

34  
20



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ACCION ESTATICA DEL VIENTO  
EN PLACAS DOBLADAS**

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

**JORGE CORDOVA ZAVALA**

México D.F.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

1990



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

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

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

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

## CONTENIDO

CAPITULO I :	INTRODUCCION	1
CAPITULO II :	ACCION DEL VIENTO	5
	Meteorología.....	6
	Daños en recubrimientos y cubiertas debidos al viento.	7
	Características de flujo de viento.....	9
	(figuras y fotografías)	
CAPITULO III :	PRUEBAS EN TUNEL DE VIENTO	14
	Objetivos.....	15
	Láminas seleccionadas y su sujeción.....	16
	Instrumentación.....	17
	Procedimiento para efectuar las pruebas.....	18
	Análisis de los resultados obtenidos.....	20
	(figuras y tablas)	
CAPITULO IV :	REPRESENTACION DE LA ACCION DEL VIENTO MEDIANTE SERIES DE FOURIER	24
CAPITULO V :	METODO DE BANDAS FINITAS PARA EL ANALISIS DE PLACAS DOBLADAS	27
	Generalidades.....	27
	Análisis lineal de placas dobladas por el método de las bandas finitas.....	28
	Rigidez de una banda bajo efectos de membrana.....	28
	Rigidez de una banda bajo efectos de flexión.....	31
	Acoplamiento y solución.....	33
CAPITULO VI :	PROCEDIMIENTO NUMERICO (Programa)	38

<b>CAPITULO VII :</b>	<b>APLICACION A 5 TIPOS DE LAMINAS</b>	<b>42</b>
	<b>Características geométricas de las láminas.....</b>	<b>44</b>
	<b>Resultados.....</b>	<b>47</b>
	<b>(figuras)</b>	
<b>CAPITULO VIII :</b>	<b>ELEMENTOS MECANICOS Y ESFUERZOS</b>	<b>48</b>
<b>CAPITULO IX :</b>	<b>ESTUDIO COMPARATIVO DE RESULTADOS EN LAS LAMINAS ANALIZADAS</b>	<b>54</b>
<b>CAPITULO X :</b>	<b>COMENTARIOS FINALES</b>	<b>56</b>
<b>CAPITULO XI :</b>	<b>REFERENCIAS</b>	<b>58</b>

## CAPITULO I : Introducción

La estabilidad y el comportamiento adecuado de las estructuras durante su construcción y su vida útil, constituyen los aspectos técnicos mas importantes para que las obras de Ingenieria Civil cumplan con su finalidad. La óptima relación de estos aspectos con los de tipo económico, social, ecológico, estético, etc., darán como resultado obras de ingeniería mas útiles a la comunidad.

Así pues, una de las cuestiones que mas preocupa, particularmente a los ingenieros en estructuras, es el poder entender y evaluar el comportamiento de las solicitaciones que se presentan en las estructuras, sean éstas de tipo permanente, variable, o accidental. Si bien, todas las partes del proceso de diseño son importantes, la determinación de las cargas con la mejor aproximación posible, constituye la parte medular para lograr estructuras seguras y confiables; de nada servirían análisis rigurosos y diseños depurados si las solicitaciones consideradas están lejos de ser la realidad.

En el caso de estudiar la acción del viento como solicitación, que es lo que nos causa mayor interés para este trabajo, es necesario enfatizar su gran poder devastador en las poblaciones expuestas a él. Las grandes pérdidas humanas y materiales que ocasionan los diversos huracanes o ciclones, son motivo de gran atención y preocupación. Pero, no todo es negativo, ya que el viento es un evento natural periódico que hace posible poseer la información suficiente para predecirlos y enfrentarlos; por ello, la investigación en meteorología e ingeniería eólica o de viento ocupan un lugar preponderante.

Definitivamente, el viento no es fácil de representar, ya que siempre varía su velocidad en magnitud y dirección, tridimensionalmente y no se diga en el tiempo. Estudiar la acción del viento es básicamente tratar con fuerzas fluctuantes; en ese sentido, todas las fuerzas debidas al viento son dinámicas, pero en algunos casos bastará con representar la acción del viento

medio como una fuerza equivalentemente estática. En adición, resulta interesante conocer que en la manera de actuar del viento, las características geométricas de las estructuras hacen que éstas sean mas vulnerables a la acción estática ó dinámica del viento; así que dependiendo de las características del viento y de la estructura, el diseñador cuenta con criterios analíticos de caracter estático y dinámico, siendo estos últimos relativamente recientes.

El propósito concreto de esta tesis es intentar corroborar y con ello proporcionar un método exácto de análisis estático para placas dobladas, cuando éstas se encuentren sujetas a la acción media del viento.

Se entiende por placas plegadas, aquellas estructuras prismáticas que están compuestas por un conjunto de placas unidas en sus bordes longitudinales con distinta orientación en su sección transversal.

El método propuesto es el denominado "Método de bandas finitas" (ref. 11 ), el que por su gran versatilidad resulta ser una herramienta muy útil para analizar placas dobladas con cualquier sistema de carga. (en este trabajo el inducido por viento). Este trabajo encuentra su más plena justificación y alcance, por las diversas aplicaciones que pueden realizarse en torno a las estructuras que merezcan idealizarse como placas dobladas, en lugares donde el viento es significativo. Por ejemplo, el uso cada vez más frecuente y un tanto irresponsable de estructuras prismáticas de lámina (prefabricadas), como las llamadas de tipo estructural para cubrir grandes claros y ahorrarse estructura de acero portante, da motivos para pensar en el riesgo que representa su uso ante vientos intensos. Al carecerse de un criterio racional de análisis, tal que considere los efectos dinámicos y estáticos del viento, la aplicación del método de bandas finitas en ese tipo de láminas acanaladas es fundamental para realizar el análisis estático, y aún más, para poder atacar el de tipo dinámico, ya que la rigidez que se establece para la placa doblada es la misma.

Por otro lado, la aplicación de este método sería formidable para idear nuevas estructuras con el mínimo o nulo uso de estructura portante, aprovechando las ventajas de estabilidad y resistencia que ofrece una placa doblada eficiente, además de un gran ahorro económico. (estructuras prefabricadas).

Con todas estas ideas el presente trabajo intenta dar un primer paso, buscando demostrar la validez del método en el análisis de placas dobladas ante la acción del viento, y así proporcionar un instrumento de cálculo accesible para diversas y creativas aplicaciones.

Se describe brevemente a continuación el contenido de este trabajo:

En el capítulo 2 se muestran las características fundamentales del viento y sus efectos.

El capítulo 3 describe las pruebas del programa experimental en el túnel de viento del Instituto de Ingeniería de la UNAM, así como los resultados obtenidos.

Los capítulos 4, 5 y 6 tratan el modelo matemático, proponiendo la representación de la acción del viento mediante series de Fourier, el método de bandas finitas para el análisis de placas dobladas y el procedimiento numérico de solución (programa de computadora).

En el capítulo 7 se aplica el método a 5 tipos de láminas existentes en el mercado y en el 8 se estiman algunos elementos mecánicos, para posteriormente compararlos con los obtenidos de mediciones experimentales.

El capítulo 9 realiza un estudio comparativo de resultados en las láminas analizadas, mientras que los capítulos 10 y 11 tratan sobre las conclusiones y referencias del trabajo respectivamente.

Cabe mencionar que este trabajo forma parte de un amplio proyecto de investigación dentro de la sección de estructuras del Instituto de Ingeniería de la UNAM; en forma general podemos comentar que se busca comprender a fondo el fenómeno de la

interacción viento-estructura, determinando parámetros que correlacionen los efectos dinámicos que se inducen en estructuras al aparecer procesos turbulentos; a fin de analizar sistemáticamente las características estocásticas de la acción dinámica del viento y así poder diseñar estructuras de placa doblada aerodinámicamente eficientes.

Se han derivado investigaciones aplicables a láminas corrugadas (de gran utilización nacional), para obtener sus coeficientes de diseño, pero sobretodo, para optimar su forma o rugosidad y en consecuencia éstas tengan menores respuestas dinámicas ante la turbulencia y proporcionen mayor economía en su uso. Pueden realizarse aplicaciones también a cubiertas monolíticas de grandes claros expuestas a la acción del viento, como la de las naves industriales, mercados, auditorios, terminales de transportes, hangares etc. donde el uso adecuado del método de bandas finitas juega un papel importante.

La necesidad de mayor desarrollo integral en las costas mexicanas, así como el surgimiento de avances tecnológicos diversos hacen imprescindible el diseño óptimo de estructuras resistentes al viento.



## CAPITULO II : Acción del viento

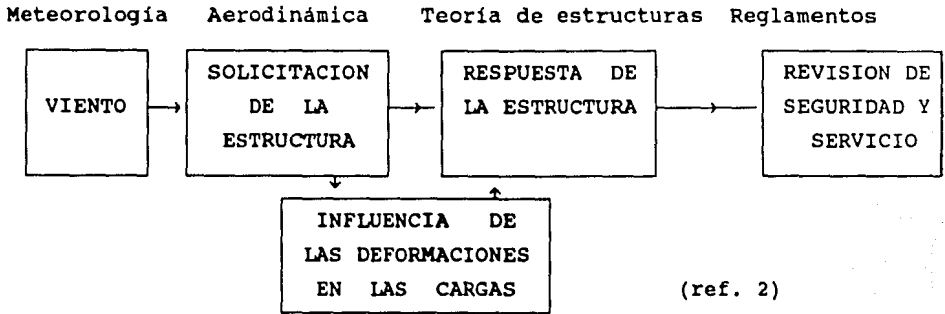
Esencialmente, el viento es aire en movimiento. Conforme se mueve sobre la superficie de la tierra, el viento azota y barre contra los obstáculos que se pongan en su trayectoria, incluyendo todo tipo de estructuras de ingeniería; en muchos casos las destruye.

Los flujos de aire son causados por condiciones térmicas y de presión en la atmósfera. El estudio de estas condiciones reside en la meteorología; una ciencia que se aplica en diferentes campos de la actividad humana concernientes al clima, la agricultura, la ecología, la protección civil, por solo citar algunos de ellos. En consecuencia, la meteorología es la disciplina básica que provee al ingeniero estructural de la información, en cuanto a las características de flujo que se requieren para determinar los efectos del viento sobre estructuras.

Por otro lado, el problema de las cargas resultantes en obstáculos sujetos a un flujo definido de aire, reside a su vez en la aerodinámica; en otras palabras, trata de obtener la relación entre una corriente de aire y la presión que ejerce sobre cuerpos estacionarios.

Con la información provista por las dos ciencias anteriores y sin olvidar también las leyes de la aeroelasticidad, el ingeniero podrá resolver entonces el problema de la seguridad de las construcciones en cuanto a viento; estableciendo las dimensiones de la estructura deseada, así como estimando su respuesta y confiabilidad acorde con los reglamentos y normas técnicas vigentes.

Con la intención de sintetizar el análisis de los efectos del viento, se muestra el siguiente esquema:



### Aeroelástica

La acción del viento desde sus diferentes puntos de vista, se contempla como un tema de gran extensión. Este capítulo trata genéricamente al viento, en cuanto algunos de sus aspectos básicos que van acorde con el propósito y justificación de esta tesis, tales como su origen, efectos destructivos en recubrimientos y cubiertas, y características de flujo (presión media del viento).

#### \* Meteorología

El aire es una mezcla de diversos gases (nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, ozono y contaminantes en baja proporción); es un fluido que para su movimiento sigue las leyes de la termodinámica. Requiere de una fuente de energía (normalmente el Sol o la Tierra) el que provoca movimiento del aire al existir gradientes térmicos, y éstos a su vez, producen la aparición de velocidades relativas a la superficie terrestre. El Sol produce cantidades importantes de energía mediante procesos de fusión. Al viajar el viento solar por el espacio, transmite la energía del sol a la parte superior de la atmósfera, en donde una porción de la energía se refleja, y la otra se absorbe generando gradientes térmicos en la tropósfera

hasta la superficie terrestre. Esos gradientes térmicos originan el movimiento de las masas de aire que se conoce como "viento".

Algunas veces, en las épocas de calor de ciertas partes del mundo, se generan cantidades de calor importantes por evaporación del agua de mar. Cuando ésta agua en vapor pierde calor, lo transmite a la atmósfera provocando uno de los fenómenos de vientos de alta velocidad conocidos como ciclones, huracanes o tifones. Esas corrientes normalmente se presentan en la tropósfera, que es la parte de la atmósfera más cercana a la superficie y cuyo espesor es de aproximadamente 11 km.

Debido al movimiento periódico de la Tierra alrededor del Sol, existen características de periodicidad en la aparición de vientos intensos en zonas de la Tierra. En diversas épocas del año, se generan patrones de líneas de corrientes de viento que se afectan por los cambios térmicos ocasionados por el movimiento de translación alrededor del Sol.

En las costas mexicanas por ejemplo, durante todo el año existe una gran incidencia de tormentas tropicales y huracanes que afectan a las construcciones, tal como lo indican registros meteorológicos en el lado del Océano Pacífico, el Golfo de México y el Caribe (figs 2.1 y 2.2). Por otra parte, análisis estadísticos de las velocidades máximas de viento en nuestro país, indican magnitudes importantes equiparables con aquellas que se presentan en países como los de Europa donde también afecta el viento. En la fig. 2.3 se presenta un mapa de la República Mexicana con las curvas de igual velocidad (isotacas) presentandose un mínimo en los Altos de Jalisco (70 Km/hr) y un máximo en Soto la Marina y Veracruz (250 Km/hr). (ref. 1)

\* Daños en recubrimientos y cubiertas debidos al viento.

Fácilmente se podría mencionar y relatar innumerables casos de falla de construcciones expuestas al viento; los colapsos de puentes, torres de enfriamiento, de transmisión, chimeneas,

recubrimientos y cubiertas etc, a lo largo de éste siglo y del anterior, son verdaderas muestras de los severos daños del viento cuando no se le toma en cuenta adecuadamente.

Al hablar de las estructuras que se pueden considerar como placa doblada, que por lo regular forman parte de elementos como cubiertas monolíticas completas, paredes laterales y recubrimientos diversos, es referirnos a partes muy sensibles a la acción dañina que provoca el viento.

No es sorpresa, que las cubiertas o recubrimientos no resistan la succión que le produce el viento, desencadenándose fallas parciales o totales en ellas; y lo que es peor, que los destrozos se conviertan en proyectiles contra la población en el transcurso de un viento intenso (huracán), debido a que éstos no son instantáneos sino que duran varias horas (del orden de 24 a 72 hrs). En realidad, los recubrimientos son elementos que trabajan en conjunto, la falla de alguno de ellos propicia la de recubrimientos contiguos y consecuentemente el posible colapso de elementos estructurales. El efecto de succión (presión negativa) que produce el viento, puede atribuirse como el motivo mas usual en el daño a cubiertas; además puede verse incrementado por presiones internas en el caso de que puertas o ventanas fallen previamente. (ref. 7)

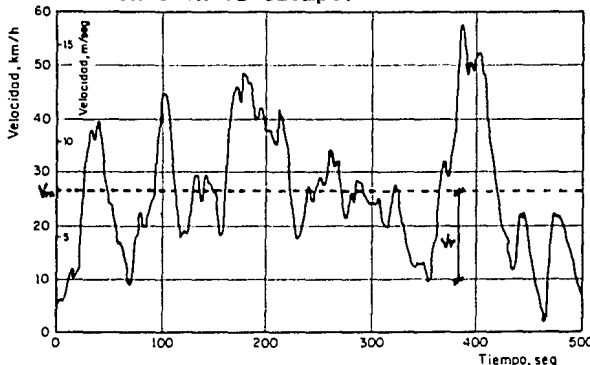
La escala de intensidad de estos daños, abarca desde desprendimientos de recubrimientos de fachadas, fallas de muros (muros sujetos a succión importante) hasta daños severos en cubiertas. (fotografías 2.1 al 2.5 )

Por otra parte, tanto las características de turbulencia del viento, como las características de rugosidad de superficies muy particulares (determinación de coeficientes de presión) son usualmente los puntos de incertidumbre mas importantes en el diseño de cubiertas (prefabricadas o no prefabricadas); por lo cual sin el uso de modelos en túnel de viento, no podrían formularse recomendaciones de diseño adecuadas.

\* Características de flujo de viento.

Así como cualquier otro fluido en movimiento, el viento requiere de un estudio que identifique las características de su movimiento. Interesa conocer del viento, su velocidad como vector (magnitud, dirección y sentido), para transformarlo posteriormente en un campo de presiones aplicadas a un cuerpo dado.

Siendo que, la velocidad de viento varía notablemente tanto en la altura sobre el terreno, en posición horizontal, como en el tiempo, se requiere de diferentes puntos de medición para conocer el estado general de las características del viento. Para un punto de medición cualquiera, se tiene el siguiente análisis de velocidades de viento en el tiempo:



En el conjunto de datos de velocidad en un intervalo de tiempo  $T$ , se puede pensar en asociar el conjunto a una distribución normal e identificar su valor medio ( $V_m$ ) y su desviación estándar ( $d$ ).

Se puede decir que:

$$V_i = V_m + V_r = V_m + c(t)d = V_m ( 1 + c(t) d/V_m )$$

donde  $V_i$  .- velocidad instantánea

$V_m$  .- velocidad media

$V_r$  .- velocidad de Reynolds

Al coeficiente de variación estadística  $d/V_*$  se le conoce como índice de turbulencia ( I ). El índice de turbulencia mide los efectos cambiantes en la acción del viento y a medida que aumenta se hacen más notables los efectos dinámicos que produce el viento.

Cuando no hay turbulencia ( $I=0$ ), no existe velocidad de Reynolds, y en consecuencia,  $V_1=V_*$  se identifica como flujo laminar, el que en realidad no existe ni en un túnel de viento ( $I=2\frac{1}{2}$ ).

Pero algunas veces, será suficiente considerar que el viento es equivalente a un flujo laminar por tender a una velocidad constante. Ante viento sostenido ( velocidad constante ) las presiones y succiones medias constituyen la parte más importante de los efectos en estructuras poco flexibles con períodos naturales de vibración cortos. La distribución de dichas presiones sobre las superficies expuestas al viento dependen de la geometría, y pueden determinarse experimentalmente a partir de pruebas sobre modelos en túnel de viento.

La magnitud de la fuerza por unidad de superficie que ejerce el viento sobre una estructura, se puede expresar por:

$$P = \frac{v^2}{2g} p$$

en donde:

P = Presión

V = Velocidad de viento

g = Aceleración de la gravedad

p = Peso volumétrico del aire, que es función de la altura sobre el nivel del mar del punto en el que se obtenga la presión.

Aplicando el principio de Bernoulli o de conservación de la energía entre la presión estática y velocidad del viento en un punto de la estructura (P,V) y en otro punto alejado de la estructura ( $P_0, V_0$ ).

$$P + \frac{V^2}{2g} P = P_0 + \frac{V_0^2}{2g} P$$

se deduce un término adimensional llamado " coeficiente de presión (C<sub>p</sub>) "

$$C_p = \frac{2g \Delta P}{V_0^2 P}$$

$$\Delta P = ( P - P_0 )$$

El coeficiente de presión expresa que el cambio de presión entre un punto sobre la estructura y otro dentro de la corriente uniforme del viento, varía con el cuadrado de la relación de velocidades entre ambos puntos. También se puede demostrar que éste coeficiente varía con las características del fluido, y con el llamado número de Reynolds que es función de la velocidad del viento, de las dimensiones de la estructura y de la viscosidad del fluido.

Si por algún procedimiento empírico se determina la distribución en la estructura de los coeficientes de presión, el valor de la fuerza aplicada en un punto es:

$$P = \frac{C_p P}{2g} V_0^2$$

En el reglamento de construcciones para el D.F.

( Normas técnicas complementarias para diseño por viento )

$$(ec 2.1) \quad P = C_p C_z K p_0$$

p<sub>0</sub> - es la presión básica de diseño ( 30 kg/m<sup>2</sup> para estructuras comunes y 35 kg/m<sup>2</sup> para estructuras del grupo A )

K - es un factor correctivo por condiciones de exposición del predio

C<sub>z</sub> - es un factor correctivo por la altura sobre el terreno

C<sub>p</sub> - es el coeficiente de presión, que el actual reglamento llama factor de presión

Para la República Mexicana (Manual de diseño de obras civiles CFE)

$$(ec\ 2.2) \quad P = 0.0048 G C_p V_D^2 \quad G = 8-H / 8-2H \quad \text{Factor de reducción de densidad de la atmósfera, a la altura H (Km) sobre el nivel del mar}$$

La velocidad de diseño se obtiene a partir de expresiones dadas en los reglamentos, las cuales se basan en velocidades "básicas" y en la distribución de las velocidades sobre el terreno (teoría de mezclado).

La velocidad básica es aquella que tiene una cierta probabilidad de no ser sobrepasada por la máxima velocidad que ocurra en una región y en un periodo prefijado. Esta depende a su vez de la velocidad regional ( $V_R$ , fijada a la altura de 10m con un tiempo de recurrencia de R años), así como de la topografía ( $K_1$ ) y del tiempo de recurrencia de acuerdo con la vida útil de una estructura ( $K_2$ ). Las velocidades regionales vienen dadas en reglamentos o en mapas de isotacas como en la fig 2.3

Así entonces, la velocidad básica queda definida por :

$$(ec\ 2.3) \quad V_B = K_1 K_2 V_R$$

El cálculo de las fuerzas medias del viento y su aplicación en el método de elementos banda, hará uso de la expresión 2.1 ó 2.2 en base a la localización de la estructura, a la determinación de los coeficientes de presión obtenidas en túnel de viento, de las velocidades de diseño que se derivan de considerar la velocidad básica dada por la ec 2.3 y de la ley de variación con la altura dada por la ec.2.4

$$(ec\ 2.4) \quad V_z = \bar{V}_{10} \left( \frac{z}{10} \right)^\alpha$$



donde

$z$  es la altura del área expuesta sobre el nivel del terreno  
 $\alpha$  es un parámetro que depende de la rugosidad del terreno  
sobre el cual fluye el aire, del intervalo de observación,  
y de las características de la atmósfera.

$\bar{V}_{10}$  representa la velocidad media medida a 10m de altura.

(refs. 1 y 3)

Específicamente en este trabajo, la velocidad está dada  
directamente por el túnel de viento (150 Km/hr).

