero como medio de suspensión para las otras materias primas, al mismo tiempo que nos servirá para la hidratación del cemento.- Segundo para el lavado de la maquinaria y de sus auxiliares, como por ejemplo los filtros y telas metálicas que de no hacerse constantemente, se obstruirían y serían destruidos por la acción del cemento.

Finalmente, y aparte de los servicios generales que son - comunes a toda industria, tenemos el gasto de agua, necesario para el curado del producto, ya fuere éste por medio de vapor o por el método normal.

Sin embargo, el agua considerada en los primeros dos puntos que recién mencionamos es su mayor parte agua recirculada.

Agua que se ha hecho pasar a través de conos de sedimentación antes de volver a utilizarse. Desde luego habrá que agregar - cierta cantidad de agua de repuesto a éste ciclo, cantidad - que sera igual a la humedad contenida por las láminas al ser terminadas por la máquina.

En cuanto al agua necesaria para el curado de los mate-  
riales, puesto que en ésta fábrica éste es por medio de vapor a las calderas habrá necesidad de alimentarlas con agua lim-  
pia y tratada.

El consumo de vapor de agua en éste renglón es considera-  
ble, ya que para curar un kilogramo de material es necesario un kilogramo también de vapor de agua.

----- 0 -----

C A P I T U L O        IV  
PROCESO INDUSTRIAL EN LA FABRICACION DE LOS  
PRODUCTOS ASBESTO - CEMENTO.

IV. I.-        PREPARACION DE LA MATERIA PRIMA

En la industria del Asbesto - Cemento cada una de las materias primas deben, aún después de haber llegado a la planta, sujetarse a distintos procesos tanto de transformación como de análisis.

Mientras que el cemento es analizado en cuanto a sus propiedades físicas y químicas, el asbesto, habiendo sido solo sujeto a procesos de extracción y limpieza en las minas, debe hacerse pasar por máquinas que nos hagan posible una mayor apertura de la fibra. Por último la sílice es molida completamente dentro de la planta, a partir de conglomerados de arena de cuarzo.

De lo anterior podemos apreciar que la preparación de la materia prima toma una grande importancia dentro de la fabricación de láminas. Es por ello que es conveniente estudiar algunos aspectos.

IV.I.A        EL ASBESTO

Ya al tratar las propiedades del asbesto se mencionó la extrema finura de sus fibras. Se dijo que éstas tenían un diámetro del orden de  $10^{-8}$  metros. Esta propiedad - hacia posible obtener la enorme superficie específica de 13 metros cuadrados por cada gramo de fibra.

Sin embargo, no es, con los procedimientos industriales actuales, posible separar a las fibras individualmente, sino que siempre se trabaja con haces de fibra. Pero - para poder aprovecharla al máximo y para lograr la mayor -

homogeneidad posible en el producto terminado, el asbesto se hace pasar a través de un molino de impacto, denominado molino " willow " en éste tipo de molino, martilletes giratorios lanzan el material contra los lados del cuerpo del molino, - lográndose de ésta manera una gran apertura de la fibra a la vez que una mínima ruptura de ella.

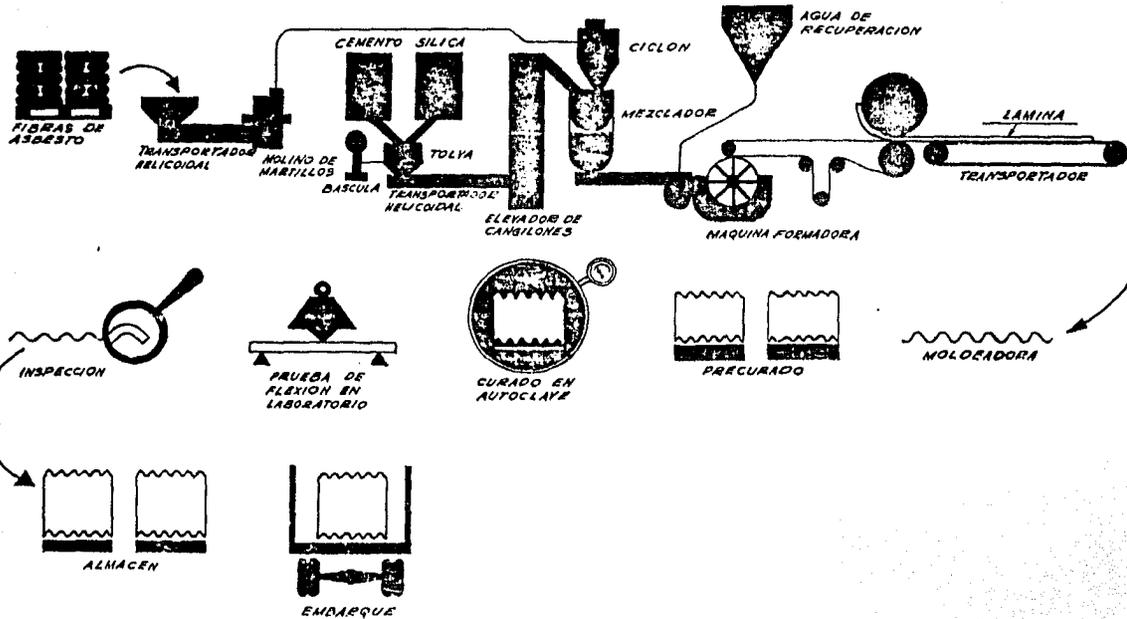
En la planta, como caso particular, no se hace pasar so lo el asbesto a través del molino desfibrador sino que se - le alimenta la totalidad de la mezcla en seco, es decir: as besto, cemento y sílice, de manera que además de abrir la fi bra se logra una íntima y mayor mezcla entre ella y los grá- nulos de cemento y sílice. Para conocer el grado de apertura de la fibra se hacen unos ensayos que más adelante se expli- carán.

#### IV. I. B. - EL CEMENTO

Es la única materia prima que no sufre proceso alguno - de elaboración dentro de la planta. Si bien se hace pasar a través de un molino como antes mencionamos esto no es con ob- jeto de hacerle un cambio físico, sino de mezclar mejor el - producto.

En cuanto a las pruebas a que se sujeta, es de inmensa importancia la finura a la cual viene molido, puesto que una molienda menor que la exigida (90 % a través de la malla 200) nos provoca una formación cristalográfica gruesa y por consi- guiente un menor número de armaduras inter-gelaz. Lo cual dis- minuirá la resistencia final del producto . Otras pruebas, co- mo lo son la resistencia, mecánica del cemento y su plasticidad se efectúan con objeto de proporcionar al departamento - de producción con un informe de la calidad de la materia pri- ma, y de acuerdo con el cual se harán variaciones en las com- posiciones de la mezcla asbesto-cemento-sílice para así ----

PROCESO DE FABRICACION DE LAMINAS DE A. C.



25-A

ASBESTOS DE MEXICO, S. A.

A-7126

ASBESTOS DE MEXICO, S. A.

TLALNEPANTLA, MEX.

FECHA \_\_\_\_\_

FIRMA \_\_\_\_\_

SECCION: \_\_\_\_\_

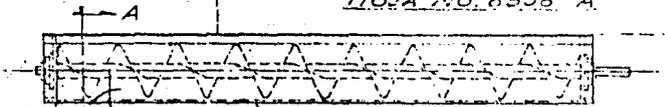
HOJA NUM. \_\_\_\_\_

ESCALA: \_\_\_\_\_

ACOT. EN: \_\_\_\_\_

DRY MIXER DOBLE

HOJA No. 8538-A

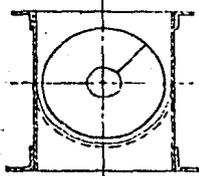


TRANS. HELICOIDAL

HOJA No. 8021-B

MOLINO WILLOW

HOJA No. 8416-A



CORTE A-A

VISTA POSTERIOR DEL " TRANSPORTADOR HELICOIDAL "  
POR MEDIO DEL CUAL ES CONDUCIDO LAS FIBRAS DE  
ASBESTO HASTA EL " MOLINO WILLOW " .

ASBESTOS DE MEXICO, S. A.

TALNEPANTLA, MEX.

FECHA \_\_\_\_\_

FIRMA \_\_\_\_\_

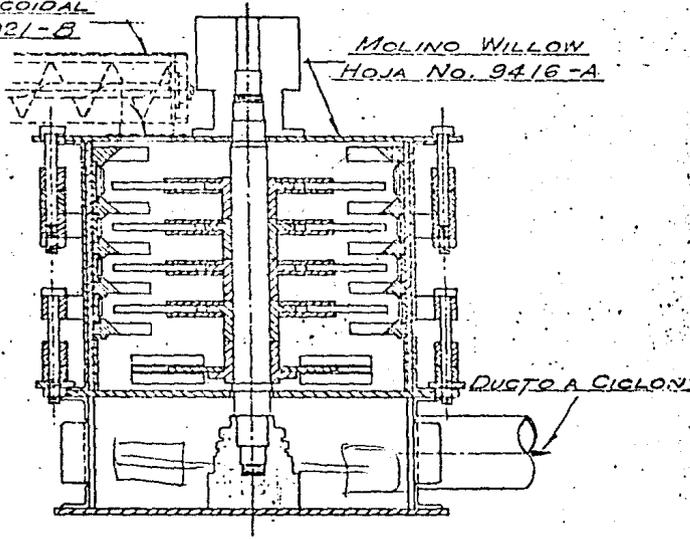
SECCION: \_\_\_\_\_

HOJA NUM. \_\_\_\_\_

ESCALA: \_\_\_\_\_

ACOT. EN: \_\_\_\_\_

*TRASP. HELICOIDAL*  
*HOJA No. 8021-B*

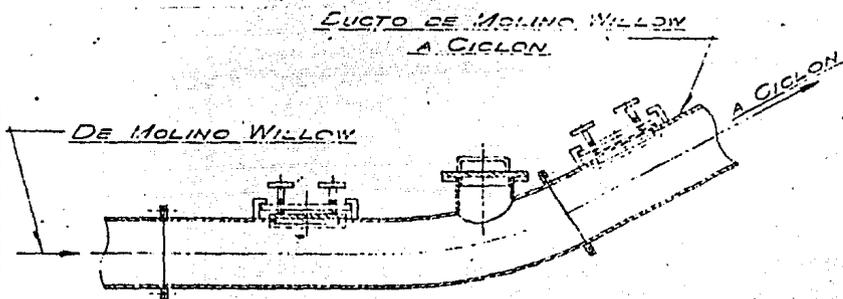


CORTE TRANSVERSAL DEL MOLINO WILLOW CON EL CUAL  
EL ASBESTO SE DESFIBRA A LA MENOR APERTURA --  
POSIBLE.

ASBESTOS DE MEXICO, S. A.  
TLALNEPANTLA, MEX.

FECHA \_\_\_\_\_  
FIRMA \_\_\_\_\_

SECCION: \_\_\_\_\_  
HOJA NUM. \_\_\_\_\_  
ESCALA: \_\_\_\_\_  
ACOT. EN: \_\_\_\_\_



"DUCTO DE MOLINO WILLOW" POR MEDIO DEL CUAL  
ES CONDUcido LAS FIBRAS DE ASBESTO HASTA EL  
"CICLON" PARA CONTINUAR CON EL PROCESO ---  
DE MEZCLADO.

lograr calidades uniformes.

#### IV. 1. C.- S I L I C E

Esta materia prima se procesa completamente dentro de la planta. Se requiere una finura de 85% a través de la malla - 200, la cual se obtiene mediante la alimentación de los conglomerados de cuarzo a través de tres pasos distintos de molienda. En el primero a través de un molino de quijadas, se reduce el tamaño máximo hasta 60 mm. El segundo a través de un molino de campana reduce el material hasta una dimensión menor de 10 mm.

En el paso final, a través de un molino de bolas se obtiene la finura deseada. La sílice molida se recoge del molino mediante aspiradores de flujo controlado de aire. haciendo variar éste flujo podemos regular la finura de la sílice recogida.

#### IV. 2. " CONJUNTO ASBESTO-CEMENTO-SILICE-PRUEBAS "

Una vez que se consigue la apertura de fibra deseada en el asbesto, y la finura requerida para el cemento y la sílice la mezcla seca de estas materias primas se analiza y se compara con resultados de mezclas normalizadas.

Las pruebas que se llevan a cabo son:

#### IV.2.A.- PRUEBA DE SEDIMENTACION

Mediante ésta prueba se determina la apertura de la fibra por la relación que ésta sostiene con el tiempo de sedimentación de la mezcla en el seno de un fluido viscoso.

Para efectuar ésta prueba se coloca dentro de una bureta de 2000 CC una cantidad de mezcla seca tal, que siempre -

se analicen 30 gramos de fibra de asbesto. Luego la bureta es llenada con agua destilada. Posteriormente se gira la bureta - sobre su eje 30 veces en un tiempo exacto de un minuto, con objeto de tener un mezclado común en todos los ensayos.

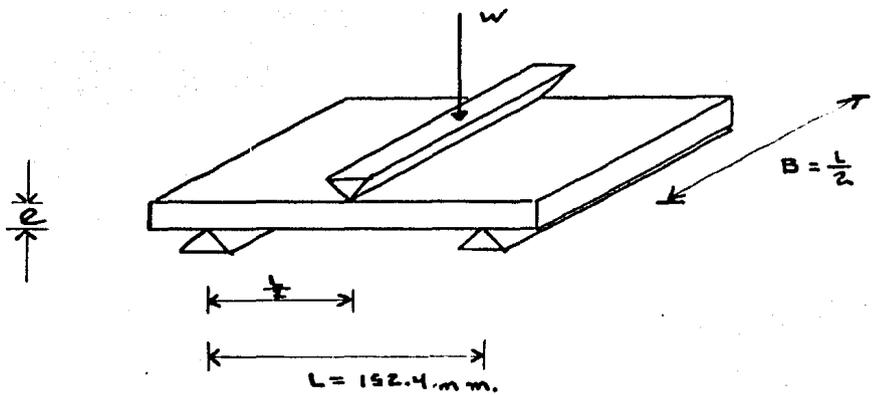
Finalmente se hacen las lecturas del asentamiento sufrido por la mezcla al cabo de 5, 10, 30 y 60 minutos de haberse iniciado el ensayo. La comparación de la gráfica resultante con - una tomada como norma para la misma mezcla nos indica el mayor o menor grado de apertura de la fibra, indicándonos con esto - también el estado en que se encuentran los martilletos del molino desfibrador.

#### IV.2.B.- " PRUEBA DE RESISTENCIA "

De éste análisis determinamos la resistencia combinada del asbesto (trabajando a tensión) y del cemento (trabajando a compresión) por lo cual es la real medida de como se comportará el producto terminado. En ésta prueba se reproduce bajo condiciones normalizadas en el laboratorio una probeta rectangular que se fabrica con la mezcla cuya calidad queremos determinar. La probeta es sujeta a distintos procesos que duplican de la mejor manera posible las condiciones reales de fabricación.

Al final una vez terminadas se curan estas probetas en -- autoclaves al igual que se hace con el producto y luego se --- prueban para determinar los módulos de resistencia de ellas.

Al efectuar la prueba se aplica una carga como a continua ción se muestra:



De resistencia de materiales podemos recordar que:

$$\sigma = \frac{m}{Z}$$

En Donde:

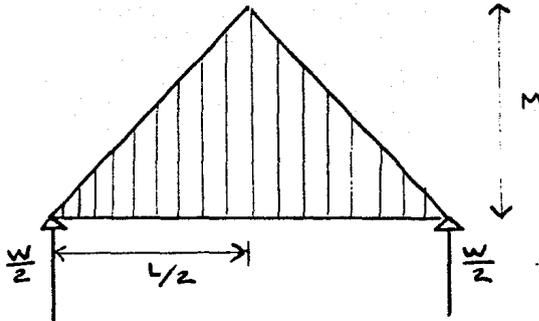
$\sigma$  = Esfuerzo a la Flexión.

$m$  = Momento Flexionante Máximo.

$Z$  = Módulo de Sección.

En éste caso se tiene el problema de una viga de -  
sección rectangular, libremente apoyada y con la carga  
aplicada en el punto medio; entonces:

En cuanto al momento flexionante máximo:



$$m = W/2 \times L/2 = \frac{W L}{4}$$

Y en cuanto al módulo de sección

$$Z = \frac{I}{Y}$$

En Donde:

I = Momento De Inercia Centroidal.

Y = Distancia De La Fibra Más Alejada Hasta Este Eje Centroidal.

Luego :

$$Z = \frac{B e^3}{12} / \frac{e}{2} = \frac{B e^2}{6}$$

Entonces :

$$\sigma = \frac{\frac{W L}{4}}{\frac{B e^2}{6}} = \frac{6 W L}{4 B e^2} = \frac{3 W L}{2 B e^2}$$

Pero en éste caso:

$$L = 2 B$$

$$\sigma = \frac{3 W (2 B)}{2 B e^2} = 3 \frac{W}{e^2}$$

Entonces :

$$\sigma = 3 \frac{W}{e^2}$$

Siendo :

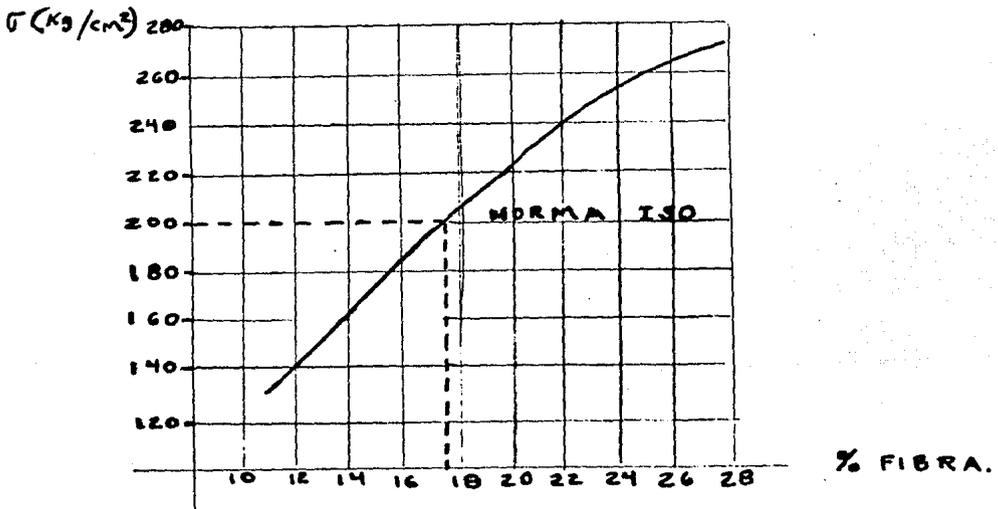
$\sigma$  = Esfuerzo a la flexión.

W = Carga Máxima de Rotura

e = Espesor De La Probeta.

Es interesante hacer notar que si en ésta prueba mantenemos fija a dos de las variables, por ejemplo al cemento y a la sílice, y hacemos que la tercera cambie, en éste ejemplo el asbesto, podremos encontrar gráficas mediante las cuales se pueden determinar los porcentajes de fibras necesarios para tal o cual resistencia del producto terminado.

Un ejemplo de una curva para una mezcla determinada se muestra en la siguiente gráfica:



Por último se indica que con ésta misma prueba se puede determinar la plasticidad del cemento y por consiguiente se puede estimar su tiempo de fraguado.

Para hacer esto, antes de curar las probetas, estas se colocan entre dos apoyos en el punto central de las cuales se determinan la flecha que adopta el material con un micrómetro. Entonces, a partir de la ecuación diferencial de la elástica se puede encontrar el valor de "E" ( La plasticidad é elasticidad del cemento ).

#### IV.3.- " PROCESO DE ALIMENTACION PARA LA FABRICACION "

La calidad de los productos de asbesto-cemento depende de varios factores. No solo su composición que hemos hasta ahora estudiado sino también el proceso de fabricación y el método de curado pueden cambiar por completo las cualidades físicas y químicas de los productos. Habiendo tratado a las materias primas pasemos inmediatamente a un somero estudio de los procesos de elaboración.

Varios han sido los métodos y las patentes que durante la historia de la fabricación del asbesto-cemento se han utilizado. Sin embargo, todos ellos pueden clasificarse fundamentalmente en dos grandes ramas:

A).- PROCESOS MONOLITICOS O DE MOLDEO.

B).- PROCESOS MULTILAMINARES.

Ambos procesos los hallamos tanto en la fabricación de láminas como en tubería, sin embargo, últimamente se puede afirmar con seguridad que el proceso multilaminar a causa de entregar mayores resistencias en el producto terminado, es el más utilizado.

##### IV.3.A.- FABRICACION MONOLITICA O DE MOLDEO

Al igual que con el método multilaminar podemos distinguir dos métodos del mezclado de las materias primas: Mezclado seco y mezclado húmedo.

La variante del mezclado en seco de éste método fué el primer modo de fabricación que se usó en productos de asbesto-cemento. Las primeras láminas fabricadas por Kulhwein se formaban colocando en el interior de un molde una delgada capa de la mezcla seca de asbesto-cemento. A continuación ésta capa se regaba con agua y por último se comprimía en una prensa hidráulica.

Este método aunque primitivo, no es en sí desagradable pero tiene la desventaja, al igual que todos los demás procesos monolíticos, de que las fibras en el seno del producto terminado aparecen al azar en una forma no controlada. Esto provoca con respecto al método multilaminar, en donde podemos nosotros dirigir la dirección de fibras, una disminución de la resistencia mecánica en el producto.

En cuanto al método de moldeado en húmedo, éste sigue usándose para la fabricación de tubería para baja presión, por la patente magnanf, y desde luego, en la elaboración de piezas especiales que no se pueden fabricar de otra forma.

Como ejemplo de piezas moldeadas se tiene a los tinacos de asbesto-cemento.

Hasta hace poco tiempo también eran moldeados los ángulos, codos y demás piezas auxiliares en las tuberías pero ahora debido a los avances técnicos en los adhesivos, estas piezas se fabrican pegando segmentos de tubería obteniéndose así mayores resistencias mecánicas y a menor costo.

#### IV.3.8.- PROCESO MULTILAMINAR

Consiste éste proceso en ir formando sobre un cilindro un tubo mediante el enrollamiento de una delgada película de asbesto-cemento. Dos capas sucesivas de material se ligan mediante presión aplicada sobre este tubo.

Este proceso es idéntico tanto para la fabricación de láminas como para la de tubería y la única diferencia es que en el primer caso (fabricación de láminas) el tubo es cortado longitudinalmente y su circunferencia se abate formando el largo de la lámina. La maquinaria usada en éste proceso es muy similar a la utilizada en la fabricación de cartón.

Como ya se indico anteriormente, en éste proceso también se -

registran dos métodos en el mezclado de la materia prima, el mezclado húmedo y el mezclado en seco.

A diferencia del proceso monolítico, aquí el mezclado húmedo fué el primero en utilizarse. Esto es lógico puesto que las primeras máquinas eran idénticas a las usadas en la fabricación de cartón, por lo que los mezcladores de pulpa (holandesas) fueron íntegramente adoptados.

Sobre estas pilas holandesas se vierten las materias primas con una gran cantidad de agua lográndose así una unión más o menos íntima entre ellas. De aquí ésta pasta pasa hasta una "Noria De Mezclado" donde se diluye aún más hasta lograr una verdadera lechada que contiene aproximadamente solo 5% de sólidos suspendidos.

En ésta Noria el material debe agitarse constantemente con objeto de evitar que sucedan decantaciones o separaciones de los sólidos contenidos en la lechada.

En cuanto al método de mezclado en seco, se pasan las materias primas por mezcladores en seco y es tan solo hasta el último momento antes de penetrar el material a la máquina formadora cuando se ponen en contacto y se unen íntimamente los sólidos con el agua.

Las ventajas entre uno y otro método son objeto de grandes discusiones y mientras que en Europa se prefiere el mezclado húmedo, en América se opta por el seco. La ventaja del segundo método es decir el mezclado en seco, consiste en la disminución del tiempo de hidratación del cemento, el cual si es muy largo nos acarrea problemas por causa del fraguado.

De cualquier manera, una vez mezclados por alguno de los dos métodos el proceso prosigue idéntico, y ya sea desde la Noria -

desde el mezclador en seco secundario, el material fluye hasta la máquina formadora, en donde en su primer paso se tienen unas bateas en cuyo fondo se dispone de un par de agitadores de paletas, cuyo objeto no es solo el de prevenir un asentamiento de los sólidos suspendidos sino también el de influenciar la dirección en -- que se colocarán las fibras de asbesto al formarse la película.

Dentro de éstas bateas se encuentran parcialmente sumergidas en la lechada los cilindros pescadores. Estos cilindros cubiertos por una delgada tela de alambre permiten que a su interior penetre agua, mientras que adherida a la malla queda una delgada película de asbesto - cemento. Esta es la base de la formación multilaminar. El agua del interior de los cilindros es evacuada por los extremos y vuelta a recircular.

El grosor de la capa adherida al tamiz depende principalmente de la diferencia de niveles entre el exterior y el interior -- del cilindro, aunque también influye la consistencia de la pasta y la velocidad de giro de éste cilindro.

En la parte superior del cilindro pescador, éste traspasa la película a una banda sin fin de fieltro. Este traspaso se logra -- por causa de la diferencia de permeabilidades entre la tela de alambre (30 % de apertura ) y el fieltro( 16 % de apertura ) ayudando la avidez que por la humedad tiene el fieltro.

Este fieltro sin fin lleva entonces la película hasta la parte formadora de la máquina pasando en el intermedio sobre una caja de vacío la cual le extrae todavía una mayor cantidad de agua a la película de material.

El formado, como ya se dijo, se lleva a cabo enrollando la delgada capa de mezcla sobre un mandril bajo alta presión. En el caso de fabricación de láminas, el mandril es de gran tamaño para que al desenvolver la capa formada se logre la longitud deseada de la lámina y la presión de formación en éste caso es solo de

bido al peso de éste mandril que es de acero. En la fabricación de tubería en cambio, el diámetro exterior del mandril es igual al -- diámetro interior de la tubería que se desea fabricar y la presión de formado es dada por un par de rodillos superiores empujados por una serie de pistones hidráulicos.

Aquí, entre el fieltro y el mandril, el traspaso de la película de material se debe al igual que entre el cilindro pescador y el fieltro, solo a la presión que se aplica en el punto de contacto de los dos medios unida con la diferencia de porosidad de estos dos medios. Veamos esto con un poco más de detalle:

La presión en el punto de contacto hace salir a las burbujas de aire que existen entre la película y cada uno de los medios, - esto ocasiona al salir el aire un vacío entre la película y el mandril, lo que lo hace adherirse a la película, entonces si se tiene:

A 1 = Adhesión Al Medio 1, Más Poroso.

A 2 = Adhesión Al Medio 2, Menos Poroso

y también :

S 1 = Superficie de contacto con la película del medio más poroso.

S 2 = Superficie de contacto con la película del medio menos poroso.

Entonces deducimos :

$$S_1 < S_2$$

Ahora puesto que:

$$A = P \times S$$

En donde :

A = Adhesión  
P = Presión constante con que se une la unidad de superficie de película - con cada uno de los medios.  
S = Superficie de contacto.

Entonces :

$$A_1 = P S_1$$

$$A_2 = P S_2$$

Entonces se llega a la conclusión que :

$$A_1 < A_2$$

Por lo que la película de asbesto-cemento saldrá después del punto de contacto entre los dos medios, adherida a la superficie menos porosa.

#### IV. 3. C.- SISTEMA DE ALIMENTACION

Tanto el cemento como la sílice se encuentran almacenadas en silos, siendo éstos construcciones cilíndricas de hormigón; sus principales ventajas consisten en que: Economizan espacio de piso para almacenar una cantidad dada de material y en su construcción que es relativamente barata.

Estos silos se adaptan a las posibles situaciones en torno a la fábrica y para el volumen que almacenan tienen una altura relativamente mayor.

De dichos silos, los materiales son pasados a unos sub-silos por medio de unos ductos con aire, encontrándose aquí los materiales cemento y sílice, que es donde principia la alimentación para la elaboración del producto.

De los sub-silos son extraídos los materiales por medio de unos deslizadores de aire de 6 pulgadas hasta depositarlos en una válvula neumática especial que los introduce en una tolva, que está acoplada a una báscula automática; éste tipo de báscula depende de la producción y de las características físicas del pro--

ducto. Las básculas automáticas se adaptan mejor a la producción en gran escala, y pueden disponerse en baterías de dos o más, para atender a una gran producción.

La pesada de los materiales tiene importancia capital en el control de los procesos y el control del costo.

PESADA DEL MATERIAL  $\longrightarrow$  C.PROCESOS  $\rightarrow$  C. COSTO

En el control de los procesos, las principales aplicaciones de las básculas y los alimentadores pasadores, son :

- LA ALIMENTACION CONTINUA.
- EL PESADO DE CARGAS INTERMITENTES. Y
- LA COMPROBACION DEL PRODUCTO.

Por lo que respecta al control del costo, Las básculas son los procedimientos más prácticos de que se dispone el encargado de la contabilidad para reunir datos relacionados con los movimientos de los materiales en la fábrica. A éste respecto las pesadas son importantes para recibir materia prima, controlar los inventarios, hacer transferencia entre departamentos, regular la producción, embalar el producto y expedir los productos finales y los sub-productos.

Por la parte inferior de la tolva, tiene colocado un transportador helicoidal o de tornillo sin fin de 12 pulgadas éste transportador consiste en una hélice de acero montada sobre un eje y suspendida en un canal o artesana en forma de "U" hecha con lámina de acero, movido por un motor eléctrico de acuerdo con su capacidad requerida y acoplado a un reductor de velocidad para lograr el flujo requerido.

En una sección de éste transportador, tenemos localizada una tolva por la cual se introduce el asbesto. Dicha tolva proporciona una corriente uniforme de material que fluye libremente por grave-

ASBESTOS DE MEXICO, S. A.  
TLALNEPANTLA, MEX.

FECHA \_\_\_\_\_

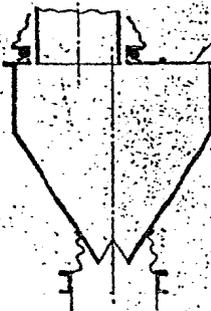
FIRMA \_\_\_\_\_

SECCION: \_\_\_\_\_

HOJA NUM. \_\_\_\_\_

ESCALA: \_\_\_\_\_

ACOT. EN: \_\_\_\_\_



CORTE TRANSVERSAL DE LA BASCULA AUTOMATICA  
CON EL QUE ES PESADO EL CEMENTO Y LA SILI-  
CE Y DE LA CUAL DEPENDE LA PRODUCCION A --  
GRAN ESCALA ASI COMO TAMBIEN LAS CARACTE-  
RISTICAS FISICAS DEL PRODUCTO.

ASBESTOS DE MEXICO, S. A.

TLALNEPANTLA, MEX.

FECHA \_\_\_\_\_

FIRMA \_\_\_\_\_

SECCION: \_\_\_\_\_

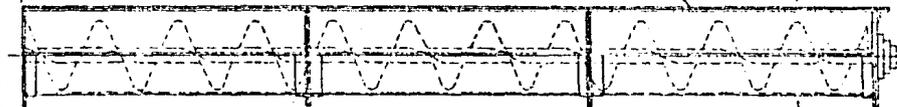
HOJA NUM. \_\_\_\_\_

ESCALA: \_\_\_\_\_

ACOT. EN: \_\_\_\_\_

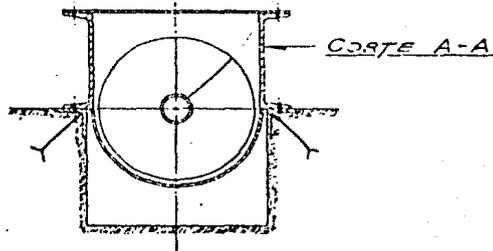
TRANSP. HELICOIDAL (HOJA NO. 7244-A)

A



ELEVADOR (HOJA NO. J.M. 1335-2)

A



TRANSPORTADOR HELICOIDAL O DE TORNILLO 6" FIN DE 12 PULGADAS, EL CUAL CONSISTE EN UNA HELICE DE ACERO MONTADA SOBRE UN EJE Y SUSPENDIDA EN UN CANAL O ARTEZANA EN FORMA DE "U" HECHA CON LAMINA DE ACERO, MOVIDO POR UN MOTOR ELECTRICO CON UNA CAPACIDAD Y UN REDUCTOR DE VELOCIDAD PARA LOGRAR EL FLUJO REQUERIDO.

dad hasta el tornillo. Este asbesto agregado, debe cumplir los requisitos necesarios para efectuar la mezcla, puesto que de ellos depende la calidad del producto según las especificaciones para la producción de la lámina.

Al final del transportador se encuentra un elevador de cangilones el cuál comprende los bastidores o conjuntos de cabeza y de pie y además una barda a la cual estan sujetos los cangilones que elevan los materiales a lo largo de una trayectoria recta vertical; el elevador está dentro de una envoltura bastante hermética para que no salga el polvo.

La banda tiene los cangilones espaciados de modo que puedan lanzar el material por acción centrifuga cuando dan la vuelta sobre la rueda de cabeza y recogen sus cargas cuando dan la vuelta alrededor de la rueda de pie.

El material elevado es depositado en un mezclador en donde se tratará de obtener los principios fundamentales de la mezcla.

#### IV. 3. D.-

#### " M E Z C L A "

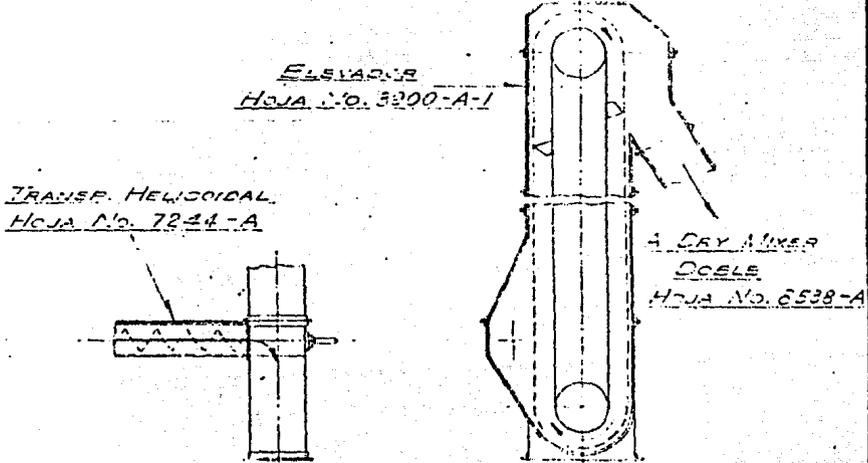
La mezcla es una de las operaciones unitarias de la ingeniería química más difíciles de someter a un análisis científico. Hasta el presente no se ha desarrollado ninguna fórmula aplicable al cálculo del grado de realización al cual se verifica la mezcla o la velocidad con que realiza en determinadas condiciones, sin embargo se han hecho esfuerzos considerables para mejorar.

Precisamente por ser el arte de mezclar tan empírico y por la casi infinita variedad de substancias que pueden mezclarse, el número de modelos mezcladores inventados es enorme; por ésta razón cada industria perfecciona los mezcladores especiales --

ASBESTOS DE MEXICO, S. A.  
TLALNEPANTLA, MEX.

FECHA \_\_\_\_\_  
FIRMA \_\_\_\_\_

SECCION: \_\_\_\_\_  
HOJA NUM. \_\_\_\_\_  
ESCALA: \_\_\_\_\_  
ACOT. EN: \_\_\_\_\_



"ELEVADOR DE CANGILONES" EN EL QUE EL "TRANSPORTADOR HELICOIDAL" DEPOSITA EL ASBESTO Y ESTE A SU VEZ LOS ELEV EN FORMA VERTICAL PARA DESPUES DEPOSITARLOS EN EL MEZCLADOR "DRY MIXER DOBLE".

para sus propios usos. De lo anterior se deduce que si hablamos de mezclador de dos pasos en seco o dry mixer doble tanto como del mezclador de tres pasos en seco o dry mixer triple, quiere decir que estos tipos de mezcladores son los perfeccionados para éste tipo de industria.

En resumen se tratará de explicar los objetivos generales de la mezcla.

tanto si se trata de líquidos como de sólidos o gases o una combinación cualquiera de estas fases, la finalidad fundamental perseguida en una mezcla teóricamente perfecta es siempre la misma y puede expresarse como sigue:

" En todos los casos, dos o más materiales separados o mal mezclados, al mezclarlos bien, se debe alcanzar un estado tal que cada partícula de uno cualquiera de los materiales, esté lo más próximo posible a una partícula de cada una de los demás materiales. "

Como ya mencionamos anteriormente los materiales que son elevados por el elevador de cangilones son depositados en un mezclador de dos pasos (en seco) o dry mixer doble. Este mezclador está compuesto de una caja o cuerpo que contiene dos secciones; Superior e Inferior, dentro de las cuales se encuentran unas cintas helicoidales levórgira y dextrórgira de modo que los materiales sean empujados asia adelante y hacia atras, las cintas tienen un movimiento con velocidad moderada. Esta velocidad es obtenida porque el mezclador está movido por un motor con su respectivo reductor de velocidad.

Cuando los materiales han pasado por sus dos secciones del mezclador, están más o menos homogeneizados. Por parte inferior del mezclador se encuentra un transportador helicoidal de 9 pulgadas y que se encarga de arrastrar los materiales hasta -----

ASBESTOS DE MEXICO, S. A.  
TLALNEPANTLA, MEX.

FECHA \_\_\_\_\_

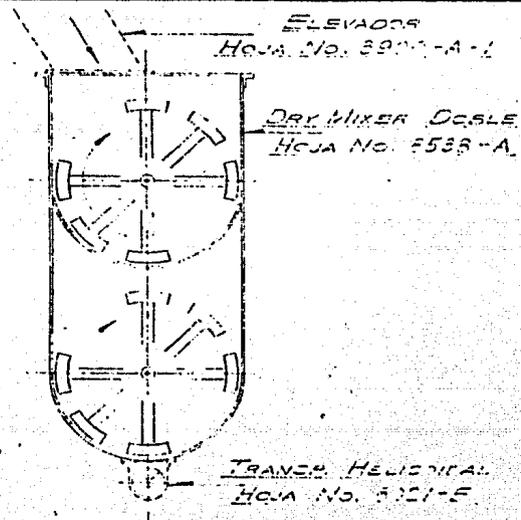
FIRMA \_\_\_\_\_

SECCION: \_\_\_\_\_

HOJA NUM. \_\_\_\_\_

ESCALA: \_\_\_\_\_

ACOT. EN: \_\_\_\_\_



MEZCLADOR DE DOS PASOS EN SECO O " DRY MIXER DOBLE " EN EL CUAL SON DEPOSITADOS LOS MATERIALES POR EL "ELEVADOR DE CANGILORES " PARA SER MEZCLADOS.

depositarlos en un molino de martillos.

En éste molino de martillos se efectuá la operación, podíamos decir fundamental, del sistema de alimentación siendo su trabajo a alta velocidad; el eje del rotor de éste molino, es vertical y lleva una serie de martillos en forma de cincel pivotados en discos solidarios del eje, que resulta lo apropiado para desgarrar y desfriar, girando el rotor en una envoltura que contiene placas o revestimientos moleadores, La holgura mantenida entre los revestimientos y los martillos, es sumamente importante con respecto a la finura del producto.

En si, el proposito principal es que los martillos hagan la operación de abrir las fibras de asbesto para que estas aumenten su superficie de contacto y a la vez le extraigan el talco que es perjudicial al producto.

por la parte inferior del molinotiene adaptado un ventilador que es el encargado de soplar los materiales hasta un separador de polvos tipo ciclón, por medio de unos ductos de 12 pulgadas de diámetro.

Los separadores de ciclón son el tipo más empleado en las instalaciones para separación de polvos, en el cuál los materiales --cargados de polvo penetran tangencialmente en una cámara cilíndrica o cónica y salen los polvos por una parte central. Un ciclón es en esencia una cámara de sedimentación en la que la aceleración debida a la gravedad es remplazada por una aceleración centrífuga; -pero en nuestro caso, algunas veces no se precipitan todas las --partes gruesas sino que éstas son arrastradas por la parte superior y son llevadas junto con el polvo hacia el colector de polvos, los cuales son del tipo de bolsas y ahí se detendrá el polvo únicamente y las partes gruesas que se escaparon serán recogidas y mandadas --nuevamente al molino de martillos. A su vez, de aquí seran enviadas otra vez al ciclón y así sucesivamente hasta aprovechar los materiales a su máximo.

ASBESTOS DE MEXICO, S. A.

TLALNEPANTLA, MEX.

FECHA \_\_\_\_\_

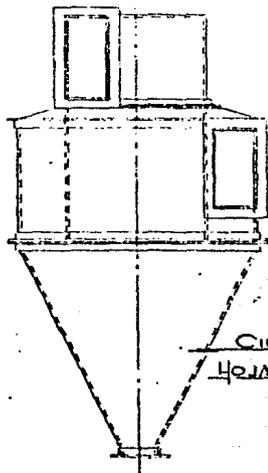
FIRMA \_\_\_\_\_

SECCION: \_\_\_\_\_

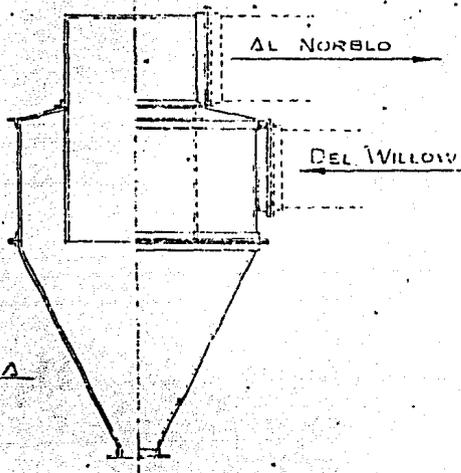
HOJA NUM. \_\_\_\_\_

ESCALA: \_\_\_\_\_

ACOT. EN: \_\_\_\_\_



CICLON  
HOJA No. 0352-A



A VALVULA DISTRIBUIDORA

SEPARADOR DE POLVOS TIPO " CICLON " EN EL CUAL SON DEPOSITADOS LOS MATERIALES POR MEDIO DE UN " VENTILADOR " QUE SE ENCUENTRA EN LA PARTE INFERIOR DEL " MOLINO WILLOW ".

En la parte baja del ciclón está colocada una válvula de distribución que, como su nombre lo indica, distribuye los materiales en el mezclador de tres pasos en seco, Este mezclador se compone de tres secciones; de ahí su nombre de tres pasos, las cuales están colocadas en la forma siguiente: Dos en la parte superior y una en la parte inferior, en medio de las dos superiores.

Este mezclador está compuesto en sus tres secciones por cintas helicoidales movidas por sus respectivos motores y reductores de velocidad cada una.

La función principal de éste mezclador es la de efectuar la homogeneización perfecta o casi perfecta de las materias primas para la elaboración de un producto de primera calidad.

Después de que se ha obtenido "La Mezcla " ésta es desalojada del mezclador por medio de un transportador helicoidal, el cual la deposita en una canaleta que la conducirá hasta la máquina. Por la parte central de la canaleta se recibe a la mezcla mientras que por uno de sus extremos se inyecta agua, la cuál arrastra dicha mezcla hasta depositarla en un tanque intensificador. ( En la canaleta es donde la mezcla entra en contacto con el agua para empezar la formación de la pasta. )

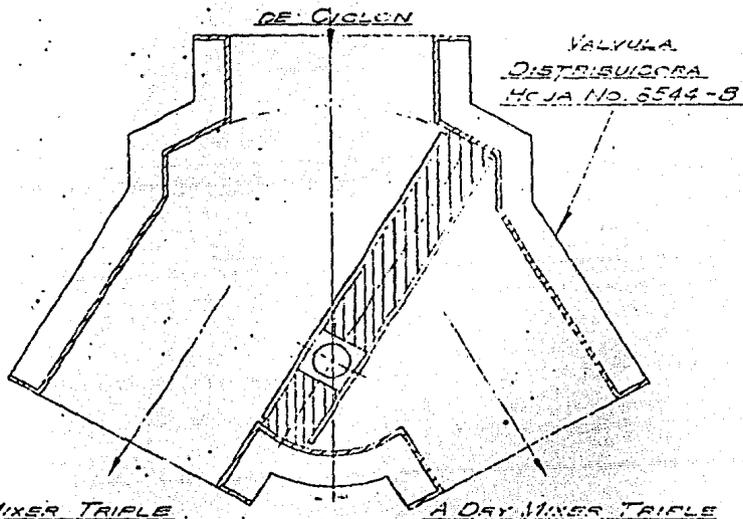
El tanque intensificador o mezclador de alta velocidad se compone de un tanque dentro del cuál hay un tubo con una hélice quedando un pequeño espacio entre el y las aletas de la hélice, el tubo sirve para guiar el fluido a través de la hélice venciendo apreciablemente el deslizamiento lateral de las corrientes, logrando una circulación completa de gran intensidad con la consiguiente uniformidad de la acción mezcladora.

En éste tanque es agregado un floculante que tiene como propósito principal que las partículas individuales se atraigan unas a las otras por fuerzas pequeñas pero resistentes y el agrandamiento

ASBESTOS DE MEXICO, S. A.  
TLALNEPANTLA, MEX.

FECHA: \_\_\_\_\_  
FIRMA: \_\_\_\_\_

SECCION: \_\_\_\_\_  
HOJA NUM. \_\_\_\_\_  
ESCALA: \_\_\_\_\_  
ACOT. EN: \_\_\_\_\_



EN LA PARTE BAJA DEL " CICLON " ESTA COLOCADA UNA  
" VALVULA DE DISTRIBUCION " QUE, COMO SU NOMBRE -  
LO INDICA, DISTRIBUYE LOS MATERIALES EN EL MEZCLA  
DOR DE TRES PASOS EN SECO O " DRY MIXER TRIPLE ".

ASBESTOS DE MEXICO, S. A.

TLAINEPANTLA, MEX.

FECHA \_\_\_\_\_

FIRMA \_\_\_\_\_

SECCION: \_\_\_\_\_

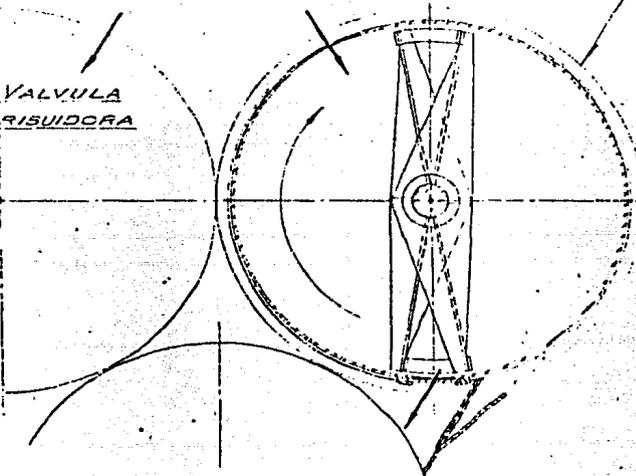
HOJA NUM. \_\_\_\_\_

ESCALA: \_\_\_\_\_

ACOT. EN: \_\_\_\_\_

*DRY MIXER TRIPLE (HOJA No. 6926-A)*

*DE VALVULA  
DISTRIBUIDORA*



MEZCLADOR DE TRES PASOS EN SECO O " DRY MIXER TRIPLE ",  
COMPUESTO OBIAMENTE DE TRES SECCIONES LAS CUALES COMO  
- PODRA VERSE SE ENCUENTRAN SITUADAS, DOS EN LA PARTE SUPE  
RIOR Y UNA EN LA PARTE INFERIOR, EN PEDIO DE DOS SUPERIO  
RES.

ASBESTOS DE MEXICO, S. A.

TLALNEPANTLA, MEX.

FECHA \_\_\_\_\_

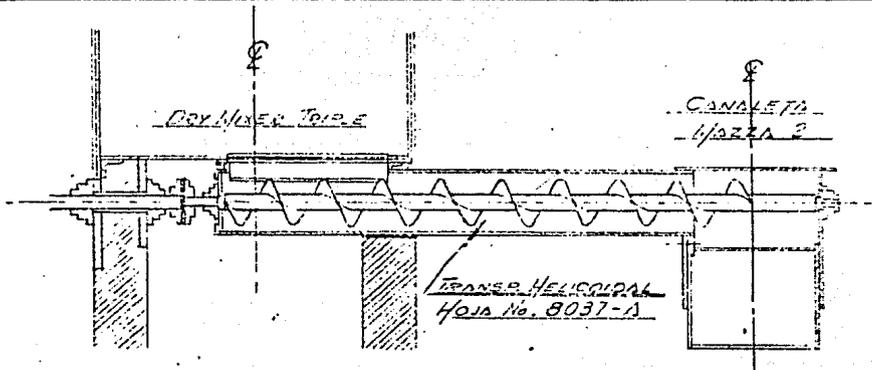
FIRMA \_\_\_\_\_

SECCION: \_\_\_\_\_

HOJA NUM. \_\_\_\_\_

ESCALA: \_\_\_\_\_

ACOT. EN: \_\_\_\_\_

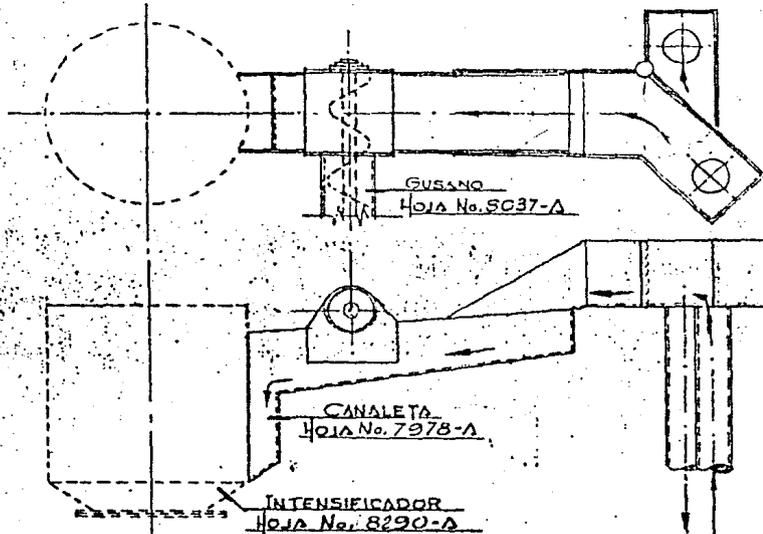


" TRANSPORTADOR HELICOIDAL " POR MEDIO DEL CUAL EL MATERIAL DEBIDAMENTE MEZCLADO ES DEPOSITADO EN UNA CANALETA QUE LA CONDUCE A LA MAQUINA.

ASBESTOS DE MEXICO, S. A.  
TLALNEPANTLA, MEX.

FECHA \_\_\_\_\_  
FIRMA \_\_\_\_\_

SECCION: \_\_\_\_\_  
HOJA NUM. \_\_\_\_\_  
ESCALA: \_\_\_\_\_  
ACOT. EN: \_\_\_\_\_

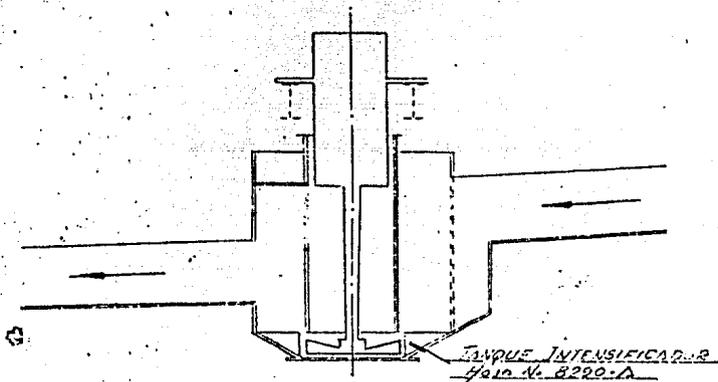


POR LA PARTE CENTRAL DE LA CANALETA SE RECIBE A LA MEZCLA MIENTRAS QUE POR UNO DE SUS EXTREMOS SE INYECTA AGUA, LA CUAL ARRASTRA DICHA MEZCLA HASTA DEPOSITARLA EN UN TANQUE INTENSIFICADOR.

ASBESTOS DE MEXICO, S. A.  
TLALNEPANTLA, MEX.

FECHA \_\_\_\_\_  
FIRMA \_\_\_\_\_

SECCION: \_\_\_\_\_  
HOJA NUM. \_\_\_\_\_  
ESCALA: \_\_\_\_\_  
ACOT. EN: \_\_\_\_\_



TANQUE INTENSIFICADOR O MEZCLADOR DE ALTA VELOCIDAD, SE COMPONE DE UN TANQUE DENTRO DEL CUAL HAY UN TUBO CON UNA HELICE QUEDANDO UN PEQUEÑO ESPACIO ENTRE EL Y LAS ALETAS DE LA HELICE, EL TUBO SIRVE PARA GUIAR EL FLUIDO A TRAVES DE LA HELICE MENCIONADO APRECIABLEMENTE EL DESLIZAMIENTO LATERAL DE LAS CORRIENTES, LOGRANDO UNA CIRCULACION COMPLETA DE GRAN INTENSIDAD CON LA CONSIGUIENTE UNIFORMIDAD DE LA ACCION MEZCLADORA.

de tamaño de la partícula resultando hace que la sedimentación se produzca una mayor rapidez.

Del tanque intensificador es mandada la pasta por medio de otra canaleta hasta depositarla en un premezclador; éste premezclador tiene un agitador que mantiene la pasta en movimiento constantemente para evitar que se asiente parte de la pasta. Inmediatamente después está colocada la primera caja de pastas, la cuál también tiene colocados en su parte inferior dos agitadores que hacen el mismo trabajo que el anterior. En dicha caja está semi-sumergido un rodillo cubierto con una malla finísima de alambre y que tiene por objeto que al estar girando el rodillo, se adhiera en él una película de pasta y la deposite en el paño. Por encima de éste rodillo, llamado pescador, se encuentra otro rodillo de hule, el cuál, por su propio peso, ( 2 toneladas aproximadamente) presiona el paño contra el cilindro pescador, haciendo que la película de pasta adquiera un espesor uniforme y al mismo tiempo, elimina cierta cantidad de agua. El paño es el vehículo que transporta la película de pasta hasta depositarla en el mandril para después formar la lámina, ( Al depositar la pasta en su respectivo molde).

Adelante de la caja de pastas se encuentra una caja de vacío la cuál funciona por medio de una bomba de vacío húmedo, éste tipo de bomba es necesaria porque manipula a la vez el filtrado y el aire arrastrado, las bombas de vacío húmedo por lo general del tipo rotativo como la bomba nash, es buena en el manejo de grandes volúmenes de aire con mucho líquido a un vacío moderado (406 mm.Hg.)

Esta caja de vacío tiene por objeto extraerle el exceso de agua que contenga la película de pasta. Cuando la película de pasta ha llenado al rodillo motriz donde se iniciará la formación de capas de pasta para la fabricación de la lámina enrollándose una película aproximadamente de 0.25 mm de espesor sobre un mandril o molde. En ésta formación está actuando una prensa situada precisamente arriba del mandril con una presión variable y controlada desde -

ASBESTOS DE MEXICO, S. A.

TLALHEPANTLA, MEX.

FECHA \_\_\_\_\_

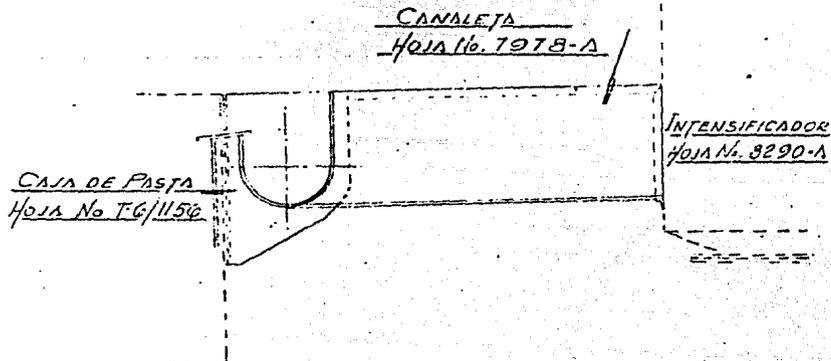
FIRMA \_\_\_\_\_

SECCION: \_\_\_\_\_

HOJA NUM. \_\_\_\_\_

ESCALA: \_\_\_\_\_

ACÓT. EN: \_\_\_\_\_



SECUENCIA QUE MUESTRA COMO DEL " TANQUE INTENSIFICADOR " ES MANDADA LA PASTA POR MEDIO DE OTRA " CANALETA " HASTA DEPOSITARLA EN UN " PREMEZCLADOR "; Y ESTE A SU VEZ TIENE UN AGITADOR QUE MANTIENE LA PASTA EN MOVIMIENTO CONSTANTEMENTE PARA EVITAR QUE SE AGIENTE PARTE DE LA PASTA. INMEDIATAMENTE DESPUES ESTA COLOCADA LA PRIMERA "CAJA DE PASTAS " , LA CUAL TAMBIEN TIENE COLOCADOS EN SU PARTE INFERIOR DOS AGITADORES QUE HACEN EL MISMO TRABAJO QUE EL ANTERIOR.

ASBESTOS DE MEXICO, S. A.

TLALNEPANTLA, MEX.

FECHA \_\_\_\_\_

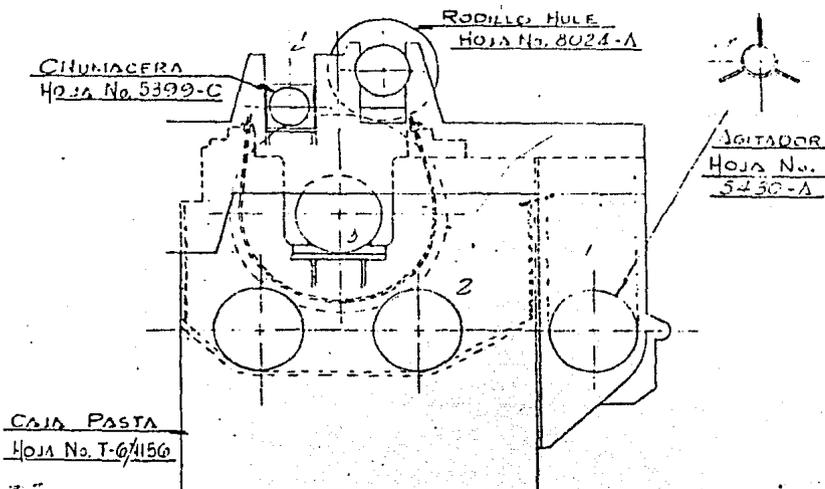
FIRMA \_\_\_\_\_

SECCION: \_\_\_\_\_

HOJA NUM. \_\_\_\_\_

ESCALA: \_\_\_\_\_

ACOT. EN: \_\_\_\_\_



" CAJA DE PASTA ", LA CUAL TIENE MOLDADOS EN SU PARTE INFERIOR DOS AGITADORES QUE HACEN PERMANECER A LA PASTA EN MOVIMIENTO CONSTANTEMENTE PARA EVITAR QUE ESTA SE ASIENTE. EN ESTA CAJA ESTA SEMI-EMERGIENDO UN RODILLO CUBIERTO CON UNA PALLA FINISIMA DE ALAMBRE Y QUE AL ESTAR GIRANDO, SE ADHIERA EN EL UNA PELICULA DE PASTA Y LA DEPOSITE EN EL PAÑO. POR ENCIMA DE ESTE RODILLO -- ( PEGADOR ) , SE ENCUENTRA OTRO RODILLO DE MULE, EL CUAL, POR SU PROPIO PESO PRESIONA EL PAÑO CONTRA EL CILINDRO PEGADOR, HACIENDO QUE LA PELICULA DE PASTA ADQUIERA UN ESPESOR UNIFORME Y AL MISMO TIEMPO, ELIMINE CIERTA CANTIDAD DE AGUA.

ASBESTOS DE MEXICO, S. A.

TLALNEPANTLA, MEX.

FECHA \_\_\_\_\_

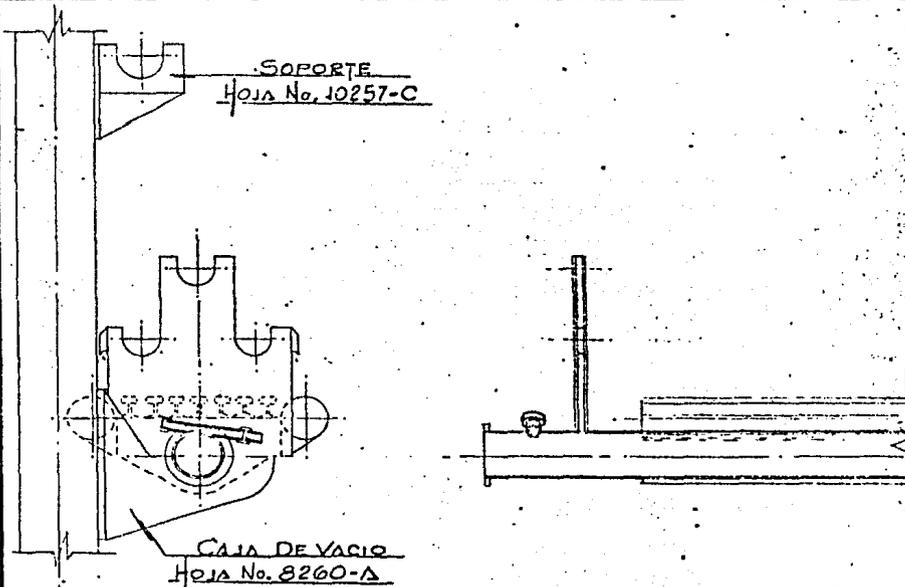
FIRMA \_\_\_\_\_

SECCION: \_\_\_\_\_

HOJA NUM. \_\_\_\_\_

ESCALA: \_\_\_\_\_

ACOT. EN: \_\_\_\_\_



" CAJA DE VACIO " ( LA CUAL SE ENCUENTRA ADELANTE DE LA " CAJA DE PASTAS " ) Y QUE TIENE POR OBJETO EXTRAER LE EL EXCESO DE AGUA QUE CONTIENE LA PELICULA DE PASTA.

ASBESTOS DE MEXICO, S. A.

TLALNEPANTLA, MEX.

FECHA \_\_\_\_\_

FIRMA \_\_\_\_\_

SECCION: \_\_\_\_\_

HOJA NUM. \_\_\_\_\_

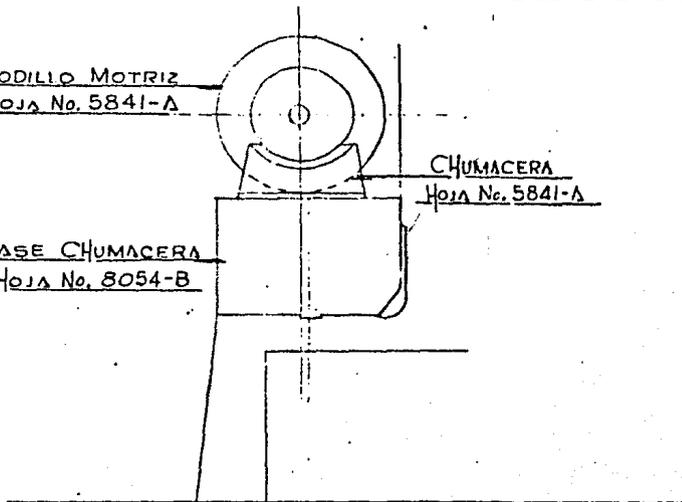
ESCALA: \_\_\_\_\_

ACOT. EN: \_\_\_\_\_

RODILLO MOTRIZ  
HOJA No. 5841-A

BASE CHUMACERA  
HOJA No. 8054-B

CHUMACERA  
HOJA No. 5841-A



" RODILLO MOTRIZ " EN EL CUAL SE INICIAN LA FORMACION  
DE CAPAS DE PASTA.