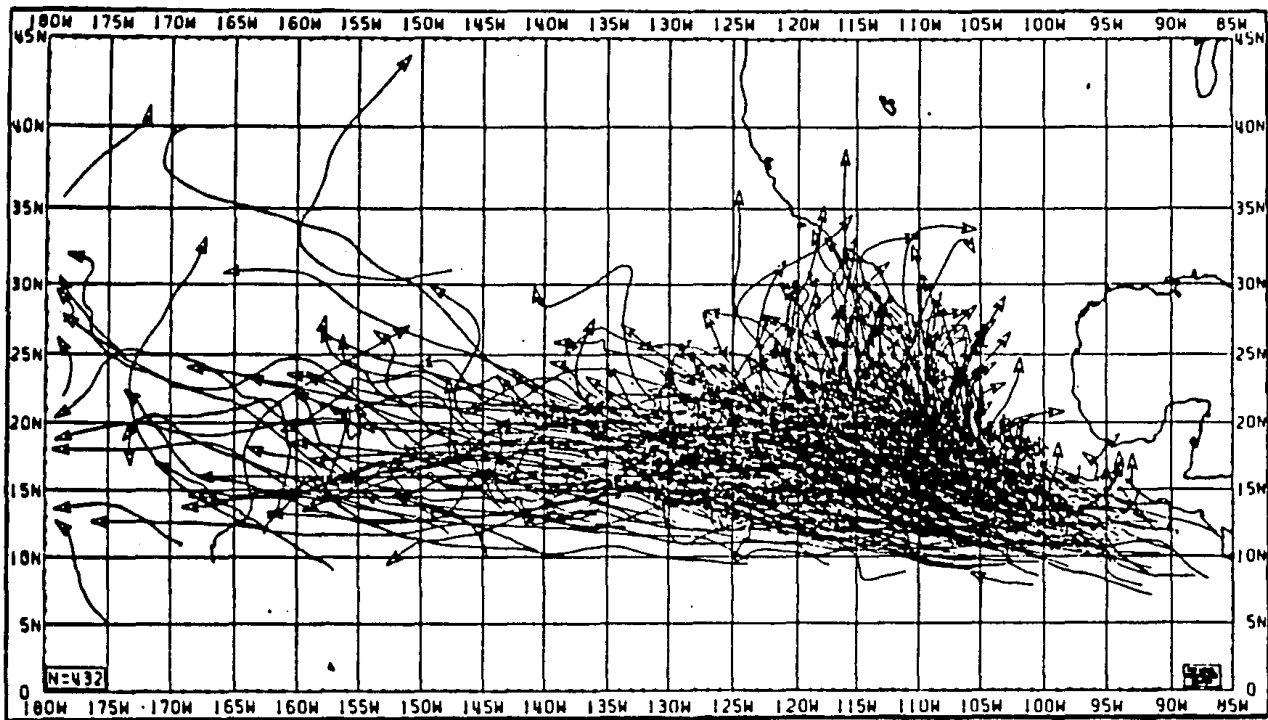
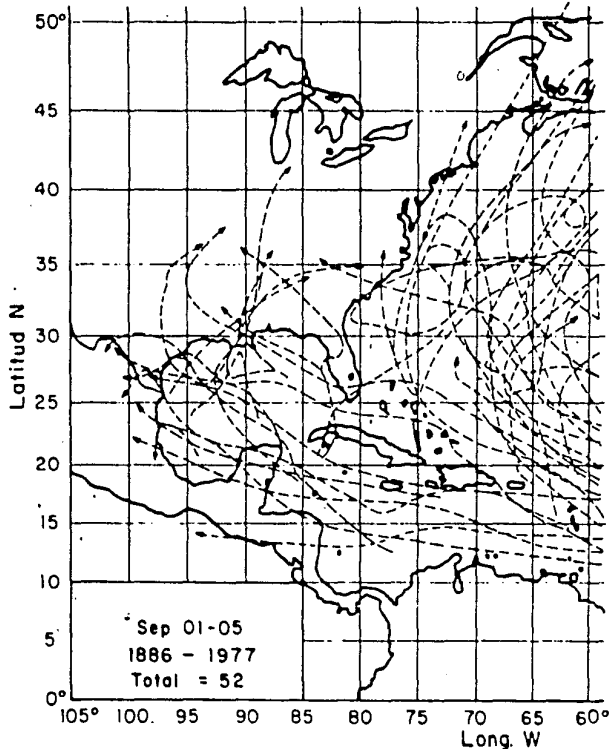
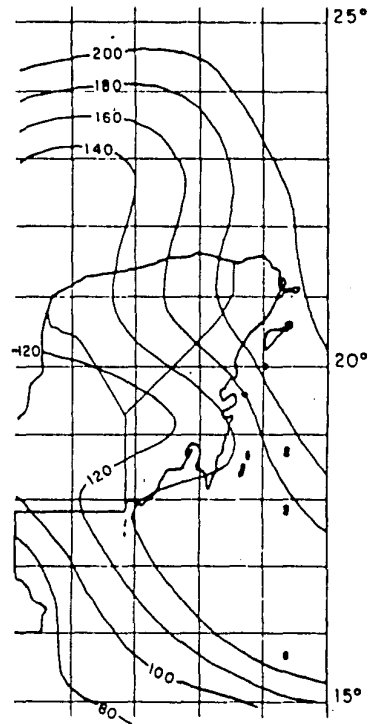


Fig 2.1 TRAYECTORIAS DE TODOS LOS CICLONES TROPICALES QUE SE HAN GENERADO EN LAS ZONAS ESTE Y CENTRAL DEL OCEANO PACIFICO NORTE EN EL PERIODO DE TIEMPO COMPRENDIDO ENTRE 1949 Y 1983



a) Trayectoria de ciclones que se originan en el Caribe que pasan en la vecindad de Cancún. (Sólo se muestran aquellos que se originan entre el 1º y el 5 de septiembre de cada año)



b) Velocidad de diseño regional  
R = 100 años, en km/h

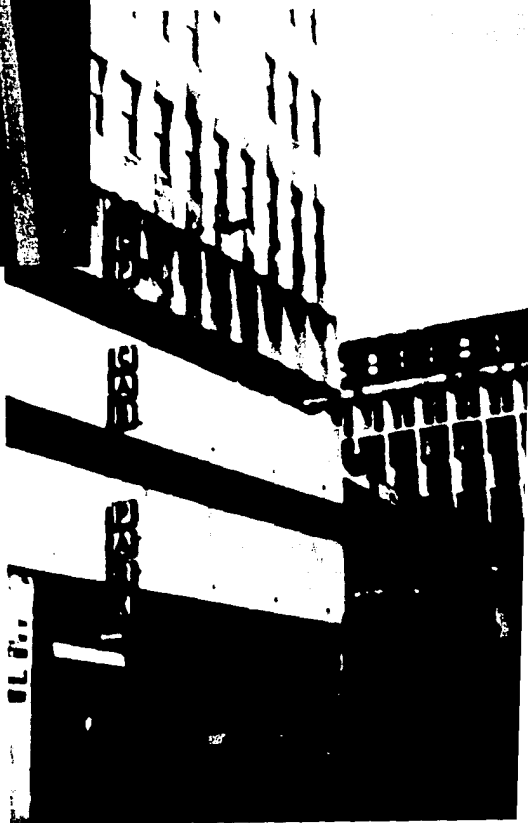
Fig 2.2 Características del régimen de ciclones en la península de Yucatán y de la velocidad regional probable





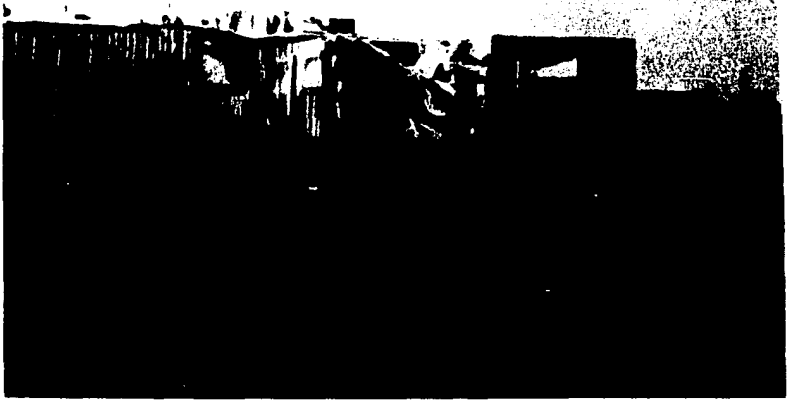
Fot. 2.1

Daño a ventanería de fachada,  
por efecto de succión local.

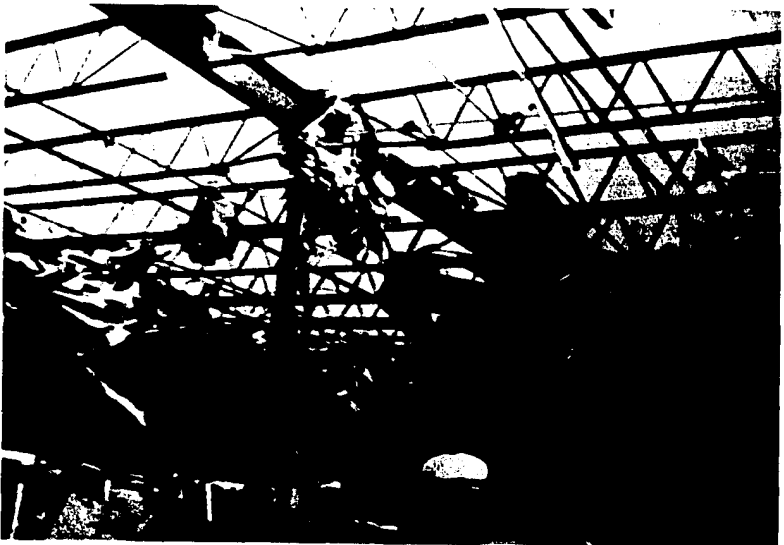


Fot. 2.2

Desprendimiento de elemento de  
fachada, poniendo en riesgo la  
vida de los transeúntes.



Fot. 2.3 Graves daños a elementos estructurales por falla de recubrimientos.



Fot. 2.4 Falla de cubierta por efecto de succión, sobreviviendo solo la estructura de acero portante.



Fot. 2.5 Construcción a base de láminas corrugadas, totalmente deformadas y desprendidas.

### CAPITULO III : Pruebas en túnel de viento.

Como en toda investigación, el fenómeno en estudio debe reproducirse mediante una experimentación adecuada, a fin de proporcionar resultados valiosos representativos de la realidad.

No obstante que, en un sólido programa experimental existe relativa incertidumbre de su información, ésta es la base en la corroboración de resultados teóricos-experimentales; pues sólo tiene sentido verdadero que la teoría pretenda parecerse a la realidad y no al revés. Por ello es de gran importancia, hacer uso de lo más avanzado y adecuado en la instrumentación de las pruebas, así como una debida planeación, aunada a un riguroso cuidado en el desarrollo de éstas.

A fin de llevar a cabo el estudio de placas dobladas bajo los efectos del viento, se estableció un programa experimental en el túnel de viento del Instituto de Ingeniería de la UNAM (ref 8). El viento es generado por un ventilador con alabes de madera, conectado a un motor de 75 HP que genera una corriente de aire con velocidad de 150 Km/hr en la zona de prueba. Los modelos utilizados fueron láminas corrugadas, mismas que se sometieron a la acción del viento generada por el túnel bajo condiciones controladas, en tanto que sus respuestas fueron medidas instrumentalmente.

El programa experimental consistió en la realización de diferentes pruebas, que se avocaran tanto a la respuesta estática y dinámica de los modelos, como a las características dinámicas del viento. En las siguientes líneas se describen los objetivos, procedimientos y resultados de las pruebas, así como la instrumentación utilizada. De hecho, los objetivos de este programa experimental no corresponden propiamente a los que persigue este trabajo, sin embargo se aprovecha granparte de la información requerida para aplicarla en el método de bandas finitas y así poder realizar una comparación entre lo medido y lo calculado. Por ello, el presente capítulo enfatiza lo que más interesa para fines del análisis estático, sin olvidar el



comportamiento dinámico.

\* Objetivos.

Se pretendió realizar pruebas para analizar las características dinámicas de la interacción, cuando se modifica la rugosidad de superficies de estructuras deformables sujetas a la acción de flujos turbulentos estables; con una cuidadosa observación en los cambios que se presentan en los valores medios de las presiones generadas por el paso del fluido, así como en las características de las densidades espectrales de potencia correspondientes a la aparición de turbulencia.

Por ello se ensayaron láminas metálicas de calibre 22, pero con diferentes configuraciones, adheridas a las paredes de la sección de prueba del túnel de viento con velocidad controlada, a fin de observar los movimientos de las láminas y del aire.

La selección de esta prueba en túnel de viento, se consideró adecuada para representar las condiciones reales del paso de vientos de alta velocidad tangencialmente a las láminas, como se puede encontrar en las paredes laterales y cubiertas de construcciones sometidas a la acción de vientos intensos.

Se escogieron 5 tipos diferentes de láminas fabricadas en el país, de las comúnmente utilizadas en la construcción de estructuras industriales, para observar su comportamiento en condiciones similares de prueba y establecer criterios racionales para la selección óptima de las características de la lámina, minimizando la acción de vientos turbulentos.

Fue deseable mantener siempre la misma velocidad media del viento tangencial a la superficie media de las láminas y además mantener las condiciones de sujeción, para variar solamente la forma transversal de las láminas (masa y momento de inercia), alterando entonces las características dinámicas de la respuesta estructural de cada lámina.

Específicamente, interesó desarrollar técnicas para controlar y medir:

- a) La presión media en diversos puntos de la lámina y sus fluctuaciones en el tiempo
- b) Las deformaciones unitarias generadas durante la prueba para corroborarlas mediante procedimientos de cálculo
- c) La velocidad media y la velocidad de Reynolds en diversos puntos de la sección de prueba
- d) La sujeción de las láminas a la pared de la sección de prueba, así como observar su importancia en las propiedades dinámicas
- e) Los movimientos inducidos en la lámina por el paso de la corriente de aire y la coherencia entre las características de ese movimiento y la variación de presiones
- f) La turbulencia en la sección de pruebas de un túnel de viento corto

\* Láminas seleccionadas y su sujeción.

Se seleccionaron cinco láminas para iniciar las pruebas en el túnel de viento, que se denominaron L1, L2, L3, RN-100/35 y R-90. (figs. 3.1 al 3.5)

Dichas láminas se colocaron en la pared oriente de la sección de prueba del túnel, cuyas características de flujo antes de colocar las láminas, aparecen en la fig. 3.6

Cada lámina se cortó para dar una longitud igual a 113 cm, y se taladraron las láminas a una distancia de 107 cm, en la parte en contacto con ángulos de acero estructural, y así fijar las láminas a la pared del túnel. (figs. 3.7 y 3.8)

Se utilizaron pijas autoroscantes en cada corrugación en contacto con los ángulos de soporte. En las láminas se colocaron pijas para coser verticalmente a láminas contiguas.

Se observó que las láminas fueron tratadas en la misma planta en Monterrey, N.L.; se sometieron a un proceso de galvanizado y

cromatizado electrolítico y se uso el mismo tratamiento de fosfatado bajo la pintura primera y la pintura de acabado, por lo que se puede considerar que las cinco láminas presentaron el mismo material base y que unicamente difirieron en las características geométricas de las corrugaciones.

#### \* Instrumentación.

En tres secciones de cada una de las láminas colocadas en la posición de prueba, denominadas superior, media e inferior, se colocaron tubos de latón soldados, de 3mm de diámetro, a los cuales se unieron mangueras delgadas de plástico de 3mm de diámetro interior, los que a su vez se conectaron a tubos piezométricos en un tablero de observación; ahí se registraron las alturas piezométricas generadas por el paso de la corriente de aire de 150 Km/hr en la sección de prueba del túnel de viento, tomando fotografías instantáneas del tablero.

Siempre se colocaron tubos en cada cara plana de las corrugaciones de las láminas ensayadas. Se numeraron del 1 al 27 en la sección superior, del 28 al 55 en la media y del 56 al 81 en la inferior. Se dispuso así de 81 puntos de observación (figs. 3.1 al 3.5) lo cual permitió obtener datos estadísticos suficientes para valuar presiones medias en cada punto, así como de su coeficiente de variación.

En cada punto de observación se conectó sucesivamente un transductor de cuarzo, compensado por aceleración, que permitió medir transitorios rápidos de presión bajo las condiciones de prueba en alta velocidad.

Para medir aceleraciones en las láminas, se recurrió a dos acelerómetros ICP Piezotronics, modelo 302A, con peso de 25 gramos, que se adhería con imán a las láminas en diversos puntos.

Para medir las características de flujo de aire en la sección de prueba se introdujo un tubo Pitot para registrar la altura piezométrica media generada por la velocidad del viento. Adosado a la entrada del tubo Pitot se colocó la celda piezoeléctrica 603A,

para registrar la varianza de las velocidades de Reynolds que se generaban por la aparición de turbulencia en el túnel.

Este dispositivo móvil, permitió medir la velocidad del viento a lo largo de tres líneas ortogonales a las láminas, entre las dos paredes verticales del túnel, en ocho puntos equidistantes, para definir el perfil de velocidades medias en cada línea, así como los espectros de potencia generados por la acción turbulenta del viento.

Además en la fig 3.9 se muestran dos transductores construidos en México para medir turbulencia del aire dentro del túnel. Se formaron a partir de dos transductores PCB-103A instrumentados en tubos de aluminio, a fin de obtener la señal generada por la turbulencia.

Para analizar las señales obtenidas del acelerómetro y de la celda piezoeléctrica de presión, se recurrió a conectar los sistemas de medición con un analizador de espectros(fig. 3.10)

Para registrar automáticamente las deformaciones unitarias en las láminas en estudio se utilizó un equipo automático VISHAY, que se muestra en la fig 3.10 formado por:

- a) Unidad de conexión con los deformímetros eléctricos (strain-gages).
- b) Unidad de medición por cambio de resistencia eléctrica.
- c) Unidad de registro automático.

El equipo usado permitió muestrear periódicamente las deformaciones unitarias en los puntos en que se adhirieron celdas eléctricas. Se efectuó un análisis estadístico de las deformaciones unitarias durante las pruebas efectuadas en dos láminas, a fin de conocer los esfuerzos producidos por el paso del viento de alta velocidad dentro del túnel.

\* Procedimiento para efectuar las pruebas.

Para probar las láminas se siguió siempre la misma secuencia experimental, que consistió esencialmente en:

- 1.- Instalar láminas en la sección de pruebas del túnel de viento,

intentando conseguir la misma condición en la sujeción de las láminas que se acostumbra en la industria de la construcción. Se colocó plástico en los bordes no sujetos a los ángulos, para evitar el paso del aire hacia el exterior del túnel de viento.

2.- Una vez que se fijaron las láminas, se conectaron tubos de plástico en cada punto de observación con los tubos piezométricos colocados en un tablero para medición de las presiones medias. Se revisó que coincidieran los números del punto de observación con el tubo correspondiente del tablero, y que no existieran defectos en la transmisión de presión en los tubos.

3.- Se excitaban las frecuencias naturales de vibración de la lámina, golpeándola rítmicamente para obtener espectros de aceleración con el transductor de medición colocado en diversos puntos de la lámina, conectado al analizador de espectros 3582A.

4.- Se adhería el acelerómetro en puntos notables de la lámina, cercanos a los puntos de medición en donde se desconectaba una manguera y se colocaba la celda piezoeléctrica para medir presión. Se hacía funcionar el túnel, y se obtenía tanto registro fotográfico del tablero de medición, como registro del análisis espectral obtenido del analizador de espectros. Se repitió este proceso en las secciones superiores, inferior y media de cada lámina.

Al mismo tiempo se registraron los valores de las deformaciones unitarias en celdas eléctricas adheridas a las láminas R-90 y RN-100/35. Los datos obtenidos permitieron inferir los valores de los esfuerzos que se presentaron durante el paso del viento. En las figuras 3.4 y 3.5 se muestran las posiciones relativas de las celdas eléctricas adheridas para medir deformaciones unitarias.

5.- Con el tubo Pitot adosado a la celda de presión se medían la velocidad media y los espectros de presión en tres líneas ortogonales a la lámina, en los extremos de la lámina y en su punto medio.

\* Análisis de los resultados obtenidos.

+ Valores medios de las presiones en las láminas.

De los registros fotográficos del tablero de tubos piezométricos obtenidos de cada prueba, se extrajo la información inherente; se obtuvo así un conjunto de datos de alturas piezométricas que se transformaron en coeficientes de presión al normalizar respecto a la carga de velocidad registrada simultáneamente en un tubo Pitot (colocado en el centro de la sección de prueba).

En las tablas (3.1 a la 3.5) se muestran los coeficientes de presión medios, obtenidos de analizar 28 registros fotográficos correspondientes a cada lámina; también aparecen los coeficientes de variación correspondientes.

Los valores promedio de las presiones en cada lámina se representaron gráficamente en cada corrugación, con lo que se obtuvo la distribución de presiones inducida por la acción del viento. (figs 3.11 a 3.15)

Se calcularon los valores resultantes para obtener las fuerzas representativas de la acción del viento y al dividir entre el área tributaria y la carga media de presión, se obtuvieron los siguientes coeficientes representativos de presión y variación inducidos tanto en dirección perpendicular a la lámina como en dirección paralela al viento. (Ver las siguientes tablas)

LAMINA	Coef. de presión perpendicular	Coef. de Variación	Coef. de presión Horizontal	Coef. de Variación
L1	-0.12	241 %	0.053	399 %
L2	-0.1785	22 %	0.293	56 %
L3	-0.157	72 %	0.361	34 %
R-90	-0.240	4 %	0.0034	82 %
RN-100/35	-0.036	12 %	0.020	11 %

LAMINA	Succiones con respecto a L1	Fuerzas paralelas a la superficie c/respecto a L1
L1	100 ‰	100 ‰
L2	149 ‰	553 ‰
L3	131 ‰	681 ‰
R-90	200 ‰	6.4 ‰
RN-100/35	30 ‰	38 ‰

+ Análisis de los espectros de potencia de las aceleraciones.

Del análisis de las aceleraciones medidas durante las pruebas, se pudo extraer información sobre la configuración modal deformada de la lámina más excitada, al considerar las máximas densidades espectrales, en una frecuencia coincidente con la de alguno de los modos naturales de vibrar de ellas. Este análisis indicó claramente la distorsión de las láminas, tanto en dirección normal a la superficie media de la lámina, como en la dirección en la cual sopla el viento. En éste movimiento se presentaron vibraciones de alta frecuencia con las frecuencias naturales obtenidas de vibrar libremente a las láminas colocadas en el túnel de viento.

Cabe mencionar que durante las pruebas, las vibraciones disminuyeron al aumentar el número de pijas, colocando una en cada corrugación. Se observó que al alterar el número de las pijas autoroscantes, se modificó la frecuencia natural de vibración.

Se puede afirmar que la presencia de los traslapes entre láminas, afecta sensiblemente a las frecuencias naturales de vibración, por rigidizar localmente algunas de las corrugaciones y por el efecto de pijas autoroscantes de costura. Ambas causas rigidizan las láminas, aumentando el valor de las frecuencias naturales medidas.

En la observación del flujo sobre la superficie de las láminas, se notó separación de flujo en la parte saliente de la lámina, mientras que en el interior de cada corrugación se observaron cambios apreciables en la dirección de la velocidad, indicativos de la formación de vórtices.