ASBESTOS DE MEXICO, S. A.  
TLALNEPANTLA, MEX.

FECHA \_\_\_\_\_

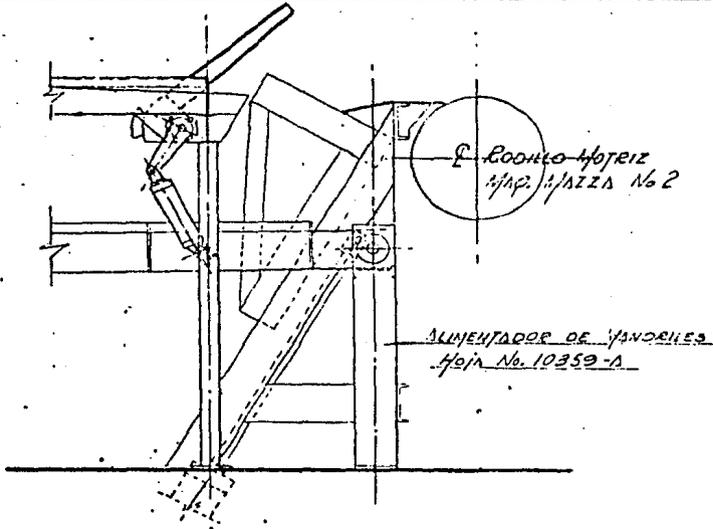
FIRMA \_\_\_\_\_

SECCION: \_\_\_\_\_

HOJA NUM. \_\_\_\_\_

ESCALA: \_\_\_\_\_

ACOT. EN: \_\_\_\_\_



LAS CAPAS DE PASTA QUE SE VAN FORMANDO EN EL "BOLLO MOTRIZ", SE REALIZAN A TRAVES DE ESPESORES DE 0-25 - mm APROXIMADAMENTE Y SOBRE UN "MANDRIL" O MOLDE, EL CUAL ES CONSTANTEMENTE EJECUTADO POR EL "ALIMENTADOR DE MANDRILES".

ASBESTOS DE MEXICO, S. A.  
TLALNEPANTLA, MEX.

FECHA \_\_\_\_\_

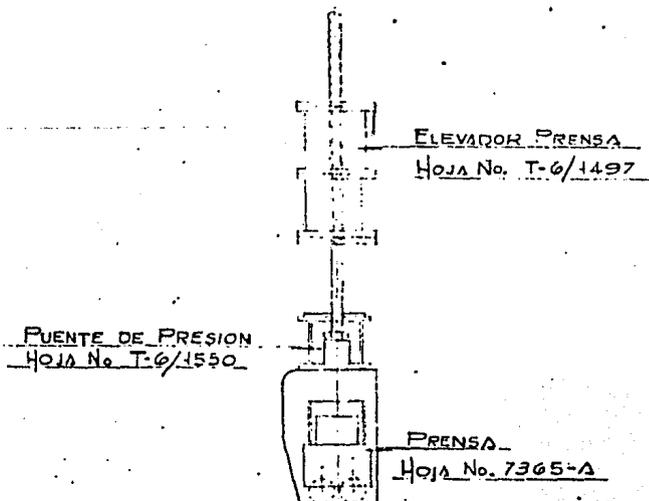
FIRMA \_\_\_\_\_

SECCION: \_\_\_\_\_

HOJA NUM. \_\_\_\_\_

ESCALA: \_\_\_\_\_

ACOT. EN: \_\_\_\_\_

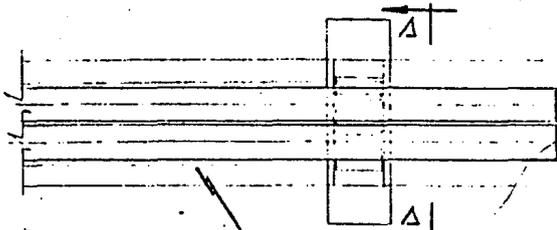


PARTES PRINCIPALES DE LA " PRENSA " LA CUAL ESTA  
ACTUANDO EN LA FORMACION DE LAS CAPAS DE PASTA -  
QUE VAN A CONSTITUIR A LA LAMINA. DICHA " PRENSA "  
ESTA SITUADA ARRIBA DEL " MANDRIL " .

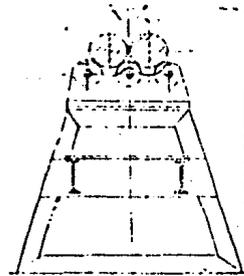
ASBESTOS DE MEXICO, S. A.  
TLAINEPANTLA, MEX.

FECHA \_\_\_\_\_  
FIRMA \_\_\_\_\_

SECCION: \_\_\_\_\_  
HOJA NUM. \_\_\_\_\_  
ESCALA: \_\_\_\_\_  
ACOT: EN: \_\_\_\_\_



CALANDRA  
HOJA No. 5813-A



CORTE A-A

"CALANDRA" EN LA CUAL LA PRESION EJERCIDA POR LA "PRENSA" REALIZA UN SISTEMA LLAMADO DE "CALANDREO" O SEA QUE AL TERMINAR DE COLOCAR LAS PELICULAS DE PASTA, SE OBTIENE UNA CONSISTENCIA DASTANTE RIGIDA.

el puente de comando, la estructura multilaminar y las presiones aplicadas en la formación, proporciona un material denso, homogéneo y extraordinariamente resistente y constante. La presión ejercida por la prensa hace a la vez un sistema de calandreo o sea que al terminar de colocar las películas de pasta ( Para el espesor de la lámina ) tiene ya una consistencia bastante rígida. Después que es cortada la pasta y colocada sobre su respectivo molde ondulado - el cual funciona como cimbra, éste es pasado por un horno - de pre-secado; para después enviarse al autoclave.

---

o

## C A P I T U L O V

### " SISTEMA DE FRAGUADO Y CURADO DEL PRODUCTO A-C "

#### - V. I. FRAGUADO

Una vez colocada la lámina recién elaborada en su respectivo molde; primero se debe esperar a que frague el cemento de manera que no tengamos pandeo, roturas o deformaciones. El lapso de tiempo que habrá transcurrido desde que primero entraron en contacto el cemento y el agua hasta éste punto no excederá unos 15 minutos a su vez, el cemento portland (Tipo I ) usado en el proceso no --fraguará, según norma, antes de una hora; por lo cual la lámina - en éste instante carece totalmente de resistencia. Es luego indis--pensable dejar en su respectivo molde a la lámina, durante un tiem--po mínimo de una hora, a la temperatura ambiental.

Para evitar el congestionamiento en el proceso (en deterio--ro del costo de moldes ), ya que al fabricarse la lámina tarda 30 segundos aproximadamente, se ideó intercalar un horno de secado - en la línea de proceso.

Este horno que se mantiene a una temperatura de 50 °C, propor--ciona un fraguado acelerado a la lámina. La temperatura de 50°C se alcanza mediante un ventilador que empuja aire a través de resis--tencias eléctricas. A su vez, la atmósfera dentro del horno se man--tiene húmeda mediante la inyección de vapor. Esto último con obje--to de prevenir una excesiva pérdida de agua de hidratación durante el fraguado.

El largo del horno es de 20 metros y la lámina es transporta--da sobre un par de cadenas sin fin, demorando aproximadamente 20 - minutos en pasarlo. El tiempo depende del espesor de la lámina que

se fabrica.

La razón por la cual el soldado electrolítico no se efectúa después de que la lámina hubiere pasado el horno, es de inmediato obvia a partir de las explicaciones anteriores. El cemento ya fraguado pierde su plasticidad y no sería ya posible hacer la expansión que se requiere en la lámina.

## V .2. C U R A D O

Existen básicamente tres procedimientos para el curado de los productos de A-C. Estos procedimientos son idénticos a los métodos de curado usados para los productos comunes y corrientes de concreto, sin embargo, a causa de ser la lámina de relativamente pequeñas dimensiones, su control durante el curado es mucho más estricto.

El procedimiento clásico, por llamarlo así, es el del curado húmedo. Los productos permanecen en una atmósfera húmeda y templada durante 28 días. Cuando se trata de curados de productos A-C, estos son sumergidos después de permanecer un día al aire, dentro de unas piletas con agua durante una semana, después de esto se dejan tres semanas al aire libre humedeciéndose periódicamente para devolverle el agua que se hubiese evaporado.

Otra manera es el curado con vapor húmedo a presión atmosférica. Este método consiste en inyectar ya sea periódica o continuamente vapor a una cámara dentro de la cual se tiene estibado el material. El vapor de la cámara que proporcione la humedad necesaria. Este método exige los mismos tiempos de curado, fraguado hidráulico y reposo húmedo que el procedimiento anterior, y en realidad constituye de cierta manera, una variación de él.

Como tercera forma de hacer el curado de los productos de A-C tenemos el curado a presión en autoclaves, en este procedimiento se utiliza vapor saturado a una presión entre 7 y 10 atmósferas

No es éste proceso solo una aceleración del curado sino que también varían las características finales del producto.

Si volvemos a revisar el capítulo de materias primas, y más exactamente a la sección que dedicamos al curado del cemento, recordaremos que se mencionó que en los curados llevados a cabo a elevadas temperaturas se adicionaba sílice molida al cemento. Repasemos por que hay necesidad de hacer ésto.

El hidróxido de calcio,  $Ca(OH)_2$  constituye un elemento indeseable en un mortero, pues reacciona con sulfatos y con el ácido carbónico, produciéndose en el primer caso aumentos de volumen en el seno del propio mortero, lo que lo quebrará, y en el segundo, incrustaciones que en el caso de láminas son enteramente indeseables. Es conveniente pues, combinar cal hidratada para prevenir que suceda lo anterior.

La manera que podemos lograr ésto, con los elementos químicos de que disponemos en el propio cemento portland, es haciendo que se combine con la cal alguno de los silicatos contenidos -- esto es posible sin embargo, solo a temperaturas del orden de  $150^{\circ}C$  en adelante.

Esta elevación de temperatura a un cemento en pleno proceso de fraguado, puesto que es mayor que la temperatura de ebullición del agua, nos conduce al problema de eliminarnos el agua de hidratación, deteniendo ahí el curado del cemento es por ésto que un aumento de temperatura superior a los  $100^{\circ}C$  debe acompañarse con un aumento de presión, acción que no permitirá escapar al agua contenida dentro de los geles de cemento.

Una vez solucionado éste problema se nos ha presentado otro, al combinarse la cal hidratada, con la sílice proveniente de un hidrosilicato tricálcico o de un hidrosilicato bicálcico, habre--

mos reducido la formación coloidal y sus consiguientes eslabones. Esta reducción coloidal nos provoca una reducción en las resistencias mecánicas del producto terminado, reducción que será proporcional al contenido de hidróxido de calcio en el mortero. El contenido de hidróxido de calcio libre se había visto, era cercano - al 15 % la reducción en las características mecánicas será del orden de un 10 a un 20 %.

Sin embargo, éste segundo problema lo podemos solucionar mediante la adición de sílice libre a la mezcla.

Puesto que ésta la suministramos en un estado libre, la combinación de la cal con ella será más fácil que en el caso anterior. Finalmente en el producto terminado obtendremos la misma cantidad de hidrocilicatos bi y tri-calcicos, solo que ahora aunados al producto de la reacción:



Que es un hidrocilicato monocálcico, cuya formación cristalina nos aumentará en vez de reducir la resistencia mecánica del cemento. Este aumento es del orden de un 20 %

Como podemos observar de lo anterior, tanto las cualidades químicas como las físicas de nuestro producto terminado han aumentado considerablemente. Más no terminan aquí las ventajas que presenta el curado bajo presión de vapor, todavía se dispone de ciertas ventajas económicas en este proceso. Estudiemoslas brevemente:

Si pensamos que aproximadamente 48 horas es el tiempo necesario para tener un pedido de lámina completamente fabricado, curado y terminado, en vez de los 28 días que demora el curado convencional, fácilmente podemos deducir las ventajas tan grandes que esto nos proporciona.

En primer lugar tenemos la ventaja de una disminución en el inventario de producto terminado. Tomando en cuenta que actualmente se fabrican :

LAMINA RURAL.  
LAMINA STANDARD.  
LAMINA CURVA.  
LAMINA ESTRUCTURAL.  
LAMINA ARQUITECTONICA.  
CABALLETES PARA LOS RESPECTIVOS TIPOS DE LAMINA.

Y todas y cada una de ellas en 2 espesores ( 5 mm y 6.5 mm ) y diferentes tipos de tamaño (longitud) , podemos darnos cuenta de la magnitud del inventario que seria necesario mantener en el caso de tener que cubrir los 28 dias de curado normal.

Otra enorme economía la constituye la reducción de la superficie de almacenaje para el producto en proceso de curado. Con una producción superior a 100 toneladas diarias de lámina, como se tiene actualmente, nos podemos dar cuenta del área y del tamaño de las piletas necesarias para el fraguado hidráulico y su costo respectivo.

Finalmente tomaremos en consideración una ventaja que aunque intangible, tal vez sea la mayor para una industria al servicio de un renglón tan importante como lo es el de techado de naves industriales. Esta es la de poder empezar a servir un pedido urgente al cabo de solo dos dias desde el principio de su fabricación.

### V . 3.- CURADO CON VAPOR A PRESION

El curado se lleva a cabo en el interior de recipientes cilindricos de grandes dimensiones denominados autoclaves. Los autoclaves están totalmente contruidos de placa de acero remachada, excepto su puerta, la cual es de fundición. Tienen en su interior y a todo su largo rieles en que se guian carros sobre los cuales se tiene estibado al asbesto-cemento que se quiere curar.

El procedimiento que se sigue al hacer el curado del asbesto-cemento es muy sencillo y lo podemos explicar en los siguientes pasos:

Una vez salida la lámina del horno de fraguado y extraído sus moldes de formación, ésta es colocada directamente sobre los carros en que sera introducida a los autoclaves para su curado final, La lámina permanece sobre los carros por espacio de 24 horas de tal manera que adquiera cierto endurecimiento con objeto de que al entrar en contacto con el vapor, el cual se condensará al juntarse con la lámina, el agua formada no ablande al asbesto-cemento.

Una vez transcurrido éste tiempo los carros son introducidos a los autoclaves y se empieza el llenado con vapor. Este llenado demora alrededor de dos horas. Se toma éste tiempo para no producir calentamientos excesivamente rápidos sobre la superficie de la lámina, acción que nos conduciría a la producción de tensiones en el seno del material. Además, de ésta manera tenemos la adicional ventaja de no necesitar calderas extremadamente grandes.

Una vez sujeto a la presión de trabajo el material permanece dentro de los autoclaves un tiempo variable que depende de los grosores del material que se está curando. Puesto que en el caso de la lámina los espesores no varían grandemente se ha normalizado un tiempo de 12 horas bajo presión.

Terminado éste lapso empieza la depresión del autoclave, la cual, también con el objetivo de evitar fatigas en el material, se lleva a cabo en más o menos dos horas.

Sumados los tiempos parciales, vemos que el material permanece en total dentro de las autoclaves unas 16 horas. El curado así obtenido es más intenso que el que se tiene al cabo de 28 días de fraguado húmedo.

Una vez extraída la lámina de los autoclaves, ésta se deja enfriar al contacto con el aire atmosférico. En realidad nunca se ha observado que existan diferencias apreciables entre distintos tiempos de enfriamiento del material, por lo cual éste factor parece innecesario normalizarlo.

#### V . 4.- " CARACTERISTICAS DEL VAPOR Y CAPACIDAD NECESARIA "

Como ya se mencionó anteriormente, el vapor le proporciona al asbesto-cemento calor, lo que acelerará el proceso de curado de la mezcla. A su vez el vapor proporciona la humedad suficiente para hidratarlo y por último, a causa de su presión, se evita que sus geles ya formados pierdan agua y se destruyan.

De lo anterior podríamos deducir que a medida que elevamos la temperatura del vapor y por consiguiente su presión, mientras que no alcancemos la región de los vapores sobrecalentados en donde no se podría evitar la fuga del agua de hidratación se acelerará el proceso de fraguado todavía más.

Sin embargo esto acarrea ciertas dificultades, por un lado tenemos el aumento del costo del vapor y por el otro tenemos que al elevar mucho la temperatura se observa en las estructuras cristalinas que son cada vez más gruesas, lo que provoca una disminución de la resistencia a la compresión del cemento. Esto es debido a que por causa del mayor grosor de los cristales éstos serán menos numerosos y luego en el material curado se nos habrán formado menos cantidad de eslabonamientos entre los geles. Creo conveniente citar al ingeniero Czernin a éste respecto \*.

" ..... Los valores correspondientes a un producto idéntico curado a temperaturas de 250 ° C, registran una disminución en la resistencia del material de 50 a 70 % en comparación con curados normales " .

\* CZERNIN W.- " Cement Chemistry and Physics for civil Engineers " - Página 56.- Crosby Lockwood & Son.- 3ra. Edición- London 1962.

Desde luego, continúa diciendo éste autor, los aumentos en los espesores de los cristales pueden reducirse agregando sílice - finamente molida al producto, pero una reducción de tal orden (50 al 70 %) no puede ser contrarrestada por la sílice.

Es por lo anterior que vemos que la gama de temperaturas a las cuales se pueden efectuar curados bajo vapor a presión - con resultados iguales o superiores a los curados normales con convencionales, se nos ha reducido grandemente. La temperatura y su correspondiente presión de saturación que dan el resultado - más conveniente desde todos los puntos de vista, ha sido objeto de rigurosos estudios y según los datos más recientes que se han podido recopilar, se deduce que  $340^{\circ} \text{F}$  ( $171^{\circ} \text{C}$ ) es un valor preferido. A éste valor corresponde una presión de 118 PSI, es decir 8.30 Kg/cm<sup>2</sup> ABS.

Una vez encontradas las características del vapor que habremos de necesitar para el curado, podemos hacer un breve cálculo de la capacidad de las calderas que serán necesarias.

Para la actual producción de láminas de asbesto-cemento se dispone en la planta de seis autoclaves cada uno de 43.10 metros de longitud y de un diámetro interior de 2.00 metros. Este largo nos permite introducir 10 carros llenos de material. El peso aproximado de cada autoclave incluyendo su puerta es de 50 toneladas.

En cada carro como máximo pueden estitarse 2.8 toneladas de lámina y el peso propio de cada carro es de muy aproximadamente 1,000 kilos. Puesto que anteriormente mencionamos que es posible introducir 10 carros, cada vez tendremos un peso total de  $10 \times 2.80 = 28$  toneladas de asbesto-cemento en cada autoclave. Además éste material contiene humedad en un porcentaje aproximadamente igual a un 20 % del peso total. Es por todo ésto que en el autoclave tendremos:

a).-  $28,000 \times 20/100 = 5,600$  Kgs. de agua.

b).-  $28,000 \times 80/100 = 22,400$  Kgs de A-C.

c).-  $6 \times 10 \times 1,000 = 60,000$  Kgs de Acero.

Estas tres materias serán las que habrá necesidad de calentar con el vapor. Veamos ahora cuales son sus calores específicos medios : \*

a).- Para el Agua  $1.0 \text{ Cal/Kg } ^\circ \text{C}$

b).- Para El Asbesto-Cemento  $0.21 \text{ Cal/Kg } ^\circ \text{C}$

c).- Para El Acero  $0.11 \text{ Cal/Kg } ^\circ \text{C}$

Desde luego en cuanto al agua deberemos tomar en cuenta el cambio de estado que ésta sufre.

Pasemos ahora la cantidad de calor necesaria para alcanzar la temperatura de  $171^\circ \text{C}$  como condición inicial tomaremos que el material se introduce a una temperatura de  $20^\circ \text{C}$ .

a).- Para El Agua.

I).- Elevación De La Temperatura Hasta La Ebullición.

$$q = c (AT) w$$

En Donde:

q = Cantidad de calor en kilo calorías.

c = Calor específico medio.

AT = Incremento de temperatura  $^\circ \text{C}$ .

w = Peso del material a calentar en kilos.

\* Tomados Del Marks L.S.- "Mechanical Engineers Handbook".- McGRAW HILL Edición- New York 1971.

Tomando valores se tiene:

$$Q = I \times (100-20) \times 5,600$$

$$Q = 448,000 \text{ CAL.} \text{-----(1)}$$

2).- Cambio De Estado.

De las tablas de vapor de Keenan And Keyes, a

$$171^{\circ} \text{ C} = 340^{\circ} \text{ F}$$

$$h_g = 1190.1 \text{ Btu/Lb.}$$

$$h_f = 311.1 \text{ Btu/Lb.}$$

Luego:

$$h_g - h_f = 879 \text{ Btu/Lb.}$$

y en unidades métricas:

$$879 \times 0.252 \times 2.2 = 487 \text{ CAL/Kg.}$$

Entonces:

$$Q = 487 \times 5,600 = 2,720,000$$

$$Q = 2,720,000 \text{ CAL.} \text{-----(2)}$$

b).- Para El Asbesto-Cemento.

$$Q = 0.21 (171 - 20) 22,400 = 710,000$$

$$Q = 710,000 \text{ CAL} \text{-----(3)}$$

c).- Para EL Acero.

$$Q = 0.11 (171 - 20) 60,000 = 987,000$$

$$Q = 987,000 \text{ CAL} \text{-----(4)}$$

Sumando los calores parciales (1) (2) (3) (4), tenemos un total de:

$$Q = 4,865,000 \text{ CAL.}$$

Ahora si recordamos lo ya indicado, de que se queria subir la temperatura en un intervalo de 2 horas, entonces tendremos:

$$\frac{4,865,000}{2} = 2,432,500 \quad \text{CAL/HORA}$$

Y si lo expresamos en caballos caldera tendremos:

$$\text{CAPACIDAD} = \frac{2,432,500}{8,436} = 288 \text{ C.C.}$$

Esta capacidad es solamente para llenar un autoclave, como ya se indicó en la planta se dispone de 6. aunque nunca se llenan dos simultáneamente, lo que si sucede es que mientras en uno se esté subiendo la presión, los otros esten llenos. Ahora, a causa de la conducción y radiación de calor, se tendrán ciertas pérdidas, lo mismo que por escapes de vapor que pudiesen existir. Calculemos el caso más critico de 5 autoclaves llenos y uno en proceso de levantar presión.

Encima de los autoclaves se tiene un aislante de lana de escoria, luego un fieltro de lana y por último una delgada capa de -- Asbesto-Cemento, calculemos las pérdidas.

La temperatura más crítica aquí en la ciudad de México la podemos tomar como 5 ° C pues es muy rara la vez que se observan temperaturas inferiores, entonces:

Recordemos la fórmula para transmisión de calor a través de cilindros:

$$Q = \frac{K}{E} \times 2 \pi L R_m (T_i - T_e)$$

En donde:

$Q$  = CANTIDAD DE CALOR PERDIDO EN KILO CALORIAS

$K$  = COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TERMICA.

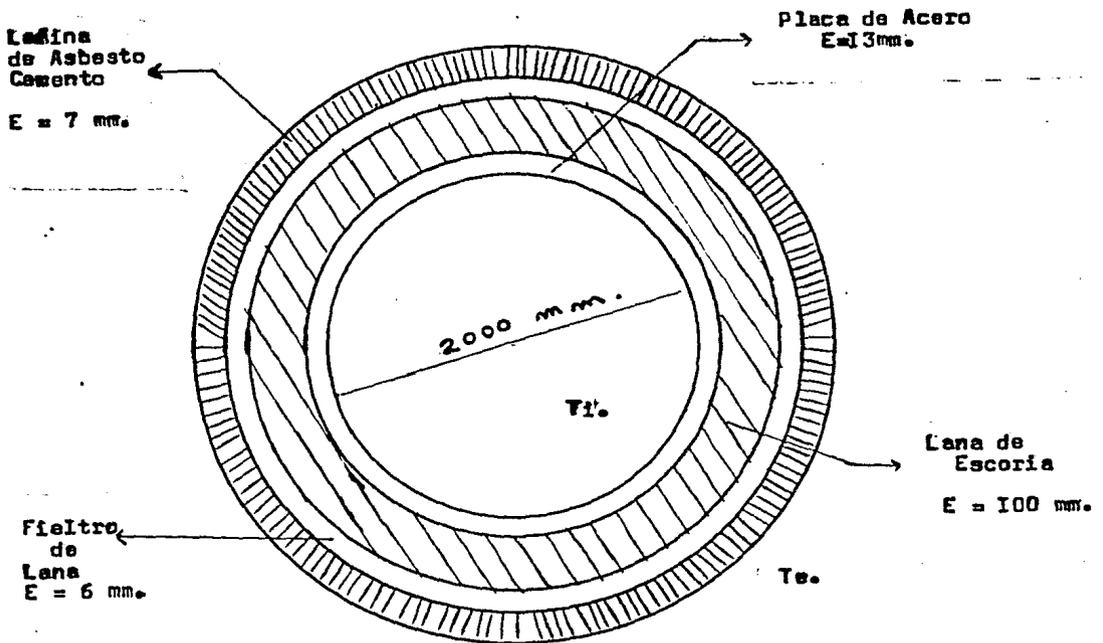
$E$  = ESPESOR DE LAS CAPAS EN M.

$L$  = LONGITUD DEL CILINDRO EN M.

$R_m$  = RADIO MEDIO DEL CILINDRO.

$T_i$  = TEMPERATURA INTERNA.

$T_e$  = TEMPERATURA EXTERNA.



En éste caso por ser el espesor muy pequeño en comparación con el radio del cilindro se puede tomar la media aritmética.

Entonces tenemos:

$$Q = \frac{K}{0.126} \quad 2 \pi \times 43.10 \times 1.063 (171 - 5)$$

En cuanto al coeficiente de conductividad térmica, éste lo tendremos que calcular puesto que tenemos varias capas aislantes.

$$\frac{I}{K} = \frac{E_1}{K_1} + \frac{E_2}{K_2} + \frac{E_3}{K_3} + \frac{E_4}{K_4}$$

En Donde: \*

$K_1$ :	PARA EL ACERO	40 CAL. m/hora m <sup>2</sup> oC.
$K_2$ :	PARA LANA DE ESCORIA	0.06 m/hora m <sup>2</sup> oC.
$K_3$ :	PARA FIELTRO DE LANA	0.03 m/hora m <sup>2</sup> oC.
$K_4$ :	PARA ASBESTO-CEMENTO	0.10 m/hora m <sup>2</sup> oC.

Luego:

$$\frac{I}{K} = \frac{0.013}{40} + \frac{0.010}{0.06} + \frac{0.006}{0.03} + \frac{0.007}{0.10}$$

$$\frac{I}{K} = 0.00032 + 1.67 + 0.5 + 0.07$$

$$\frac{I}{K} = 2.240032$$

$$K = 0.446 \text{ CAL. m/hora m}^2 \text{ o C.}$$

Ahora volviendo a nuestra anterior ecuación:

\* Datos tomados del Marks I.S. "Mechanical Engineers Hand Book" Mc Graw Hill New York 1971 y Transformados AL Sist. Metrico.

$$Q = \frac{0.446}{0.126} \times 2 \pi \times 43.10 \times 1.063 \quad (171 - S)$$

$$Q = 168,000 \quad \text{CAL.}$$

Esto es el calor perdido en solo uno de los autoclaves, luego la pérdida total será:

$$5 \times 168,000 = 1,008,000 \quad \text{CAL.}$$

Y en su equivalente en caballos caldera:

$$\frac{1,008,000}{8436} = 120 \quad \text{C C}$$

Es decir que aparte de los 288 caballos necesarios para llenar una caldera, se requieren 120 más para mantener las condiciones es decir en total se necesitan : 408 caballos caldera.

En la planta se dispone de 3 calderas de 150 caballos cada una, de ésta manera se ve que se puede cubrir perfectamente los requerimientos máximos de vapor, aún en el caso más crítico. Notemos que en los momentos en que se hayan llenado totalmente todos los autoclaves se puede trabajar con solo una de las calderas, la que proporcionará el vapor necesario.

#### V . 5.- ESTABILIDAD QUIMICA DEL PRODUCTO A-C FRAGUADO EN AUTOCLAVE.

La rápida expansión que cualquier tipo de industria ha tenido en los últimos 100 años, ha sido acompañada por la búsqueda incesante de productos para el techado de sus naves que sean más durables en éste campo.

La naturaleza misma del uso de las láminas, requiere un material tenga larga vida de operación con un mínimo de requisitos de mantenimiento y reparación. Los puntos principales de resistencia y contra

incendios, así como las consideraciones económicas de servicio, han guiado las investigaciones con mayor frecuencia hacia un estudio de las condiciones del medio que afectan a los techados de lámina.

En el desarrollo humano, aparece con frecuencia la siguiente pregunta: ¿ Cual juega un papel más importante, el medio o la herencia ? quizás éste es el sistema apropiado para tratar la estabilidad de la lámina. La herencia, considerada con respecto a la formulación, la fabricación y el fraguado. El medio, considerando cualquier condición agresiva de los factores de la atmosfera al cual puede estar expuesto.

En los últimos 25 años, la lámina de asbesto cemento tratada en autoclave, ha adquirido una posición como producto de calidad en el terreno de techado, llenando dos requisitos básicos de servicio. primero, resistencia estructural para resistir las cargas externas a las cuales es expuesta al ponerse en uso y ; segundo la durabilidad para resistir a los agentes destructivos de erosión (químicos y físicos ) que pueden encontrarse bajo condiciones normales de operación. El cumplir con estos dos requisitos, asegura un producto con larga vida de servicio necesaria para los techados.

Aún cuando con frecuencia se supone que una gran resistencia indica una larga duración, las condiciones del medio ambiente dan lugar a veces a ataques químicos atmosféricos que afectan considerablemente la durabilidad en muchos productos de lámina en servicio. Fué en la búsqueda de un método que no solo aumentara la resistencia de la lámina en el proceso de fabricación, si no que asegurara una mayor estabilidad química durante su servicio, por lo que Johns-Manville lle adoptó el proceso de fraguado en autoclave tanto para la formulación del producto como para el fraguado del mismo. Este proceso da mucho mayor estabilidad fisico-química que la obtenida por otros procesos de fraguado, Johns-Manville fué uno de los primeros en usar este método, aún cuando los beneficios de mayor estabilidad química de un producto han sido reconocidos desde hace mucho tiempo por investi-

gadores en asuntos relacionados con el asbesto-cemento, tal como el cemento portland, los tabiques de arena y cal y los productos de concreto.

Sin embargo, es sabido que algunos de los productos del cemento portland y los productos metálicos en general están expuestos en ciertos medios a ataques de mayor o menor trascendencia, - producidos por sulfatos o ácidos.

Los tres principales tipos de ataque que se presentan en los productos de cemento portland, son:

Ataque por ácidos, por sulfatos, y por combinación química debida a los ataques ácidos consistentes en que se disuelve - la cal de la pasta de cemento hidratado.

El ataque de sulfatos consiste en las reacciones químicas con los productos de hidratación del cemento. Estas reacciones se acompañan del aumento en volumen que destruye la estructura molecular de la pasta y causa su desintegración. La combinación química, es otra forma de ataque causada por la acción solvente del agua sobre la cal que se encuentra en los productos de hidratación del cemento. El proceso de autoclave da una mayor durabilidad contra los tres tipos de ataque.

En ésta parte de la tesis presentaré a los ingredientes y - procesos básicos en la fabricación de la lámina, que aseguran una mayor resistencia del producto en los medios agresivos a los cuales está expuesto al ponerse en servicio; y comparaciones con la lámina de asbesto-cemento fraguada normalmente.

#### V. 6.- PROCESO DE AUTOCLAVE.

El proceso de autoclave básico para la producción de lámina, es aquel correspondiente al uso de alta temperatura y vapor a alta

de refuerzo en el concreto armado.

El cemento portland, bajo la acción del agua en la mezcla, forma una pasta que rodea completamente las fibras de asbesto y las une en una masa sólida de gran densidad.

La sílice molida finamente, presenta una combinabilidad química a altas temperaturas, con la cual se forma en el proceso de hidratación del cemento para así formar más material cementante. Aquella que no sufre reacción, actúa también como agregado.

El agua constituye el medio líquido para transportar otros materiales en el proceso de fabricación. Provee la humedad que necesita el cemento portland para dar como resultado una densa y resistente pasta de silicatos y alúminas hidratadas de calcio.

El peligro de ataque de agentes químicos destructivos sobre la pasta de cemento portland, es casi nulo, ya que la fibra es inerte y resistente químicamente. Por lo tanto es importante discutir el papel que representa el cemento portland y la pasta de cemento en gran detalle.

#### V . 8.- CEMENTO PORTLAND.

El cemento portland es el producto obtenido pulverizando clinker consistente esencialmente de silicatos hidratados de calcio en pequeñas cantidades de yeso el cual es usado para controlar el tiempo de fijación de las reacciones de agua en el cemento para obtener el clinker a partir de silicatos hidratados de calcio, se mezclan perfectamente y se calculan en un horno, aproximadamente 2,700 °F, controlando cuidadosamente las proporciones de cal, alúmina, sílice y fierro.

Aún cuando existen pequeñas cantidades de varios componentes --

de refuerzo en el concreto armado.

El cemento portland, bajo la acción del agua en la mezcla, forma una pasta que rodea completamente las fibras de asbesto y las une en una masa sólida de gran densidad.

La sílice molida finamente, presenta una combinabilidad química a altas temperaturas, con la cual se forma en el proceso de hidratación del cemento para así formar más material cementante. Aquella - que no sufre reacción, actúa también como agregado.

El agua constituye el medio líquido para transportar otros materiales en el proceso de fabricación. Provee la humedad que necesita el cemento portland para dar como resultado una densa y resistente pasta de silicatos y alúminas hidratadas de calcio.

El peligro de ataque de agentes químicos destructivos sobre la pasta de cemento portland, es casi nulo, ya que la fibra es inerte y resistente químicamente. Por lo tanto es importante discutir el papel que representa el cemento portland y la pasta de cemento en gran detalle.

#### V . 8.- CEMENTO PORTLAND.

El cemento portland es el producto obtenido pulverizando clinker consistente esencialmente de silicatos hidratados de calcio en pequeñas cantidades de yeso el cual es usado para controlar el tiempo de fijación de las reacciones de agua en el cemento para obtener el --- clinker a partir de silicatos hidratados de calcio, se mezclan perfectamente y se calculan en un horno, aproximadamente 2,700 °F, controlando cuidadosamente las proporciones de cal, alúmina, sílice y fierro.

Aún cuando existen pequeñas cantidades de varios componentes --

menores en el cemento portland, los cuatro componentes básicos en que estamos interesados debido a su comportamiento de largo alcance, pueden ser dados en fórmulas sintéticas como sigue: (  $C_3S$  ) silicato tricálcico, (  $C_2S$  ) silicato dicálcico, (  $C_3A$  ) aluminato tricálcico, y (  $C_4AF$  ) aluminato de fierro tricálcico.

La cantidad del componente  $C_3S$ , es el factor de control para empezar a dar resistencia a la pasta de cemento portland en unos 28 días; el componente  $C_2S$  imparte resistencia entre los 28 días y los 6 meses y después; el  $C_3A$  hace una pequeña contribución a la resistencia del primer día, pero es el componente vulnerable al ataque de los sulfatos. El  $C_4AF$ , dá una contribución despreciable a la resistencia, pero es una ayuda en el proceso de fabricación.

A través de los años, se han ido desarrollando cementos portland especiales, para uso y obtención de la ventaja de una u otra cualidad de los anteriores componentes y a la fecha, encontramos que la asociación americana de pruebas de materiales (ASTM), en su especificación C-150 sobre el cemento portland, tiene 5 diferentes tipos de cemento, como se indica enseguida:

**TIPO I** Para uso en construcciones de concreto en general, cuando no se requieren las cualidades especiales especificadas para los tipos II, III, IV y V.

**TIPO II** Para uso en construcciones de concreto en general, expuestas a la acción de sulfatos o donde un calor moderado de hidratación es requerido.

**TIPO III** Para uso donde se requiere una alta y temprana resistencia.

**TIPO IV** Para uso donde se requiere un bajo calor de hidratación.

**TIPO V** Para uso cuando se necesite una alta resistencia a los sulfatos.

Es importante comprender que las especificaciones anteriores para cemento, son para usarse en concreto fraguado bajo condiciones normales. Mas adelante se demuestra que el proceso de auto-clave con el cemento tipo I y la sílice sólida, resulta con una estabilidad química igual o mejor contra sulfatos, que el que rinde el del tipo de cementos especiales II y V, bajo condiciones normales de fraguado. Los cementos de tipos I, II, y III, son fabricados por lo general de los fabricantes de cemento portland. El tipo IV es producido por un limitado número de compañías para estructuras especiales, tales como presas, donde el bajo calor interno reduce el peligro de agrietamientos debido a la temperatura. El tipo V, es rarasamente producido porque las materias primas necesarias no existen en todas las áreas.

Los tipos anteriores se producen con o sin aditivos que admiten aire, los cuales ayudan a la resistencia a la deteriorización mecánica debida a los ciclos alternativos de congelamiento y descongelación.

#### **V.9.- PASTA DE CEMENTO**

Puesto que la pasta de cemento portland endurecida es el elemento más crítico del producto, susceptible de ser atacado, merece una investigación más amplia. En ella radica la base de la estabilidad química del producto resultante y los efectos del proceso de auto-clave.

Las reacciones que forman la pasta y eventualmente producen -

una masa dura, son la interacción de los silicatos y aluminatos con agua en la formación de los productos de hidratación. Según avanzan las reacciones, la interacción de los granos de cemento con el agua producen una estructura de gel alrededor de los granos que gradualmente tiende a llenar el espacio original del agua, según avanza el fraguado.

Se le llama estructura de gel por el tamaño de las partículas formadas, que tiene el alcance coloidal ( un centésimo de centímetro) Casi al principio del proceso de hidratación, puede uno visualizar un sistema conteniendo granos de cemento parcialmente hidratados, rodeados de una estructura creciente de gel, según continúa la hidratación. Algo del material cristalino (hidróxido cálcico), también está presente y el balance del espacio es llenado por agua con una menor cantidad de aire ocluido. Después solo queda una pequeña cantidad de cemento no hidratado. La formación de más material de gel cristalino, ha dado mayor resistencia a la estructura del gel primario. Dependiendo de la relación del cemento y del agua, el gel puede haber llenado completamente el volumen original del agua de la pasta y pueden haber también cavidades capilares resultantes de la evaporación del cemento y del agua, el gel puede haber llenado completamente el volumen original del agua de la pasta y pueden haber también cavidades capilares resultantes de la evaporación del agua de la pasta. Las cualidades resultantes de la pasta de cemento en cualquier tiempo, tal como la durabilidad, resistencia, permeabilidad y la contracción, están influidas por la fineza y la composición del cemento, la mezcla, el porcentaje de agua en relación al cemento y el muy importante aspecto de tiempo/temperatura del ciclo empleado en el fraguado.

La cantidad de productos de la reacción formados en las primeras etapas de hidratación, es influenciada por la temperatura del fraguado; mayores temperaturas producen más productos. Esto a su vez aumenta la resistencia y hace que los productos sean más impermeables. El ciclo de fraguado de tiempo/temperatura, en el proceso de autoclave, es la base de la estabilidad química del producto -

resultante.

Además de los beneficios de un producto menos permeable a ésta temperatura, se agregan los productos adicionales de la reacción -- formados por la sílice y la cal libre y por la eliminación de la -- cal libre susceptible de ser atacada químicamente.

#### V. 10.- FRAGUADO EN AUTOCLAVE VS FRAGUADO NORMAL

Para obtener el total significado de los beneficios del tratamiento de autoclave, es necesario comparar los productos resultantes con un producto de cemento fraguado por el proceso normal o de vapor. El fraguado normal puede ser considerado como fraguado a presión atmosférica en la cual la humedad está disponible para la hidratación del cemento. El fraguado de vapor en la industria de productos de cemento, está generalmente interpretado como fraguado a presión atmosférica, usando el vapor como el medio de fraguado. El fraguado por autoclave significa fraguado con vapor a alta presión, dentro de un depósito cerrado a presión.

El uso de un material porolánico tal como la sílice molida que es uno de los materiales que en la formulación del producto causan una reacción secundaria con los productos primarios de la hidratación del cemento. Esto provee una mayor cantidad de material cementante.

Las reacciones del cemento y del agua, son complejas y los productos de reacción del autoclave son substancialmente diferentes de aquellos fraguados normalmente o por vapor a presión atmosférica, los cuales para todo propósito práctico, son iguales.

Esta es la diferencia en los productos de reacción, que forman la base de la mayor estabilidad química de la lámina, tratada en autoclave, sobre aquellos materiales que no han sido tratados en esta forma.

V. 11.- REACCION QUIMICA DE LOS PRODUCTOS EN  
HIDRATACION DEL CEMENTO.

El siguiente cuadro compara las fórmulas del material y las reacciones del autoclave con los materiales fraguados normalmente:

	<u>FRAGUADO NORMAL</u>	<u>FRAGUADO EN AUTOCLAVE</u>
Mezclas usadas	Fibra de asbesto, cemento portland.	Fibra de asbesto, sílice molida y cemento portland.
Condiciones de fraguado.	Fraguado a presión atmosférica.	Fraguado a alta presión 100 ° A 150 P X pulg.2 por 16 hrs. después de fraguar en humedad y temperatura controladas por 24 hrs.
Componentes reactivos del cemento C <sub>3</sub> S (silicato tricálcico )	Productos de la reacción: convertido en un gel amorfo C <sub>3</sub> S y cal libre (cristales de hidróxido de calcio)	Productos de la reacción tanto el C <sub>3</sub> S como el C <sub>2</sub> S son convertidos en hidratos totalmente cristalinos del C <sub>3</sub> S y C <sub>2</sub> S. cal libre formada en la reacción primaria reacciona con la sílice molida para formar monosilicato de calcio estable en una reacción secundaria.
C <sub>2</sub> S (silicato dicálcico )	reacciona lentamente a formar C <sub>2</sub> S hidratado y con algunas trazas de cristales de hidróxido de calcio.	

C<sub>3</sub> A (aluminato  
tricálcico)

Una reacción rápida  
para formar cristales  
de planos hexagonales.

Formación de pequeños  
cristales de forma -  
isométrica o cúbica -  
los cuales forman nuevos  
compuestos estables  
llamados "hidro  
garnets" con los silicatos  
y el fierro del  
C<sub>4</sub> A F.

C<sub>4</sub> A F (Ferro  
aluminato tricálcico)

reacciona rápidamente  
para formar cristales  
planos hexagonales de  
C<sub>3</sub> A y óxido ferroso  
hidratado.

El proceso de autoclave ha contribuido a la estabilidad química reduciendo el contenido de cal libre de 13-18 % a menos del 1 % en los productos no tratados en autoclave. La cal libre es el componente susceptible a combinarse y el que primero atacan los medios en que existen sulfatos y ácidos.

Una mayor estabilidad química ha sido obtenida por la formación de "Hidrogarnets" estables que no son tan reactivos con los sulfatos como sucede con los productos fraguados normalmente. La formación de productos menos reactivos de sílice y los productos terminados de permeabilidad reducida, aumentan también la estabilidad contra el ataque químico.

Debido a la diferencia en los productos de hidratación que se forman, indicados más arriba, existe una diferencia correspondiente en los efectos resultantes para las condiciones agresivas a las que se ve sometido el producto durante su vida útil.

La comparación de los efectos de éstos medios agresivos en los materiales fraguados tanto en autoclave como normalmente se citan a continuación:

<u>MEDIO</u>	<u>FRAGUADO NORMAL</u>	<u>FRAGUADO EN AUTOCLAVE</u>
Sulfatos: Sulfato de sodio	Reacciona con la cal libre para dar el sulfato de calcio un aumento en volumen de - 200 % con su consiguiente relajamiento.	Cal libre despreciable, por consecuencia, el aumento en volumen son debilitamientos despreciables también.
Sulfato de calcio	Reacciona con el C <sub>3</sub> A hidratado y el C <sub>4</sub> AF para dar sulfo aluminatos ferrosos de calcio con un aumento de volumen de 250% y el consiguiente debilitamiento.	Los "Hidrogarnets" formados en el autoclave son altamente resistentes al ataque de sulfatos.
Sulfato de magnesio	Reacciona con la cal libre para dar sulfato de calcio con un aumento de 200% y el consiguiente debilitamiento.	Cal libre despreciable, por lo tanto, el aumento en volumen y debilitamiento es despreciable también.
Sulfato	Reacciona con el C <sub>3</sub> A y el C <sub>4</sub> AF hidratados para dar sulfo-aluminato férrico de calcio, esta reacción produce descomposición para producir sulfatos de calcio con su consiguiente expansión y debilitamiento.	Los " Hidrogarnets" estables formados en éste proceso son altamente resistentes al ataque de sulfatos.

Combinación	La cal libre fácilmente soluble en el agua, se disuelve lentamente y ocurre la descomposición del cemento.	Cal libre despreciable. por lo tanto, la acción soluble es variable.
Agua Acidulada ( $\text{CO}_2$ sin combinar. )	El ácido carbónico reacciona con el carbonato de calcio formado con cal libre y $\text{CO}_2$ para producir bicarbonato de calcio y la disolución gradual de la pasta del cemento la cal existente en silicatos y en aluminatos es extraída más lentamente.	Cal libre despreciable por lo tanto, la acción soluble es despreciable, los silicatos hidratados e "Hidrogarnets" tienen una forma más estable y la cal es extraída muy lentamente.

Los investigadores químicos de diferentes especialidades han encontrado que los productos tratados en autoclave son más estables químicamente que los materiales fraguados normalmente.

Más adelante tenemos una lista de los extractos de varios investigadores que certifican el mejor comportamiento de los productos -- tratados en autoclave ante medios químicamente adversos.

Los productos de asbesto-cemento usada en las técnicas de fraguado tanto normal como de autoclave, fueron expuestos a la acción de las aguas del Lago Medicine en Dakota Del Sur (E.U.A.), por períodos hasta de 24 años. Esta agua es excepcionalmente agresiva sobre productos ordinarios de cemento, ya que tiene un contenido alto de sulfatos, mediando entre 5 y 8 % con 2/3 de las sales totales del sulfato de magnesio, 1/4 de sulfato de sodio y el resto una mezcla de distintas sales presentes en menores cantidades.

La condición sumamente deteriorada del material con fraguado normal en los últimos años, evitó pruebas de compresión cuyos resultados - no hubieran tenido ningún significado. Sin embargo, un aspecto interesante de la muestra tratada con autoclave, fué el aumento en resistencia a la compresión de 8,320 lb por pulgada cuadrada del primer año, a 14,590 Lb. por pulgada cuadrada después de 24 años, un aumento en resistencia a la compresión de más de 77%. Debe ser enfatizado que cualquier concreto que da una gran resistencia después - de 10 años de exposición a las aguas sulfatadas del Lago Medicine, puede ser clasificado como altamente resistente al sulfato.

Ciertamente el comportamiento de las muestras de los productos asbesto-cemento tratadas con autoclave, garantizan la clasificación como producto extremadamente resistente al sulfato.

En resumen podremos decir que la resistencia al sulfato, a la combinabilidad y a las aguas aciduladas, de los productos de asbesto-cemento, es determinada por la durabilidad y la estabilidad química de la pasta de cemento. La formulación y el fraguado de auto--clave asegura una pasta de cemento más resistente y durable por:

- 1.- La eliminación de cal libre que es más susceptible al ataque.
- 2.- La formación de silicatos de calcio estables en forma de cristales.
- 3.- La formación de "Hidrogarnets " estables.

La formulación y el fraguado en autoclave de los productos asbesto-cemento, produce un producto superior ya que ha sido mejorada su estabilidad química contra los cambios de volumen del ataque de sulfatos y de los efectos químicos y de combinabilidad de las aguas.

V. 12.- EXTRACTOS DE LAS INVESTIGACIONES SOBRE  
EL FRAGUADO POR AUTOCLAVE.

Menzel, dice que el concreto tratado y fraguado por alta presión difiere del fraguado por humedad (normal), al grado en que las reacciones primarias entre el cemento y agua, son reemplazados por reacciones secundarias entre el hidróxido de calcio liberado durante la hidrólisis y la hidratación del cemento y las partículas de sílice aumentadas en la mezcla.

Thorvaldson y Woldchow, encontraron que el eliminar la cal libre puede ser el factor principal para la mayor resistencia al sulfato en muestras fraguadas por vapor a alta presión.

Lea, dijo que la mayor resistencia del mortero al ataque de los sulfatos era primeramente debido a la supresión de la reacción  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ , a través de la eliminación de cal libre.

Pearson, en un discurso ante ingenieros y arquitectos de Roanoke, Va. en 1940, dijo que la reacción principal que ocurre en el fraguado con vapor a alta presión que no ocurre en el fraguado normal, es la combinación de cal y sílice para formar un silicato cálcico. Esta reacción se acompaña no solo de la mayor resistencia sino, más importante en algunos casos para ciertos usos, el hidróxido de calcio libre que es más susceptible al ataque químico que los otros ingredientes del concreto, se fija ahora como un compuesto más estable e insoluble.

A altas presiones de vapor los silicatos en la presencia de alumina y fierro forman una serie de compuestos llamados "Hidrogarnets". Estos compuestos que contienen cal, alumina, sílice, fierro y agua de cristalización, son muy estables y altamente resistentes a la acción de soluciones de sulfatos.

De estudios hechos sobre una serie de "Hidrogarnets", los señores Flint, Mc Murdie y Wells encontraron éstas resistentes a la acción de los sulfatos y propusieron que el aumento de resistencia a los

sulfatos resultantes del fraguado del mortero del cemento-portland , por vapor de alta presión , era debido a la formación de éstos "Hidrogarnets " .

Los silicatos de calcio hidratado aparecen como materiales amorfos con apariencia de gel en el cemento hidratado a temperaturas ordinarias, pero bajo fraguado a alta presión, se vuelven compuestos - cristalinos.

Estos silicatos cristalinos de calcio se forman de:

a).- Los productos de hidratación de los silicatos tricálcicos y beta dicálcicos que se encuentran originalmente en el cemento.

b).- La reacción al sílice (material silicoso agregado al cemento, tal como la sílice molida), y el hidróxido de calcio sin - combinar (resultante de la hidratación del tricálcico y del silicato beta dicálcico).

Lea y Deach, determinaron que la resistencia del mortero del cemento y concreto a cualquier tipo de aguas sulfatadas, es considerablemente aumentado por el fraguado con vapor a alta presión. El concreto fraguado con vapor a alta presión, lo hace completamente resistente a la acción del sulfato de sodio y calcio y aumenta notablemente la resistencia al sulfato de magnesio.

Los siguientes resultados fueron obtenidos por Lea en su investigación de fraguado de alta presión y resistencia a sulfatos:

PORCENTAJE DE EXPANSION EN SOLUCIONES SULFATADAS

(Porciones de mezcla - I Cemento Portland, I Arena Molida, y 5 Arena Cernida )

SOLUCION

7 DIAS DE HUMEDAD

7 hrs. A 183 ° C

<u>SOLUCION</u>	<u>7 DIAS DE HUMEDAD</u>	<u>7 Hrs. A 183 ° C</u>
5 % Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.24 % EN 8 SEMANAS	0 % EN 200 SEMANAS
5 % MgSO <sub>4</sub>	0.49 % EN 8 SEMANAS	0 % EN 200 SEMANAS

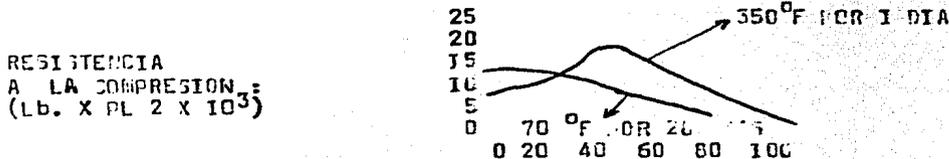
Pruebas muy comprensibles acerca de los factores que influyen la resistencia del concreto al ataque de aguas sulfatadas, han sido llevadas a cabo por el señor Miller, para el Departamento De Agricultura de los Estados Unidos.

Los resultados indican que el fraguado de concreto a vapor en altas presiones, aumenta la resistencia del mismo al grado que, bajo las mejores condiciones fué obtenida una inmunidad casi completa a la acción de sulfatos durante 17 años.

Lovine, en 1944, como presidente del comite 716 del A.C.I. de terminó que el fraguado por vapor a alta presión desarrollaba una mayor resistencia a la acción de los sulfatos.

Menzel, encontró que las muestras fraguadas con vapor a alta presión, tenían una excelente resistencia a las soluciones del 2 % de sulfatos de sodio y magnesio. Además encontró que una mayor resistencia a la compresión, se obtenía con muestras sometidas a fraguado con vapor a alta presión, que con el fraguado normal, tal como se demuestra por la siguiente información:

RESISTENCIA DE PIEZAS FRAGUADAS CON HUMEDAD Y CON VAPOR A ALTA PRESION.



Porcentaje de sílice en la mezcla (0-200 sílice comida)

Levino; como presidente del comité A.C.I. 716, dijo que en lo que se refiere al fraguado por vapor a alta presión:

1.- Las fuerzas de compresión de las piezas fraguadas con vapor a alta presión en un día, son por lo menos igual a aquellas fraguadas en humedad en 28 días.

2.- La resistencia inicial elevada en unidades fraguadas a alta presión, es permanente.

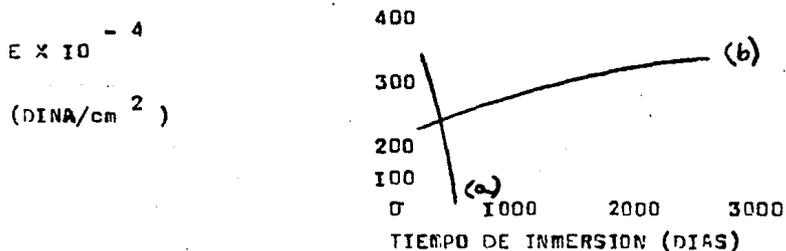
Nurse en 1949, dijo que además de un aumento en la resistencia de los sulfatos, ocurre un aumento más rápido de resistencia debido a las más altas temperaturas.

Con ciertos agregados, ocurre una reacción entre la cal y la sílice del cemento y del agregado y la resistencia puede ser desarrollada en exceso de lo predecible sólo debido al efecto de aumento en la hidratación.

Menzel, también encontró que por lo general, el concreto fraguado a vapor a altas presiones (mezclas de cemento y sílice molida) tiene una excelente resistencia al congelamiento y descongelamiento particularmente en lo que se refiere a superficies expuestas. Piezas fraguadas a vapor en altas presiones, fueron superiores a aquellas fraguadas normalmente después de 40/50 ciclos de congelamiento y descongelamiento.

Van Aerdt, demostró que los morteros del cemento fraguados por autoclave eran más durables ante un contenido de 5 % de sulfatos de sodio que los fraguados por agua, como se demuestra en la siguiente gráfica :

RELACION ENTRE EL MODULO DINAMICO DE ELASTICIDAD Y EL  
TIEMPO DE INMERSION EN UNA SOLUCION DE Na<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> AL 5%



(a) FRAGUADO CON AGUA A 78 DIAS.

(b) FRAGUADOS CON AUTOCLAVE A 150 LB/PLG<sup>2</sup> X 6 HRS.

El comité C-17 del ASTM, confirmó por pruebas que el autoclave reduce el hidróxido de calcio sin combinar y reduce la expansión del producto fraguado por autoclave, en comparación al normal, cuando se expone a medios sulfatados según se demuestra a continuación:

PRODUCTO	FRAGUADO	Ca (OH) <sub>2</sub> %	EXPANSION EN LA SOLUCION de Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , A LA EDAD INDICADA - %		
			28 D.	3 m.	8 m.
ASBESTO- CEMENTO	EN AGUA 28 DIAS	9.6	0.047	0.080	0.113
ASBESTO- CEMENTO- SILICE.	VAPOR A ALTAS PRESIONES	0.2	0.019	0.030	0.037

El reporte del Dr. Lea, nos dá una excelente informaci3n sobre el efecto del fraguado a vapor a alta presi3n en la resistencia a sulfatos de los morteros de piedra caliza y de arenas de silicio respectivamente, como se demuestra en la siguiente tabla:

PROPORCIONES DE LA MEZCLA EN PESO	FRAGUADO	SOLUCION ALMACENADA	SEMANAS DE ALMACENAJE	PORCENTAJE DE EXPANSION.
I CEMENTO PORTLAND " A "	7 DIAS	$\text{Na}_2 \text{SO}_4$	8	0.24
I ARENA MOLIDA * 6 18-25 ARENA CERNIDA	AGUA A 18 °C	$\text{Mg SO}_4$	8	0.49
I CEMENTO PORTLAND " A "	AUTOCLAVE 7 HRS.	$\text{Na SO}_4$	200	CERO
I ARENA MOLIDA * 6 18-25 ARENA CERNIDA	AUTOCLAVE 7 HRS. 183.5 °C	$\text{Mg SO}_4$	200	CERO
I CEMENTO PORTLAND " A "	AUTOCLAVE 7 HRS. 183.5 °C	$\text{Na}_2 \text{SO}_4$	20	0.28
I CALIZA MOLIDA * 6 18-25 CALIZA CERNIDA *	AUTOCLAVE 7 HRS. 183.5 °C	$\text{Mg SO}_4$	8	0.04

\* A TRAVES DE LA CALLA D.S. 170.

Yang y Blair, probaron la resistencia al sulfato de los productos de asbesto-cemento usando fraguado normal y de autoclave con cemento del tipo I y  $\bar{V}$ , en cada proceso. La tabla precedente, muestra el cemento del tipo I con autoclave es tan resistente al sulfato como el tipo  $\bar{V}$  con autoclave y que el autoclave en cualquiera de los casos es superior al fraguado normal. Además la reducción de la cantidad de cal libre por medio del autoclave, es ilustrada en su columna de porcentaje de cal libre.

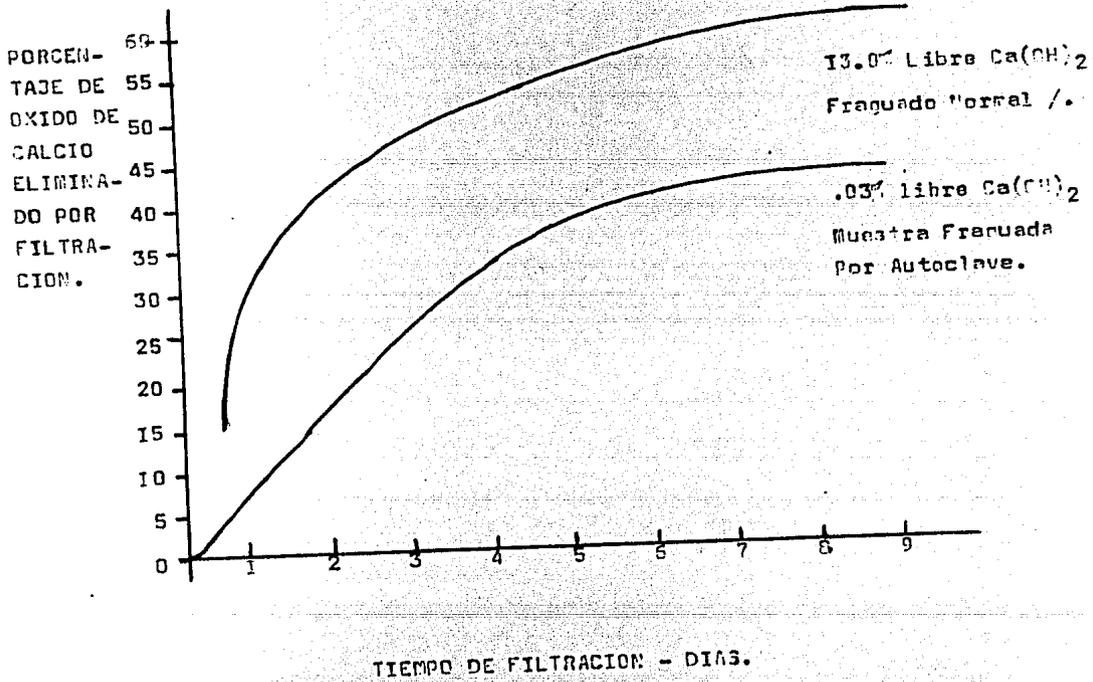
INFORMACION DE LA PRUEGA-CONTENIDO DE CAL LIBRE Y RESISTENCIA AL SULFATO EN CEMENTOS FRAGUADOS NORMALMENTE Y EN AUTOCLAVE.

TIPO DE FRAGUADO	SILICE-CEMENTO	TIPO DE CEMENTO	PORCENTAJE DE CAL LIBRE.	PRUEBA DE RESISTENCIA AL SULFATO-DURO DE RE-CLAMACIONES DE LOS E.U.A - <u>PORCENTAJE TOTAL DE EXPANSION DESPUES DE 28 CICLOS.</u>
AUTOCLAVE		I	0.4	0.03
I25 X PSI	0.5/I.0			
I6 HR3.		V	0.5	0.03
FRAGUADO NORMAL	0.0/I.0	I	15.5	0.16
BAJO EL AGUA		V	13.7	0.11
28 DIAS				

También trataron con agua de bicarbonatos , muestras trituradas de los productos de asbesto-cemento fraguados tanto normalmente como por autoclave conteniendo .03 y 13 % de cal libre, respectivamente.

Se descubrió que después de 9 días, un 54 % del total de cal libre - había sido eliminada de la muestra de fraguado normal, como se muestra a - continuación:

Ca(OH)<sub>2</sub> eliminada de muestras de asbesto-cemento, por un filtramiento continuo de la muestra pulverizada con agua de bicarbonato. \*



\* AGUA DE BICARBONATO:  
 Na HCO<sub>3</sub>      2.2 gpl.  
 Na CI          2.5 gpl.  
 CO<sub>2</sub>          AGREGADA PARA LLEGAR  
                  A UN PH DE 6.1

## C A P I T U L O VI

### " TIPO DE TECHOS Y ARMADURAS PARA NAVES INDUSTRIALES "

#### VI. I.- DIFERENTE TIPO DE TECHOS

Las naves industriales en cuanto a su techo se refiere, se diseñan principalmente de acuerdo al criterio de los siguientes factores:

- a).- Uso o destino de la Nave industrial.
- b).- Area de luz natural requerida.
- c).- Viento dominante del lugar.
- d).- Diseño arquitectónico.

- a).- Uso o destino de la Nave industrial.

El área y altura de un techo está determinada principalmente por su destino el cual variara mucho pues en la industria tenemos una gran gama de diferentes ramas de producción como son: La siderúrgica, metálica, automotriz, química etc... Asi como las diferentes bodegas para almacenar productos de las mismas; cabe mencionar los hangares los cuales hay de todos tipos según sus funciones ya sea como taller de reparación y mantenimiento (aviones, avionetas, helicópteros etc.. ) simplemente para resguardar de los implementos atmosféricos.

Como podemos ver el área que va a estar cubierta por un techo no tan solo se limita al aspecto industrial pues según su uso y destino del área podrian ser diferentes actividades y necesidades del ser humano como son: comerciales, bodegas, talleres, deportivos (tribunas), pistas de patinaje de diversión (arenas de box y lucha, cines ) etc... .

- b).- Area de luz natural requerida.

De acuerdo al uso y destino del área por cubrir por un techo en una Nave industrial, comercial, almacenamiento, recreativa etc.. - determinaran las áreas de luz solar necesaria que por ella penetre; de tal manera que muchas de ellas requieren de tanta luz que solamente podra diseñarse tanto en forma horizontal como vertical. Sin embargo existen otras naves que para su buen funcionamiento de operación es necesario que no penetre la luz natural o tan solo parcialmente.

c).- Viento Dominante Del Lugar.