+ Análisis de los espectros de presión.

La información contenida en la mayoría de los espectros observados, mostró que el movimiento vibratorio del aire en movimiento dentro de la sección de prueba, se debe principalmente a un acoplamiento del aire con las vibraciones de las láminas colocadas en la pared, como lo muestra la alta coherencia existente entre las aceleraciones medidas en las láminas y las variaciones de la velocidad de Reynolds en ocho puntos de medición a lo largo de tres líneas ortogonales a la lámina, en las secciones anterior, media y posterior del lugar de prueba. En las figs 3.13 a la 3.17 se observan los perfiles de carga de velocidad, así como los perfiles de la densidad espectral máxima registrada en cada una de las líneas de medición dentro del túnel de viento. Si se considera que ésta densidad máxima es una medida del área bajo el espectro de presión, estima la varianza de las velocidades de Reynolds contenidas en el viento y en consecuencia, miden aproximadamente los índices de turbulencia generados por el paso del aire en movimiento.

A medida que la distancia a la lámina aumenta, decrecen las coherencias y las densidades espectrales de presión. Se aprecia claramente que la forma de las láminas modifica el índice de turbulencia cercano a la pared del túnel ya que cuando existen densidades espectrales máximas de presión cerca de la lámina se generan los mayores índices de turbulencia.



+ Esfuerzos inducidos en las láminas ensayadas.

Interesó estudiar la distribución de deformaciones unitarias y esfuerzos inducidos en las láminas por el paso del viento tangencial. Se colocaron 6 celdas de medición en la lámina R-90 mientras que en la RN-100/35 9 de ellas; no fue así en las láminas L1, L2, y L3. La distribución de la posición relativa de las celdas se encuentra en las figs. 3.4 y 3.5, las que se colocaron para conocer algunos esfuerzos en la sección media de cada lámina y comparar los valores experimentales con aquellos obtenidos del modelo teórico.

Las mediciones realizadas en las láminas R-90 y RN-100/35 mostraron la aparición de deformaciones unitarias que condujeron a los esfuerzos que aparecen en las tablas 3.6 y 3.7 respectivamente. Se observa que los esfuerzos en la lámina R-90 resultaron uno o dos órdenes de magnitud mayores a aquellos obtenidos en la lámina RN-100/35, cuando se mantuvieron las condiciones de sujeción inicialmente colocadas para fijarlas a la pared del túnel de viento. Cuando se eliminaron pijas autorroscales en los extremos de las dos láminas, los niveles de esfuerzos variaron notablemente sobretodo en la R-90.

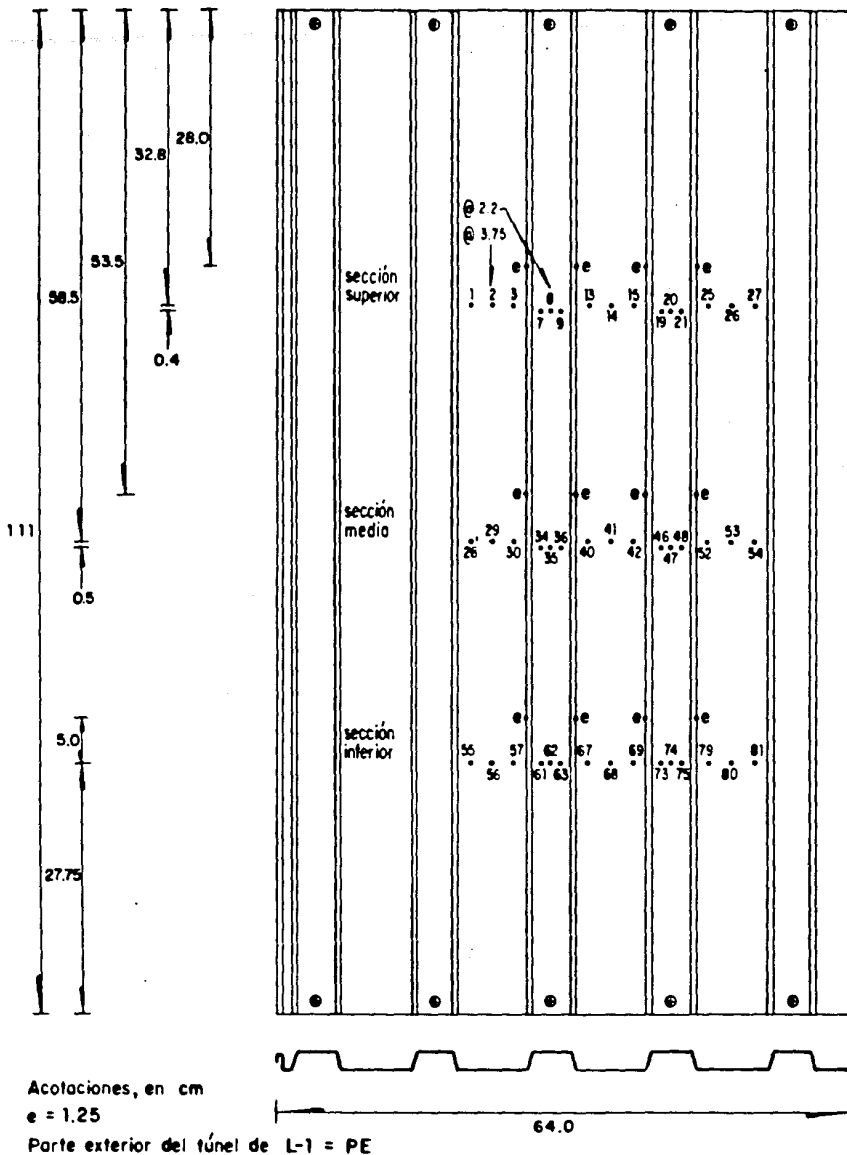
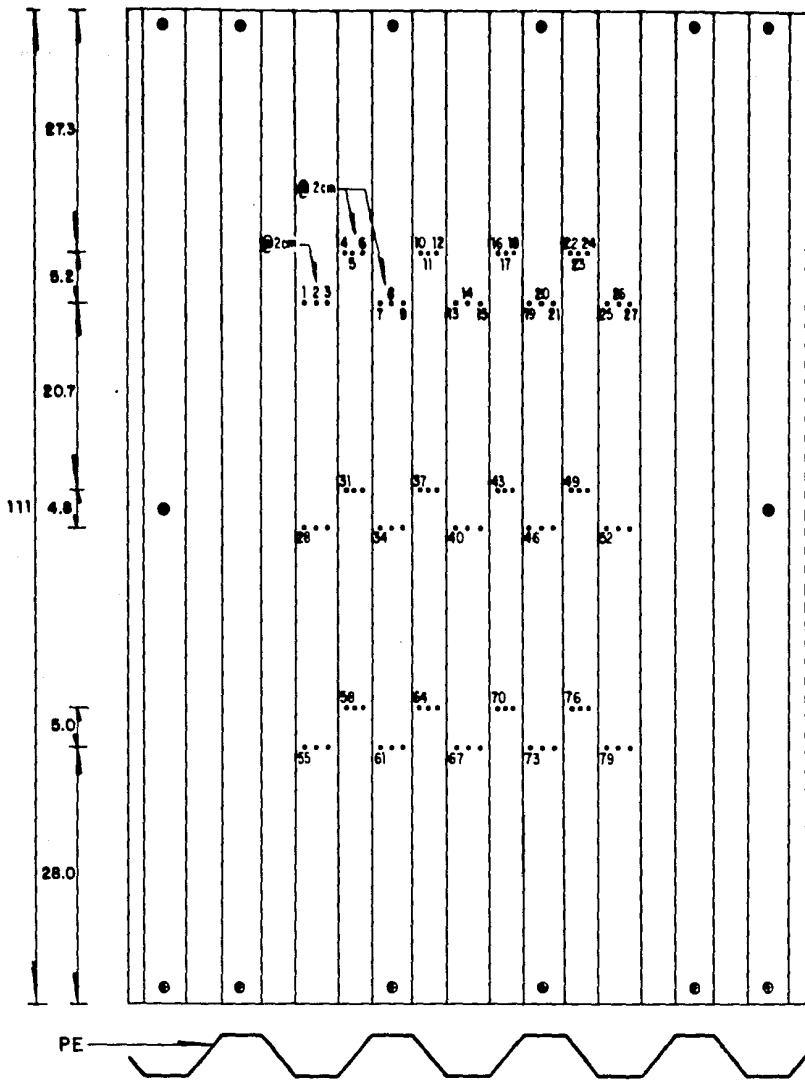
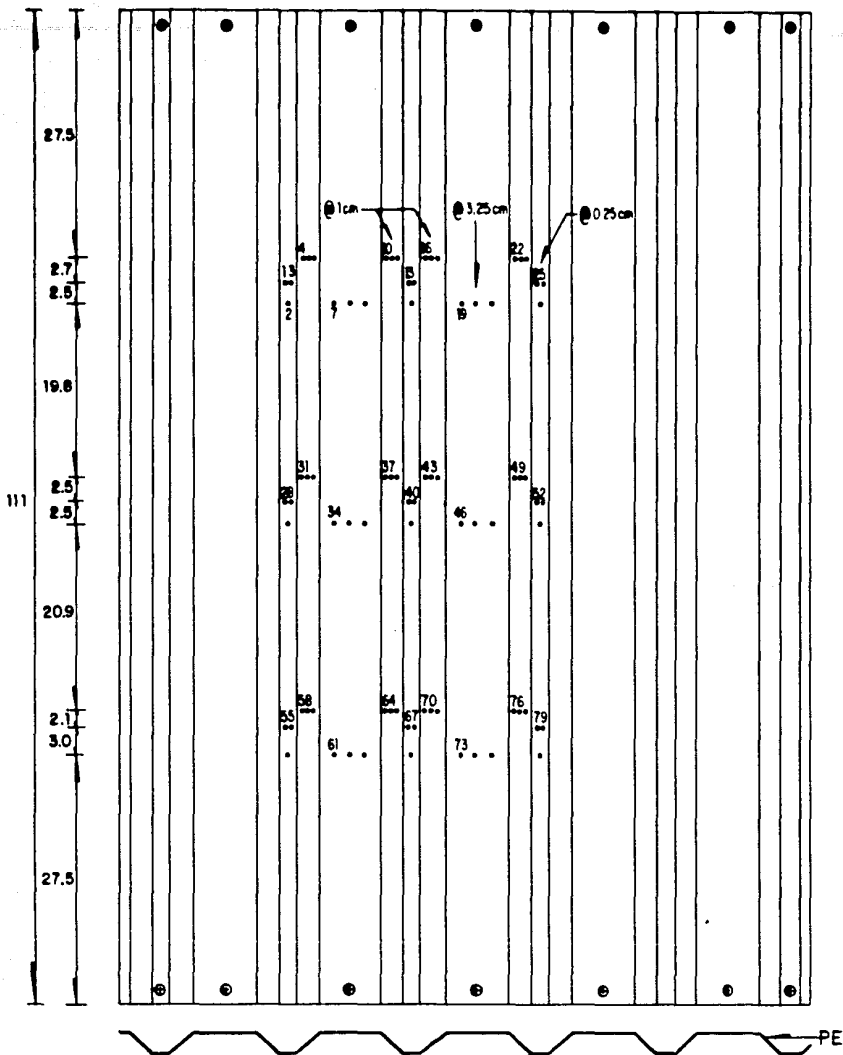


Fig 3.1 Dimensiones de la lámina L-1 su sujeción y la posición de los puntos para observar la presión



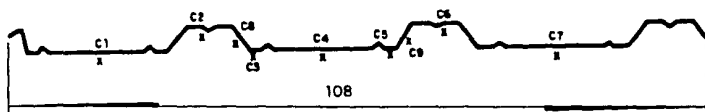
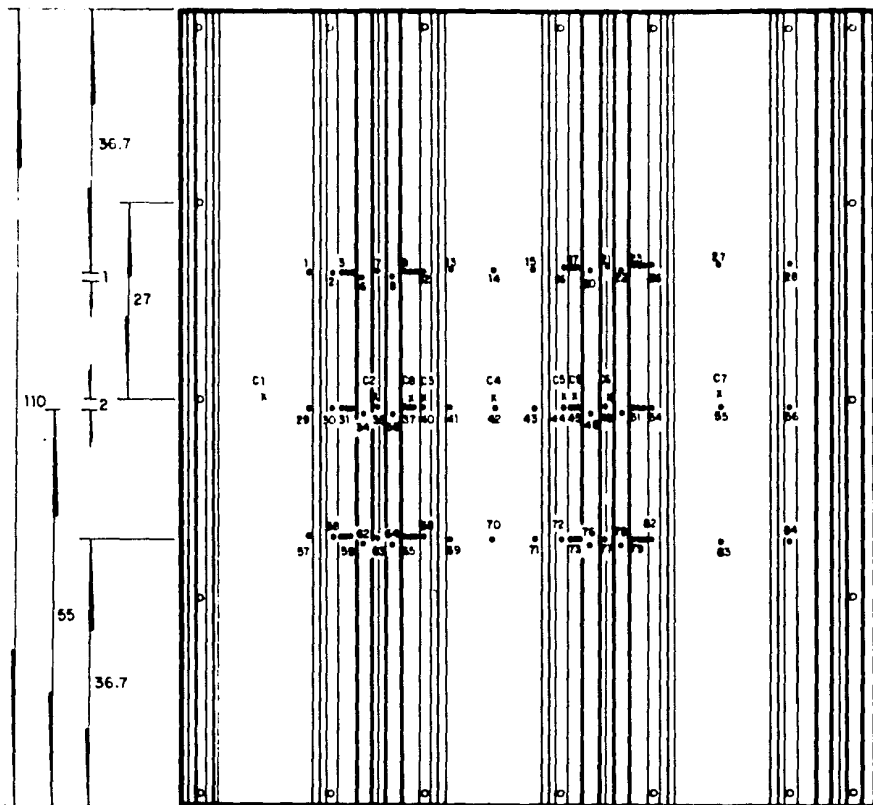
Acotaciones, en cm  
 Dimensiones de la lámina = 111.0 cm x 80 cm  
 Parte exterior del túnel de L-2 = PE

Fig 3.2 Dimensiones de la lámina L-2 su sujección y la posición de los puntos para observar la presión



Acotaciones, en cm  
 Dimensiones de la lámina = 111,0cm x 81 cm  
 Parte exterior del túnel de L-3 = PE

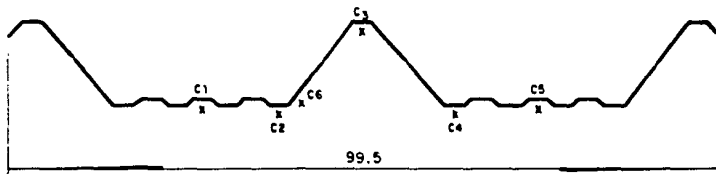
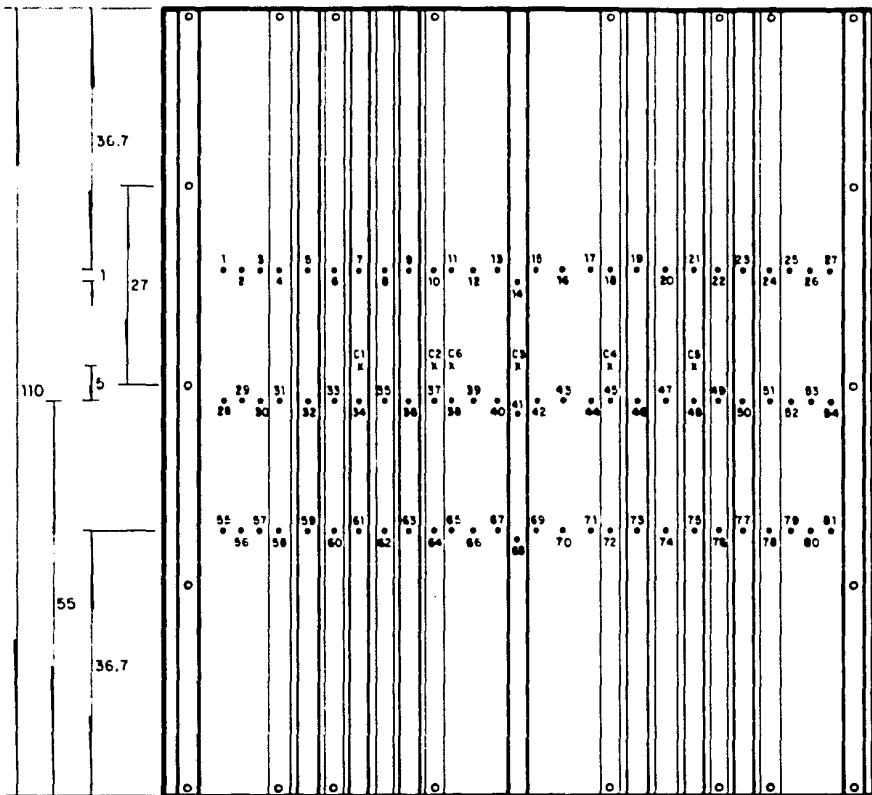
Fig 3.3 Dimensiones de la lámina L-3 su sujeción y la posición de los puntos para observar la presión



Acotaciones, en cm

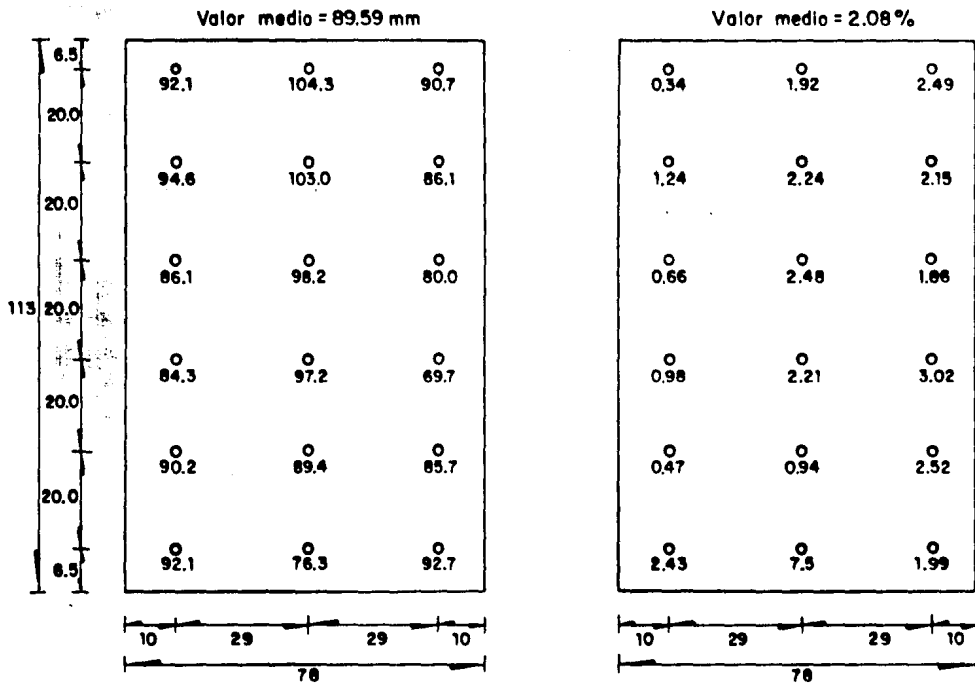
Fig 3.4

Dimensiones de lámina RN-100/35, su sujeción y la posición de los puntos para observar la presión y las deformaciones unitarias



Acotaciones, en cm

Fig 3.5 Dimensiones de lámina R-90, su sujeción y la posición de los puntos para observar la presión y las deformaciones unitarias

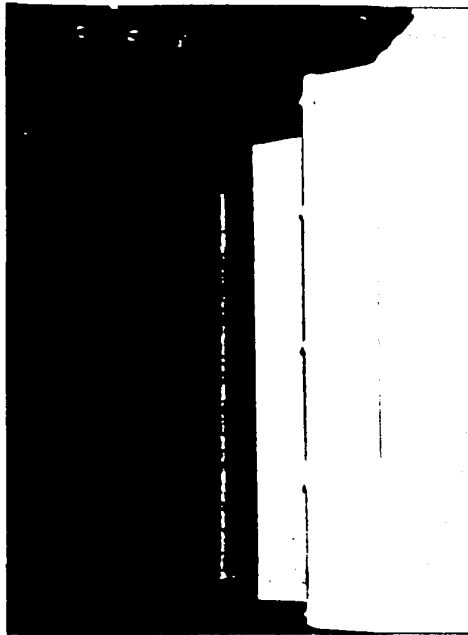


a) Altura piezométrica media, en mm

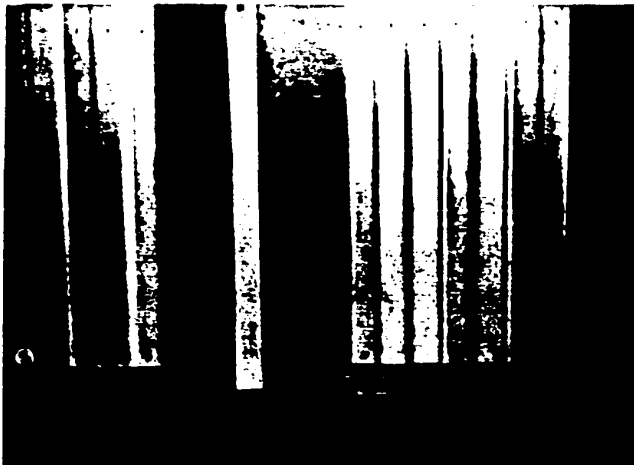
b) Índice de turbulencia, en porcentaje

Acotaciones, en cm

Fig 3.6 Resultado de la calibración de la sección de prueba del túnel de viento del Instituto de Ingeniería



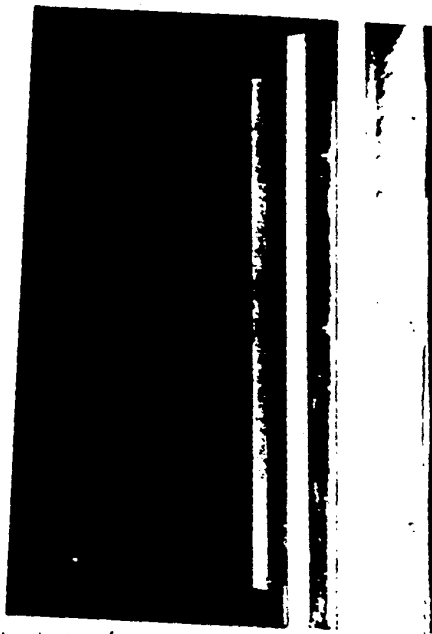
a) Lámina colocada en una pared de la sección de pruebas



b) Borde Inferior mostrando pernos de conexión

Fig 3.7 Lámina R-90 instalada en la sección de pruebas del túnel



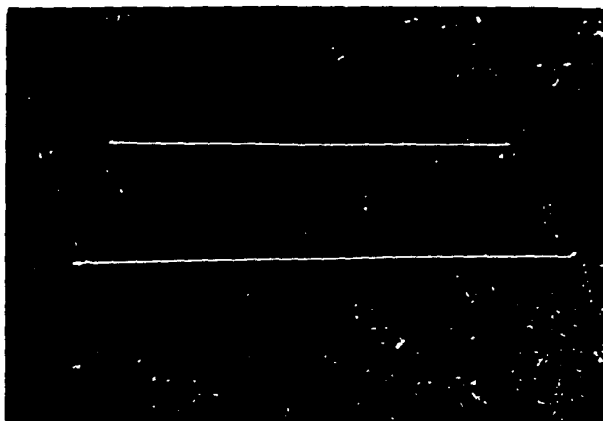


a) Vista de la lámina instalada en la pared del túnel de viento

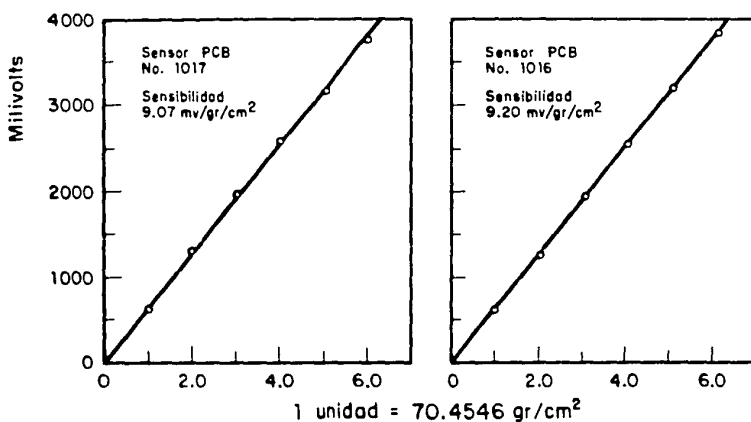


b) Pijas de sujeción instaladas en la parte inferior de la lámina

Fig 3.8 Lámina RN 100/35 instalada en el interior del túnel de viento

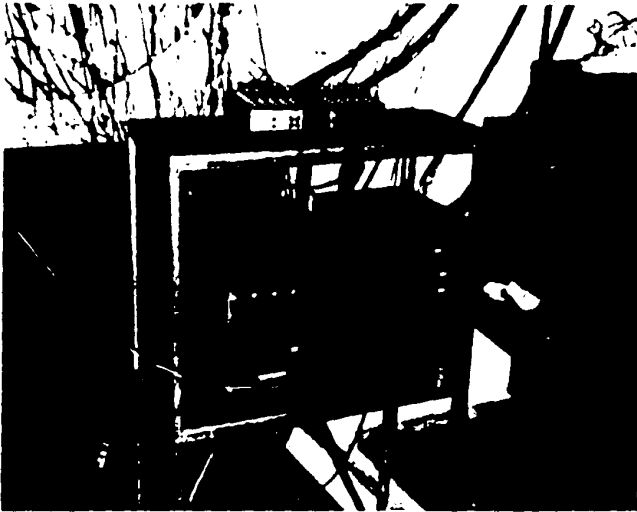


a) Medidores de turbulencia con sensores piezoeléctricos

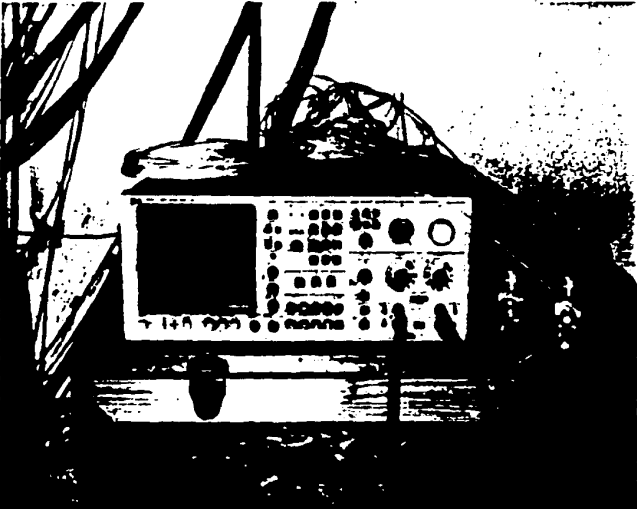


b) Calibración de los sensores de turbulencia, según ISA-537.10

Fig 3.9 Dispositivos desarrollados para medir la acción turbulenta del viento



a) Sistema para recuperar información dinámica de deformaciones unitarias



b) Analizador de espectros

Fig 3.10 Equipo de medición empleado en las pruebas

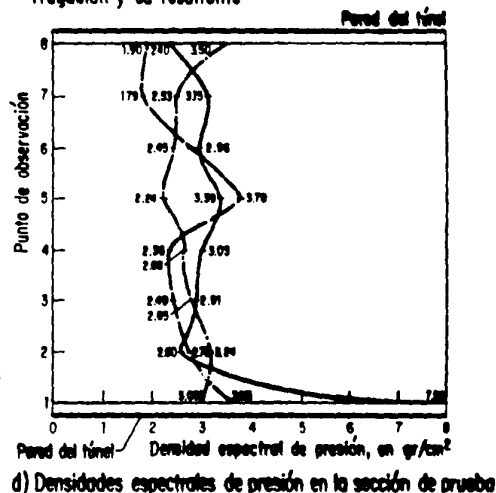
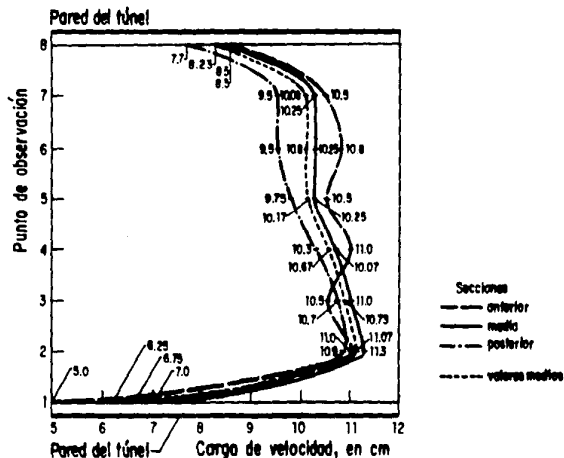
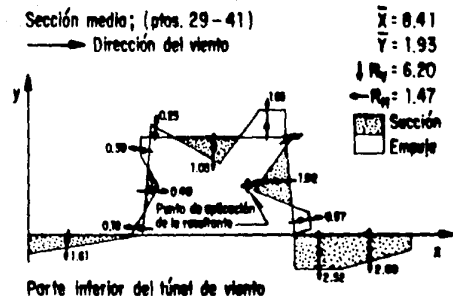
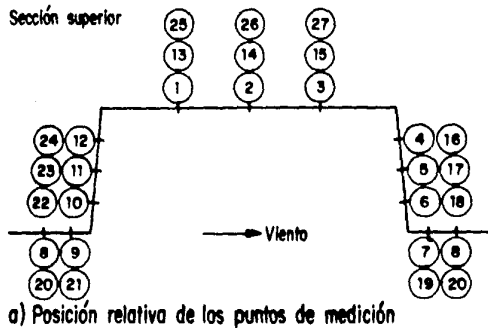
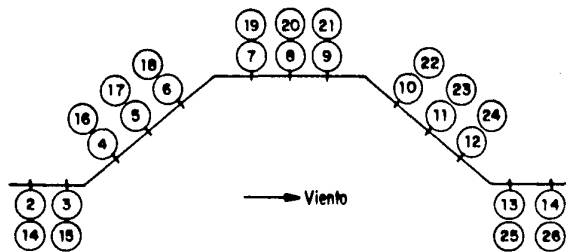


Fig 3.11 Resultados de las pruebas en el túnel de viento de la lámina L-1

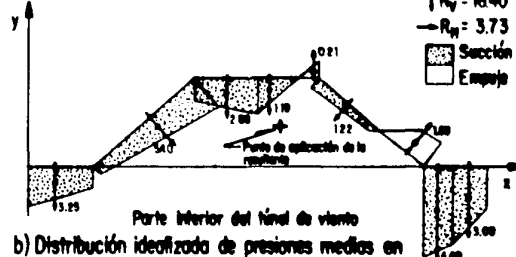
Sección superior



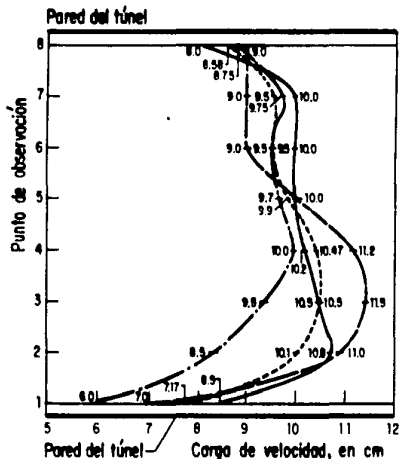
a) Posición relativa de los puntos de medición

Sección media; (ptos. 41-53)

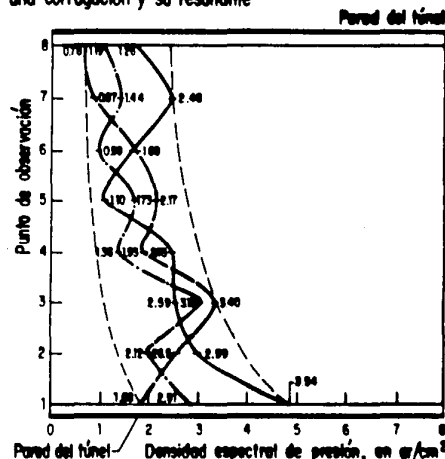
→ Dirección del viento



b) Distribución idealizada de presiones medias en una corrugación y su resultante



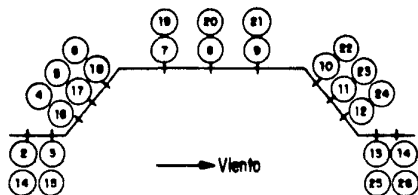
c) Cargas de velocidad generadas en la sección de prueba



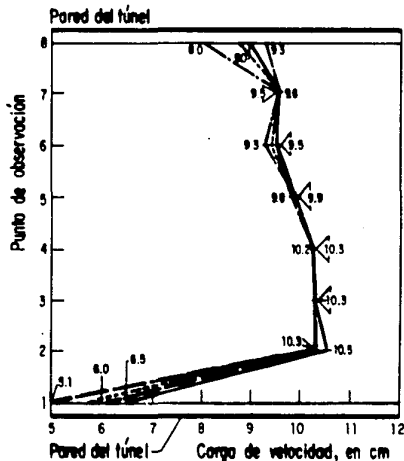
d) Densidades espectrales de presión en la sección de prueba

Fig 3.12 Resultados de las pruebas en el túnel de viento de la lámina L-2

Sección superior

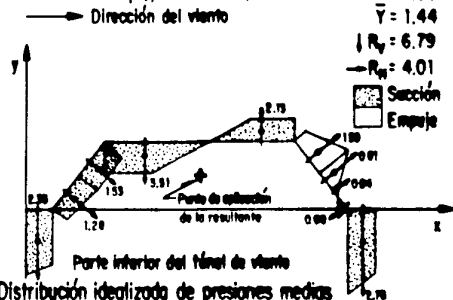


a) Posición relativa de los puntos de medición

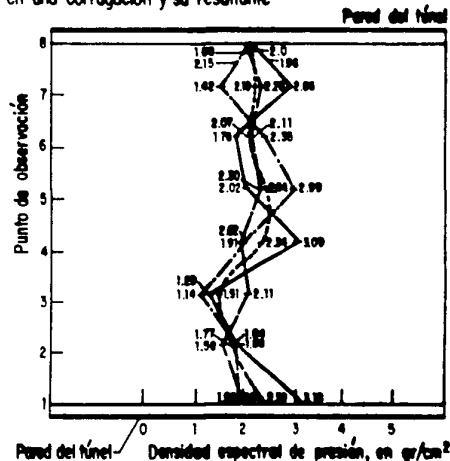


c) Cargas de velocidad generadas en la sección de prueba

Sección medio; (piso. 29 - 41)

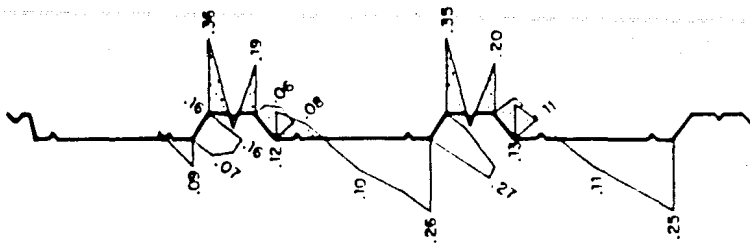


b) Distribución idealizada de presiones medias en una corrugación y su resultante

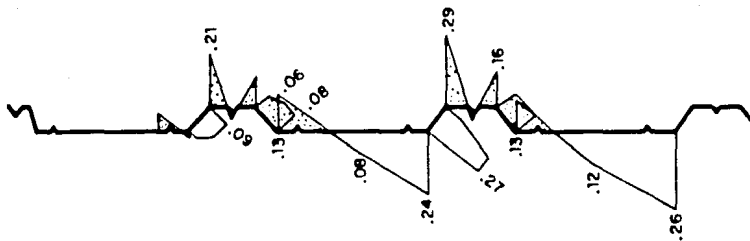


d) Densidades espectrales de presión en la sección de prueba

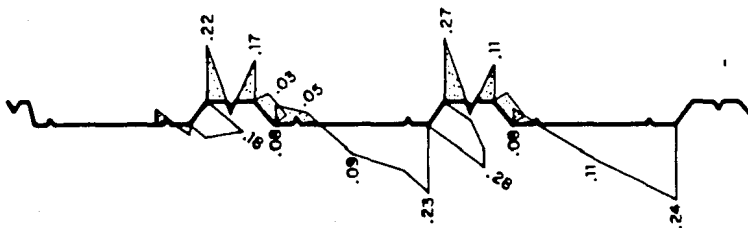
Fig 3.13 Resultados de las pruebas en el túnel de viento de la lámina L-3





a) Sección superior



b) Sección medio



c) Sección inferior

+ Presión   
 - Succión 


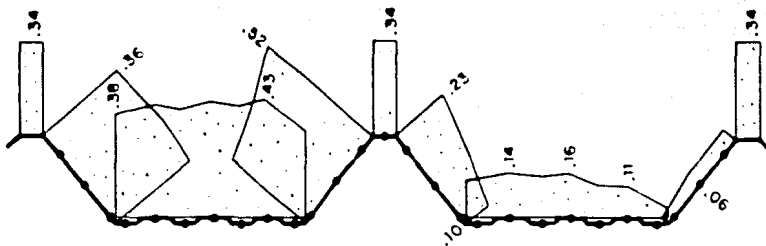
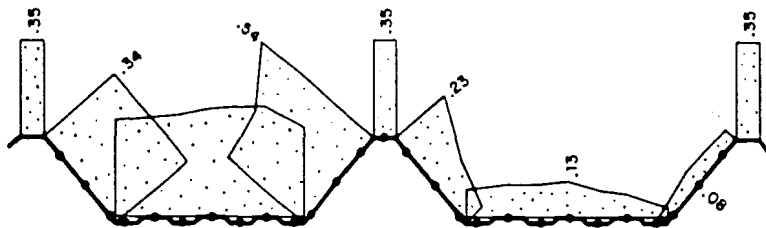
Escala  $C_p$  

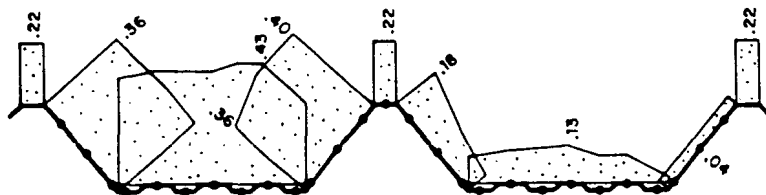
Fig 3.14 Distribución de coeficientes de presión en la lámina RN-100/35



a) Sección superior



b) Sección medio



c) Sección inferior

+ Presión 

- Succión 


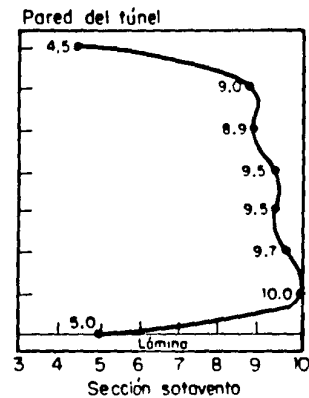
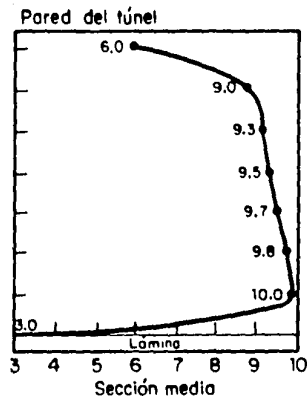
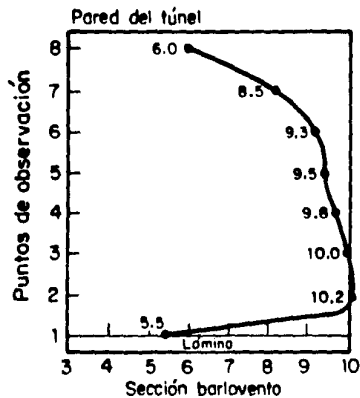
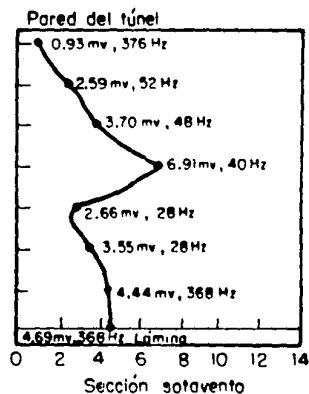
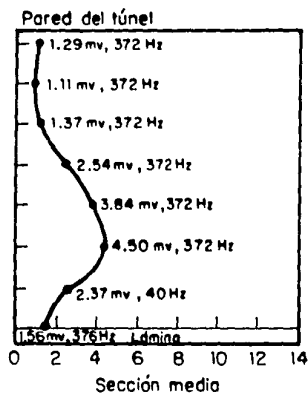
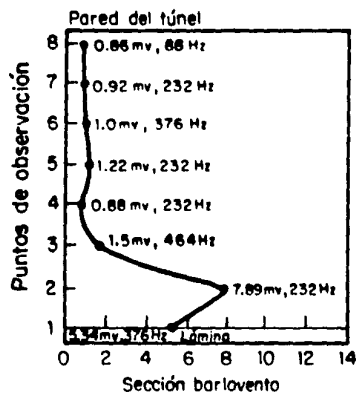
Escala  $C_p$   0 0.5

Fig 3.15 Distribución de coeficientes de presión en la lámina R-90



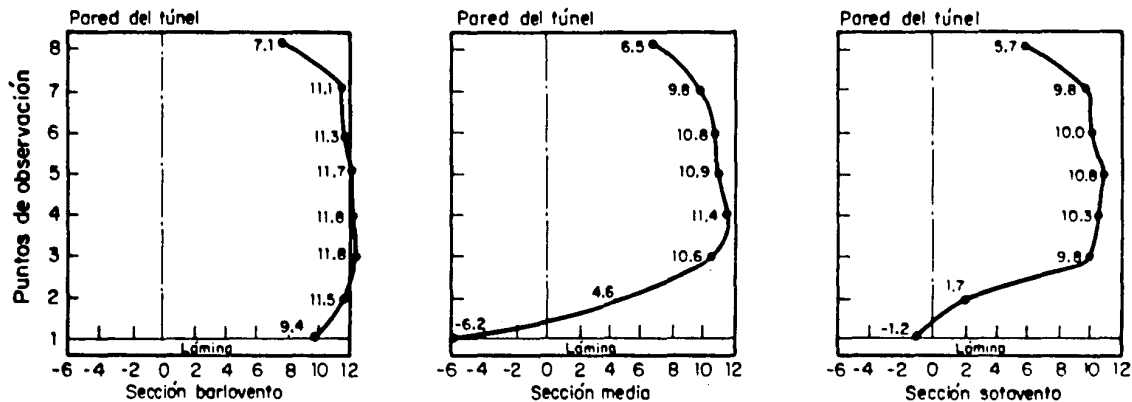


a) Valores medios de carga de velocidad, en cm

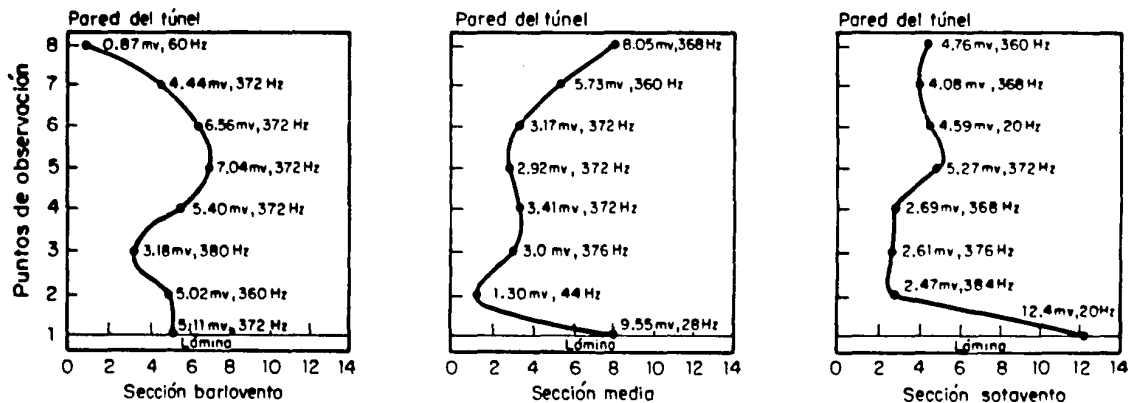


b) Densidades espectrales máximas, en mv, con la frecuencia asociada

Fig 3.16 Resultado de mediciones de carga de velocidad y máximo de densidad espectral sobre la lámina RN 100 /35



a) Valores medios de carga de velocidad, en cm



b) Densidades espectrales máximas, en mv

Fig 3.17 Resultado de medición de cargas de velocidad y densidades espectrales en lámina R-90