El viento es un factor importante en el diseño de un techo pues en algunas naves requerirá de espacios libres o ventilas con control para el suministro de oxígeno en los mismos; Así como también el clima y lugar geográfico (nivel del mar; montaña ) son determinantes - pues hay lugares donde los "tolvaneras", "torbellinos", "rafagas " e inclusive "huracanes " producen en el techo presiones altas causadas por los factores de "barlovento" y "sotavento ". Todos estos factores de la naturaleza derivados del viento debiera tomarlos muy en cuenta el proyectista pues de su eficiente diseño dependera las acciones que el viento tome sobre el techo ya que por si, por ejemplo va a tener muchas chimeneas cilíndricas o aspectos curvos en su diseño arquitectónico hay que tomarlo muy en cuenta pues provocaria sobre el techo coeficientes de presión considerables ya que los vertices del modelo de "Von Karman " causarían esfuerzos alternantes sobre el techo.

d).- Diseño Arquitectónico.

El factor estético y agradable de un techo es también muy importante tanto para la parte interna como externa de la nave; ya que por su uso y destino como es en el caso de los centros comerciales y recreativos se debe de tomar muy en cuenta en la decisión de su diseño. En algunos otros casos existe que por la topografía y belleza del lugar se-

requiere que armonice con su habitat, de tal manera que el arquitecto a veces tome la decisión muchas veces de ocultar dicho techo (externamente con pretilos y bardas arquitectónicas o internamente con plafones) perimetralmente.

Por lo anteriormente descrito, puede existir una gran variedad en los tipos de techado, en los que en algunos de ellos requeriran de un estudio especial y que por lo tanto para éste objetivo concreto de ésta Tesis solo mencionaremos algunos de los tipos más importantes y comunes, como los que a continuación se mencionan:

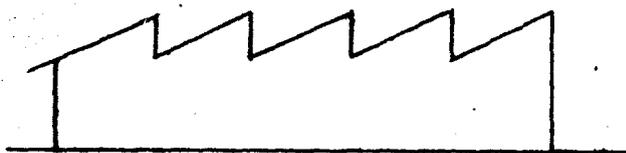
I.-      TECHO A UNA AGUA.



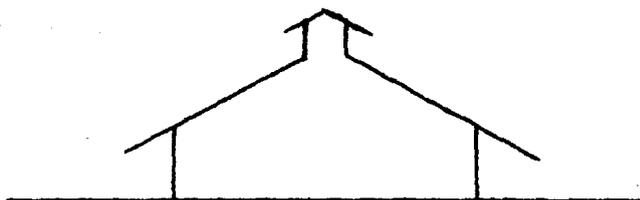
2.-      TECHO A DOS AGUAS.



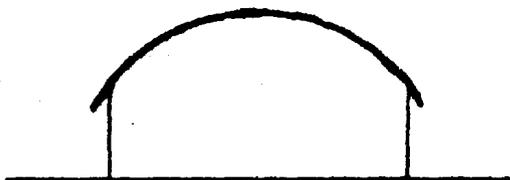
3.- TECHO DIENTE DE SIERRA.



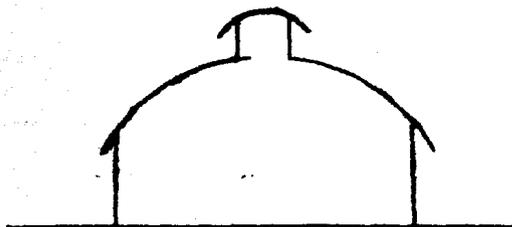
4.- TECHO A DOS AGUAS CON LINTERNILLA.



5.- TECHO CURVO.



6.- TECHO CURVO CON LINTERNILLA.

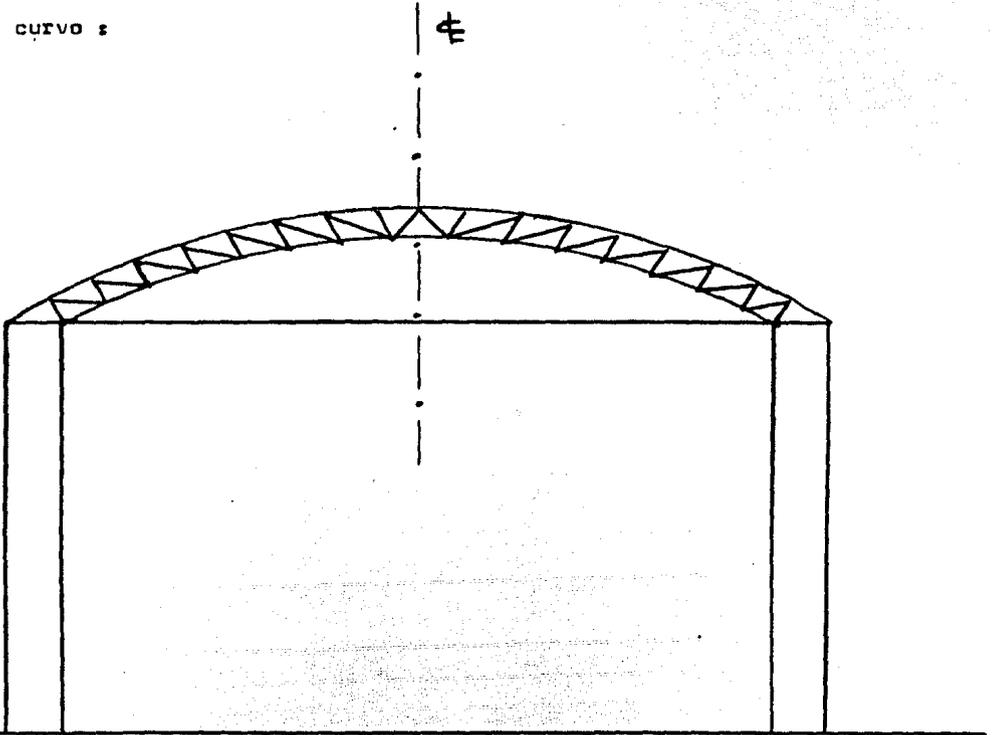


VI. I. A.- TECHOS CURVOS.

Los principales factores que determinan el diseño de un techo curvo son por lo anteriormente descrito y en su orden de importancia para este caso:

- I.- Diseño Arquitectónico.
- II.- Uso o Destino De La Nave Industrial.
- III.- Viento dominante del lugar.
- IV.- Area de Luz Natural Requerida.

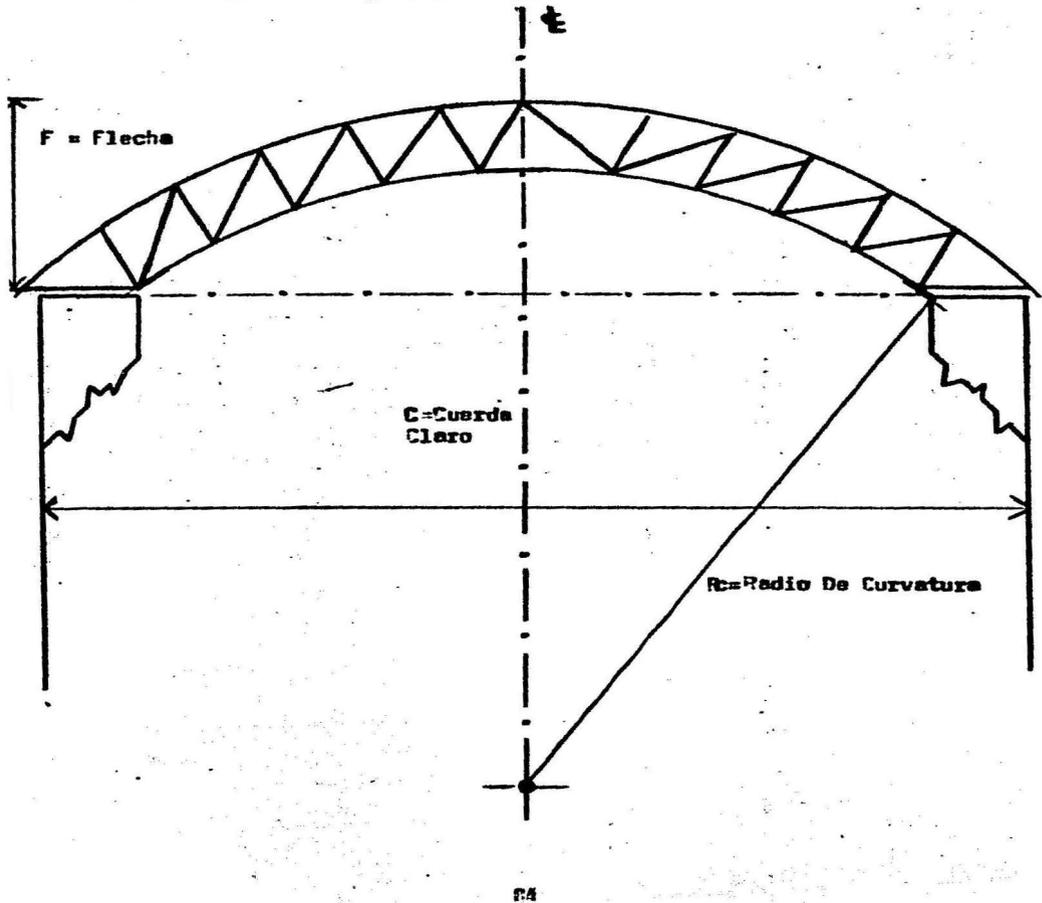
A continuación se muestra el prototipo clásico de un techo curvo :



VI.I.B.- CALCULO DE RADIO DE CURVATURA

La determinación del radio de curvatura de un techo es importante pues de éste cálculo dependerá el número de curvatura correspondiente para la lámina más adecuada de dicho techo.

De la siguiente figura se tiene :



Por el teorema de Pitágoras se tiene :

$$Rc^2 = \left(\frac{c}{2}\right)^2 + (Rc - f)^2$$

$$Rc^2 = \frac{c^2}{4} + Rc^2 - 2 Rc f + f^2$$

$$Rc^2 - Rc^2 + 2 Rc f - f^2 = \frac{c^2}{4}$$

$$f (2 Rc - f) = \frac{c^2}{4}$$

$$2 Rc - f = \frac{c^2}{4f}$$

$$2 Rc = \frac{c^2}{4f} + f$$

$$2 Rc = \frac{c^2 + 4 f^2}{4 f}$$

$$Rc = \frac{c^2 + 4 f^2}{2 (4 f)}$$

$$Rc = \frac{\frac{c^2}{4} + \frac{4 f^2}{4}}{2 f}$$

Por lo tanto :

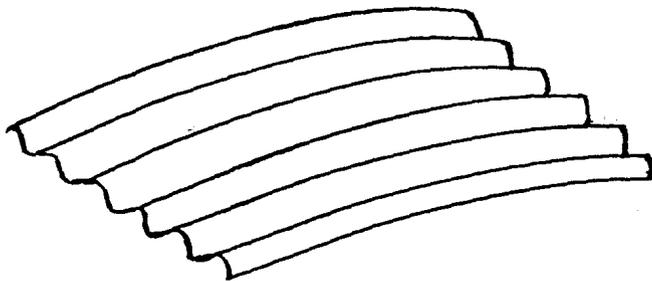
$$Rc = \frac{\frac{c^2}{4} + f^2}{2 f}$$

Ejemplo.- Si tenemos los siguientes datos en una estructura;  
C = 20 m. y  $f = 2$  m. calcular el radio de curvatura correspondiente:

$$R_c = \frac{\frac{(20)^2}{4} + (2)^2}{2(2)} = \frac{\frac{400}{4} + 4}{4} = \frac{100 + 4}{4} = \frac{104}{4}$$

$$R_c = 26 \text{ m}$$

Con el anterior dato podemos determinar de acuerdo a la "Tabla de radios de curvatura" de láminas que se fabrican, que la más adecuada es la # 25



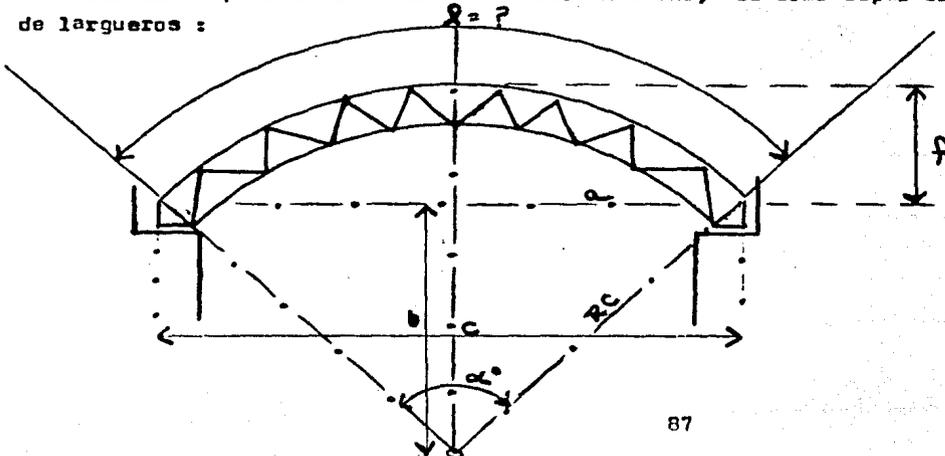
LAMINA ONDULADA CURVA.

TABLA DE RADIOS DE CURVATURA - FLECHA DE LAMINA

DCC.	RFAL	FLECHA DE LA LAMINA F. EN MM. LONGITUD LAMINA "L"						
		3660	3050	2440	2150	1830	1524	1220
10	Min. 10.00	167	115	74	60	42	30	19
	Máx. 11.50	143	101	64	50			
12	Min. 11.50	145	101	64	50	31	21	
	Máx. 13.50	123	86	54	40			
15	Min. 13.50	123	86	54	40	31	21	
	Máx. 16.50	101	71	44	30			
18	Min. 16.50	101	71	44	30	19		
	Máx. 21.00	80	54	34				
25	Min. 21.00	80	54	34	19	19	9	9
	Máx. 30.00	57	39	24				
38	Min. 30.00	57	39	24	19	9	*	*
	Máx. 45.00	34	25					
60	Min. 45.00	34	25	8	6	*	*	*
	Máx. 90.00	12	10					

DESARROLLO DEL ARCO

Nos sirve para obtener áreas exactas en techo, así como separación de largueros :



Partimos de que  $RD = 360^\circ \therefore \alpha = l$  o sea :

$$\frac{RD}{l} = \frac{360^\circ}{\alpha^\circ} \therefore l = \frac{RD \alpha}{360^\circ} \text{ (MTS. )}$$

$$\text{TAN } \frac{\alpha}{2} = \frac{\frac{C}{2}}{Rc - f} \quad \text{ANG TAN } \frac{\alpha}{2} = \frac{\frac{C}{2}}{Rc - f}$$

Ejemplo :

Calcular el desarrollo de arco en una estructura de techo curvo que tiene los siguientes datos :

- C = 20.00 m.
- f = 2.00 m.
- Rc = 26.00 m.

Substituyendo y aplicando fórmulas se tiene :

$$\text{TAN } \frac{\alpha}{2} = \frac{\frac{C}{2}}{Rc - f} = \frac{10}{24} = 0.41666$$

Consultando la tabla de funciones naturales :

$$\text{ANG TAN } (0.41666) = 22^\circ 35' \therefore \alpha = 45^\circ 10'$$

Aplicando la fórmula de "l" y substituyendo

$$l = \frac{RD \times \alpha^\circ}{360^\circ} = \frac{3.1416 \times 52.00 \times 45.1666}{360}$$

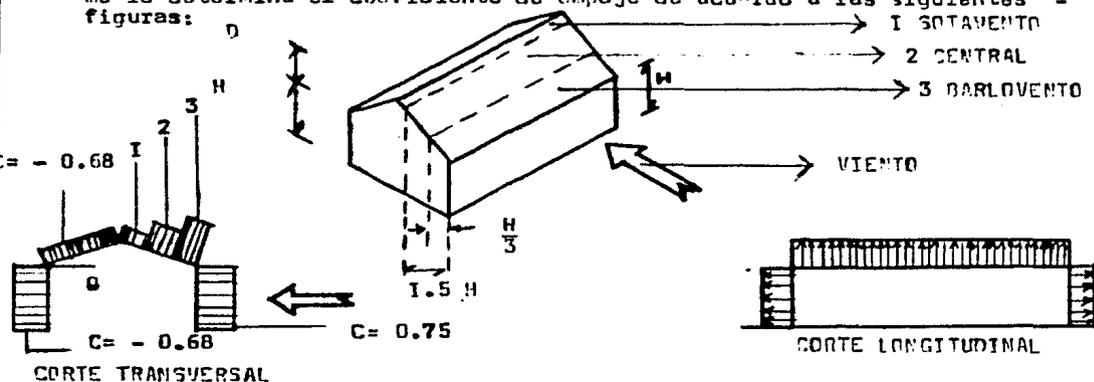
$$L = \frac{153.3632 \times 45.1566}{360} = \frac{7378.5603}{360} = 20.4960 \text{ m.}$$

$$L = 20.4960 \text{ m.}$$

### VI.I.C.- PENDIENTE DE UN TECHO

Para el buen funcionamiento de un techo es importante calcular los factores del clima como son :

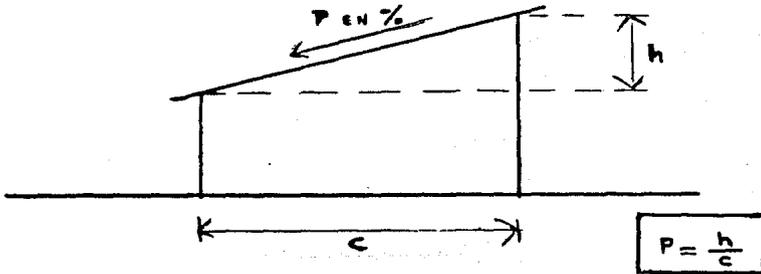
a).- VIENTO.- Pues según determinemos su pendiente así serán las presiones actuantes sobre el techo y por ende de toda la estructura; como lo determina el coeficiente de empuje de acuerdo a las siguientes figuras:



θ	VALORES DE C			SUPERFICIE DE SOTAVENTO
	SUPERFICIE DE BARLOVENTO			
	Z O N A S			
	DE BARLOVENTO	C E N T R A L	DE SOTAVENTO	
• < 65°				
D/H < 0.3	- 1.75 ± 0.055	- 1 ± 0.028	- 0.4 ± 0.019	
D/H = 1.0	D/B ≤ 0.75	0.8 D/B ≤ 0.75	0.5 D/B ≤ 0.75	- 0.68
> 65°	0.75	0.75	0.75	- 0.68

b).- LLUVIA.- El regimen plúviométrico es importante considerarlo pues con los datos obtenidos podremos diseñar una pendiente adecuada de tal manera que el techo sea eficiente para desalojar sus aguas con velocidad que no provoque desgastes, levantamientos, y sobre todo filtraciones entre el traslape de las láminas; Además que ésta agua de lluvia no provoque con el tiempo distorsiones, alaveos u otros efectos secundarios sobre el canalon que conducirá a bajar y posteriormente depositar sobre el drenaje dichas aguas.

La forma para obtener la pendiente de un techo desde el punto de vista geométrico es como sigue :



Ejemplo.- Si tenemos que  $h = 1.20$  M. y  $C = 9.50$  M

$$p = \frac{1.20}{9.50} = 0.126 \quad \therefore \quad p = 12.6\%$$

Ejemplo. No.2.- Que desnivel hay que darle al local de la figura anterior para que tenga una pendiente de 15%, si su longitud  $C = 12.00$  MTS.

$$\frac{h}{c} = p \quad h = pc \quad h = 0.15 \times 12 = 1.80 \text{ M.}$$

$$\therefore \quad h = 1.80 \text{ M.}$$

=====

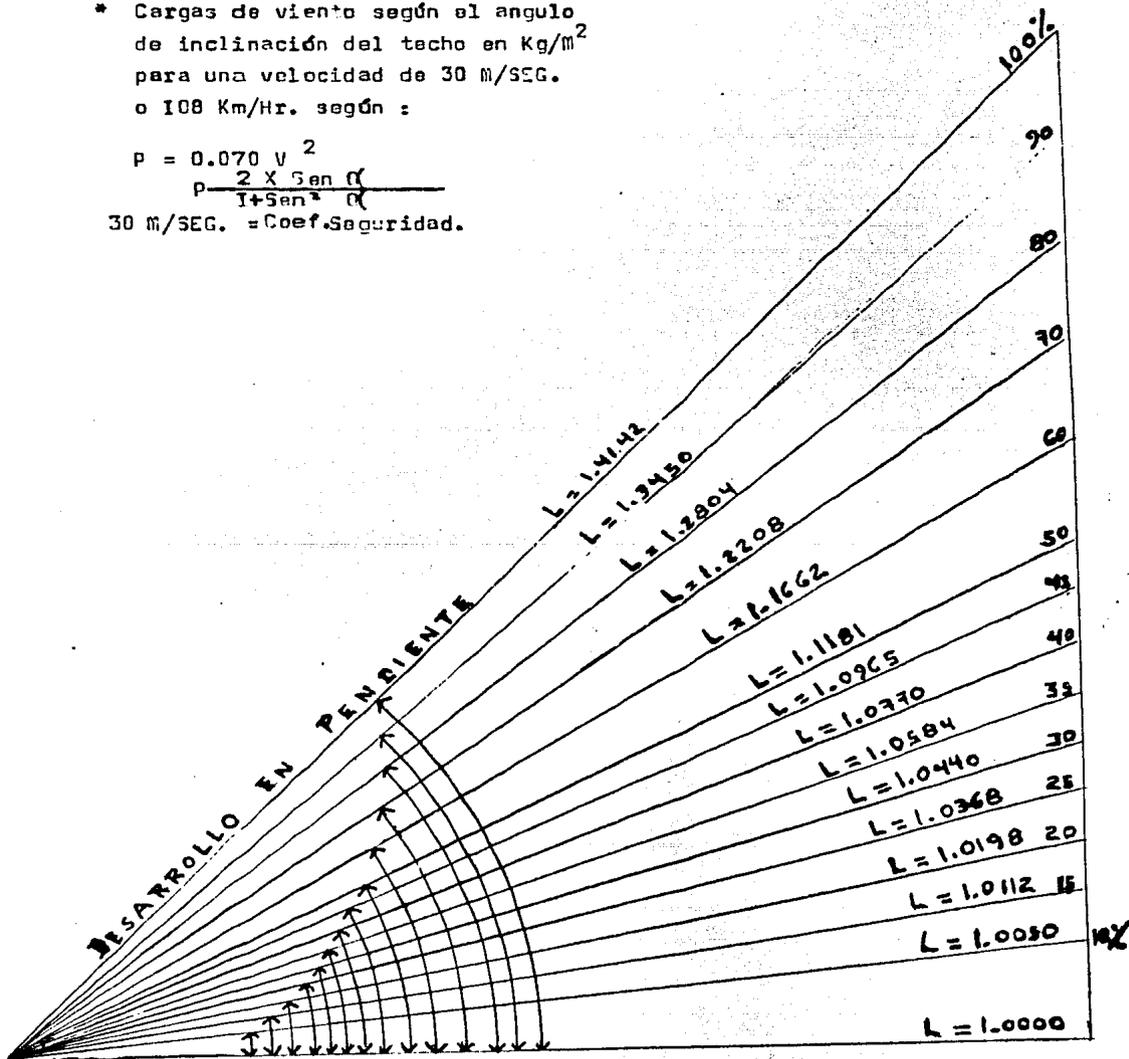
Gráfica de inclinaciones o pendientes desde 10 % al 100 % con valores de ángulos y longitud de hipotenusa.

- \* Cargas de viento según el ángulo de inclinación del techo en Kg/m<sup>2</sup> para una velocidad de 30 m/SEG. o 108 Km/Hr. según :

$$P = 0.070 V^2$$

$$P = \frac{2 \times \text{Sen } \alpha}{1 + \text{Sen}^2 \alpha}$$

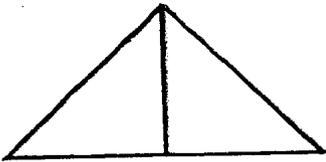
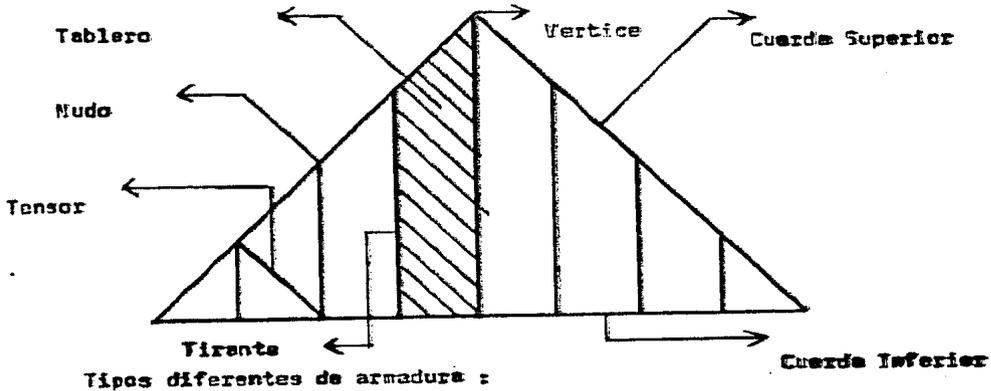
30 m/SEG. = Coef. Seguridad.



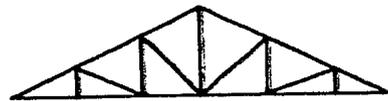
VI. 2.- TIPOS DE ARMADURA

La armadura es el elemento estructural que soporta el techado de tal manera que su diseño es determinado por los calculos estructurales sin embargo se mencionaran algunas de las más comunes; Las cuales por su ligereza y economía tienen mucho uso en el mercado.

Las partes más importantes de una armadura son :



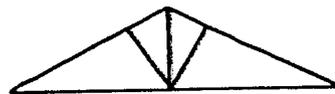
Armadura Simple



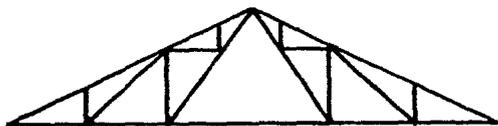
Española



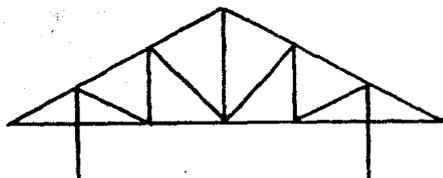
Polonceau Simple



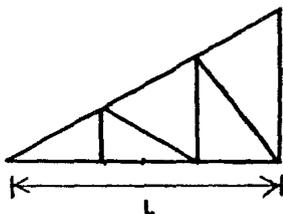
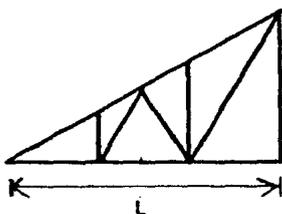
Simple Con Tornapunta



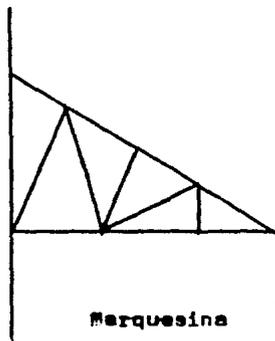
Polonceau Compuesta



Armadura Con Voladizo



H  
↓

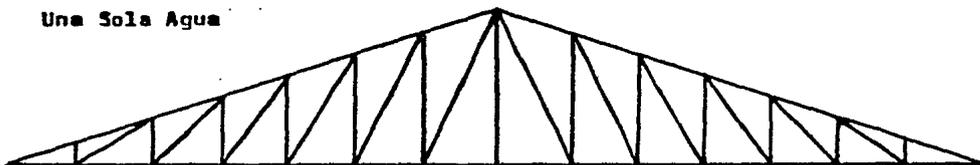


Marquesina

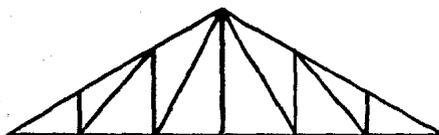
Dos Tipos De Diente De Sierra

$$H = \frac{L}{3} \text{ ) } \frac{L}{4} \text{ ) } \frac{L}{5} \text{ ) } \frac{L}{6} \text{ De " L "}$$

Una Sola Agua



Inglesa



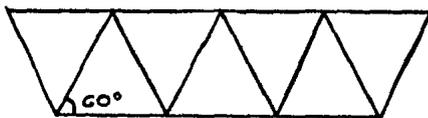
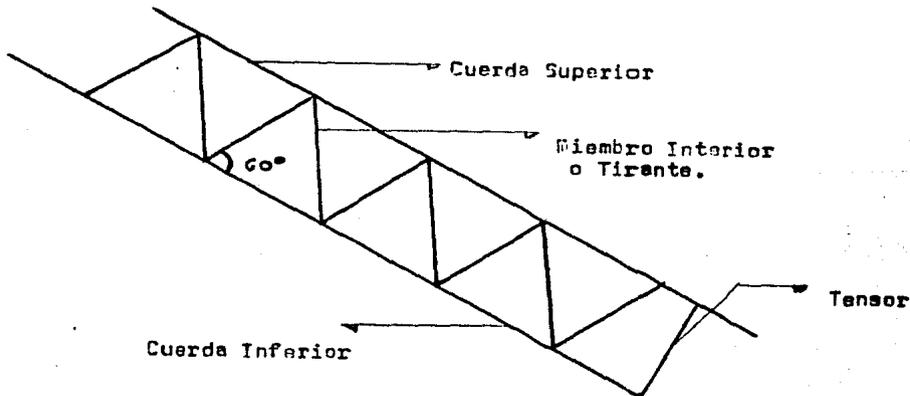
Belga

VI. 2. A.- TIPO DE LARGUEROS Y TRABES.

Los largueros y traveses son los elementos estructurales cuya función principal es la de sujetar la lámina y sostenerla para después - transmitir su carga a las armaduras en el caso de largueros y columnas en el caso de traveses, de acuerdo al diseño estructural establecido para la cubierta del techado.

Las dimensiones de éstos elementos son determinados de acuerdo al tipo de techo que vayan a sostener y que por lo mismo la Ingeniería de Estructuras se encarga de su diseño.

Mencionaremos aquí algunos de los más importantes, los cuales son:

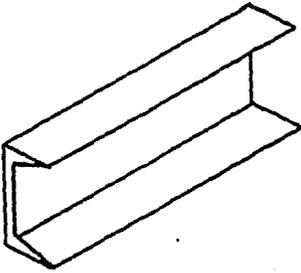


Larguero Tipo Macomber

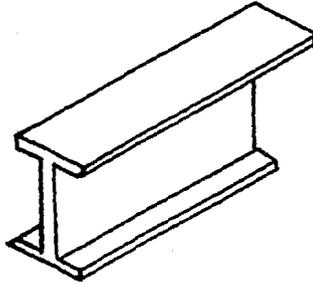


Larguero Tipo K.P.T.