Tabla 3.1 COEFICIENTES DE PRESION OBTENIDOS DE PROBAR LA LAMINA L-1

Lamina L- 1			Foto F2-3 y 7			PRUEBAS DE LÁMINAS PARA "SICARTSA"						Registro L-1		Moja
Punto	Coefficiente Cp	Coefficiente de variación	Punto	Coefficiente Cp	Coefficiente de variación	Punto	Coefficiente Cp	Coefficiente de variación	Punto	Coefficiente Cp	Coefficiente de variación	Punto	Coefficiente Cp	Coefficiente de variación
1	- 0.13	24.95	22	+ 0.01	108.65	43	- 0.02	0	64	0.00	----			
2	- 0.07	27.52	23	- 0.13	21.02	44	- 0.04	74.15	65	- 0.11	26.34			
3	- 0.08	25.00	24	+ 0.10	54.32	45	+ 0.01	369.87	66	+ 0.18	14.82			
4	+ 0.00	35.08	25	- 0.12	13.47	46	- 0.02	82.40	67	- 0.19	21.91			
5	- 0.05	46.90	26	- 0.09	39.62	47	- 0.11	22.11	68	- 0.09	75.45			
6	+ 0.02	113.54	27	- 0.19	11.15	48	+ 0.08	15.00	69	- 0.02	38.03			
7	- 0.01	69.72	28	- 0.16	17.57	49	- 0.02	55.92	70	+ 0.01	324			
8	- 0.08	31.04	29	- 0.07	28.46	50	- 0.10	25.38	71	- 0.02	87.43			
9	+ 0.09	17.86	30	- 0.04	41.29	51	+ 0.05	59.89	72	+ 0.02	72.44			
10	- 0	---	31	+ 0	---	52	- 0.12	9.19	73	0	---			
11	- 0.11	26.35	32	- 0.05	59.89	53	+ 0.01	173.21	74	- 0.11	27.31			
12	+ 0.05	140	33	+ 0.01	264.58	54	- 0.07	22.98	75	+ 0.05	40.57			
13	+ 0.14	18.11	34	+ 0.02	69.72	55	- 0.16	21.55	76	- 0.03	23.09			
14	- 0.09	20.91	35	- 0.11	17.17	56	- 0.08	51.47	77	- 0.07	69.30			
15	- 0.14	10.53	36	+ 0.07	58.43	57	- 0.06	60.22	78	+ 0.15	35.79			
16	- 0.02	20.33	37	- 0.06	43.28	58	- 0.00	---	79	- 0.13	30.53			
17	- 0.05	67.82	38	- 0.15	23.01	59	- 0.06	20.41	80	+ 0.02	72.44			
18	+ 0.01	450.3	39	+ 0.03	18.18	60	0.00	---	81	- 0.08	35.55			
19	- 0.02	55.92	40	- 0.12	11.27	61	0.00	---	82	0	---			
20	- 0.18	13.03	41	- 0.06	31.18	62	- 0.09	30.32	83	0	---			
21	+ 0.02	171.29	42	- 0.06	27.22	63	+ 0.06	23.92	84	0	---			

Tabla 3.2 COEFICIENTES DE PRESION OBTENIDOS DE PROBAR LA LAMINA L-2

Lamina L-2			Foto F2 a F-8			PRUEBAS DE LÁMINAS PARA "SICARTSA"						Registro L-2		Hoja
Punto	Coefficiente Cp	Coefficiente de variación	Punto	Coefficiente Cp	Coefficiente de variación	Punto	Coefficiente Cp	Coefficiente de variación	Punto	Coefficiente Cp	Coefficiente de variación	Punto	Coefficiente Cp	Coefficiente de variación
1	- 0.68	8.87	22	- 0.02	67.94	43	- 0.07	71.98	64	- 0.07	25.30			
2	- 0.32	6.52	23	+ 0.07	25.56	44	- 0.10	46.11	65	+ 0.02	465.24			
3	- 0.18	15.65	24	+ 0.09	23.23	45	- 0.12	11.23	66	- 0.02	209.31			
4	- 0.05	30.62	25	- 0.30	12.82	46	- 0.11	19.07	67	- 0.36	7.03			
5	- 0.09	27.19	26	- 0.23	9.53	47	- 0.14	14.39	68	- 0.15	11.42			
6	- 0.11	12.81	27	- 0.29	12.72	48	- 0.04	64.52	69	- 0.20	7.30			
7	- 0.12	12.91	28	- 0.63	4.74	49	- 0.03	77.46	70	- 0.04	47.76			
8	- 0.16	18.79	29	- 0.29	10.61	50	+ 0.09	47.72	71	- 0.05	28.23			
9	- 0.03	26.15	30	- 0.21	16.10	51	+ 0.05	57.66	72	- 0.09	17.37			
10	- 0.06	33.16	31	- 0.07	29.50	52	- 0.31	13.24	73	- 0.10	11.72			
11	+ 0.09	37.68	32	- 0.10	14.14	53	- 0.18	22.27	74	- 0.13	11.89			
12	0.08	22.84	33	- 0.12	11.08	54	- 0.26	8.17	75	0	589.92			
13	- 0.31	8.49	34	- 0.13	13.76	55	- 0.58	13.79	76	+ 0.0	363.32			
14	- 0.19	10.65	35	- 0.15	16.19	56	- 0.20	7.42	77	+ 0.08	20.45			
15	- 0.18	12.74	36	- 0.09	25.51	57	- 0.31	8.72	78	+ 0.03	79.76			
16	- 0.05	34.91	37	- 0.06	27.93	58	- 0.07	32.58	79	- 0.31	31.54			
17	- 0.09	15.05	38	+ 0.06	34.65	59	- 0.10	16.29	80	- 0.20	8.61			
18	- 0.09	21.07	39	+ 0.04	41.79	60	- 0.11	15.45	81	- 0.24	11.47			
19	- 0.10	19.40	40	- 0.24	19.17	61	- 0.13	13.42	82	0	0			
20	- 0.13	15.50	41	- 0.16	14.92	62	- 0.19	7.45	83	0	0			
21	- 0.05	51.23	42	- 0.12	12.90	63	- 0.05	40.07	84	0	0			

Tabla 3.3 COEFICIENTES DE PRESION OBTENIDOS DE PROBAR LA LAMINA L-3

Lamina L-3			Foto F-8 a H-1			PRUEBAS DE LÁMINAS PARA "SICARTSA"						Registro L-3		Hoja			
Punto	Coefficiente Cp	Coefficiente de variación	Punto	Coefficiente Cp	Coefficiente de variación	Punto	Coefficiente Cp	Coefficiente de variación	Punto	Coefficiente Cp	Coefficiente de variación	Punto	Coefficiente Cp	Coefficiente de variación	Punto	Coefficiente Cp	Coefficiente de variación
1	- 0.22	17.01	22	0.03	49.22	43	- 0.06	15.97	64	+ 0.16	16.09						
2	- 0.21	14.97	23	0.04	10.65	44	- 0.07	10.10	65	+ 0.18	12.45						
3	- 0.11	48.53	24	- 0.06	11.79	45	- 0.07	11.62	66	+ 0.12	9.28						
4	- 0.07	19.17	25	- 0.23	16.44	46	- 0.08	5.73	67	- 0.41	3.45						
5	- 0.07	12.30	26	- 0.17	15.53	47	- 0.01	63.89	68	- 0.27	5.53						
6	- 0.07	17.28	27	- 0.17	20.69	48	+ 0.09	20.33	69	- 0.26	7.10						
7	- 0.08	19.95	28	- 0.46	3.56	49	+ 0.14	8.38	70	- 0.04	46.77						
8	- 0.01	123.60	29	- 0.25	2.16	50	+ 0.16	12.17	71	- 0.05	55.90						
9	0.05	17.43	30	- 0.22	5.57	51	+ 0.07	22.98	72	- 0.05	25.07						
10	0.04	34.31	31	- 0.07	16.11	52	- 0.35	3.30	73	- 0.07	14.29						
11	0.04	75.36	32	- 0.08	17.68	53	- 0.23	5.32	74	+ 0.02	94.79						
12	- 0.04	22.02	33	- 0.09	12.45	54	- 0.22	3.21	75	+ 0.13	7.10						
13	- 0.24	14.73	34	- 0.10	10.96	55	- 0.36	5.31	76	+ 0.18	5.08						
14	- 0.14	12.30	35	- 0.02	35.36	56	- 0.22	7.47	77	+ 0.23	3.67						
15	- 0.09	23.31	36	+ 0.08	12.50	57	- 0.15	10.54	78	+ 0.13	9.42						
16	- 0.05	28.08	37	+ 0.11	17.01	58	- 0.06	20.36	79	- 0.36	7.05						
17	- 0.06	21.03	38	+ 0.15	14.95	59	- 0.08	14.04	80	- 0.21	7.90						
18	- 0.06	28.87	39	+ 0.04	31.67	60	- 0.08	15.00	81	- 0.19	7.82						
19	- 0.07	18.11	40	- 0.30	2.81	61	- 0.09	13.26	82	0	0						
20	- 0.02	34.23	41	- 0.24	3.52	62	- 0.01	190.03	83	0	0						
21	+ 0.04	15.21	42	- 0.18	2.98	63	+ 0.10	22.12	84	0	0						

Tabla 3.4

Laminas 100/35 Foto			PRUEBAS DE LÁMINAS PARA "SICARTSA"						Registro		Hoja	
Punto	Coefficiente Cp	Coefficiente de variación %	Punto	Coefficiente Cp	Coefficiente de variación %	Punto	Coefficiente Cp	Coefficiente de variación %	Punto	Coefficiente Cp	Coefficiente de variación %	
1	-0.014	-186.01	22	-0.099	-24.84	43	+0.171	+15.91	64	-0.076	-30.43	
2	+0.059	40.05	23	-0.083	-32.21	44	0.221	11.17	65	-0.051	-41.22	
3	+0.098	18.35	24	-0.097	-44.29	45	0.248	14.50	66	-0.053	-41.27	
4	0.142	17.55	25	-0.099	-25.95	46	0.242	13.99	67	-0.052	-49.26	
5	0.147	16.59	26	-0.108	-19.96	47	0.123	45.77	68	-0.076	-34.76	
6	-0.199	-13.29	27	0.111	24.49	48	-0.162	-48.41	69	-0.051	-38.90	
7	+0.046	5.62	28	0.241	10.20	49	0.051	50.76	70	0.093	27.65	
8	-0.089	-32.90	29	-0.062	-34.83	50	-0.081	-18.04	71	0.164	15.96	
9	-0.070	-35.07	30	-0.009	-1007.22	51	-0.082	-17.92	72	0.210	12.97	
10	-0.087	-31.40	31	0.054	55.64	52	-0.004	-20.66	73	0.255	9.20	
11	-0.087	-31.20	32	0.077	45.04	53	-0.087	-15.92	74	0.236	12.93	
12	-0.103	-21.78	33	0.081	34.21	54	-0.101	-23.32	75	0.168	-19.21	
13	-0.059	-33.95	34	-0.115	-51.36	55	0.119	5.62	76	-0.133	-45.53	
14	+0.103	27.08	35	0.028	36.41	56	0.251	12.60	77	0.061	-37.74	
15	0.186	0.93	36	-0.073	-20.60	57	-0.054	-63.36	78	-0.053	-30.17	
16	0.238	0.23	37	-0.073	-5.62	58	0.035	71.04	79	-0.053	-29.83	
17	0.260	15.01	38	-0.076	-13.59	59	0.082	30.43	80	-0.054	-29.51	
18	0.253	14.20	39	-0.074	-5.62	60	0.120	16.31	81	-0.055	-29.19	
19	0.131	16.88	40	-0.110	-22.53	61	0.154	19.84	82	-0.061	-33.05	
20	-0.205	-14.32	41	-0.052	-49.42	62	-0.115	-24.18	83	0.106	13.33	
21	0.034	56.90	42	0.076	5.62	63	0.050	37.60	84	0.204	13.24	

Tabla 3.5

Lamina R-90			Foto			PRUEBAS DE LÁMINAS PARA "SICARTSA"						Registro		Hoje	
Punto	Coefficiente $C_p$	Coefficiente de variación	Punto	Coefficiente $C_p$	Coefficiente de variación	Punto	Coefficiente $C_p$	Coefficiente de variación	Punto	Coefficiente $C_p$	Coefficiente de variación	Punto	Coefficiente $C_p$	Coefficiente de variación	
1	-0.363	-6.6	22	-0.118	-10.6	43	-0.130	-17.7	64	-0.343	-7.1				
2	-0.368	-6.4	23	-0.105	-18.9	44	-0.036	-11.3	65	-0.363	-9.5				
3	-0.354	-6.3	24	-0.053	-24.7	45	-0.102	-10.6	66	-0.418	-8.1				
4	-0.375	-6.8	25	-0.037	-42.7	46	-0.121	-3.5	67	-0.405	-10.9				
5	-0.386	-6.6	26	-0.057	-24.2	47	-0.116	-7.4	68	-0.216	-18.1				
6	-0.392	-6.5	27	-0.007	-280.6	48	-0.125	-7.4	69	-0.156	-25.0				
7	-0.421	-7.2	28	-0.344	-7.3	49	-0.098	-12.7	70	-0.107	-14.2				
8	-0.402	-7.3	29	-0.345	-7.2	50	-0.094	-14.5	71	-0.093	-9.6				
9	-0.429	-8.0	30	-0.345	-7.5	51	-0.055	-24.7	72	-0.104	-9.8				
10	-0.350	-7.3	31	-0.355	-7.8	52	-0.051	-28.3	73	-0.127	-13.2				
11	-0.360	-7.1	32	-0.367	-7.7	53	-0.077	-15.6	74	-0.113	-12.3				
12	-0.418	-7.2	33	-0.376	-7.4	54	-0.060	-33.0	75	-0.128	-11.7				
13	-0.492	-8.8	34	-0.406	-7.3	55	-0.360	-20.1	76	-0.103	-11.9				
14	-0.335	-10.9	35	-0.399	-8.1	56	-0.373	-8.1	77	-0.103	-13.4				
15	-0.215	-10.9	36	-0.409	-7.8	57	-0.370	-8.4	78	-0.038	-40.3				
16	-0.157	-11.5	37	-0.350	-7.3	58	-0.388	-8.3	79	-0.037	-48.5				
17	-0.118	-10.2	38	-0.369	-8.3	59	-0.410	-7.7	80	-0.036	-56.8				
18	-0.138	-9.7	39	-0.400	-7.8	60	-0.412	-8.2	81	-0.035	-102.3				
19	-0.158	-11.6	40	-0.504	-8.1	61	-0.445	-8.5	82						
20	-0.151	-11.4	41	-0.353	-11.1	62	-0.435	-8.3	83						
21	-0.163	-10.1	42	-0.215	-10.4	63	-0.433	-8.2	84						

Tabla 3.6 RESULTADO DE MEDICION DE ESFUERZOS  
LAMINA RN-100/35

Celda	Dirección y posición	Esfuerzos promedio medidos y su coeficiente de variación					
		Con todas las pijas			Solo con pijas mínimas		
		Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup>	Desviación, kg/cm <sup>2</sup>	C.V. (%)	Esfuerzo, kg/cm <sup>2</sup>	Desviación, kg/cm <sup>2</sup>	C.V. (%)
C1	Longitudi- nal P29	-6.065	1.846	30.44	-6.190	1.654	26.73
C2	Longitudi- nal P35	+1.729	1.198	69.29	+2.005	1.172	58.44
C3	Longitudi- nal P40	-0.677	1.194	176.38	-1.128	1.009	89.44
C4	Longitudi- nal P42	-1.579	1.353	85.71	-2.180	1.419	65.06
C5	Longitudi- nal P44	+2.707	1.150	42.49	+1.905	0.975	51.20
C6	Longitudi- nal P49	+1.253	1.175	93.77	-----	-----	-----
C7	Longitudi- nal P55	-1.504	1.419	94.34	-1.479	1.009	68.26
C8	Transver- sal P37	-1.429	1.079	75.54	-0.551	0.958	173.68
C9	Transversal P47	+1.303	1.024	78.59	+0.952	1.197	125.71



Tabla 3.7 RESULTADO DE MEDICION DE ESFUERZOS  
LAMINA R-90

Celda	Dirección y posición	Esfuerzos promedio medidos y su coeficiente de variación					
		Con todas las pijas			Solo con pijas mínimas		
		Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup>	Desviación, kg/cm <sup>2</sup>	C.V. (%)	Esfuerzo, kg/cm <sup>2</sup>	Desviación, kg/cm <sup>2</sup>	C.V. (%)
C1	Longitudi- nal P34	+31.793	3.01	9.46	+6.290	1.133	18.00
C2	Longitudi- nal P37	-26.421	2.40	9.09	-2.782	1.170	42.04
C3	Longitudi- nal P41	+36.196	8.88	24.53	+0.777	1.289	167.12
C4	Longitudi- nal P45	-10.150	3.02	29.77	-0.652	0.948	145.44
C5	Longitudi- nal P48	+5.497	2.38	43.32	+0.952	1.062	111.52
C6	Transver- sal P38	+167.272	8.20	4.90	-14.235	2.440	17.14

(+) Tensión

(-) Compresión

CAPITULO IV : Representación de la acción del viento mediante series de Fourier.

Es indispensable contar con una expresión matemática que permita obtener la solución que satisfaga el planteamiento del método de bandas finitas (capítulo V), ya que este método se plantea a partir de ecuaciones diferenciales parciales de equilibrio y de frontera, tales que no permiten una solución sino a través de efectuar un desarrollo en términos de series de Fourier representativos de la acción del viento y así poder efectuar una transformación a ecuaciones algebraicas ordinarias.

Por ello, las fuerzas normales que actúan sobre la superficie de una placa (presiones o succiones del viento) como se muestra en la fig. 4.1, pueden escribirse como series de Fourier ( en productos de senos, considerando las dos direcciones de longitud X y Z).

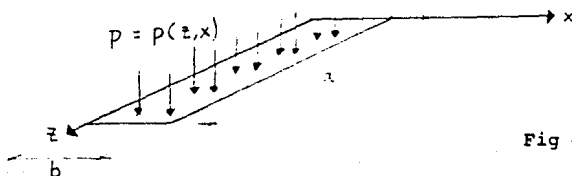


Fig 4.1

La carga puede expresarse como :

$$p = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} P_{mn} \operatorname{sen} \frac{m\pi z}{a} \operatorname{sen} \frac{n\pi x}{b} \dots\dots \text{ec. 4.1}$$

Para poder despejar  $P_{mn}$  se multiplica ambos miembros por  $\operatorname{sen} \frac{r\pi z}{a} \operatorname{sen} \frac{s\pi x}{b} dz dx$  y se integra en toda el área. (  $r$  y  $s$  son enteros impares cualquiera)

$$\begin{aligned}
\int_0^b \int_0^a p \operatorname{sen} \frac{r_1 z}{a} \operatorname{sen} \frac{s_1 x}{b} dz dx &= \int_0^b \int_0^a \left( \sum \sum P_{mn} \operatorname{sen} \frac{m_1 z}{a} \operatorname{sen} \frac{n_1 x}{b} \right) \left( \operatorname{sen} \frac{r_1 z}{a} \operatorname{sen} \frac{s_1 x}{b} \right) dz dx \\
&\text{ec. 4.2} \\
&= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \int_0^b \int_0^a P_{mn} \operatorname{sen} \frac{m_1 z}{a} \operatorname{sen} \frac{r_1 z}{a} \operatorname{sen} \frac{n_1 x}{b} \operatorname{sen} \frac{s_1 x}{b} dz dx \\
&= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} P_{mn} \int_0^a \left( \operatorname{sen} \frac{m_1 z}{a} \operatorname{sen} \frac{r_1 z}{a} \right) dz \int_0^b \left( \operatorname{sen} \frac{n_1 x}{b} \operatorname{sen} \frac{s_1 x}{b} \right) dx
\end{aligned}$$

Por razones de ortogonalidad

$$\begin{aligned}
&= P_{rs} \int_0^a \operatorname{sen}^2 \frac{r_1 z}{a} dz \int_0^b \operatorname{sen}^2 \frac{s_1 x}{b} dx \\
&= P_{rs} I_1 I_2 \qquad \text{ec. 4.3}
\end{aligned}$$

Finalmente se iguala la ec 4.3 con el primer miembro de la ec 4.2

$$P_{rs} I_1 I_2 = \int_0^b \int_0^a p(z, x) \operatorname{sen} \frac{r_1 z}{a} \operatorname{sen} \frac{s_1 x}{b} dz dx$$

Por lo tanto

$$P_{rs} = \frac{1}{I_1 I_2} \int_0^b \int_0^a p(z, x) \operatorname{sen} \frac{r_1 z}{a} \operatorname{sen} \frac{s_1 x}{b} dz dx$$

$P_{rs}$  es el coeficiente de carga correspondiente a las ondas  $r$  y  $s$  de la serie de Fourier. Se puede decir que cada combinación de  $r$  y  $s$  corresponde a un modo de carga.

Para la aplicación de estos coeficientes de carga en las láminas estudiadas, se escogieron los siguientes 4 modos de carga cuyas ondas  $r$  y  $s$  de la serie de Fourier, tienen que ser impares por razones de ortogonalidad.

r	1	3	5	7
s	1	3	5	7

Por lo que

$$P_{11} = \frac{1}{11I_1 \ 11I_2} \int_0^b \int_0^a p(z, x) \operatorname{sen} \frac{9z}{a} \operatorname{sen} \frac{9x}{b} dz dx$$

$$P_{33} = \frac{1}{33I_1 \ 33I_2} \int_0^b \int_0^a p(z, x) \operatorname{sen} \frac{39z}{a} \operatorname{sen} \frac{39x}{b} dz dx$$

$$P_{55} = \frac{1}{55I_1 \ 55I_2} \int_0^b \int_0^a p(z, x) \operatorname{sen} \frac{59z}{a} \operatorname{sen} \frac{59x}{b} dz dx$$

$$P_{77} = \frac{1}{77I_1 \ 77I_2} \int_0^b \int_0^a p(z, x) \operatorname{sen} \frac{79z}{a} \operatorname{sen} \frac{79x}{b} dz dx$$

$p(z, x)$  es la carga normal de viento por unidad de área, así que, cuando esta carga es uniforme en toda la placa, la carga  $p(z, x)$  es una constante  $C_0$  como en la fig. 4.2 ; pero cuando se trata de una variación lineal en la dirección  $y$ , o sea, en la dirección del ancho de la placa, la carga  $p(z, x)$  es propiamente  $p(x) = mx+d$  como en la fig. 4.3

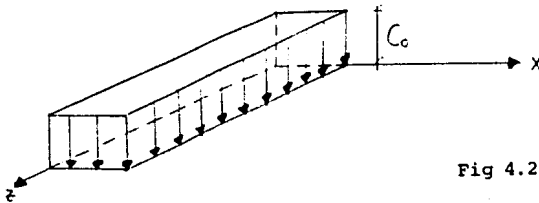


Fig 4.2

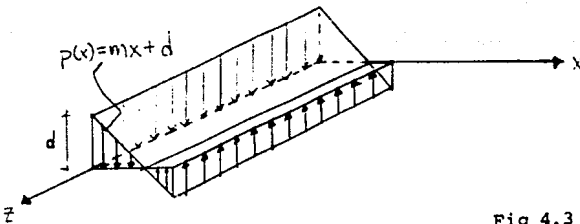


Fig 4.3

## CAPITULO V : Método de bandas finitas para el análisis de placas dobladas

### \* Generalidades.

Una estructura formada por placas dobladas es una estructura prismática que se forma al doblar una placa plana a lo largo de líneas paralelas a su longitud. (fig 5.1)

Existen diversos métodos numéricos para el análisis de estas estructuras; los autores que iniciaron el análisis de este tipo de cubiertas fueron Ehlers (1930) y Vlassov (1936). Posteriormente Winter y Pei (1947) publicaron en ACI las bases del método de análisis y diseño de manera exhaustiva. Les siguieron Snobrich, Scordelis, y Des Fries quienes sistematizaron el análisis mediante elementos finitos, pero la escritura del programa y la preparación de datos es formidable y consume mucho tiempo.

Recientemente Yau-Kai Cheung desarrolló un tipo de elementos finitos especializado, conocido como método de bandas finitas que permite establecer y resolver las láminas. En este método se seleccionan elementos que son bandas longitudinales de la placa, que se unen en líneas nodales (aristas) que se extienden a lo largo de todo el claro de la placa. El método se puede plantear como método de rigideces o de flexibilidades.

El principal objetivo de estos análisis consiste en permitir al diseñador evaluar los niveles de esfuerzo en cualquier punto de una estructura de pared delgada y corroborar que ellos satisfacen los requisitos señalados en reglamentos.

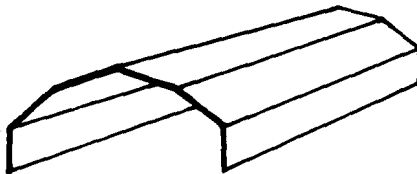


Fig 5.1

\* Análisis lineal de placas dobladas por el método de las bandas finitas.

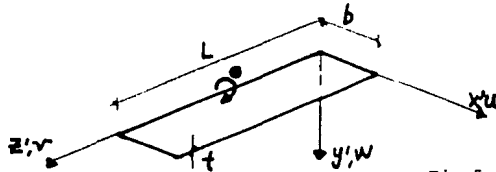


Fig 5.2

Una placa doblada puede subdividirse en bandas como la mostrada en la fig.5.2. Cada banda tiene propiedades constantes, pero puede cambiar de banda a banda. En las fronteras de cada banda existirán, tanto esfuerzos en el plano ( $\sigma_x, \sigma_z$  y  $\tau_{xy}$ ) como esfuerzos fuera del plano generados por momentos flexionantes y torsionantes ( $M_x, M_z$ , y  $M_{xz}$ ).

Es posible desacoplar los efectos de membrana y de flexión mediante una teoría lineal, que de manera separada establece los dos efectos al plantear dos sistemas de ecuaciones. Se desarrollan las ecuaciones de rigidez al considerar separadamente los efectos de membrana y flexión para posteriormente acoplarlos y formar la matriz de rigideces de toda la estructura.

\* Rigidez de una banda bajo efectos de membrana.

Las condiciones de frontera de la fuerzas de membrana y de los desplazamientos que producen, resultan ser las siguientes:

En  $z=0$  y  $z=L$ , se considera que la banda esté libremente apoyada, por lo que

$$u=0 \quad \sigma_z=0 \quad \text{y} \quad \frac{\partial v}{\partial z} + \nu \frac{\partial u}{\partial x} = 0 \quad \text{ec 5.1}$$

En  $x=0$

$$u=u_1 \quad v=v_1 \quad \text{ec 5.2}$$

En  $x=b$

$$u=u_j$$

$$v=v_j$$

ec 5.3

Mediante las siguientes series se pueden evaluar los desplazamientos, de manera de que satisfagan las condiciones de frontera que arriba se mencionan:

$$u = \sum_{m=1,2}^r \left[ \left( 1 - \frac{x}{b} \right) u_{1m} + \left( \frac{x}{b} \right) u_{jm} \right] \text{sen } k_m z \quad \text{ec 5.4}$$

$$v = \sum_{m=1,2}^r \left[ \left( 1 - \frac{x}{b} \right) v_{1m} + \left( \frac{x}{b} \right) v_{jm} \right] \text{cos } k_m z \quad \text{ec 5.5}$$

donde  $k_m = \frac{m\pi}{L}$ , para  $m = 1, 2, 3, 4, \dots$  y  $u_{1m}, v_{1m}$ , etc. son los parámetros de desplazamientos generalizados correspondientes al  $m$ ésimo término a lo largo de líneas modales. Las ecuaciones 5.4 y 5.5 se pueden escribir en forma matricial de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{p1} & C_{p2} & \dots & C_{pr} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_{p1} \\ \delta_{p2} \\ \vdots \\ \delta_{pr} \end{Bmatrix} \quad \text{ec 5.6}$$

donde los términos

$$C_{pm} = \begin{bmatrix} \left( 1 - \frac{x}{b} \right) \text{sen } k_m z & 0 & \frac{x}{b} \text{sen } k_m z & 0 \\ 0 & \left( 1 - \frac{x}{b} \right) \text{cos } k_m z & 0 & \frac{x}{b} \text{cos } k_m z \end{bmatrix} \quad \text{5.7}$$

$$\text{y } \delta_{pm} = \begin{bmatrix} u_{1m} & v_{1m} & u_{jm} & v_{jm} \end{bmatrix}^T \quad \text{ec 5.8}$$

al emplear la ecuación 5.6, se puede definir a la matriz de deformaciones unitarias  $[c]$ .

$$\begin{bmatrix} c \\ \vdots \\ c_z \\ \vdots \\ \gamma_{xz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_x \\ c_z \\ \gamma_{xz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial z} \\ \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{bmatrix} = \left\{ B_{p1}, B_{p2}, \dots, B_{pr} \right\} \begin{bmatrix} \delta_{p1} \\ \delta_{p2} \\ \vdots \\ \delta_{pr} \end{bmatrix} \quad \text{ec 5.9}$$

donde

$$B_{pm} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{b} \operatorname{sen} k_m z & 0 & \frac{1}{b} \operatorname{sen} k_m z & 0 \\ 0 & -\left(1 - \frac{x}{b}\right) k_m \operatorname{sen} k_m z & 0 & -\frac{x}{b} k_m \operatorname{sen} k_m z \\ \left(1 - \frac{x}{b}\right) k_m \operatorname{cos} k_m z & -\frac{1}{b} \operatorname{cos} k_m z & \frac{x}{b} k_m \operatorname{cos} k_m z & \frac{1}{b} \operatorname{cos} k_m z \end{bmatrix} \quad \text{ec 5.10}$$

Para un estado de esfuerzo plano, la matriz de esfuerzos se puede relacionar con la correspondiente de deformaciones unitarias mediante las siguientes relaciones constitutivas :

$$\begin{bmatrix} \sigma \\ \vdots \\ \sigma_z \\ \vdots \\ \tau_{xz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_z \\ \tau_{xz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{E}{1-\nu^2} & \frac{\nu E}{1-\nu^2} & 0 \\ \frac{\nu E}{1-\nu^2} & \frac{E}{1-\nu^2} & 0 \\ 0 & 0 & G \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_x \\ c_z \\ \gamma_{xz} \end{bmatrix} \quad \text{ec 5.11}$$

o sea que

$$\sigma = D_p c = D_p B_p \delta_p \quad \text{ec 5.12}$$

Esta ecuación representa a la suma de todos los armónicos m.

Para poder deducir la rigidez por membrana, se utiliza la energía potencial total de la banda que resulta ser la suma de tres cantidades.

$$\begin{aligned} U_p &= \frac{t}{2} \int_0^L \int_0^b (\sigma_x c_x + \sigma_z c_z + \tau_{xz} \gamma_{xz}) dx dz - \int_0^L \int_0^b (x u + z v) dx dz \\ &\quad - \int_0^L (x_1 u_1 + z_1 v_1 + x_2 u_2 + z_2 v_2) dz \quad \text{ec 5.13} \end{aligned}$$

El primer término es la energía de deformación ganada por la banda durante la deformación ; la segunda integral es la pérdida de energía potencial provocada por las fuerzas de superficie x y z (por unidad de área) y el tercer término representa la pérdida de



energía potencial provocada por las cargas  $x_1, z_1, x_j$  y  $z_j$ , que actúan a lo largo de las líneas nodales  $i$  y  $j$ .

Después de escribir la ecuación 5.13 en notación matricial y las fuerzas de superficie  $x$  y  $z$  en términos de series de Fourier, se aplica el principio de energía potencial mínima para poder obtener un conjunto de cuatro ecuaciones simultáneas para cada valor de  $m$ . Por tanto pueden ser escritas en la forma :

$$S_{pm} \delta_{pm} - F_{pm} - F_{pm}^a = 0 \quad \text{ec 5.14}$$

donde

$S_{pm}$  es una matriz cuadrada simétrica de rigideces

$F_{pm}$  es la matriz para la carga distribuida y

$F_{pm}^a$  es la matriz para las cargas nodales

Después de algunos desarrollos algebraicos y de integraciones, es posible establecer que la matriz  $S_{pm}$  se puede escribir de la siguiente manera :

$$\left[ S_{pm} \right] = \begin{bmatrix} S_1+S_2 & & & & \\ S_3-S_4 & S_5+S_6 & & & \text{SIMETRICA} \\ -S_1+\frac{S_2}{2} & -S_3-S_4 & S_1+S_2 & & \\ S_3+S_4 & \frac{S_5}{2}-S_6 & -S_3+S_4 & S_5+S_6 & \\ & & & & \end{bmatrix} \quad \text{ec 5.15}$$

en donde

$$S_1 = \frac{LEt}{2(1-\nu^2)b} \quad S_2 = \frac{Lbk_m^2Gt}{6} \quad S_3 = \frac{LK_m\nu Et}{4(1-\nu^2)}$$

$$S_4 = \frac{Lk_mGt}{4} \quad S_5 = \frac{Lbk_m^2Et}{6(1-\nu^2)} \quad S_6 = \frac{Lgt}{2b}$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad \text{es el módulo de Young al cortante}$$

\* Rigidez de una banda bajo efectos de flexión.

Las condiciones de frontera para momentos y desplazamientos en  $z=0$  y  $z=L$  son :

$$w=0 \quad M_z=0 \quad \text{o} \quad \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0 \quad \text{ec 5.16}$$

en  $x=0$

$$w=w_i \quad \frac{\partial w}{\partial x} = \theta_i \quad \text{ec 5.17}$$

en  $x=b$

$$w=w_j \quad \frac{\partial w}{\partial x} = \theta_j \quad \text{ec 5.18}$$

Estas condiciones de frontera pueden ser satisfechas por la siguiente función de desplazamientos.

$$w = \sum_{n=1,2}^r \left[ \left( 1 - \frac{3x^2}{b^2} + \frac{2x^3}{b^3} \right) w_{in} + \left( x - \frac{2x^2}{b} + \frac{x^3}{b^2} \right) \theta_{in} + \left( \frac{3x^2}{b^2} - \frac{2x^3}{b^3} \right) w_{jn} + \left( \frac{x^3}{b^2} - \frac{x^2}{b} \right) \theta_{jn} \right] \text{sen } k_n z \quad \text{ec 5.19}$$

$$w = \sum_{n=1,2}^r C_{bn} \delta_{bn} \quad \text{ec 5.20}$$

donde

$$C_{bn} = \left\{ 1 - \frac{3x^2}{b^2} + \frac{2x^3}{b^3}, x - \frac{2x^2}{b} + \frac{x^3}{b^2}, \frac{3x^2}{b^2} - \frac{2x^3}{b^3}, \frac{x^3}{b^2} - \frac{x^2}{b} \right\} \text{sen } k_n z \quad \text{ec 5.21}$$

$$\delta_{bn} = \left\{ w_{in} \quad \theta_{in} \quad w_{jn} \quad \theta_{jn} \right\}^T \quad \text{ec 5.22}$$

Las curvaturas se pueden escribir de la siguiente manera :

$$\chi = \begin{bmatrix} -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ -\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial z} \\ 2 \frac{\partial w}{\partial x \partial z} \end{bmatrix} = B_b \delta_b = \sum_{n=1,2}^r B_{bn} \delta_{bn} \quad \text{ec 5.23}$$

Según Timoshenko y Woinowsky-Kieiger 1959, las relaciones entre momento y curvatura son :

$$M = \begin{bmatrix} M_x \\ M_z \\ M_{xz} \end{bmatrix} = D \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ -\frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \\ 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial z} \end{bmatrix} = D_b B_b \delta_b \quad \text{ec 5.24}$$

donde

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)}$$

La energía total en flexión queda definida por :

$$U_p = \frac{1}{2} \int_0^L \int_0^b \left( -M_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - M_z \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + 2 M_{xz} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial z} \right) dx dz - \int_0^L \int_0^b y w dx dz - \int_0^L \left\{ w_i \theta_i w_j \theta_j \right\} \begin{bmatrix} y_i \\ M_i \\ y_j \\ M_j \end{bmatrix} dz \quad \text{ec 5.2}$$

Por tanto el conjunto de cuatro ecuaciones simultáneas para cada valor de  $m$  son :

$$S_{bm} \delta_{bm} - F_{bm} - F_{bm}^* = 0 \quad \text{ec 5.26}$$

donde la matriz de rigideces  $S_{bm}$  se proporciona abajo y  $F_{bm}$  y  $F_{bm}^*$  se deben obtener a partir de un análisis de Fourier.

$$S_{bm} = \begin{bmatrix} S_7 & & & \\ S_8 & S_{11} & \text{SIMETRICA} & \\ S_9 & -S_{10} & S_7 & \\ S_{10} & S_{12} & -S_8 & S_{11} \end{bmatrix} \quad \text{ec 5.27}$$

$$S_7 = DL \left( \frac{13}{70} b k_m^4 + \frac{6}{5b} k_m^2 + \frac{6}{b^3} \right) \quad S_8 = DL \left( \frac{11}{420} b^2 k_m^2 + \left( \frac{\nu+1}{2+10} \right) k_m^2 + \frac{3}{b^2} \right)$$

$$S_9 = DL \left( \frac{9}{140} b k_m^4 - \frac{6}{5b} k_m^2 - \frac{6}{b^3} \right) \quad S_{10} = DL \left( -\frac{13}{840} b^2 k_m^4 + \frac{1}{10} k_m^2 + \frac{3}{b^2} \right)$$

$$S_{11} = DL \left( \frac{b^3 k_m^4}{210} + \frac{2}{15} b k_m^2 + \frac{2}{b} \right) \quad S_{12} = DL \left( -\frac{b^3 k_m^4}{280} - \frac{1}{30} b k_m^2 + \frac{1}{b} \right)$$

\* Acoplamiento y solución.

Hasta ahora solo se ha considerado una banda y su rigidez se ha analizado en dos partes separadas debido al desacoplamiento de los efectos de membrana y flexión. Cuando actúan ambos conjuntos de cargas, la ecuación de rigidez del elemento se obtiene combinando ambos efectos. (ec 5.15 y ec 5.27).

El vector elemental de desplazamientos resulta :

$$\delta_n = \left\{ U_{1n}, V_{1n}, W_{1n}, \theta_{1n}, U_{2n}, V_{2n}, W_{2n}, \theta_{2n} \right\}^T \quad \text{ec 5.28}$$

y el vector elemental de fuerzas resulta de la combinación de

$F_{pm}$ ,  $F_{pm}^a$ ,  $F_{bm}$ , y  $F_{bm}^a$

por tanto

$$F_n = \left\{ U_{1n}, V_{1n}, W_{1n}, M_{1n}, U_{2n}, V_{2n}, W_{2n}, M_{2n} \right\}^T \quad \text{ec 5.29}$$

y la ecuación de rigidez resulta

$$S_n \delta_n = F_n \quad \text{ec 5.30}$$

donde  $S_n$  es la matriz de rigidez elemental. El elemento de  $(S_n)_{ij}$  de  $S_n$  se forma con los elementos adecuados de  $S_{pm}$  y  $S_{bm}$ , de la siguiente manera :

$$(S_n)_{ij} = \begin{bmatrix} (S_{pm})_{ij} & 0 \\ (2 \times 2) & \\ 0 & (S_{bm})_{ij} \\ (4 \times 4) & (2 \times 2) \end{bmatrix} \quad \text{ec 5.31}$$

Finalmente, es necesario acoplar las matrices elementales de rigidez para formar la matriz de rigidez de la estructura. Esto involucra una transformación de coordenadas locales a coordenadas globales.

En la mayor parte de las estructuras las coordenadas locales y globales no coinciden y por ello es necesario transformar tanto las fuerzas y desplazamientos a coordenadas globales de manera que

la matriz de rigideces de la estructura se pueda acoplar.

Para ello es necesario un análisis geométrico simple para establecer la siguiente relación lineal entre los desplazamientos  $\delta'$  en coordenadas locales y  $\delta$  los mismos desplazamientos en coordenadas generales.

$$\delta' = C \delta$$

ec 5.3

donde  $C$  es una matriz de transformación. Análisis de equilibrio, o la aplicación del principio de los desplazamientos virtuales, muestra que las fuerzas expresadas en coordenadas locales  $F'$ , se transforman a coordenadas generales  $F$ , mediante la siguiente relación :

$$F = C^T F'$$

ec 5.33

donde  $C^T$  es la traspuesta de  $C$ . Esto resulta de condiciones de equilibrio. Un conjunto de fuerzas expresado en un sistema coordinado, se reemplaza por el mismo conjunto, pero expresado en un sistema coordinado diferente. Las expresiones 5.32 y 5.33 se conocen como la ley contragradiante.

Por tanto la ecuación de rigidez de un elemento, en coordenadas globales se escribe :

$$F = C^T F' = C^T S' \delta' = C^T S' C \delta$$

ec 5.34

El producto  $C^T S' C$  es la constante de proporcionalidad entre  $F$  y  $\delta$ , esto es, es la matriz de rigidez de un elemento  $S$ , expresada en coordenadas globales. La matriz de rigidez de la estructura se escribe estableciendo el equilibrio en cada nudo. Las matrices de rigidez de los elementos se acoplan en la matriz de rigidez global en las posiciones adecuadas. El equilibrio se satisface cuando

$$F = S \delta$$

ec 5.3

donde  $F$  representa a las cargas aplicadas en los nudos de la estructura y  $\delta$  son los desplazamientos correspondientes. La ecuación 5.35 se puede resolver como un sistema de ecuaciones simultáneas.

Regresando a la transformación de coordenadas locales a globales, tenemos entonces que la matriz de transformación es:

$$c = \begin{bmatrix} c & 0 \\ 0 & c \end{bmatrix}$$

ec 5.3

$$y \quad c = \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & \text{sen } \alpha & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\text{sen } \alpha & 0 & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

ec 5.3

De esta manera es posible acoplar la matriz de rigidez de una estructura. A fin de ilustrar el procedimiento se selecciona un ejemplo sencillo. En la siguiente figura se muestra una placa de longitud  $L$ , espesor  $t$ , y ancho  $2b$ , la cual se divide en dos bandas de ancho  $b$ . Se trata de establecer la matriz global  $S_m$ , correspondiente al  $m$ -ésimo término de una serie de Fourier. Se considerará que las condiciones de borde de la placa satisface las siguientes condiciones.

- (a) nudos 1 y 3 articulados
- (b) nudos 1 y 3 empotrados

Para el primer elemento, los vectores de desplazamiento y carga para el  $m$ -ésimo término de la serie de Fourier son

$$\delta_m = \left\{ U_{1m}, V_{1m}, W_{1m}, \theta_{1m}, U_{2m}, V_{2m}, W_{2m}, \theta_{2m} \right\}^T$$

$$F_m = \left\{ U_{1m}, V_{1m}, W_{1m}, M_{1m}, U_{2m}, V_{2m}, W_{2m}, M_{2m} \right\}^T$$

La matriz de rigidez para el primer elemento es

$$S_m = \begin{bmatrix} S_{p11} & S_{p12} & 0 & 0 & S_{p13} & S_{p14} & 0 & 0 \\ S_{p21} & S_{p22} & 0 & 0 & S_{p23} & S_{p24} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_{b11} & S_{b12} & 0 & 0 & S_{b13} & S_{b14} \\ 0 & 0 & S_{b21} & S_{b22} & 0 & 0 & S_{b23} & S_{b24} \\ S_{p31} & S_{p32} & 0 & 0 & S_{p33} & S_{p34} & 0 & 0 \\ S_{p41} & S_{p42} & 0 & 0 & S_{p43} & S_{p44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_{b31} & S_{b32} & 0 & 0 & S_{b33} & S_{b34} \\ 0 & 0 & S_{b41} & S_{b42} & 0 & 0 & S_{b43} & S_{b44} \end{bmatrix}$$

donde los términos  $S_{p11}$ ,  $S_{p12}$ ,..... son los elementos de la matriz de rigidez por acción de membrana y los términos  $S_{b11}$ ,  $S_{b12}$ ,..... son aquellos de la matriz de rigidez producidos por flexión.

Existirá una matriz idéntica para la banda 2,3.

Ahora bien, para la placa completa existirán :

$$\delta_m = \left\{ U_{1a}, V_{1a}, W_{1a}, \theta_{1a}, U_{2a}, V_{2a}, W_{2a}, \theta_{2a}, U_{3a}, V_{3a}, W_{3a}, \theta_{3a} \right\}^T$$

$$F_a = \left\{ U_{1a}, V_{1a}, W_{1a}, M_{1a}, U_{2a}, V_{2a}, W_{2a}, M_{2a}, U_{3a}, V_{3a}, W_{3a}, M_{3a} \right\}^T$$

y la matriz de rigidez global se obtiene empalmando las dos matrices elementales de la siguiente manera :

Sp11	Sp12	0	0	Sp13	Sp14	0	0	0	0	0	0
Sp21	Sp22	0	0	Sp23	Sp24	0	0	0	0	0	0
0	0	Sb11	Sb12	0	0	Sb13	Sb14	0	0	0	0
0	0	Sb21	Sb22	0	0	Sb23	Sb24	0	0	0	0
Sp31	Sp32	0	0	Sp11+Sp33	Sp12+Sp34	0	0	Sp13	Sp14	0	0
Sp41	Sp42	0	0	Sp21+Sp43	Sp22+Sp44	0	0	Sp23	Sp24	0	0
0	0	Sb31	Sb32	0	0	Sb11+Sb33	Sb12+Sb34	0	0	Sb13	Sb14
0	0	Sb41	Sb42	0	0	Sb21+Sb43	Sb22+Sb44	0	0	Sb23	Sb24
0	0	0	0	Sp31	Sp32	0	0	Sp33	Sp34	0	0
0	0	0	0	Sp41	Sp42	0	0	Sp43	Sp44	0	0
0	0	0	0	0	0	Sb31	Sb32	0	0	Sb33	Sb34
0	0	0	0	0	0	Sb41	Sb42	0	0	Sb43	Sb44

Se ha tratado de ilustrar el manejo de acoplamiento de matrices cuando existe el mismo marco global de referencia. Cuando existan diferentes marcos locales, basta hacer transformaciones de local a global en cada placa y ensamblar como anteriormente se ha mostrado.