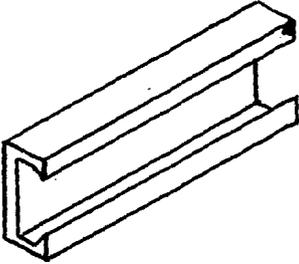
TRABES TIPO



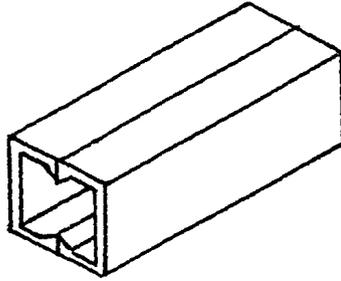
Canal



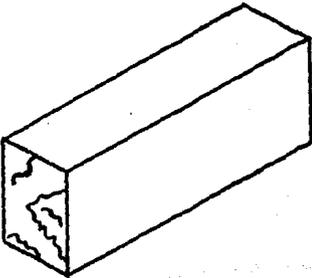
Vigueta



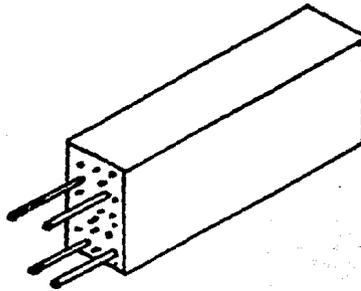
Mon - Ten



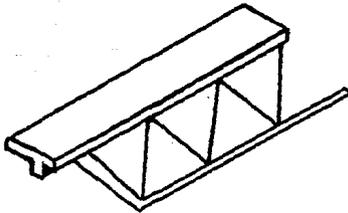
Mon - Ten Doble



Madera



Concreto



Armada Con Colesia.

## CAPITULO VII

### " SISTEMA DE COLOCACION DE LÁMINA EN TECHADOS "

#### VII.1.- " COLOCACION DEL TECHADO "

Los factores más importantes que hay que considerar en la colocación de la lámina en el techado son dos:

##### 1).- Tipo de lámina en el mercado.

Deberán tomarse los datos de las longitudes de la lámina - pues de éstas dependerá la que mejor se adapte al tipo de nuestra estructura y al mismo tiempo cubra el área requerida con la menor cantidad de lámina posible, minimizando así el costo del techado.

##### 2).- Distribución De Largueros.

Una vez determinada la lámina para la cubierta de la estructura, deberán distribuirse en ésta, los largueros que van a sujetarla y sostenerla, de la manera más adecuada como nos lo indican los incisos - que preceden.

Del criterio selectivo de éstos dos factores dependerá el éxito de una buena colocación tanto técnica como económica ya que se ahorrará mucha pérdida de material.

A continuación se dan a conocer las características, especificaciones, propiedades y medidas de las láminas de asbesto-cemento que produce la compañía " Asbestos De México, S.A. (Asbestolit) para llevar un solo criterio en la colocación del techado.

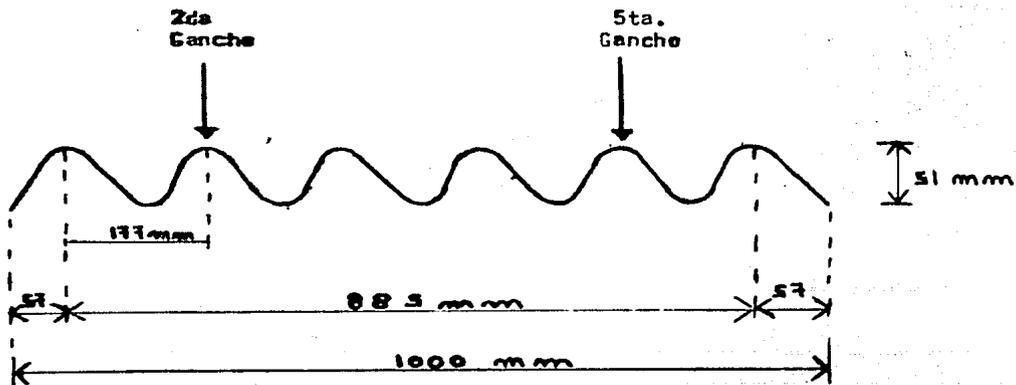
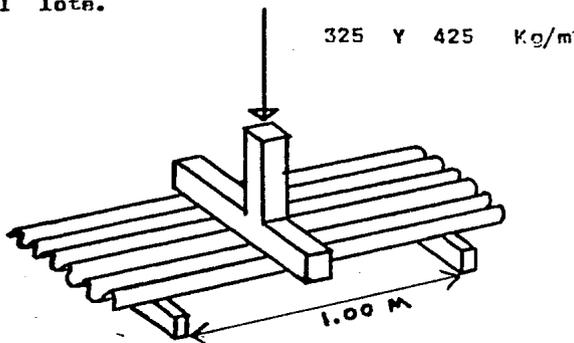
#### ESPECIFICACIONES Y PRUEBAS:

##### TOLERANCIAS :

EN EL ANCHO	±	10 mm.
EN EL LARGO	±	25 mm.
EN EL ESPESOR	-	0.5 mm.

Impermeabilidad.- Al efectuarse la prueba de las probetas no deberán aparecer gotas en su superficie inferior. Sin embargo se permiten que aparezcan manchas de humedad en la misma superficie.

Resistencia A La Flexión.- Las láminas se clasifican de acuerdo con su carga crítica de ruptura a la flexión en 325 y 425 Kg/m de ancho ensayadas en un claro de 1.00 m. entre centros de apoyo. Las probetas ensayadas deberán romperse a una carga no menor de la especificada por clasificación del lote.



Escuadrez.- Para comprobar ésta característica se miden las dos diagonales, la diferencia máxima entre éstas dos no deberá exceder a 20 mra.

Grietas.- Las grietas visibles de una profundidad mayor de 0.1 mm y un ancho de 1 mm causa el rechazo de la pieza.

Golpes Y Roturas.- Las láminas que tengan las esquinas rotas o cualquier defecto y que éste sea mayor de 40 X 20 mm hacia adentro, medida con respecto a una zona contigua sin defecto, causa el rechazo de la pieza. Se aceptan con una frecuencia de 5.

Depresiones O Protuberancias.- Las depresiones o protuberancias causadas por impurezas u otras causas que tengan una diferencia de 3 mm en la altura o profundidad medida con respecto a una zona adyacente sana y cuya área sea mayor de 25 X 25 mm. causaran el rechazo de la pieza.

Manejo E Instalación.- No se deberán de estibar más de 60 láminas por estiba. La lámina ya colocada deberá quedar sujeta en 4 puntos por los elementos de fijación.

Propiedades Físicas Y Químicas.- Estas láminas tienen alto poder aislante del frío y del calor, son incombustibles, no se oxidan, no se corroen ni se pudren.

Vease la siguiente tabla :

Densidad en seco. -----	1,300 Kg/m <sup>3</sup>
Absorción de agua. -----	33 %
Dureza Brinell (grados) -----	12.6
Expansión térmica. -----	1.0 mm/ML.

Expansión por humedad en un estado normal "seco al aire", hasta un estado saturado de agua -----	1.8 mm/m.
Contracción por humedad de un estado saturado de agua a un estado normal -----	2.3 mm/m.
Resistencia a la congelación y deshielo -----	Satisfactoria.
Temperatura límite por calentamiento prolongado -----	Estable hasta los 300° C.
Conductividad térmica promedio -----	$\lambda = 0.43 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$
Aislamiento al ruido en 5.5 mm -----	20 decibales.
Módulo de elasticidad -----	328,000 Kg/cm <sup>2</sup>
Esfuerzo específico para lámina ondulada standard en el sentido longitudinal -----	180 Kg/cm <sup>2</sup>
Esfuerzo específico para lámina ondulada standard en el sentido transversal -----	140 Kg/cm <sup>2</sup>
Esfuerzo a la flexión long. -----	* 70 Kg/cm <sup>2</sup>
Esfuerzo a la flexión transv. -----	* 100 Kg/cm <sup>2</sup>
Esfuerzo a la compresión. -----	* 500 Kg/cm <sup>2</sup>

\* Para cálculo con un coeficiente mayor de seguridad.

MEDIDAS - PARA LAMINA DE 6 ONDAS.

Vease la siguiente tabla:

Todas las láminas tienen un ancho de 1 m.

LONGITUD M.	PIES	SUPERFICIE EN M <sup>2</sup>		PESO EN Kg		PESO EN Kg		DISTANCIA ENTRE LARGUEROS
		ONDULADA	PROYEC	6.5 mm	ESPESOR	6 mm	ESPESOR	
		TOTAL	UTIL	TOTAL	UTIL POR M <sup>2</sup>	TOTAL	UTIL POR M <sup>2</sup>	
3.66	12							
3.05	10							
2.44	8	2.409	2.089	29.9	15.0	25.0	11.2	1.15
2.15	7	2.112	1.776	26.0	14.7	20.0	11.3	1.00
1.83	6	1.906	1.495	22.1	15.0	17.0	11.4	0.86
1.55	5	1.690	1.251	18.2	15.0	14.0	11.6	0.69
1.22	4	1.404	0.986	18.0	15.6	11.5	11.9	1.08

#### VII. 1. A.- INDICACIONES GENERALES.

Para una buena colocación de la lámina en los techados de las naves, deberá inspeccionarse primeramente la estructura (armaduras y largueros) de tal manera que estos deberán estar contenidos en las siguientes recomendaciones - para lograr una buena y eficiente colocación:

- a).- La pendiente del techado debera estar entre 20 a 36 % (20-36 CM/ - METRO ) .
- b).- Largueros espaciados a 1.15 mts. en todas las filas, excepto en la - primera o última, ya que ésta puede quedar a una distancia menor - de 1.15 m.

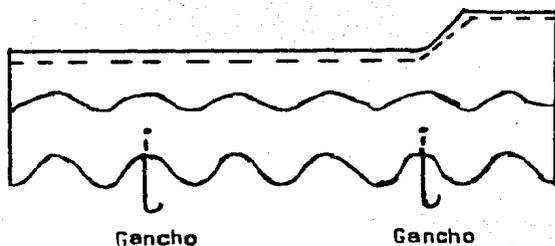
c).- Contando con éstas dos características se podrá usar en todas las filas menos en la última eventualmente lámina de 2.44 m (8'), ya que con ésta se logra que el techo resulte más económico, por el menor número de traslapes y menor número de largueros y ganchos.

d).- Cuando no sea posible usar lámina de 2.44m (8') veanse las tablas anteriores para separación de largueros; cual es la que mejor se adapta.

De la inspección anterior y tomando las recomendaciones mencionadas se podrá contar con una estructura de madera o de acero (fierro), de tal manera que siguiendo las indicaciones que a continuación se presentan, el proceso de techado con la lámina es generalmente sencillo y funcional dándole un techado más fuerte, más hermético y de mejor apariencia.

1.- Todas las láminas llevan 2 elementos de fijación, ya sean ganchos (varilla galvanizada) o clavos dependiendo del material del cual estén hechos los largueros. Ambos deberán colocarse en la 2da y 5ta. ondas de las láminas.

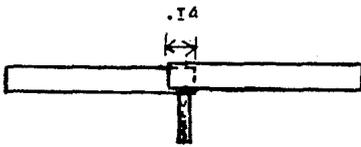
2.- Los caballetes usados en la cumbrera llevan siempre como elementos de fijación: Ganchos, 2 en cada lado, colocados también en 2da y 5ta ondas altas.



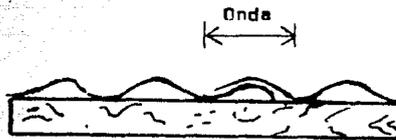
Caballete Articulado Macho

3.- Los agujeros correspondientes a los elementos de fijación deben hacerse siempre con broce de 1/2 pulg. de diam. para gancho - si es de 8 mm. (5/16 pulg.) o del clavo cualquiera que sea su diámetro.

4.- Los traslapes en sentido horizontal seran de 14 cm. como mínimo y en sentido vertical de una onda.

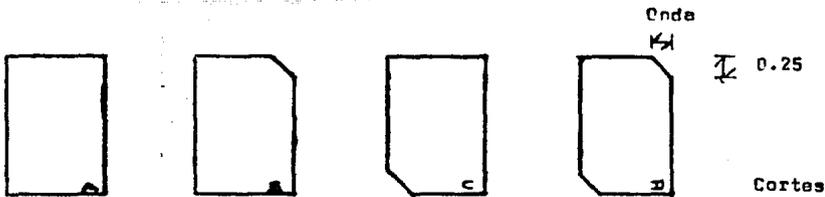


Horizontal

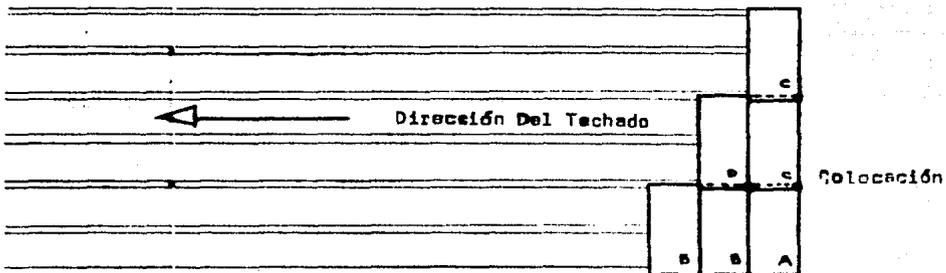


Vertical

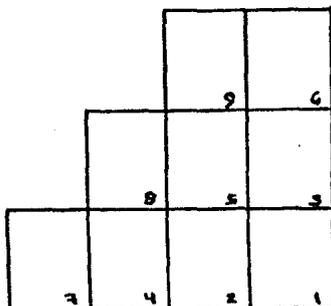
5.- Debe siempre seguirse el sistema de corte de esquinas que a continuación se presentan, para evitar sobre espesor en los traslapes y obtener un asentamiento perfecto de las láminas.



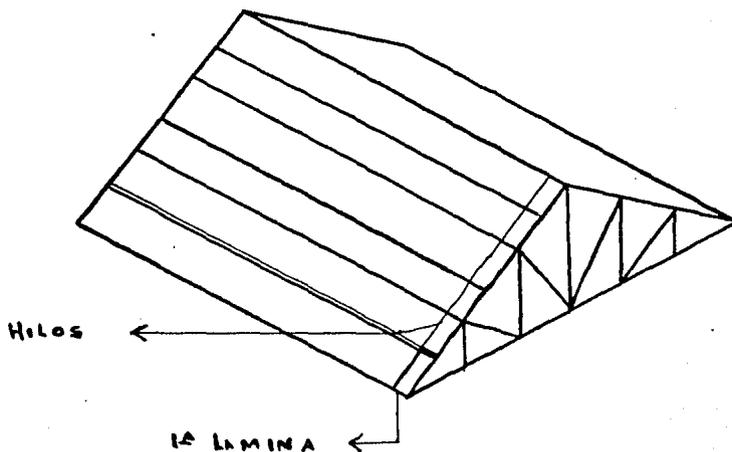
Cortes



Siguiendo l's indicaciones anteriores se procede a colocar la lámina tomando en cuenta que siempre el sentido para tochar es del extremo derecho de la nave así el izquierdo de la misma, y de abajo asia arriba, colocandose por hiladas horizontales como a continuación se muestra:



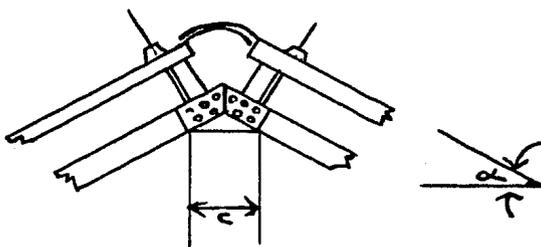
Al colocar la primera lámina observese cuidadosamente que éste fija en la dirección correcta, pues una vez determinada perfectamente, se tiende un hilo en sentido horizontal y otro en sentido vertical de extremo a extremo de la estructura para utilizarlos como guías.



Una vez hecho ésto se continua colocando las siguientes láminas, siguiendo con mucho cuidado las indicaciones anteriores, y teniendo en cuenta no apretar demasiado los ganchos para hacer los ajustes necesarios en el transcurso del proceso de colocación; una vez terminado el techado, se procederá a hacer el ajuste final (apretón moderado) a todos los ganchos.

Finalmente el caballote se colocara cuando se haya terminado la colocación de la lámina; como éste es el remate de un techo colóquese lo mejor posible.

En las cumbreras se utilizan los caballotes fijos o articulados - los cuales requieren la misma distancia de acuerdo a la siguiente tabla:



$\alpha$	20°	25°	30°	35°	40°
c mm	200	180	160	140	145

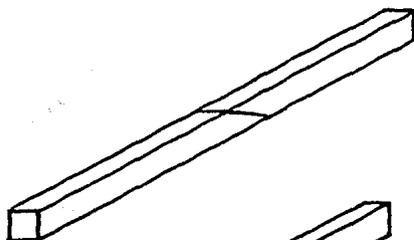
## VII.2.- TIPO DE TECHADOS.

Estudiaremos los diferentes sistemas de colocación que se siguen en los techados dependiendo del material en el que se va a colocar la lámina, los cuales en su mayoría al ser de madera o acero (fierro) serán los que a continuación veremos:

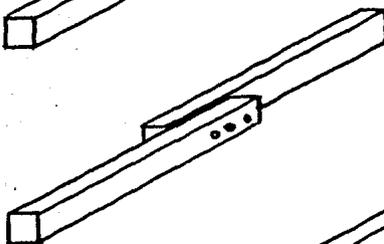
### VII.2.A.- TECHADO SOBRE MADERA.

Es de primordial importancia en cualquier techado, más aún, en la estructura de madera la colocación correcta de los largueros. Estos deben estar siempre que sea posible separados a una distancia de 1.15 m. de centro a centro excepto la última hilada (arriba o abajo) la que puede quedar a cualquier distancia (la que resulte).

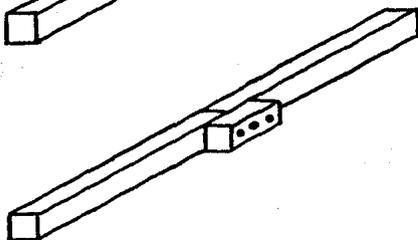
Los largueros deben presentar siempre una línea continua y no quebrada o con rebordes. Cuando sea necesario empalmar deberá hacerse como se muestra:



Forma Correcta



Forma Incorrecta No Se Debe Usar



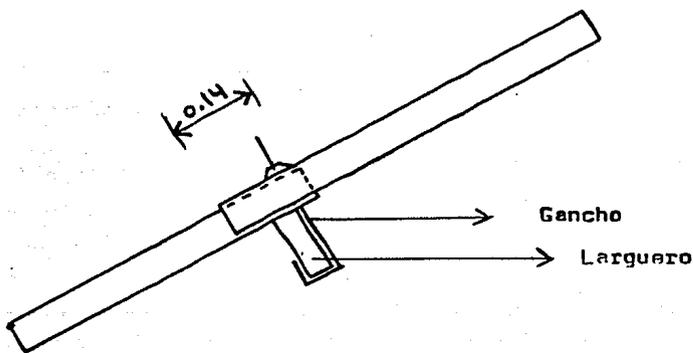
Aceptable

Presentaremos ahora los 2 sistemas con que se cuentan para techar sobre madera. Siendo el primero de estos el más recomendable.

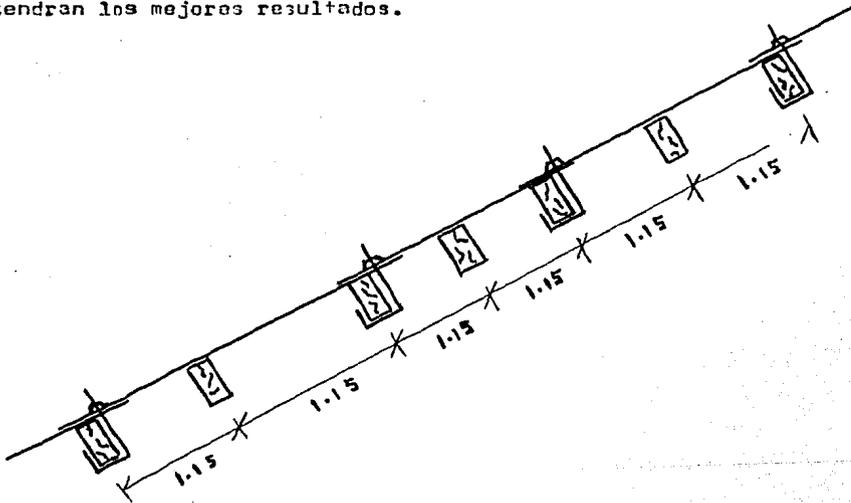
I.- Este sistema consiste en fijar toda la lámina con ganchos galvanizados, el cual se coloca en la 2da y 5ta ondas altas de cada lámina. Esto nos permite tener un techado más fuerte y rígido haciéndose excelente para resistir vientos fuertes, facilitando al mismo tiempo la colocación del techado aun cuando la posición de las láminas no sea exactamente la indicada.

En este sistema debe tenerse muy en cuenta la forma de el traslape horizontal (14 cm. mínimo) para lo cuál se daran las especificaciones siguientes:

Por tendencia natural y debido a la inclinación del techo, la lámina tiende a resbalarse, para evitar esto y darle mayor resistencia al techado debe hacerse que el borde inferior de la lámina sobresalga hacia arriba del larguero quedando así atravezada también por el gancho, impidiendo que la lámina resbale ya que el gancho esta anclado en el larguero.



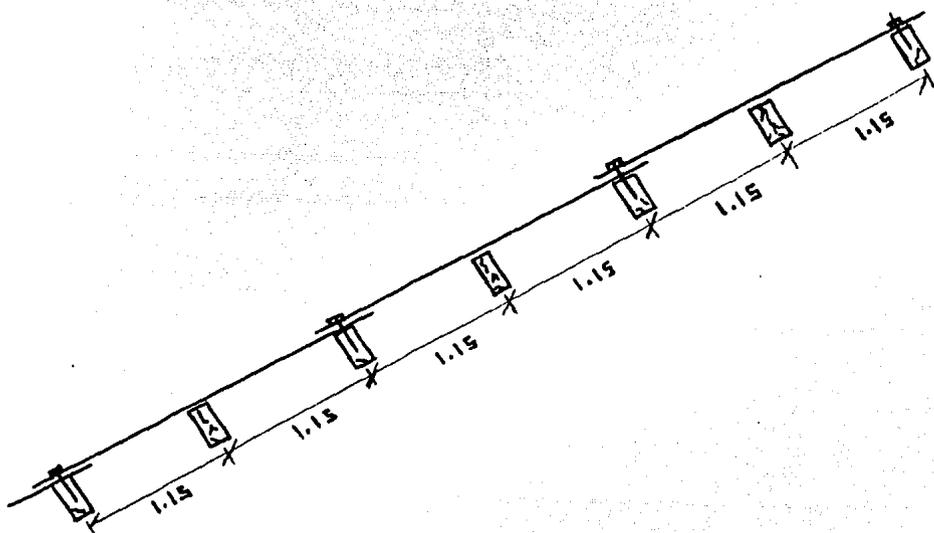
Toda estructura de madera sufre deformaciones por varias causas entre ellas su propio peso y esfuerzos causados por el viento, por lo tanto se debe evitar un techado demasiado rígido. Con objeto de evitarlo es necesario dejar ligeramento flojos las tuercas de los ganchos y un tiempo después de terminado el techado apretarlas moderadamente. Siguiendo éstas y las indicaciones (anteriores) generales se obtendrán los mejores resultados.



2.- Este sistema consiste en fijar toda la lámina con clavo cabeza de plomo, y por lo mismo éste es el menos recomendable de los dos y solo debe usarse cuando no sea posible el primero. Sin embargo deberá tenerse muy en cuenta las siguientes reglas:

- a).- Nunca clavar las láminas sin previo agujero hecho con broca.
- b).- Nunca tratar de perforarlas con clavos.

c).- Golpear el clavo con mucho cuidado en los últimos golpes.

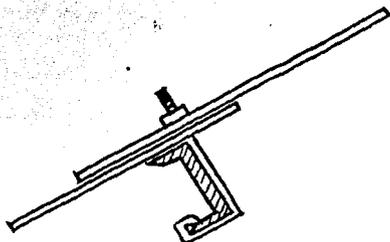


#### VII.2.3.- TECHADO SOBRE FIERRO.

Para techar sobre hierro disponemos de 3 sistemas para fijar la lámina. Siendo el más recomendable otra vez el sistema de fijar toda la lámina con gancho galvanizado.

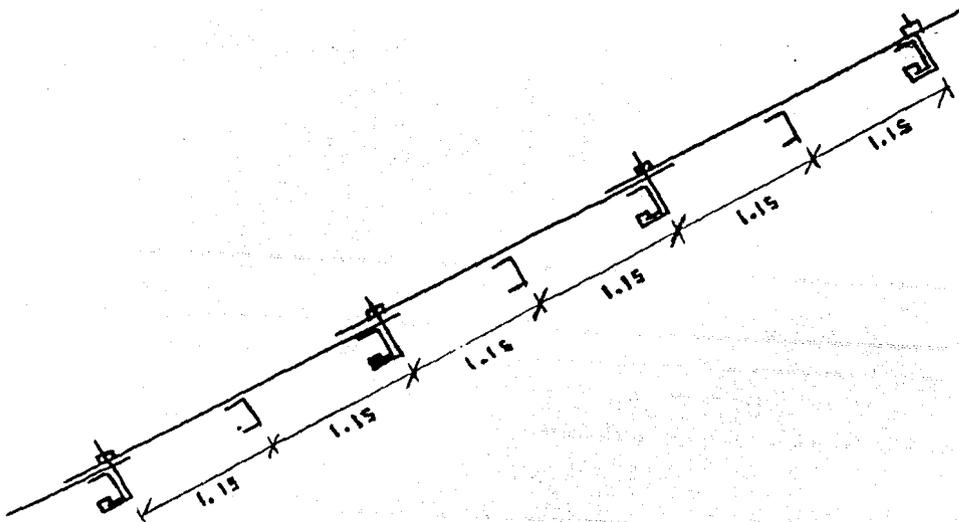
Los principales compañías constructoras de armaduras de acero en el País dan a los largueros una separación igual a lo largo de la estructura. Sin embargo cuando la separación de los largueros no es la indicada como es frecuente, por colocación defectuosa o por faltas de alineación; al fijar la lámina con ganchos nos permite una alineación correcta del techado sin depender totalmente de la alineación y separación de los largueros.

En óste sistema el traslape se hará en la misma forma que en el explicado en madera, el borde superior de la lámina se prolongará hacia arriba del larguero de manera que el gancho lo atraviese también.

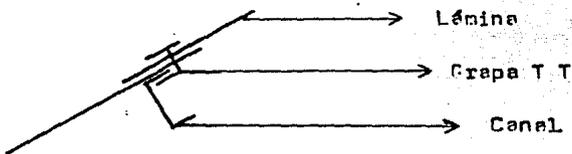


Cuando por algún motivo no sea posible conocer exactamente tanto el ancho del patín como el peralte del larguero, usese varilla aproximada, midiéndola únicamente por su longitud calculando más o menos las dimensiones de sus largueros. La forma adecuada de gancho se le dará a la varilla en la obra según las necesidades que existan.

Para techar con óste sistema se deben seguir exactamente las indicaciones generales antes mencionadas así como las dadas en óste inciso.

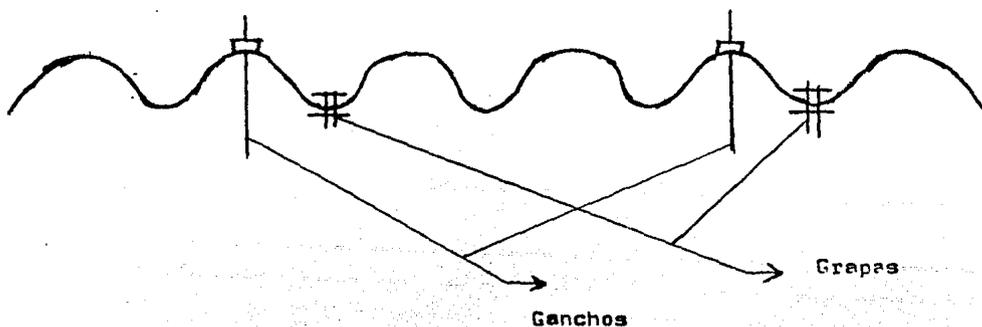


Los otros 2 sistemas de techado son a base de grapas. En el primero usando grapas T T en las hiladas intermedias y ganchos en las de los extremos (alero y cuntrera). Este sistema se puede usar cuando los lercuerros son del tipo canal y patines estan colocados con las "alas" hacia -- arriba, la cual es la forma en que generalmente se colocan.



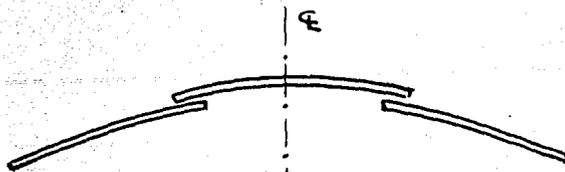
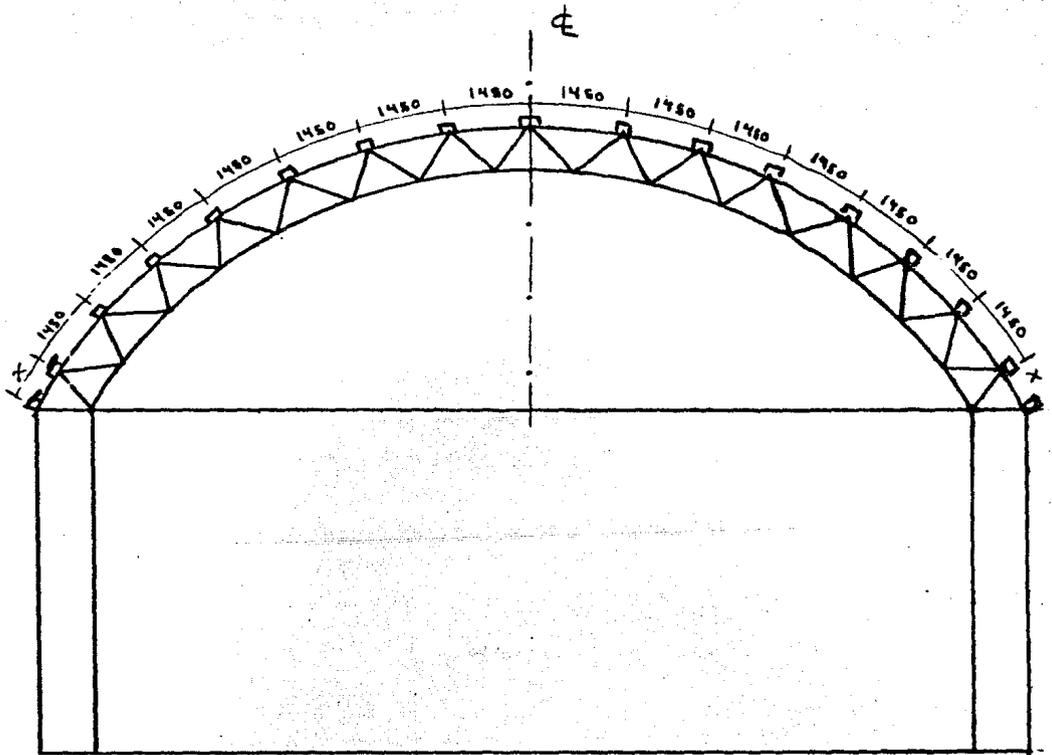
Cuando esto no se pueda usar entonces utilizaremos el 3er. sistema que consiste en fijar todas las hiladas intermedias con grapas tipo "U" y gancho galvanizado en las de los extremos (alero y cunbreras).

Al techar con cualquiera de los dos anteriores sistemas debe seguirse también las indicaciones generales, excepto el sitio en donde se colocan los elementos de fijación ya que estos iran en 2da. y 5ta. ondas bajas, mientras que ganchos como varillas y clavos en 2da. y 5ta. ondas altas.





Unicamente podra usarse la que tiene 6.5 mm de espesor como a continuación se indica.



## VII.2.D.- CABALLETES Y PIEZAS ESPECIALES.

En el diseño arquitectónico y estructural de cualquier nave industrial es necesario agregar en la terminación de sus techos elementos de cubierta como son:

a).- En La Cumbre.

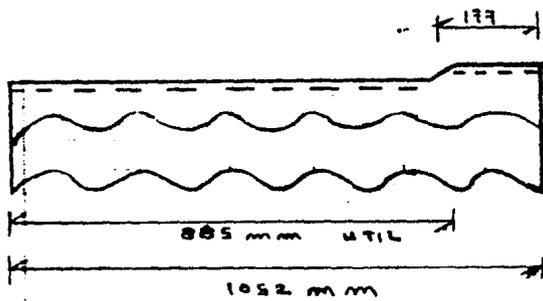
b).- Rematas Especiales.