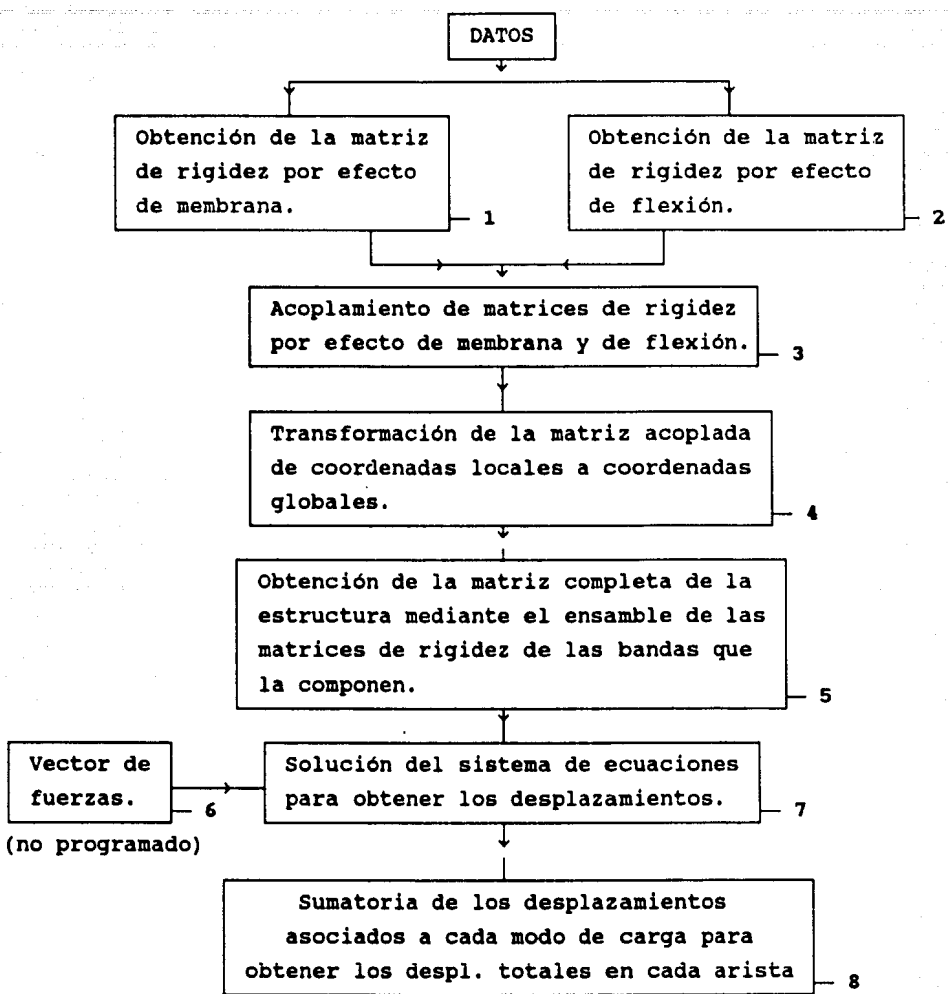


## CAPITULO VI : Procedimiento numérico.

La aplicación numérica de un método como el de bandas finitas forzosamente requiere del uso de la computadora, pues precisamente por ella se hacen mas prácticos y convenientes los métodos exactos (programables), desechando así a los aproximados.

Gran parte del planteamiento matemático del capítulo anterior está programado, es decir, se efectuó un programa que obtiene la matriz de rigidez completa (acoplada) para cada modo de carga o serie de Fourier, y la solución de las ecuaciones de equilibrio y de frontera (obtención de los desplazamientos en las aristas para cada modo de carga); lo unico que no está programado es el análisis de Fourier para obtener el vector de fuerzas.

El "programa" consiste en un conjunto de subrutinas independientes, ligadas entre sí mediante un manejo de archivo de datos. Se presenta a continuación un diagrama esquemático del programa efectuado para encontrar la matriz de rigidez completa de una estructura de placa doblada, así como sus campos de desplazamientos y esfuerzos.



**NOTAS :**

- \* El análisis de placas dobladas se realiza en el sentido transversal.
- \* Los DATOS involucran al módulo de elasticidad y de Poisson del material, a la longitud del claro y a los diferentes anchos y

espesores de cada banda.

\* Las subrutinas 1 y 2 obtienen sus respectivas matrices de rigidez de  $4 \times 4$  en coordenadas locales, para cada una de las bandas que formen parte de la placa doblada en estudio; toma en cuenta 4 modos de carga ( $m = 1, 3, 5$  y  $7$ ,  $K_m = \frac{m \pi}{L}$ ).

\* Las subrutinas 3 y 4 generan una matriz acoplada (membrana y flexión) de  $8 \times 8$ , en coordenadas globales y para cada una de las bandas; finalmente conjunta la información por modos.

\* La subrutina 5 obtiene la matriz de rigidez completa para cada modo de carga, tomando en cuenta el orden que forman las diferentes posiciones de las bandas en el sentido transversal de la estructura.

\* El vector de fuerzas ( subrut. 6 ) se obtuvo a partir del capítulo 4 y de un análisis de cargas convencional. Para fines explicativos se describe a continuación una secuencia de pasos para obtener las fuerzas en cada arista ( 4 grados de libertad ) de la placa doblada.

a) Las presiones o succiones del viento ejercidas sobre la superficie de c/u de las bandas de la estructura en el sentido transversal, se descompusieron en 4 coeficientes correspondientes a cada modo de carga ( $m = 1, 3, 5$  y  $7$  Cap. 4 ).

b) A partir de los coeficientes de carga para un solo modo (obedeciendo a una distribución de presiones a lo largo del sentido transversal ), se obtienen momentos de empotramiento en los extremos de cada banda.(aristas)

c) Los momentos de empotramiento resultan de cargas uniformemente distribuidas y de cargas que varían linealmente.

d) Se procede a obtener las fuerzas de fijación en cada banda como si se tratase de vigas isostáticas ( sin olvidar los momentos de empotramiento en los extremos).

e) Sumando algebraicamente los momentos en cada arista, se obtienen los momentos de desequilibrio que con signo opuesto dan lugar a los momentos efectivos ( la convención de signos es de momento de placa/arista )

f) Al igual que el párrafo anterior, las fuerzas de fijación se sumarán algebraicamente en cada arista y cambiando su sentido se convertirán en fuerzas efectivas ( se sigue el marco de referencia del cap. 5 ). Cabe aclarar que se trabaja aún en coordenadas locales, por lo que se obliga a transformar las fuerzas en coordenadas globales para que sea compatible al sistema.

g) Tanto momentos como fuerzas efectivas en cada arista por unidad de longitud, se deben integrar a lo largo de la longitud del claro para poder formar el vector de fuerzas correspondiente a un modo de carga.

h) Esta secuencia se repite desde el segundo párrafo, tantas veces como modos o series de Fourier se hayan considerado.

\* La subrutina 7 obtiene los desplazamientos de las aristas (coord glob :  $U_{1n}$ ,  $V_{1n}$ ,  $W_{1n}$  y  $\theta_{1n}$  ) en cualquier sección transversal, o sea, en la sección que corresponda a cualquiera de las longitudes (z) del claro. (Centro del claro, cuarto del claro etc.).

\* Finalmente la última subrutina suma todos los desplazamientos que correspondan a cada modo de carga y así obtener los desplazamientos totales; mientras mas términos de la serie de Fourier se consideren, existirá mayor precisión en los resultados finales.

A continuación se anexan los listados de las subrutinas mencionadas.

## Subrutina 1

```
LIST
10 CLEAR:CLS:PRINT"MATRICES DE RIGIDEZ DE MEMBRANA"
20 INPUT"MODULO DE ELASTICIDAD?":E
30 INPUT"MODULO DE POISSON":V
40 INPUT"LONGITUD":L
50 INPUT"ESPESOR":T
60 INPUT"NUMERO DE PLACAS":N
70 DIM A(4,4),Z(16,4):FOR I=1 TO N:AA=0
80 INPUT"ancho de placa ":B:PRINT "ANCHO DE PLACA ":I;"="":B:PRINT
90 G=E/(2*(1+V))
100 S1=(L*E*T)/(2*(1-V^2)*B)
110 S6=(L*G*T)/(2*B)
115 INPUT "DAME NOMBRE DE ARCHIVO (MEMIJ.DAT)":M#:C#=","
116 OPEN M# FOR OUTPUT AS #1
120 FOR J=1 TO 7 STEP 2:PRINT"M=":J:"PARA K=m*PI/L":PRINT :K=J*3.141592/L
130 S2=L*B*K^2*G*T/6
140 S3=L*K*V*E*T/(4*(1-V^2))
150 S4=L*K*G*T/4
160 S5=L*B*K^2*E*T/(6*(1-V^2))
170 A(1,1)=S1+S2:A(1,2)=S3-S4
180 A(2,1)=S3-S4:A(1,3)=-S1+S2/2
190 A(3,1)=-S1+S2/2:A(1,4)=S3+S4
200 A(4,1)=S3+S4:A(2,2)=S5+S6
210 A(2,3)=-S3-S4:A(3,2)=-S3-S4
220 A(2,4)=S5/2-S6:A(4,2)=S5/2-S6
230 A(3,3)=S1+S2:A(3,4)=-S3+S4
240 A(4,3)=-S3+S4:A(4,4)=S5+S6
250 PRINT A(1,1),A(1,2),A(1,3),A(1,4)
260 PRINT A(2,1),A(2,2),A(2,3),A(2,4)
270 PRINT A(3,1),A(3,2),A(3,3),A(3,4)
280 PRINT A(4,1),A(4,2),A(4,3),A(4,4)
285 PRINT
286 FOR H=1 TO 4:FOR O=1 TO 4:Z(H+AA,O)=A(H,O)
287 NEXT O:NEXT H:AA=4+AA:NEXT J
294 FOR P=1 TO 16:FOR W=1 TO 4
295 IF W>1 THEN PRINT #1,C#:
296 PRINT #1, Z(P,W):NEXT W:NEXT P
297 CLOSE #1:NEXT I
300 PRINT"END":END
OK
```

## Subrutina 2

```

10 CLS: CLEAR: PRINT "MATRICES DE RIGIDEZ DE FLEXION"
20 INPUT "MODULO DE ELASTICIDAD": E
30 INPUT "MODULO DE POISSON": V
40 INPUT "LONGITUD": L
50 INPUT "ESPESOR": T
60 INPUT "NUMERO DE PLACAS": N
70 DIM B(4,4), Z(16,4): FOR I=1 TO N: AA=0
80 INPUT "ANCHO DE PLACA": B: PRINT "ANCHO DE PLACA   =": B: PRINT
90 D=E*T^3/(12*(1-V^2)): DXY=((1-V)/2)*D: D1=V*D
95 INPUT "DAME NOMBRE DE ARCHIVO(FLEX1).DAT)": F$: C$=","
96 OPEN F$ FOR OUTPUT AS #1
100 FOR J=1 TO 7 STEP 2: PRINT "m=": J: " PARA K=m*PI/L": PRINT : K=J*3.141592/L
110 S7=D*L*(13/70*B^K^4+6/(5*B)*K^2+6/B^3)
120 S8=D*L*(11/420*B^K^2+K^4+(V/2+1/10)*K^2+3/B^3)
130 S9=D*L*(9/140*B^K^4-6/(5*B)*K^2-6/B^3)
140 S10=D*L*(-13/840*B^K^2+K^4+1/10*K^2+3/B^2)
150 S11=D*L*(B^3*K^4/210+2/15*B*K^2+2/B)
160 S12=D*L*(-B^3*K^4/280-B*K^2/30+1/B)
170 B(1,1)=S7: B(1,2)=S8
180 B(2,1)=S8: B(1,3)=S9
190 B(3,1)=S9: B(1,4)=S10
200 B(4,1)=S10: B(2,2)=S11
210 B(2,3)=-S10: B(3,2)=-S10
220 B(2,4)=S12: B(4,2)=S12
230 B(3,3)=S7: B(3,4)=-S8
240 B(4,3)=-S8: B(4,4)=S11
250 FOR S=1 TO 4: FOR R=1 TO 4
260 PRINT B(S,R): NEXT R: PRINT : NEXT S
286 FOR H=1 TO 4: FOR O=1 TO 4: Z(H+AA,O)=B(H,O)
297 NEXT O: NEXT H: AA=4+AA: NEXT J
294 FOR P=1 TO 16: FOR Y=1 TO 4
295 IF Y>1 THEN PRINT #1, C$:
296 PRINT #1, Z(P,Y): NEXT Y: NEXT P
297 CLOSE #1: NEXT I
300 PRINT "END": END
Ok

```

## Subrutina 3 y 4

```

10 CLEAR:CLS:DIM A(16,4),B(16,4),C(32,8),X(32,8),Y(32,8)
15 PRINT "ACOPLE DE MATRICES DE MEMBRANA/FLEXION"
16 INPUT "NUMERO DE PLACAS DIFERENTES":N
17 DIM D(N*8,8),E(N*8,8),F(N*8,8),G(N*8,8),H(8,8)
18 FOR G=0 TO N-1:F=G+1
20 PRINT "PLACA #":F:INPUT " ES PLACA INCLINADA (S/N)":A#
40 INPUT "DAME NOMBRE DE ARCHIVO (MEMI).DAT)":M#
50 OPEN M# FOR INPUT AS #1
55 FOR I=1 TO 16:FOR J=1 TO 4
60 INPUT #1, A(I,J):NEXT J:NEXT I:CLOSE #1
65 INPUT "DAME NOMBRE DE ARCHIVO (FLEXI).DAT)":F#
70 OPEN F# FOR INPUT AS #1
75 FOR I=1 TO 16:FOR J=1 TO 4
80 INPUT #1, B(I,J):NEXT J:NEXT I:CLOSE #1
85 S=0:L=0:FOR H=1 TO 8:FOR I=1 TO 2:K=0:T=0:FOR E=1 TO 2
90 FOR J=1 TO 2:C(I+L,J+K)=A(I+S,J+T):NEXT J:K=4+K
95 T=T+2:NEXT E:NEXT I:L=L+4:S=S+2:NEXT H
100 S=0:L=0:FOR H=1 TO 8:FOR I=3 TO 4:K=0:T=0:FOR E=1 TO 2
105 FOR J=3 TO 4:C(I+L,J+K)=B(I+S-2,J+T-2):NEXT J:K=4+K
110 T=T+2:NEXT E:NEXT I:L=L+4:S=S+2:NEXT H
120 IF A#="N" THEN 300 ELSE 150
150 INPUT "DAME EL ANGULO C/RESPECTO A LA HOR EN SENT +":Q
152 Q=Q*3.141516/180
200 H(1,1)=COS(Q):H(3,3)=COS(Q):H(1,3)=SIN(Q):H(3,1)=-SIN(Q)
201 H(5,5)=COS(Q):H(7,7)=COS(Q):H(5,7)=SIN(Q):H(7,5)=-SIN(Q)
203 H(2,2)=1:H(4,4)=1:H(6,6)=1:H(8,8)=1
206 M=0:K=0:FOR O=1 TO 4:FOR H=1 TO 8:FOR J=1 TO 8
207 M=H(I,J)+C(J+K,H)+M:NEXT J:K=K+8:M=M+O:NEXT I
209 NEXT H:K=K+8:NEXT O: K=0:M=0:FOR O=1 TO 4:FOR H=1 TO 8
211 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:M=X(I+K,J)*H(I,H)+M:NEXT J
213 Y(K+I,H)=M:M=0:NEXT I:NEXT H:K=K+8:NEXT O
220 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:W=I+8*G:D(W,J)=Y(I,J):E(W,J)=Y(I+8,J)
230 F(W,J)=Y(I+16,J):G(W,J)=Y(I+24,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 310
300 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:W=I+8*G:D(W,J)=C(I,J):E(W,J)=C(I+8,J)
303 F(W,J)=C(I+16,J):G(W,J)=C(I+24,J):NEXT J:NEXT I
310 FOR I=1 TO 32:FOR J=1 TO 8:X(I,J)=0:NEXT J:NEXT I
311 FOR I=1 TO 32:FOR J=1 TO 8:Y(I,J)=0:NEXT J:NEXT I
314 FOR I=1 TO 32:FOR J=1 TO 8:C(I,J)=0:NEXT J:NEXT I
315 NEXT G
320 INPUT "DAME NOMBRE DE ARCHIVO PARA MODO 1(ARCHI).DAT)":S#:C#=", "
340 OPEN S# FOR OUTPUT AS #1
345 FOR I=1 TO N*8:FOR J=1 TO 8
350 PRINT #1,D(I,J):PRINT #1,C#::NEXT J:NEXT I:CLOSE #1
351 FOR I=1 TO N*8:FOR J=1 TO 8
352 IF J>1 THEN PRINT C#:
354 PRINT D(I,J):NEXT J:PRINT :NEXT I
360 INPUT "DAME NOMBRE DE ARCHIVO PARA MODO 3(ARCHI).DAT)":S#:C#=", "
370 OPEN S# FOR OUTPUT AS #1
375 FOR I=1 TO N*8:FOR J=1 TO 8
385 PRINT #1,E(I,J):PRINT #1,C#::NEXT J:NEXT I:CLOSE #1
390 INPUT "DAME NOMBRE DE ARCHIVO PARA MODO 5(ARCHI).DAT)":S#:C#=", "
395 OPEN S# FOR OUTPUT AS #1
400 FOR I=1 TO N*8:FOR J=1 TO 8
410 PRINT #1,F(I,J):PRINT #1,C#::NEXT J:NEXT I:CLOSE #1
415 INPUT "DAME NOMBRE DE ARCHIVO PARA MODO 7(ARCHI).DAT)":S#:C#=", "
420 OPEN S# FOR OUTPUT AS #1
425 FOR I=1 TO N*8:FOR J=1 TO 8
435 PRINT #1,G(I,J):PRINT #1,C#::NEXT J:NEXT I:CLOSE #1
450 END

```

Subrutina 5 (Lám L1)

```

10 CLEAR:CLS:K=0
20 PRINT"ACOPLE DE MATRICES DE RIGIDEZ"
30 DIM V(84,8),MI1(8,8),MI2(8,8),MI3(8,8),A(8,8),B(8,8),MI4(8,8)
31 INPUT "DAME EL NOMBRE DEL ARCHIVO DE ENTRADA":S#
35 OPEN S# FOR INPUT AS #1
40 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8
45 PRINT"MATRIZ MI1 RENGLO":I;" COLUMNA":J:INPUT #1,MI1(I,J)
46 NEXT J:NEXT I
50 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8
55 PRINT"MATRIZ MI2 RENGLO":I;" COLUMNA":J:INPUT #1,MI2(I,J)
56 NEXT J:NEXT I
60 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8
65 PRINT "MATRIZ MI3 RENGLO":I;" COLUMNA":J:INPUT #1,MI3(I,J)
66 NEXT J:NEXT I
67 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8
68 PRINT "MATRIZ MI4 RENGLO":I;" COLUMNA":J:INPUT #1,MI4(I,J)
69 NEXT J:NEXT I:CLOSE #1
87 DIM Z$(21)
88 Z$(1)="M2":Z$(2)="M1":Z$(3)="M4":Z$(4)="M3":Z$(5)="M2":Z$(6)="M1":Z$(7)="M4":
Z$(8)="M3"
89 Z$(9)="M2":Z$(10)="M1":Z$(11)="M4":Z$(12)="M3":Z$(13)="M2":Z$(14)="M1":Z$(15)
="M4"
90 Z$(16)="M3":Z$(17)="M2":Z$(18)="M1":Z$(19)="M4":Z$(20)="M1"
100 FOR I=1 TO 4:FOR J=1 TO 8:V(I,J)=MI2(I,J):NEXT J:NEXT I
105 FOR E=1 TO 20: X#=Z$(E): Y#=Z$(E+1)
110 IF X#="M1" THEN 115 ELSE 111
111 IF X#="M2" THEN 116 ELSE 112
112 IF X#="M3" THEN 117 ELSE 113
113 IF X#="M4" THEN 118 ELSE 115
115 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:A(I,J)=MI1(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 125
116 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:A(I,J)=MI2(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 125
117 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:A(I,J)=MI3(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 125
118 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:A(I,J)=MI4(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 125
125 IF Y#="M1" THEN 130 ELSE 126
126 IF Y#="M2" THEN 131 ELSE 127
127 IF Y#="M3" THEN 132 ELSE 128
128 IF Y#="M4" THEN 133 ELSE 130
130 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:B(I,J)=MI1(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 140
131 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:B(I,J)=MI2(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 140
132 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:B(I,J)=MI3(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 140
133 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:B(I,J)=MI4(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 140
140 FOR I=5 TO 8:FOR J=1 TO 4
150 V(K+I,J)=A(I,J+4)+B(I-4,J):V(K+I,J+4)=B(I-4,J+4)
151 PRINT V(K+I,J),V(K+I,J+4),
155 NEXT J:NEXT I:K=K+4:PRINT K:NEXT E
160 FOR I=81 TO 84:FOR J=1 TO 4:V(I,J)=MI1(I-76,J+4)
161 PRINT V(I,J),
165 NEXT J:PRINT I :NEXT I:PRINT I
180 C#=",":INPUT "DAME NOMBRE DE ARCHIVO":W#
190 OPEN W# FOR OUTPUT AS #2
195 FOR I=1 TO 84:FOR J=1 TO 8:V(I,J)=FIX(V(I,J))
200 IF J>1 THEN PRINT #2,C#:
205 PRINT #2,V(I,J):NEXT J
206 PRINT #2,
210 NEXT I:CLOSE #2:END
OK