Veremos los más importantes por su uso, describiendo en lo que consisten y en donde van colocados.

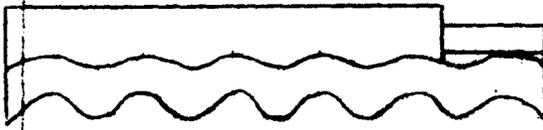
a).- Cumbre.- Es la cúspide de un techo (y por lo mismo el parteaguas del mismo) y el elemento que lo cubre son los caballetes, los cuales se fabrican principalmente en 2 tipos y que a continuación describiremos:

Caballote Articulado.- Nos sirve para cubrir un techo de 2 aguas en el que el ángulo formado por las 2 caídas es indistinto. También nos permite ligera variación en la alineación de las hiladas verticales.

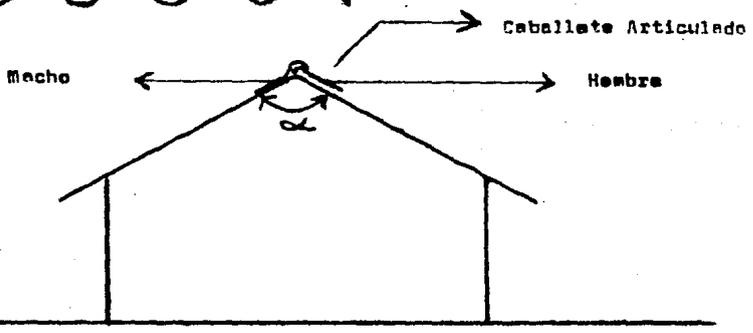
Este tipo de caballote para ser colocado en la cumbre es necesario tener de 2 clases:



Caballote Articulado  
— Macho —



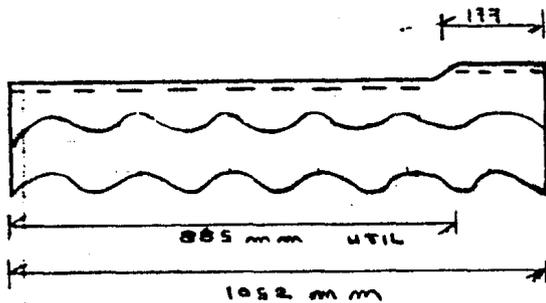
Caballote Articulado  
— Hembra —



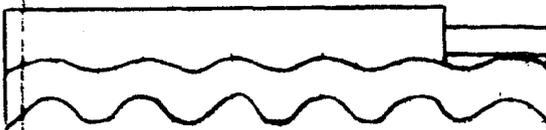
Para calcular el número de pares de caballote divídese la longitud del techo entre la longitud útil del caballote (885 mm) o sea:

$$C = \frac{T}{0.885 \text{ m}}$$

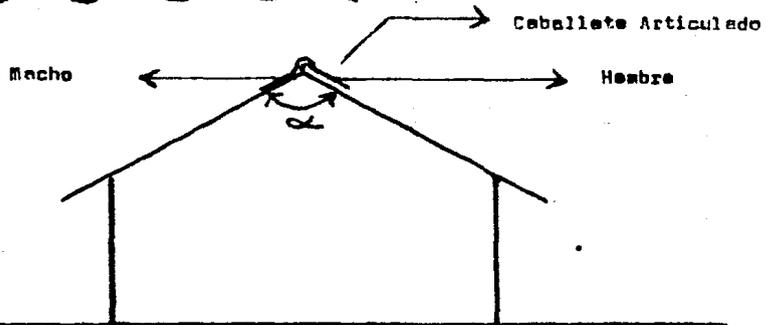
Donde: C = Número De Caballotes.  
T = Longitud Del Techo (M)



Caballote Articulado  
— Macho —



Caballote Articulado  
— Hembra —



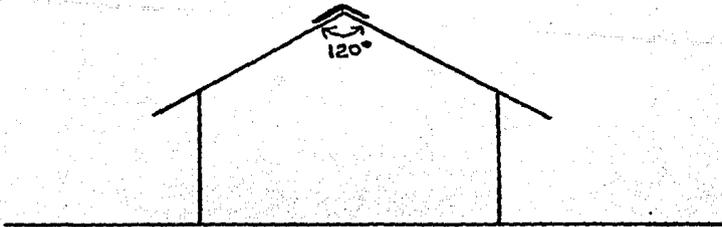
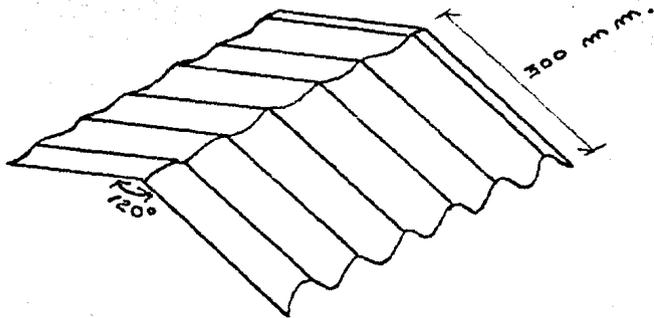
Para calcular el número de pares de caballote divídase la longitud del techo entre la longitud útil del caballote (885 mm) o sea:

$$C = \frac{T}{0.885}$$

Donde: C = Número De Caballetes.  
T = Longitud Del Techo (m)

Saballata " P " Fijo .- También se usa en techos a 2 aguas. Su acoplamiento debe ser únicamente para cuando el ángulo que formen en las dos caídas sea de  $120^{\circ}$ .

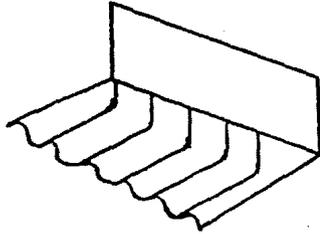
La alineación en las hileras verticales de lámina debe ser perfecta en las dos caídas, para que asiente perfectamente éste caballate.



Nuevamente la cantidad de caballates para cubrir el techo será la misma vista anteriormente.

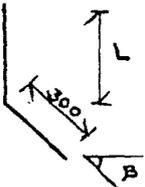
b).- Remates Especiales .- Son aquellos en los cuales son colocados en lugares donde el techo tiene características poco usuales en su diseño, pero que son necesarios cubrirlos con el mismo tipo de material en éste caso asbesto-cemento, para lograr la homogeneidad en el -techado; los principales son:

CABALLETE MANDIL.

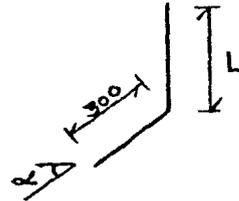
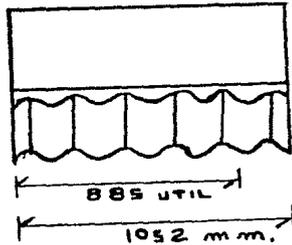


Caballete De Angulo Fijo

Caballete De Angulo Variable

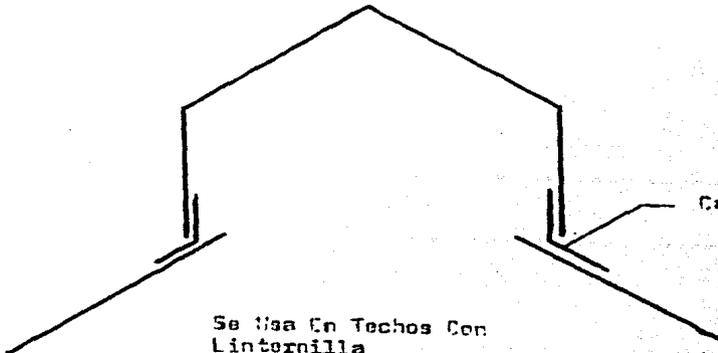


$\beta = 45^\circ$



$\alpha = 10^\circ$   
 $\alpha = 20^\circ$

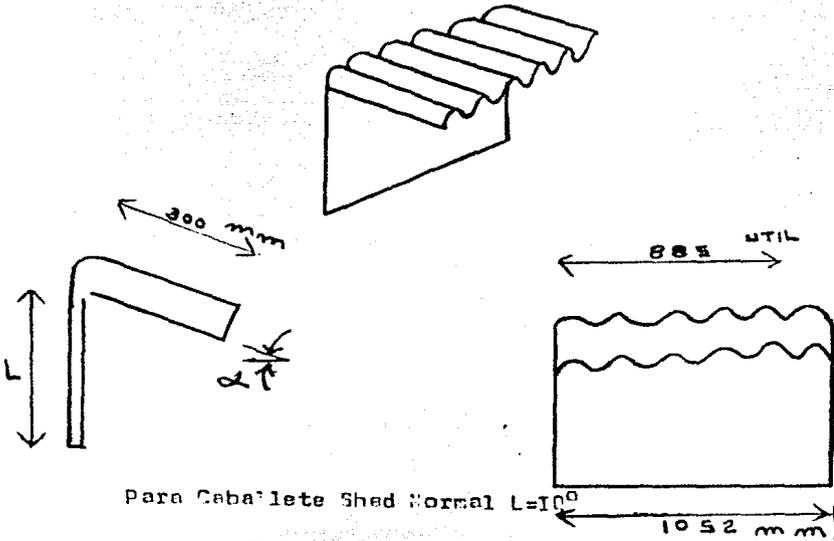
$L = 300, 400, 500, 600, 700 \text{ mm.}$



Caballete Mandil

Se Usa En Techos Con Linternilla

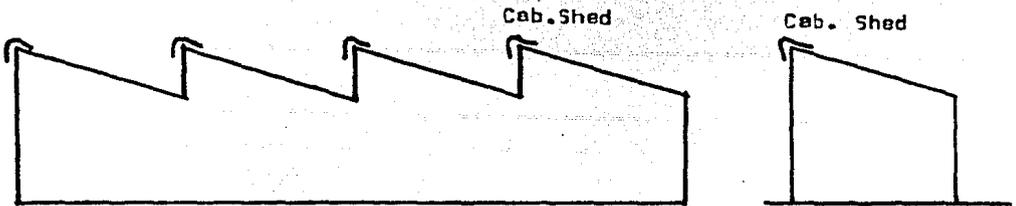
CABALLETE SHED



Para Caballete Shed Normal  $L=1000$

" $\alpha$ " Para Caballete Shed Especial  $5^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $25^\circ$

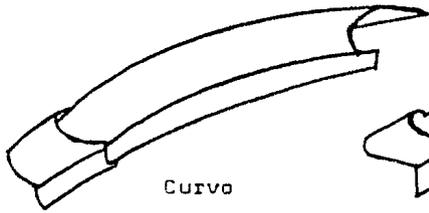
" $\alpha$ "  $L = 300, 400, 500, 600$  Y  $700$  mm



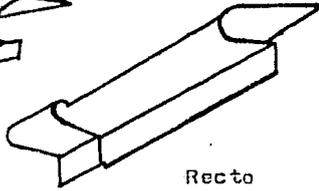
Se Usa -----

CABALLETE TERMINAL LATERAL " S "

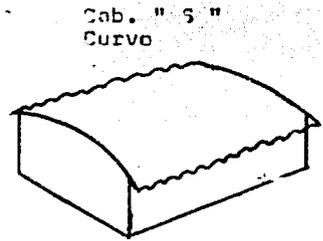
DERECHO E IZQUIERDO



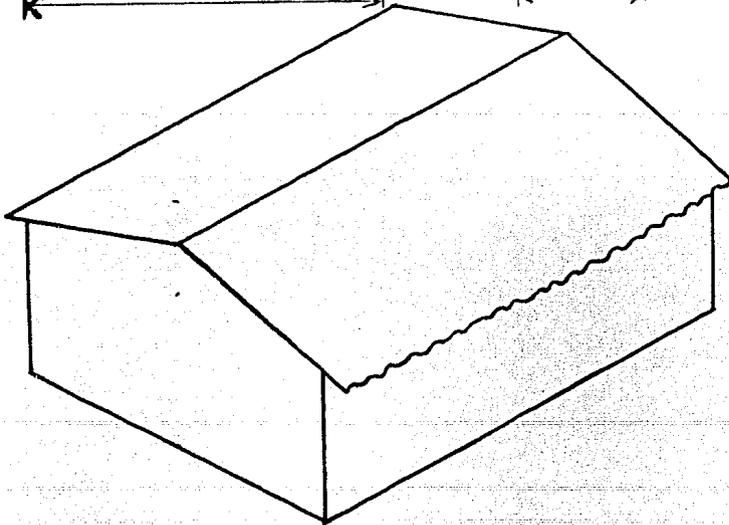
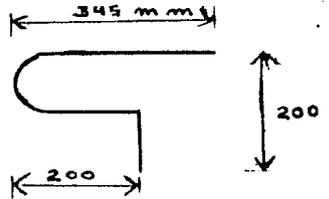
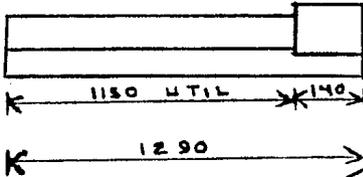
Curvo



Recto

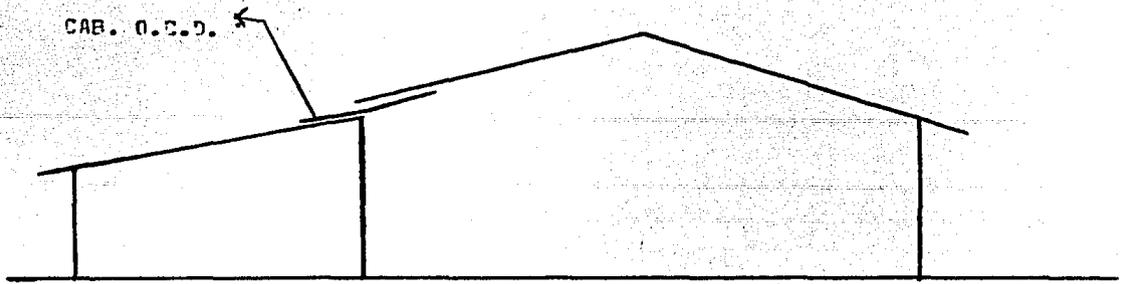
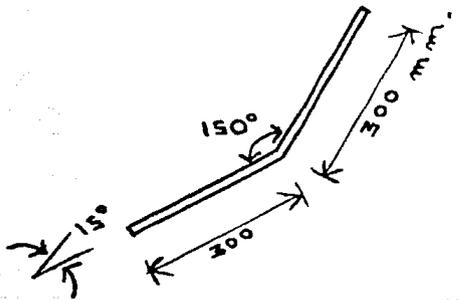
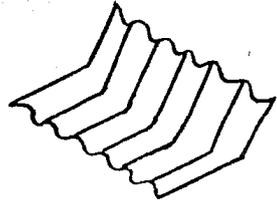


Cab. " S "  
Curvo



Cab. " S "  
Recto

C A S A L L E T E    D . C . D .



Se Usa En Techos Con Cambio De Pendiente

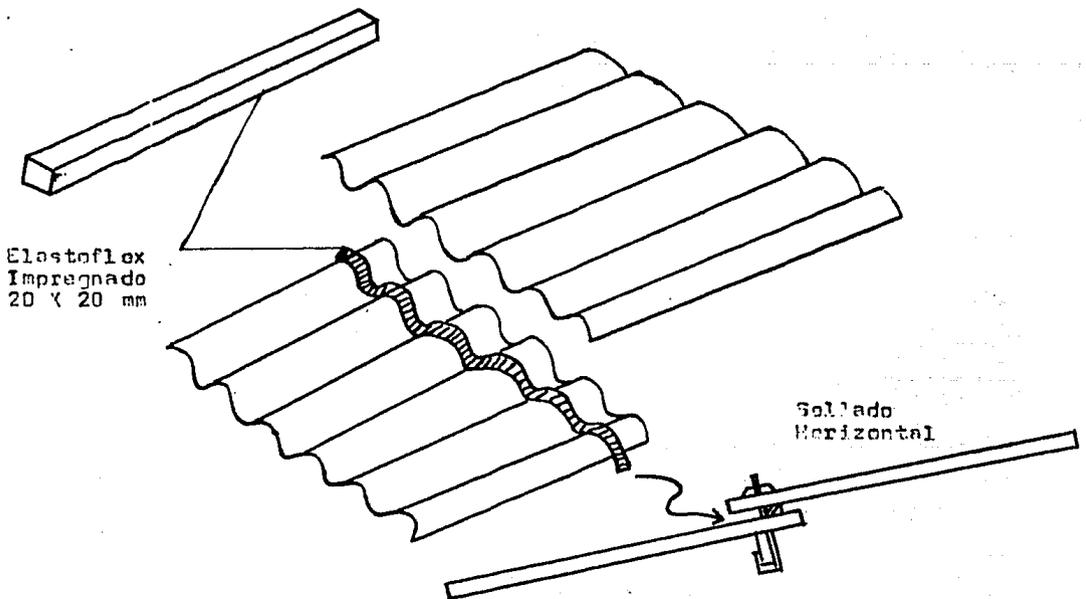
## VII.2.E.- " SELLADO TOTAL DE UN TECHO."

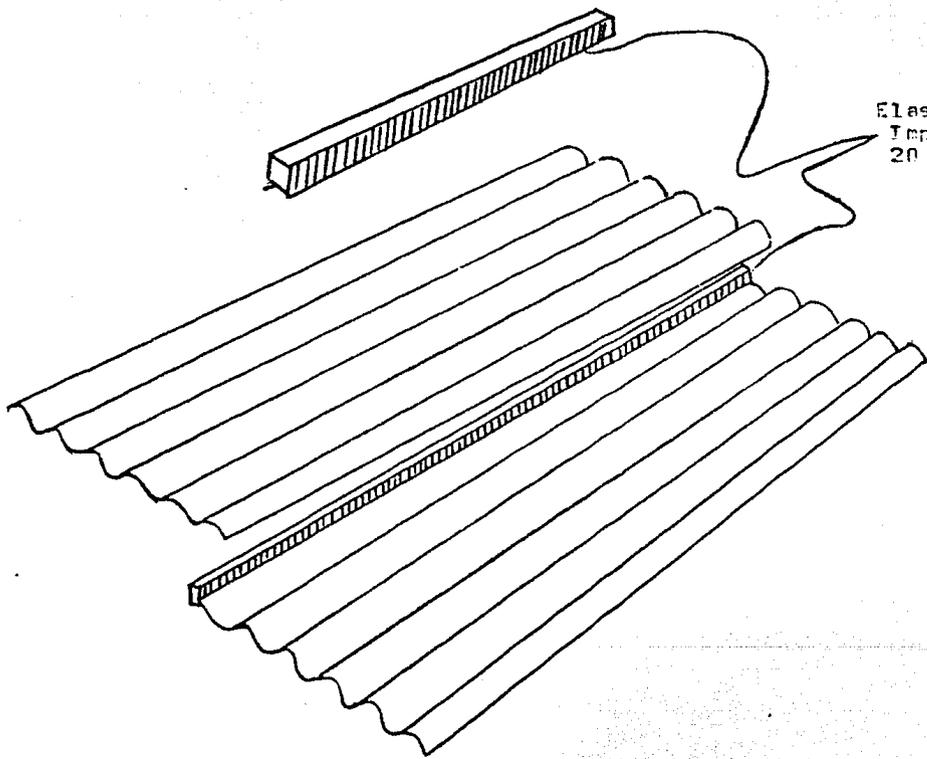
El objeto de sellar un techo son dos principalmente:

1.- Impedir el colado de agua de lluvia (por los traslapes), ya que ésta se precipita con diferentes inclinaciones durante las tormentas, y por el fenómeno de capilaridad y adherencia el escurrimiento de la misma agua de lluvia a lo largo de la pendiente del techo.

2.- Utilizando el método de sellado adecuado y contando con las características de adhesión e impregnación entre las láminas, se evitará la colada de polvos causados por el flujo del viento; además de adherir o sellar en cierto grado lámina con lámina; obteniéndose así más consistencia y flexibilidad en el techado.

El tipo de sello que cumple con las anteriores características - en el denominado "Elastoflex impregnado", el cual es colocado en todas las hileras del techo, tanto horizontal como verticalmente, como se muestran en las siguientes figuras:





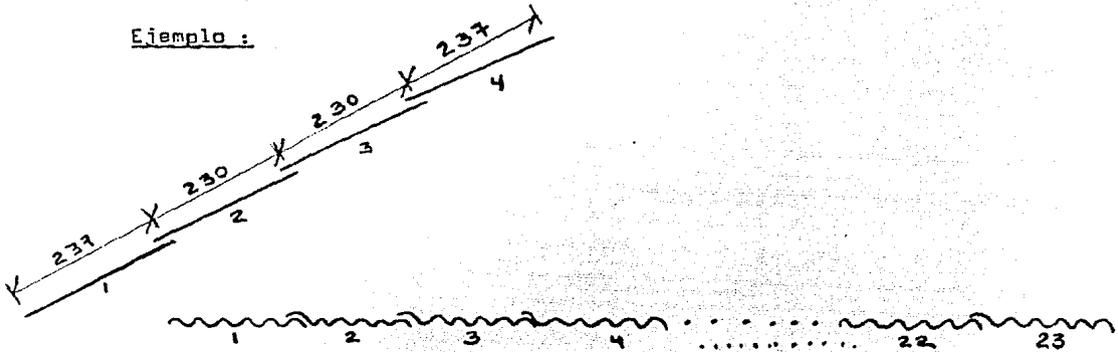
Elastoflex  
Impregnado  
20 X 20 mm

SELLADO VERTICAL



En el siguiente ejemplo veremos como se calcula el sellado total de un techo tanto longitudinal como transversalmente.

Ejemplo :



Datos :

Hiladas verticales = 4

Láminas/hilada Horizontal = 23

Operaciones :

Número De Traslapes Verticales = 3

Número De Traslapes Horizontales = 22

SH= Metros Lineales De Sellado Horizontal.

D= Desarrollo útil de Una Lámina.

NL= Número De Láminas Por Hilada Horizontal.

TV= Número De Traslapes.

$$SH= D \times NL \times TV$$

Sustituyendo:

$$SH= 1.06 \times 23 \times 3 = 73.14 \text{ ML.}$$

Sellado Vertical :

SV = Metros Lineales De Sellado Vertical.

L = Longitud Util De hilada Vertical.

TH = Número De Traslapes Horizontales.

$$SV = L \times TH$$

Sustituyendo :

$$SV = (2.37 + 2.30 + 2.30 + 2.37) \times 22$$

$$SV = 9.34 \times 22 = 205.48 \text{ ML.}$$

Sellado Total:

$$ST = SH + SV$$

Sustituyendo:

$$ST = 73.14 + 205.48$$

$$ST = 278.62 \text{ ML.}$$

=====

Por lo tanto para éste techo en particular necesitara 278.62 metros lineales de sellado con " Elasto flex impregnado " .

## CAPITULO VIII

### " COSTO DE UN TECHADO "

La parte económica de un techado es el factor más preponderante para la toma de decisión de su construcción; es por ello que veremos en los incisos subsiguientes 3 ejemplos clásicos de como techar un mismo techo de una nave industrial y así poder determinar a través del cálculo de su costo cual sería el más conveniente.

#### VIII.1. " EJEMPLOS DE UN TECHADO "

Los factores básicos que intervienen para el cálculo del costo de cualquier construcción en la ingeniería son: Herramienta o equipo, material y la mano de obra. Para éste tipo de construcción, la herramienta que se utiliza es la misma aunque los techados sean distintos o presenten grados diferentes de dificultad; es por ello que mencionaré las que intervienen y que son:

- 1.- Para cortar las esquinas en las laminas:

CERRUCHO.

- 2.- Para claver las láminas en largueros de madera:

MARTILLO.

- 3.- Para hacer las perforaciones por donde pasaran las varillas:

TALADRO Y BROCA.

- 4.- Para apretar los tornillos o ajustar las tuercas de las varillas:

PERICO Y DESARMADOR.

5.- Para subir las láminas a la estructura :

M E C A T E.

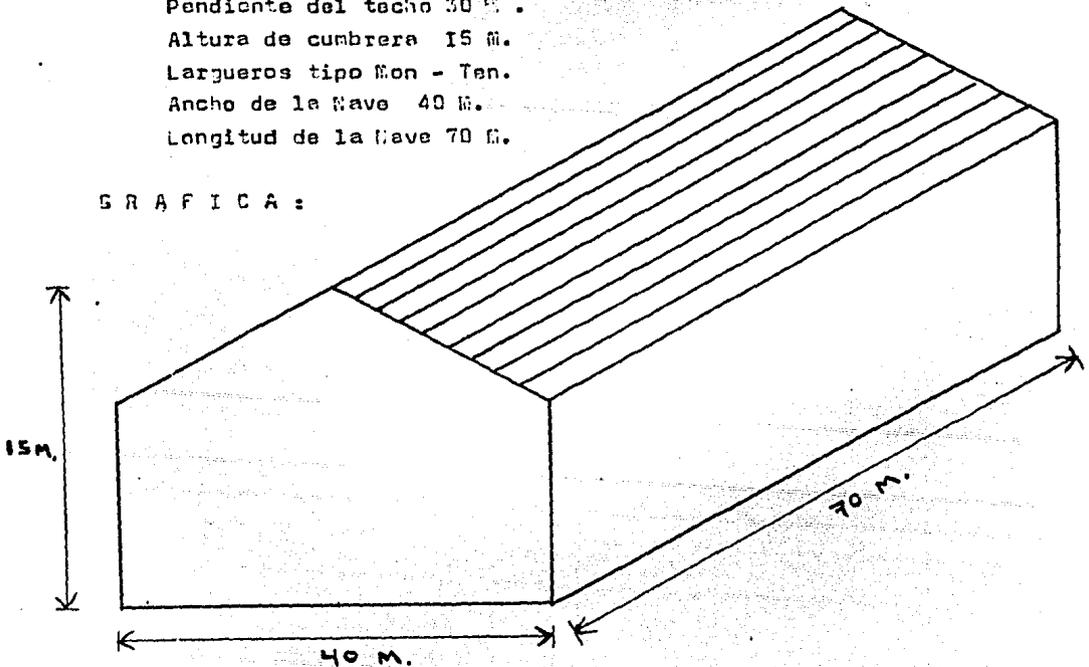
### VIII.I.A.- C O S T O D E T E C H A D O S

Se tiene la estructura de una nave industrial a la cual vamos a cubrir utilizando 3 alternativas diferentes para obtener cual sería el más económico y conveniente.

Los datos de la nave industrial son los siguientes:

Techo a 2 aguas.  
Pendiente del techo 30°.  
Altura de cumbrera 15 m.  
Largueros tipo Mon - Ten.  
Ancho de la nave 40 m.  
Longitud de la nave 70 m.

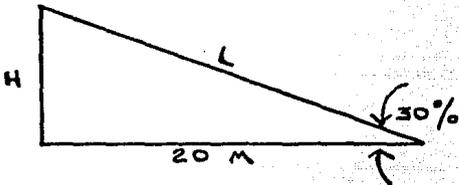
GRAFICA :





## OPERACIONES:

### CALCULO DE LA LONGITUD DE LA PENDIENTE



Como el techo tiene una pendiente del 30%; ésto quiere decir que cada metro el techo se eleva 30 cm. por lo que se tiene:

$$H = 20 \text{ M} \times 0.3 = 6.0 \text{ M}$$

La longitud de la pendiente sera :

$$L^2 = (20)^2 + (6)^2 = 400 + 36 = 436$$

$$L = 20.88 \text{ m.}$$

La distribución de largueros es como la ya indicada anteriormente.

### CALCULO DEL NUMERO DE LÁMINAS.

El cálculo de el número de láminas/hilada vertical, que entrarían en la Nave sería :

Solución :

Se divide la longitud de un alero de la Nave entre el largo útil de la lámina:

$$\text{Longitud del alero} = 20.88 \text{ m.}$$

$$\text{Largo útil de la lámina} = 2.30 \text{ m.}$$

$$\text{Número de láminas} = 20.88/2.30 = 9.1 \text{ láminas.}$$

$$\text{No. Lam/ H.V.} = 9 \text{ Láminas}$$

El cálculo de el número de láminas/hilera horizontal, que cubren en la Nave sería en una forma análoga:

Solución :

Se divide la longitud de la Nave entre el ancho útil de una lámina; o sea :

$$\begin{aligned} \text{Longitud de la Nave} &= 70 \text{ m.} \\ \text{Ancho útil de una Lámina} &= 0.955 \text{ m.} \\ \text{Número de láminas} &= 70 / 0.955 = 01.0 \text{ Láminas} \\ \text{No. Lam/H.H.} &= 02. \text{ Láminas} \end{aligned}$$

La cantidad de láminas de este tipo para techar la Nave Industrial será :

$$\begin{aligned} \text{Cantidad Total} &= \text{No. LAM/H.H.} \times \text{No. LAM./ H.H.} \times 2 \\ &= 02 \times 0 \times 2 \\ &= 1476 \text{ Láminas} \\ &===== \end{aligned}$$

### SELLADO TOTAL DEL TECHO.

No. de traslapes verticales de techo = 8 + Caballote = 9

No. de traslapes longitudinales de techo = 61

$$\begin{aligned} \text{ML. Sellado longitudinal} &= 1.06 \times 82 \times 9 \times 2 \\ &= 1564.56 \text{ ML.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ML. Sellado Vertical} &= (2.37 + (8 \times 2.30)) \times 81 \times 2 \\ &= 3,364.74 \text{ ML.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total de ML. de Sellado} &= 1,564.56 + 3,364.74 \\ &= 4,929.30 \text{ ML} \\ &===== \end{aligned}$$

### CANTIDAD DE CABALLETES.

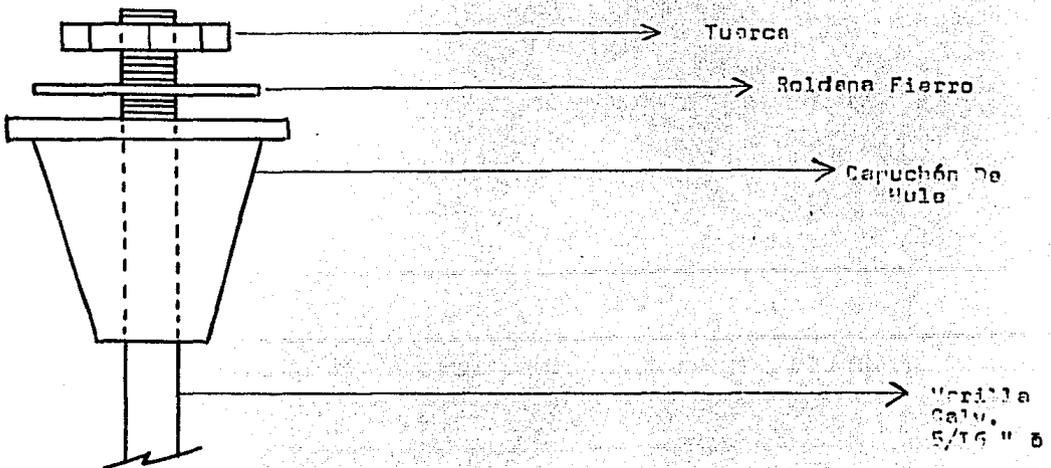
Para la cumbrera utilizaremos " Caballote Articulado " ya que éste se acopla perfectamente a cualquier ángulo que forman las dos caídas - (Aleros ), además permite ligera variación en la alineación de las líneas verticales.

Para calcular el número de pares de caballete (Mocho y Hombre) dividense la longitud del techo entre la longitud útil de caballete:

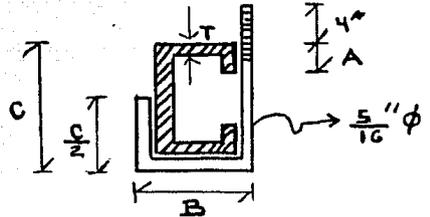
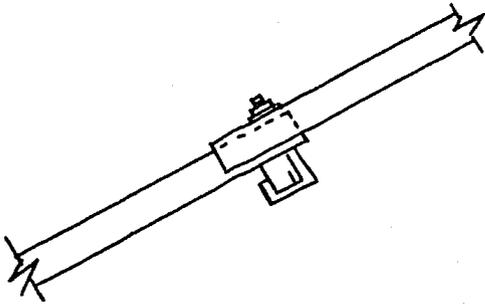
$$\begin{aligned} \text{Longitud Del Techo} &= 70 \text{ M.} \\ \text{Longitud Útil De Caballote} &= 0.885 \text{ M.} \\ \text{Número De Pares De Caballote} &= \frac{70}{0.885} = 79.09 \\ \therefore \text{Número De Pares De Caballote} &= 80. \\ &===== \end{aligned}$$

### ELEMENTOS DE FIJACION.

Como la estructura está hecha a base de largueros de acero tipo - Non - Ten el elemento de fijación será para éste caso, el juego completo de varilla galvanizada la cual consta de :



CALCULO DE LA LONGITUD DE LA VARILLA.



Larguero Tipo Mon -Ten Perfil 8 RT 10 \*.

$$C = 203 \text{ mm.}$$

$$A = 19 \text{ mm.}$$

$$B = 76 \text{ mm.}$$

$$T = 3.42 \text{ mm.}$$

$$\begin{aligned} \text{Long.Var.} &= 4" + C + B + \frac{1}{2} C \\ &= 4 (25.4) + 203 + 76 + \frac{1}{2} (203) \\ &= 101.5 + 279 + 101.5 \\ &= 482.1 \text{ mm} \\ &= 18.98" \approx 20" \end{aligned}$$

Por lo tanto como elemento de fijación utilizaremos varilla galvanizada de 5/16 "  $\phi$  X 20" con sus correspondientes elementos mostrados en la figura.

\* Datos Manual Para Constructores " Monterrey ".

Cada lámina en el techado requiere de dos elementos de fijación ( Para éste caso Var. Galv. ) y cada caballote necesita de 4 (Dos para cada lado). Por lo tanto la cantidad total de varilla será :

Total De Láminas = 1476

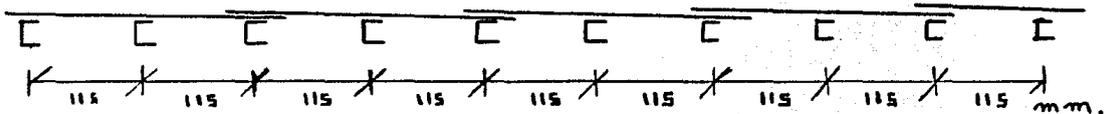
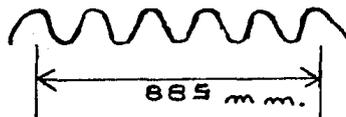
Total De Caballotes = 80

$$\begin{aligned} \text{Total De Varilla} &= 1476 \times 2 + 80 \times 4 \\ &= 2952 + 320 \\ &= 3,272 \text{ Var. Galv. De } 5/16 \text{ } \phi \times 20 \text{ "} \end{aligned}$$

Total Varillo = 3,272  
 =====

AREA UTIL.

Para el cálculo del costo de un techado es importante conocer el área útil de la lámina con la cual vamos a cubrir nuestra nave, pues ésta determinará la cantidad de metros cuadrados reales que cubra por lámina ; Para éste caso en particular tendremos :



Ancho Util = 0.885 m.  
 Long. Util = 2.300 m.  
 Area Util = Ancho U. X Largo U.  
 = 0.885 X 230  
 = 2.036 m<sup>2</sup>  
 =====

Costo Del Material. ( \* )

Descripción :	Cantidad	Precio For Unidad	Precio Total.
Lámina Ond. Std. 2.44 X 6.5 mm	1476	\$ 669.84	\$ 988,585.84
Elaxtoflex Impregnado 20 X 20 mm	4,929.3	\$ 10.17	50,130.98
Caballote Articulado	80	\$ 319.66	25,572.80
Var. Galv. De 5/16" ø X 24"	3,272	\$ 21.06	<u>68,908.32</u>
		TOTAL -----	\$ 1,133,295.9

\* En el precio de los materiales, va incluido el I.V.A; Y tanto estos como los de mano de obra son validos hasta el primero de noviembre de 1982.

Costo De La Mano De Obra.

Instalación de lámina en techos a la altura de 15 M. en el Valle De México ----- \$48.00 /m<sup>2</sup>.

\*\* El Area total por cubrirse en el techo seria:

Area total = Longitud de la pendiente X Longitud de la Nave  
 = 20.88 (2) X 70  
 = 2,923.20 m<sup>2</sup>  
 =====

Costo Inst. Lám. = 2,923.20 X \$48.00 = \$140,313.60

\*\* El área se mide en la práctica a la terminación de la obra en campo. En éste caso se hará por cálculo de gabinete.

Instalación de caballote articulado en cumbrera a la altura de  
15 M ----- \$ 48.00 /ML.

El costo de la instalación del caballote sería :

$$\text{- Costo inst. Cab.} = 80 \times \$ 48.00 = \$ 3,840.00$$

Instalación de elaxtoflex impregnado de 20 X 20 mm en techo a la  
altura de 15 M \$10.00

El costo de la instalación del elaxtoflex impregnado sería :

$$\text{- Costo Inst. Sello} = 4,929.30 \times \$ 10.00 = \$ 49,293.00$$

Por lo tanto tendremos en resumen del costo de mano de obra sería:

$$\begin{aligned} \text{Costo de M. de O.} &= \text{Costo Inst. Lám} + \text{Costo Inst. Cab.} + \text{Costo} \\ &\text{Inst. Sellado.} \\ &= \$ 140,313.60 + \$ 3,840.00 + \$ 49,293.00 \\ &= \$ 193,446.60 \\ &===== \end{aligned}$$

### Costo Total Del Techado.

Para éste caso en particular el costo total del techado sería :

$$\begin{aligned} \text{C.T. Del T.} &= \text{C. Del M.} + \text{C. De La M. de O.} \\ &= \$ 1,133,295.90 + \$ 193,446.60 \\ &= \$ 1,326,742.50 \\ &===== \end{aligned}$$

El costo real por m<sup>2</sup> sería :

$$\text{C.R. Por m}^2 = \frac{\text{C. T. DEL T.}}{\text{ÁREA TOTAL CUBIERTA}}$$

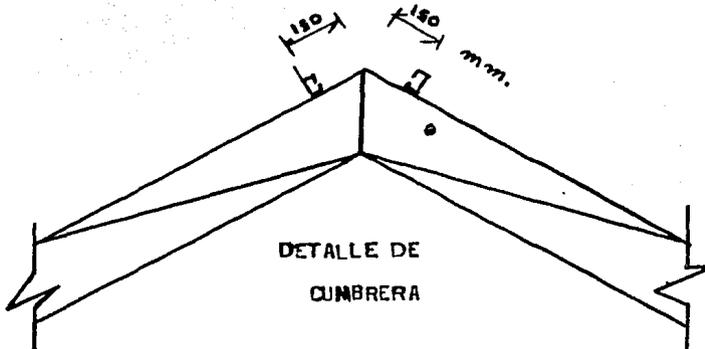
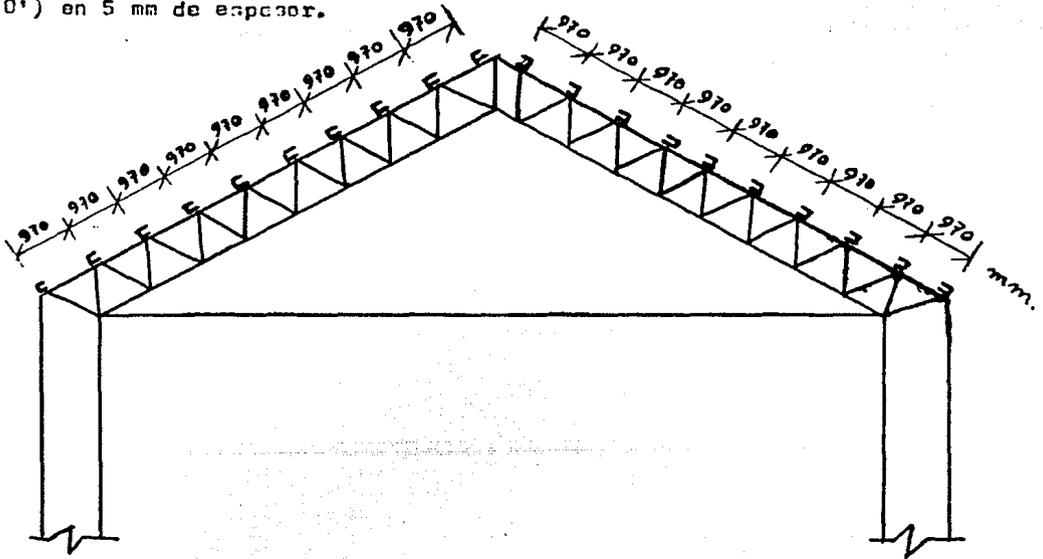
$$= \frac{3 \quad 1,326,742.50}{2,923.20 \text{ m}^2}$$

$$= \frac{6 \quad 453.95}{\text{m}^2}$$

=====

VIII.1. A2 SEGUNDO DADO.

Distribución de largueros para usar lámina ond. std. de 3.05 m (10') en 5 mm de espesor.



Operaciones :

La distribución de largueros para éste caso, es como la ya mostrada en el paso anterior.

Cálculo Del Número De Láminas.

Número de láminas / hilada vertical, que entrarían en la Nave sería :

Longitud del alero = 20.88 m.  
Largo Util de la Lám. = 2.90 m.  
Número de Lám. =  $20.88 / 2.90 = 7.2$  Láminas  
No. Lám. / H.V. = 7.2 Lámina.  
No.Lám.Totales/H.V. =  $7.2 \times 2 = 14.4$  15 Láminas

El número de láminas/hilada horizontal, que entrarían en la Nave sería :

Longitud de la Nave = 70 m.  
Ancho útil de la lám = 0.885 m.  
Número de Lám. =  $70 / 0.885 = 81.8$  Láminas  
No. Lám./ H.H. = 82 Láminas

La cantidad total de láminas para cubrir éste nave industrial sera:

Cantidad total = No. Lám / H.H. X No. Lám Totales/ H.V.  
= 82 X 15  
= 1230 Láminas  
=====

Sellado Total Del Techo.

No. de traslapes verticales de techo = 7+ Cabellete = 8  
No. de traslapes longitudinales de techo = 81

$$\begin{aligned} \text{ML. Sellado Longitudinal} &= 1.06 \times 82 \times 9 \times 2 = 1390.72 \\ &= 1390.72 \text{ FL.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ML. Sellado Vertical} &= (0.43 + (7 \times 2.90)) \times 81 \times 2 \\ &= 3,358.26 \text{ FL.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total de ML. de sellado} &= 1,390.72 + 3,358.26 \\ &= 4,749.98 \text{ FL.} \\ &===== \end{aligned}$$

Cantidad De Caballetes.

La cumbrera de la Nave no variara; sea cual fuere el tipo de lámina a utilizarse por lo tanto la cantidad sera constante o sea :

$$\begin{aligned} \text{Longitud del tocho} &= 70 \text{ M.} \\ \text{Long.útil de caballete} &= 0.865 \text{ M.} \end{aligned}$$

$$\text{Núm. de pares de caballete} = \frac{70}{0.865} = 79.09$$

$$\therefore \text{Número De Pares De Caballetes} = 80$$

=====

Elementos De Fijación.

En éste caso la cantidad total de varilla será :

$$\begin{aligned} \text{Total De Láminas} &= 1230 \\ \text{Total De Caballetes} &= 80 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total De Vrilla} &= 1230 \times 2 + 80 \times 4 \\ &= 2460 + 320 \\ &= 2,780 \text{ Var. Galv. De } 5/16" \text{ } \emptyset \text{ X } 20 " \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Vrilla} &= 2,780 \\ &===== \end{aligned}$$

Area Util :

Ancho Util = 0.885 m.  
Long. Util = 2.90 m.  
Area Util = 0.885 X 2.90  
= 2.56 m<sup>2</sup>  
=====

Costo Del Material.

<u>Descripción.</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Precio Por Unidad</u>	<u>Precio Total</u>
Lámina Ond.3td. 3.05 X 5 mm	1230	3565.21	\$ 819,438.30
Elastoflex Impregnado 20 X 20 mm	4,748.98	10.17	48,287.15
Caballote Articulado	80	319.76	25,572.00
Var. Galv. De 5/16" Ø X 24"	2,780	21.06	58,546.00
			<u>Total -- \$ 951,843.45</u>

Costo De La Mano De Obra.

El área total por cubrirse sería la ya calculada; Así como también en la colocación del caballote. El único costo que en éste caso variaría sería el del sellado, por lo que :

— Costo Inst. Sello = 4,748.98 X 310.00  
= \$ 47,489.80  
=====

Resumen Del Costo :

Costo De M. De O. = 3140,313.60 + 33,840.00 + 347,489.80  
= \$ 3,521,643.40  
=====

Costo Total Del Techado.

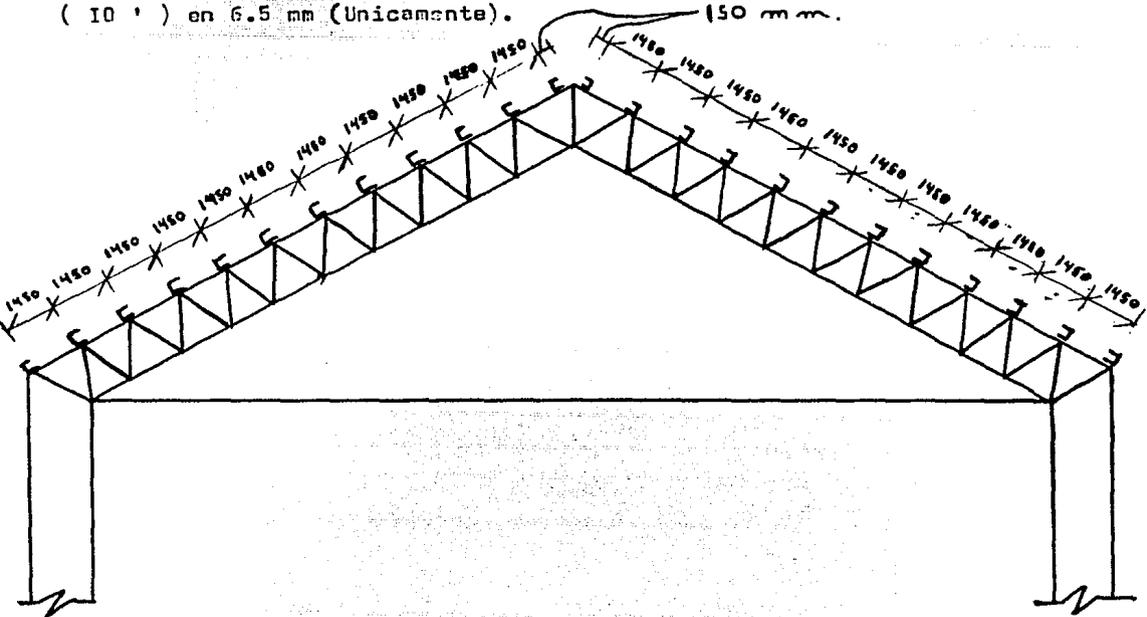
$$\begin{aligned}
 \text{C.T. Del T.} &= \text{C. Del M} + \text{C. De La R. De G.} \\
 &= \$ 951,845.02 + 3191,743.40 \\
 &= \$ 1,143,588.40 \\
 &= \text{=====}
 \end{aligned}$$

El costo real por m2 seria :

$$\begin{aligned}
 \text{C.R. Por M2} &= \frac{\text{C.T. Del T.}}{\text{Area Total Cubierta}} \\
 &= \frac{\$ 1,143,588.40}{2,923.20 \text{ M2.}} \\
 &= \underline{\underline{\$ 391.18 / m^2}}
 \end{aligned}$$

VIII.I. A3 Tercer Caso

Distribución de largueros para usar lámina Ond. S td. de 3.05 M ( 10 ' ) en 6.5 mm (Unicamente). 150 mm.



Operaciones :

Por poseer la longitud de la lámina del caso anterior; Tendremos exactamente los mismos valores en la cantidad de material, sus dos - únicas diferencias son :

a).- Distribución de largueros los cuales serian en el sentido vertical por los dos lados del techo un total de 32 ; mientras - que en el segundo caso serian 44.

b).-El espesor de la lámina y por lo mismo, diferente costo.

En resumen se tendria :

Cantidad Total De Láminas	-----	1230
Sellado Total Del Techo	-----	4,748.08 ML.
Cantidad Total De caballetes	-----	80
Cantidad Total De Varilla	-----	2,780
Area Util	-----	2.56 M2

Costo Del Material.

<u>Descripción.</u>	<u>Cantidad</u>	Precio	Precio
		<u>Por</u>	<u>Total</u>
		<u>Unidad</u>	
Lámina Ond. Std. 3.05 X 5.5 mm	1,230	\$ 834.62	\$1,026,582.60
Elastoflex Impregnado 20 X 20 mm	4,748	10.17	48,287.16
Caballote Articulado	80	319.66	25,572.00
Var. Galv. De 5/16" Ø X 24"	2,780	21.06	58,545.80
		Total	\$ 1,158,989.30

Costo De La Mano De Obra:

Costo De M. De O. = C.Inst.Lám.+ C.Inst.C.+ C. Sellado  
= \$140,313.60 + 33,040.00 + \$47,409.80  
C.M.O. = \$ 191,643.40  
=====

Costo Total Del Techado.

$$\begin{aligned} \text{C.T. Del T.} &= \text{C. Del M.} + \text{C.M.C.} \\ &= \$ 1,158,989.30 + \$ 191,643.40 \\ &= \$ 1,350,632.70 \\ &===== \end{aligned}$$

El costo real por m<sup>2</sup> seria:

$$\begin{aligned} \text{C.R. Por m}^2 &= \frac{\text{C.T. Del T.}}{\text{Area Total Cubierta}} \\ &= \frac{\$ 1,350,632.70}{2,923.20 \text{ m}^2} \\ &= \$ 462.00 / \text{m}^2 \\ &===== \end{aligned}$$

VIII.2.- ANALISIS Y CONCLUSION

En los anteriores tres ejemplos de como cubrir el techo de una Nave industrial, debemos tomar muy en cuenta La Seguridad y La Economia - pues estos son el principal objetivo de la ingenieria para realizar cualquier obra de construcción. La toma de decisión de cual es el más conveniente nos lo aportará el analisis del equilibrio entre estos dos parámetros :

- Maximizar La Seguridad. \*
- Minimizar El Costo.

Por lo que respecta al primer parámetro el cálculo del diseño ---

\* El diseño estructural y la resistencia de materiales, son la rama de la construcción que se encarga exclusivamente en determinar todos y cada uno de los elementos que constituyen una estructura, para lograr técnica y científicamente la seguridad de la misma para todo tipo de falla.

estructural a determinado que los tres anteriores casos cumplen con los requisitos de seguridad; Por lo que nos enfocaremos a analizar el parámetro económico, para realizar los ajustes necesarios, pues estos determinaren cual es el más apropiado. Para ello resumiremos en las siguientes dos tablas los anteriores tres casos en sus aspectos y variables más importantes que forman parte de la función de seguridad en el material y costo del mismo :

T A B L A No. 1

CASO	CANTIDAD DE		CANTIDAD DE LAMINAS	AREA UTIL X LAMINA	AREA FICTICIA CUBIERTA	AREA CALCULADA	AREA PERDIDA
	LARGUEROS UNID.	BL.					
1	36	2500	1476	2.036	3005.136	2,923.00	81.93
2	46	3220	1230	2.560	3148.800	2,923.20	225.60
3	32	2240	1230	2.560	3148.800	2,923.20	225.60

T A B L A No. 2

CASO	\$ C O S T O \$					
	MATERIAL	MAND DE OBRA	TOTAL TECHADO	REAL X M2.	AREAS PERDIDAS	EFICIENCIA
1	1,133,295.7	193,446.0	1,326,712.5	455.05	37,183.9	97.2
2	951,345.0	191,643.4	1,143,508.4	391.18	88,250.2	92.3
3	1,158,989.3	191,643.4	1,350,632.7	462.00	104,227.2	92.3

Analizando las dos tablas anteriores, el balance resulta favorable para el primer caso, ya que su eficiencia de aplicación en cuanto a su costo es -

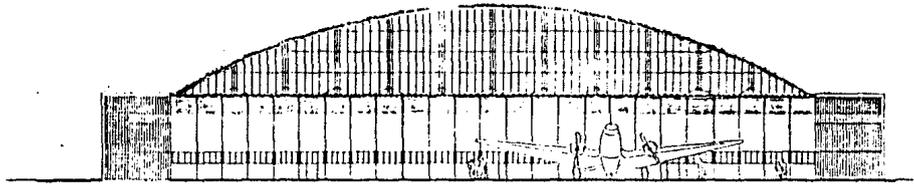
se refiere nos señala un 97.2 %; a pesar de que en el segundo caso, el costo total del techado sea menor, pero su sistema de soporte para las láminas (largueros) nos determina un saldo desfavorable en material ya que se necesitan 3,220 ML. contra los 2,520 ML. del primero, o sea 700 ML. de diferencia, el cual provoca un considerable aumento en el costo del techado.

Entre el primero y tercer caso sus costos totales son prácticamente iguales, sin embargo su diferencia más notable es en su sistema de soporte o sujeción, ya que la cantidad de largueros para el primer caso se necesitan 2,520 ML. y en el tercero 2,240 ML., dándonos una diferencia de 280 ML., el cual hace ser más inestable al primero. Sin embargo desde el punto de vista de seguridad del techo es más recomendable hacer trabajar al Asbesto-Cemento estructuralmente en claros de 1.15 M., ya que el viento siendo la principal sollicitación para este tipo de estructuras, resiste mejor en ese claro, pues como vimos anteriormente la lámina es sometida a prueba de flexión en claro de 1 M. en sus dos categorías, la de 5 mm (325) y la de 6.5 mm (425); Además por normas de diseño estructural en el Asbesto-Cemento su eficiencia máxima a la flexión es precisamente en este tipo de claros.

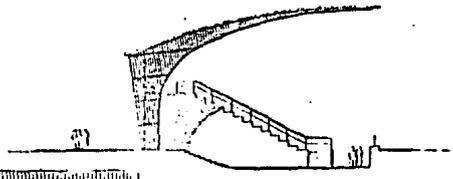
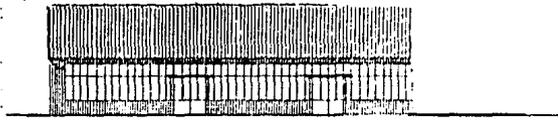
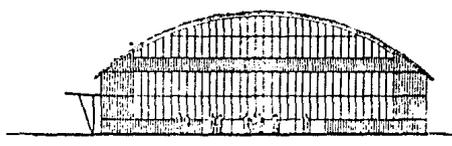
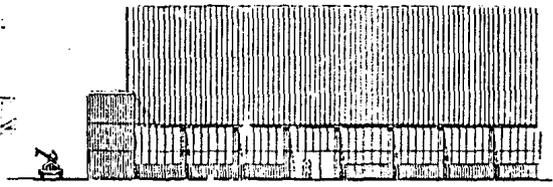
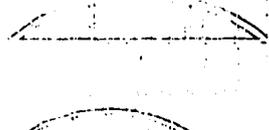
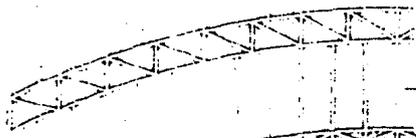
En conclusión podremos decir que el tercer caso se utilizaría para lugares muy especiales donde el viento no es muy fuerte, es decir que no alcance grandes velocidades y vortices y que por lo tanto su claro de 1.45 M es suficiente para ser soportado; en cuanto al segundo caso se tomaría lugares donde el viento es de velocidades moderadas o muy escaso teniendo un coeficiente de velocidad regional ( $K_0$ ) con rango probabilístico muy reducido de tal manera que su claro entre largueros de 0.97 M sea el indicado.

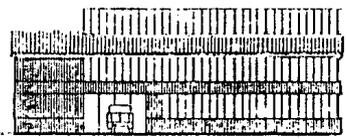
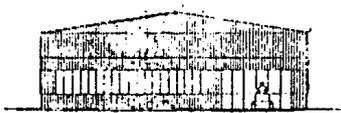
A P E N D I C E

A



3 5 10 15 20 25 30

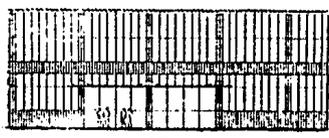
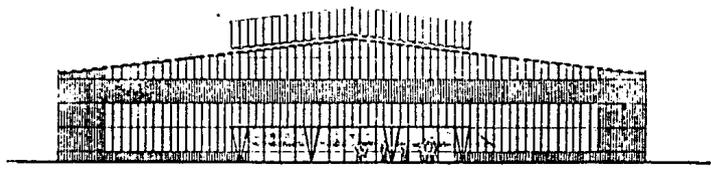
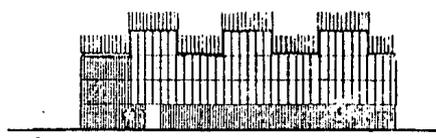
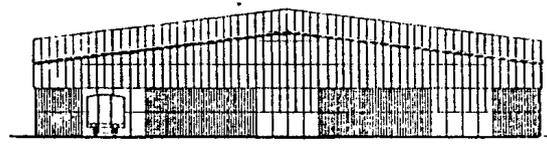


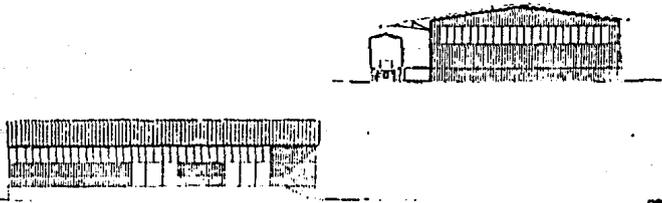
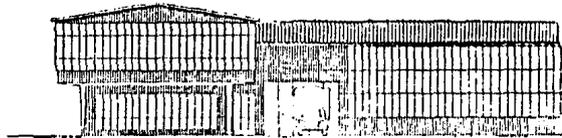
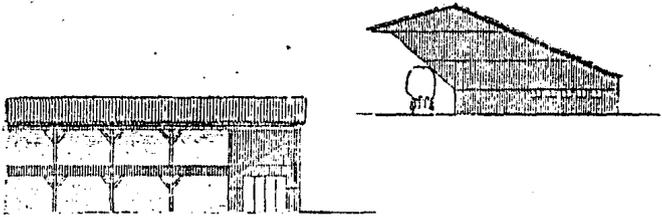
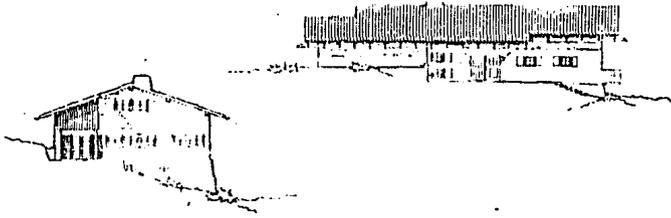
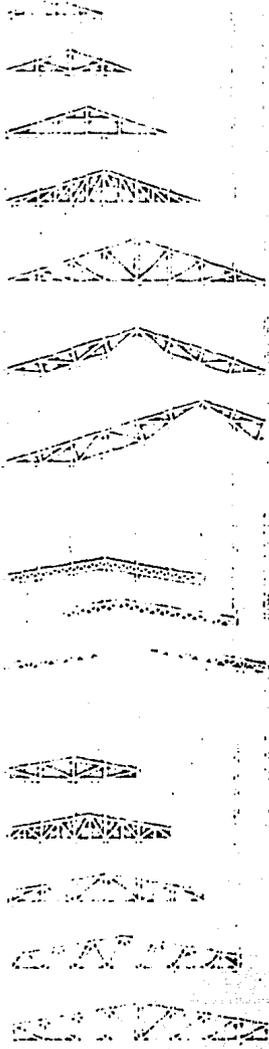


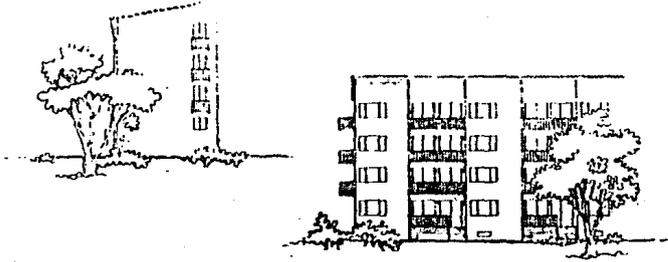
15 15 15 25



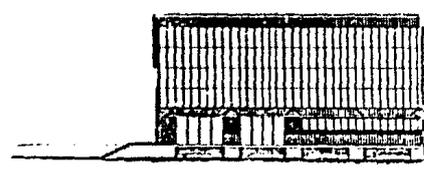
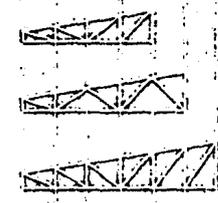
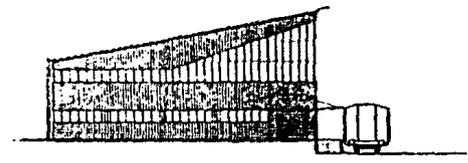
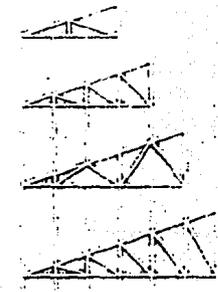
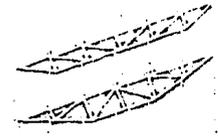
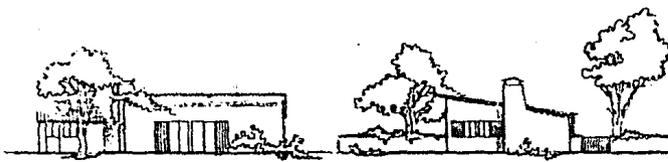
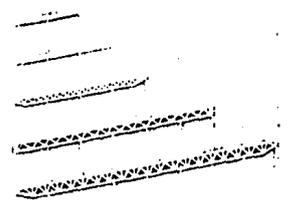
15 15 15 25







3 5 13 15 27



3 5 10 15 25

BIBLIOGRAFIA.

" CONSTRUCCIONES METALICAS "

Autor : Fernando Rodríguez - Avial Azcunaga.  
Capítulo VII - " Naves Industriales ".

---

" MANUAL DE CUBIERTAS PLANAS EN LA CONSTRUCCION "

Autor : Karl Moritz.  
Edit. Blume Madrid.

---

" ASBESTO - CEMENTO - EFECTOS ESTRUCTURALES "

Autor : Cranston, W.

---

" A S B E S T O S "

Autor : Berger, Hans.  
Capítulo : Asbestos With Plastics And Rubber.  
TR By Ralph E. Aesper. New York, Chemical Public.  
Incluye Bibliografía.

---

" ASBESTOS I B INDUSTRIAL APPLICATIONS. "

Autor : Rosato, D.

---

" A S B E S T O S "

Autor : Berger, Hans.  
Asbestos Fundamentals : Origen  
Properties, Mining Processing.  
Utilization.

" ESTRUCTURAS MODERNAS DE ACERO "

Autor : Linton E. Grinter.

Capítulos : 3 Y 4 Con Problemas Y Ejemplos.

---

" FABRICA ASBESTOS DE MEXICO, S.A. "

Consultas :

Departamento Técnico.

Departamento De Procesos.

Departamento De Control De Calidad.

Departamento De Almacén.

Departamento De Moldes.

Departamento De Embarques.