```



Subrutina 5 (Lám L2)

```

10 CLEAR:CLS:K=0
20 PRINT"ACOPLE DE MATRICES DE RIGIDEZ"
30 DIM V(72,8).MI1(8,8).MI2(8,8).MI3(8,8).A(8,8).B(8,8)
31 INPUT "DAME EL NOMBRE DEL ARCHIVO DE ENTRADA";S$
35 OPEN S$ FOR INPUT AS #1
40 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8
45 PRINT"MATRIZ MI1  RENGLÓN";I:" COLUMNA";J:INPUT #1,MI1(I,J)
46 NEXT J:NEXT I
50 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8
55 PRINT"MATRIZ MI2  RENGLÓN";I:" COLUMNA";J:INPUT #1,MI2(I,J)
56 NEXT J:NEXT I
60 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8
65 PRINT "MATRIZ MI3 RENGLÓN";I:" COLUMNA";J:INPUT #1,MI3(I,J)
66 NEXT J:NEXT I:CLOSE #1
87 DIM Z$(18)
88 Z$(1)="M1":Z$(2)="M2":Z$(3)="M1":Z$(4)="M3":Z$(5)="M1":Z$(6)="M2":Z$(7)="M1":
89 Z$(8)="M3"
89 Z$(9)="M1":Z$(10)="M2":Z$(11)="M1":Z$(12)="M3":Z$(13)="M1":Z$(14)="M2":Z$(15)
="M1"
90 Z$(16)="M3":Z$(17)="M1"
100 FOR I=1 TO 4:FOR J=1 TO 8:V(I,J)=MI1(I,J):NEXT J:NEXT I
105 FOR E=1 TO 17: X#=Z$(E): Y#=Z$(E+1)
110 IF X#="M1" THEN 115 ELSE 111
111 IF X#="M2" THEN 116 ELSE 112
112 IF X#="M3" THEN 117 ELSE 115
115 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:A(I,J)=MI1(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 125
116 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:A(I,J)=MI2(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 125
117 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:A(I,J)=MI3(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 125
125 IF Y#="M1" THEN 130 ELSE 126
126 IF Y#="M2" THEN 131 ELSE 127
127 IF Y#="M3" THEN 132 ELSE 130
130 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:B(I,J)=MI1(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 140
131 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:B(I,J)=MI2(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 140
132 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:B(I,J)=MI3(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 140
140 FOR I=5 TO 8:FOR J=1 TO 4
150 V(K+I,J)=A(I,J+4)+B(I-4,J):V(K+I,J+4)=B(I-4,J+4)
151 PRINT V(K+I,J),V(K+I,J+4),
155 NEXT J:NEXT I:K=K+4:PRINT K:NEXT E
160 FOR I=69 TO 72:FOR J=1 TO 4:V(I,J)=MI1(I-64,J+4)
161 PRINT V(I,J),
165 NEXT J:PRINT I :NEXT I:PRINT I
180 C$=",":INPUT "DAME NOMBRE DE ARCHIVO";W$
190 OPEN W$ FOR OUTPUT AS #2
195 FOR I=1 TO 72:FOR J=1 TO 8:V(I,J)=FIX(V(I,J))
200 IF J>1 THEN PRINT #2,C$;
205 PRINT #2,V(I,J):NEXT J
206 PRINT #2,
210 NEXT I:CLOSE #2:END
OK

```

## Subrutina 5 (Lám L3)

```

10 CLEAR:CLS:K=0
20 PRINT"ACOPLE DE MATRICES DE RIGIDEZ"
30 DIM V(92,8),MI1(8,8),MI2(8,8),MI3(8,8),A(8,8),B(8,8),MI4(8,8)
31 INPUT "DAME EL NOMBRE DEL ARCHIVO DE ENTRADA":S#
35 OPEN S# FOR INPUT AS #1
40 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8
45 PRINT"MATRIZ MI1  RENGLON":I;" COLUMNNA":J:INPUT #1,MI1(I,J)
46 NEXT J:NEXT I
50 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8
55 PRINT"MATRIZ MI2  RENGLON":I;" COLUMNNA":J:INPUT #1,MI2(I,J)
56 NEXT J:NEXT I
60 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8
65 PRINT "MATRIZ MI3  RENGLON":I;" COLUMNNA":J:INPUT #1,MI3(I,J)
66 NEXT J:NEXT I
67 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8
68 PRINT "MATRIZ MI4  RENGLON":I;" COLUMNNA":J:INPUT #1,MI4(I,J)
69 NEXT J:NEXT I:CLOSE #1
87 DIM Z$(23)
88 Z$(1)="M4":Z$(2)="M1":Z$(3)="M2":Z$(4)="M3":Z$(5)="M4":Z$(6)="M1":Z$(7)="M2":
Z$(8)="M3"
89 Z$(9)="M4":Z$(10)="M1":Z$(11)="M2":Z$(12)="M3":Z$(13)="M4":Z$(14)="M1":Z$(15)
="M2"
90 Z$(16)="M3":Z$(17)="M4":Z$(18)="M1":Z$(19)="M2":Z$(20)="M3":Z$(21)="M4":Z$(22)
)="M1"
100 FOR I=1 TO 4:FOR J=1 TO 8:V(I,J)=MI4(I,J):NEXT J:NEXT I
105 FOR E=1 TO 22: X#=Z$(E): Y#=Z$(E+1)
110 IF X#="M1" THEN 115 ELSE 111
111 IF X#="M2" THEN 116 ELSE 112
112 IF X#="M3" THEN 117 ELSE 113
113 IF X#="M4" THEN 118 ELSE 115
115 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:A(I,J)=MI1(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 125
116 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:A(I,J)=MI2(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 125
117 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:A(I,J)=MI3(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 125
118 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:A(I,J)=MI4(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 125
125 IF Y#="M1" THEN 130 ELSE 126
126 IF Y#="M2" THEN 131 ELSE 127
127 IF Y#="M3" THEN 132 ELSE 128
128 IF Y#="M4" THEN 133 ELSE 130
130 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:B(I,J)=MI1(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 140
131 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:B(I,J)=MI2(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 140
132 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:B(I,J)=MI3(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 140
133 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:B(I,J)=MI4(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 140
140 FOR I=5 TO 8:FOR J=1 TO 4
150 V(K+I,J)=A(I,J+4)+B(I-4,J):V(K+I,J+4)=B(I-4,J+4)
151 PRINT V(K+I,J),V(K+I,J+4),
155 NEXT J:NEXT I:K=K+4:PRINT K:NEXT E
160 FOR I=89 TO 92:FOR J=1 TO 4:V(I,J)=MI1(I-84,J+4)
161 PRINT V(I,J),
165 NEXT J:PRINT I :NEXT I:PRINT I
180 C#="":INPUT "DAME NOMBRE DE ARCHIVO":W#
190 OPEN W# FOR OUTPUT AS #2
195 FOR I=1 TO 92:FOR J=1 TO 8:V(I,J)=FIX(V(I,J))
200 IF J>1 THEN PRINT #2,C#:
205 PRINT #2,V(I,J):NEXT J
206 PRINT #2,
210 NEXT I:CLOSE #2:END
OK

```

## Subrutina 5 (Lám RN-100/35)

```

10 CLEAR:CLS:F=0
20 PRINT"ACOFLE DE MATRICES DE RIGIDEZ"
30 DIM V(156,8):MI1(8,8):MI2(8,8):MI3(8,8):MI4(8,8):MI5(8,8):A(8,8):B(8,8)
31 DIM MI6(8,8):MI7(8,8): INPUT "DAME EL NOMBRE DEL ARCHIVO DE ENTRADA":S$
35 OPEN S$ FOR INPUT AS #1
40 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8
45 PRINT"MATRIZ MI1  RENGLON":I;" COLUMNA":J:INPUT #1,MI1(I,J)
46 NEXT J:NEXT I
50 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8
55 PRINT"MATRIZ MI2  RENGLON":I;" COLUMNA":J:INPUT #1,MI2(I,J)
56 NEXT J:NEXT I
60 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8
65 PRINT "MATRIZ MI3 RENGLON":I;" COLUMNA":J:INPUT #1,MI3(I,J)
66 NEXT J:NEXT I
70 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8
75 PRINT "MATRIZ MI4 RENGLON":I;" COLUMNA":J:INPUT #1,MI4(I,J)
76 NEXT J:NEXT I
80 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8
85 PRINT "MATRIZ MI5 RENGLON":I;" COLUMNA":J:INPUT #1,MI5(I,J)
86 NEXT J:NEXT I
87 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8
88 PRINT "MATRIZ MI6 RENGLON":I;" COLUMNA":J:INPUT #1,MI6(I,J)
89 NEXT J:NEXT I
90 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8
91 PRINT "MATRIZ MI7 RENGLON":I;" COLUMNA":J:INPUT #1,MI7(I,J)
92 NEXT J:NEXT I:CLOSE #1
93 DIM Z$(39)
94 Z$(1)="M1":Z$(2)="M2":Z$(3)="M3":Z$(4)="M4":Z$(5)="M2":Z$(6)="M3":Z$(7)="M1":
Z$(8)="M5"
95 Z$(9)="M7":Z$(10)="M3":Z$(11)="M2":Z$(12)="M7":Z$(13)="M6":Z$(14)="M1":Z$(15)
="M2"
96 Z$(16)="M3":Z$(17)="M4":Z$(18)="M2":Z$(19)="M3":Z$(20)="M1":Z$(21)="M5":Z$(22)
="M7"
97 Z$(23)="M3":Z$(24)="M2":Z$(25)="M7":Z$(26)="M6":Z$(27)="M1":Z$(28)="M2":Z$(29)
)="M3"
98 Z$(30)="M4":Z$(31)="M2":Z$(32)="M3":Z$(33)="M1":Z$(34)="M5":Z$(35)="M7":Z$(36)
)="M3"
99 Z$(37)="M2":Z$(38)="M7"
100 FOR I=1 TO 4:FOR J=1 TO 8:V(I,J)=MI1(I,J):NEXT J:NEXT I
105 FOR E=1 TO 38: X#=Z$(E): Y#=Z$(E+1)
110 IF X#="M1" THEN 118 ELSE 111
111 IF X#="M2" THEN 119 ELSE 112
112 IF X#="M3" THEN 120 ELSE 113
113 IF X#="M4" THEN 121 ELSE 114
114 IF X#="M5" THEN 122 ELSE 115
115 IF X#="M6" THEN 123 ELSE 116
116 IF X#="M7" THEN 124 ELSE 118
118 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:A(I,J)=MI1(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 125
119 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:A(I,J)=MI2(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 125
120 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:A(I,J)=MI3(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 125
121 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:A(I,J)=MI4(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 125
122 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:A(I,J)=MI5(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 125
123 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:A(I,J)=MI6(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 125
124 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:A(I,J)=MI7(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 125
125 IF Y#="M1" THEN 133 ELSE 126
126 IF Y#="M2" THEN 134 ELSE 127
127 IF Y#="M3" THEN 135 ELSE 128
128 IF Y#="M4" THEN 136 ELSE 129
129 IF Y#="M5" THEN 137 ELSE 130

```

```

130 IF Y#="M6" THEN 138 ELSE 131
131 IF Y#="M7" THEN 139 ELSE 133
133 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:B(I,J)=MI1(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 140
134 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:B(I,J)=MI2(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 140
135 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:B(I,J)=MI3(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 140
136 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:B(I,J)=MI4(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 140
137 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:B(I,J)=MI5(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 140
138 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:B(I,J)=MI6(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 140
139 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:B(I,J)=MI7(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 140
140 FOR I=5 TO 8:FOR J=1 TO 4
150 V(I+1,J)=A(I,J+4)+B(I-4,J):V(I+1,J+4)=B(I-4,J+4)
151 PRINT I:I:",";J:",";":V(I,J):K+I:",";":J+4:":":V(K+I,J+4).
155 NEXT J:NEXT I:K=I+4:PRINT I:NEXT I
160 FOR I=153 TO 156:FOR J=1 TO 4:V(I,J)=MI5(I-148,J+4)
161 PRINT V(I,J),
165 NEXT J:PRINT I :NEXT I:PRINT I
180 C#=","; INPUT "DAME NOMBRE DE ARCHIVO":R#
190 OPEN R# FOR OUTPUT AS #1
195 FOR I=1 TO 156: FOR J=1 TO 8:V(I,J)=FIX(V(I,J))
200 IF J>1 THEN PRINT #1,C#;
205 PRINT #1, V(I,J): :NEXT J
206 PRINT #1,
210 NEXT I:CLOSE #1:END
Ok

```

## Subrutina 5 (Lám R-90)

```

10 CLEAR:CLS:F=0
20 PRINT"ACOPLE DE MATRICES DE RIGIDEZ"
30 DIM V(136,8),MI1(8,8),MI2(8,8),MI3(8,8),A(8,8),B(8,8),M14(8,8),M15(8,8)
31 INPUT "DAME EL NOMBRE DEL ARCHIVO DE ENTRADA"IS$
35 OPEN S$ FOR INPUT AS #1
40 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8
45 PRINT"MATRIZ MI1 RENGLO":I;" COLUMNA":J:INPUT #1,MI1(I,J)
46 NEXT J:NEXT I
50 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8
55 PRINT"MATRIZ MI2 RENGLO":I;" COLUMNA":J:INPUT #1,MI2(I,J)
56 NEXT J:NEXT I
60 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8
65 PRINT "MATRIZ MI3 RENGLO":I;" COLUMNA":J:INPUT #1,MI3(I,J)
66 NEXT J:NEXT I
67 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8
68 PRINT "MATRIZ MI4 RENGLO":I;" COLUMNA":J:INPUT #1,MI4(I,J)
69 NEXT J:NEXT I
70 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8
71 PRINT "MATRIZ MI5 RENGLO":I;" COLUMNA":J:INPUT #1,MI5(I,J)
72 NEXT J:NEXT I:CLOSE #1
87 DIM Z$(34)
88 Z$(1)="M1":Z$(2)="M3":Z$(3)="M1":Z$(4)="M4":Z$(5)="M1":Z$(6)="M5":Z$(7)="M1":
Z$(8)="M4"
89 Z$(9)="M1":Z$(10)="M5":Z$(11)="M1":Z$(12)="M4":Z$(13)="M1":Z$(14)="M5":Z$(15)
="M1"
90 Z$(16)="M2":Z$(17)="M1":Z$(18)="M3":Z$(19)="M1":Z$(20)="M4":Z$(21)="M1":Z$(22)
)="M5"
91 Z$(23)="M1":Z$(24)="M4":Z$(25)="M1":Z$(26)="M5":Z$(27)="M1":Z$(28)="M4":Z$(29)
)="M1"
92 Z$(30)="M5":Z$(31)="M1":Z$(32)="M2":Z$(33)="M1"
100 FOR I=1 TO 4:FOR J=1 TO 8:V(I,J)=MI1(I,J):NEXT J:NEXT I
105 FOR E=1 TO 33: X$=Z$(E): Y$=Z$(E+1)
110 IF X$="M1" THEN 115 ELSE 111
111 IF X$="M2" THEN 116 ELSE 112
112 IF X$="M3" THEN 117 ELSE 113
113 IF X$="M4" THEN 118 ELSE 114
114 IF X$="M5" THEN 119 ELSE 115
115 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:A(I,J)=MI1(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 125
116 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:A(I,J)=MI2(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 125
117 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:A(I,J)=MI3(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 125
118 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:A(I,J)=MI4(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 125
119 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:A(I,J)=MI5(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 125
125 IF Y$="M1" THEN 130 ELSE 126
126 IF Y$="M2" THEN 131 ELSE 127
127 IF Y$="M3" THEN 132 ELSE 128
128 IF Y$="M4" THEN 133 ELSE 129
129 IF Y$="M5" THEN 134 ELSE 130
130 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:B(I,J)=MI1(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 140
131 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:B(I,J)=MI2(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 140
132 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:B(I,J)=MI3(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 140
133 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:B(I,J)=MI4(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 140
134 FOR I=1 TO 8:FOR J=1 TO 8:B(I,J)=MI5(I,J):NEXT J:NEXT I:GOTO 140
140 FOR I=5 TO 8:FOR J=1 TO 4
150 V(K+I,J)=A(I,J+4)+B(I-4,J):V(K+I,J+4)=B(I-4,J+4)
151 PRINT V(K+I,J),V(K+I,J+4),
155 NEXT J:NEXT I:K=K+4:PRINT K:NEXT E
160 FOR I=133 TO 136:FOR J=1 TO 4:V(I,J)=MI1(I-128,J+4)
161 PRINT V(I,J),
165 NEXT J:PRINT I :NEXT I:PRINT I

```

```
180 C#="":INPUT "NOMBRE DE ARCHIVO":W#
190 OPEN W# FOR OUTPUT AS #2
195 FOR I=1 TO 138:FOR J=1 TO 8:V(I,J)=FIX(V(I,J))
200 IF J=1 THEN PRINT #2,C#:
205 PRINT #2,V(I,J)::NEXT J
208 PRINT #2,
210 NEXT I:CLOSE #2:END
OK
```

## Subrutina 7

```

FILE 3=ARCH11RES,UNIT=DISK,RECORD=15,BLOCKING=30
FILE 7=VECFORDAT,UNIT=DISK,RECORD=15,BLOCKING=30
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
DIMENSION V(160,8),C(16C,16C),R(16C),X(160),M(16,10)
INTEGER E,F
WRITE(6,/) "DAME NUMERO DE ECUACIONES"
READ(5,/) N
DO 2 I=1,N
  2 CONTINUE
DO 12 I=1,N
  12 CONTINUE
  D=-4
  DO 4 I=1,N,4
    K=1
    D=D+4
    DO 5 E=0,3
      DO 6 J=K,3
        C(I+E,J+D)=V(I+E,J)
        C(J+D,I+E)=C(I+E,J+D)
      6 CONTINUE
      K=K+1
    5 CONTINUE
    4 CONTINUE
    T=1.0/C(K,K)
    J=K
    28 C(K,J)=C(K,J)*T
    IF (DABS(C(K,J)).GE.1.C*10**(-05)) GO TO 26
    C(K,J)=C
    26 IF (J.EQ.N) GO TO 27
    J=J+1
    GO TO 28
    27 R(K)=R(K)*T
    J=K+1
    33 T=C(J,K)
    L=K
    31 C(J,L)=C(J,L)-C(K,L)*T
    IF (DABS(C(J,L)).GE.1.C*10**(-05)) GO TO 29
    C(J,L)=0
    29 IF (L.EQ.N) GO TO 30
    L=L+1
    GO TO 31
    30 R(J)=R(J)-R(K)*T
    IF (J.EQ.N) GO TO 32
    J=J+1
    GO TO 33
    32 IF (K.EQ.N-1) GO TO 34
    K=K+1
    GO TO 35
    34 X(N)=R(N)/C(N,N)
    I=1
    39 S=0
    J=N-I+1
    37 S=S+C(N-I,J)*X(J)
    IF (J.EQ.N) GO TO 36

    J=J+1
    GO TO 37
    36 X(N-I)=R(N-I)-S
    IF (I.EQ.N-1) GO TO 38
    I=I+1
    GO TO 39
    38 CONTINUE
    K=1
    F=N/10
    DO 61 I=1,F
      DO 62 J=1,10
        M(I,J)=X(K)
      62 CONTINUE
      K=K+1
    61 CONTINUE
    K=1
    DO 63 I=1,F
      WRITE(6,64) K,(M(I,J),J=1,10)
    64 FORMAT(2X,"X(",I3,")=",N,*,F10.5)
    K=K+1
    63 CONTINUE
  END

```

## Subrutina 8

SPLAZ (02/26/90)

```

FILE 4=RESD3L1,UNIT=DISK,RECORD=14,BLOCKING=30
FILE 7=RESD3L3,UNIT=DISK,RECORD=14,BLOCKING=30
FILE 8=RESD3L5,UNIT=DISK,RECORD=14,BLOCKING=30
FILE 9=RESD3L7,UNIT=DISK,RECORD=14,BLOCKING=30
FILE 2=DESP3LCE,UNIT=DISK,RECORD=14,BLOCKING=30
FILE 3=DESP3LCU,UNIT=DISK,RECORD=14,BLOCKING=30
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
REAL K
T=3.14151692
DIMENSION A(160),B(160),C(160),E(160),D(160,10)
WRITE(6,/) "DAME NUMERO DE GRADOS DE LIBERTAD TOTALES"
READ(5,/)N
WRITE(6,/) "DAME LONGITUD DEL CLARO"
READ(5,/)L
DO 54 I=1,N
  READ(4,/)A(I)
54 CONTINUE
  DO 2 I=1,N
    READ(7,/)B(I)
    READ(8,/)C(I)
    READ(9,/)E(I)
  2 CONTINUE
  WRITE(5,*)0
  40 FORMAT(2X, "*****")
  DO 51 I=1,N
    51 CONTINUE
    DO 4 J=1,2
      Z=L/(2*J)
      DO 6 I=1,N,4
        HM=T/L
        K=HM*Z
        D(I,J)=A(I)*SIN(K)
        I1=I+1
        D(I1,J)=A(I1)*COS(K)
        I2=I+2
        D(I2,J)=A(I2)*SIN(K)
        I3=I+3
        D(I3,J)=A(I3)*SIN(K)
      43 FORMAT(2X,F10.5,2X,F10.5,2X,F10.5,2X,F10.5)
    6 CONTINUE
    4 CONTINUE
    WRITE(5,*)41
    41 FORMAT(2X, "#### *")
    DO 8 J=3,4
      Z=L/(2*(J-2))
      DO 10 I=1,N,4
        HM=3*T/L
        K=HM*Z
        D(I,J)=B(I)*SIN(K)
        I1=I+1
        D(I1,J)=B(I1)*COS(K)
        I2=I+2
        D(I2,J)=B(I2)*SIN(K)
        I3=I+3
        D(I3,J)=B(I3)*SIN(K)
      10 CONTINUE

```



```

3 CONTINUE
DO 11 J=5,6
Z=L/(2*(J-4))
DO 12 I=1,N,4
HM=5*T/L
K=HM*Z
D(I,J)=C(I)*SIN(K)
I1=I+1
D(I1,J)=C(I1)*COS(K)
I2=I+2
D(I2,J)=C(I2)*SIN(K)
I3=I+3
D(I3,J)=C(I3)*SIN(K)
12 CONTINUE
11 CONTINUE
DO 13 J=7,8
Z=L/(2*(J-6))
DO 14 I=1,N,4
HM=7*T/L
K=HM*Z
D(I,J)=E(I)*SIN(K)
I1=I+1
D(I1,J)=E(I1)*COS(K)
I2=I+2
D(I2,J)=E(I2)*SIN(K)
I3=I+3
D(I3,J)=E(I3)*SIN(K)
14 CONTINUE
13 CONTINUE
DO 15 M=9,10
DO 16 I=1,N,4
K1=M-8
K2=M-2
DO 17 J=K1,K2,2
D(I,M)=D(I,J)+D(I,M)
I1=I+1
D(I1,M)=D(I1,J)+D(I1,M)
I2=I+2
D(I2,M)=D(I2,J)+D(I2,M)
I3=I+3
D(I3,M)=D(I3,J)+D(I3,M)
17 CONTINUE
16 CONTINUE
15 CONTINUE
DO 18 I=1,N
WRITE(2,21)I,D(I,9)
21 FORMAT(2X,"D(",I3,")=" ,F16.7)
18 CONTINUE
LOCK 2
DO 20 I=1,N
WRITE(3,22)I,D(I,10)
22 FORMAT(2X,"D(",I3,")=" ,F16.7)
20 CONTINUE
LOCK 3
END

```

CAPITULO VII : Aplicación a 5 tipos de láminas.

La aplicación del método de bandas finitas en este trabajo, obedece rigurosamente a las características geométricas de cada una de las láminas, así como a las propiedades del material del que están formadas. Una vez entendido el procedimiento para llevar a cabo el análisis, el siguiente paso será aplicarlo a las 5 láminas de interés.

Sin embargo, vale la pena hacer un paréntesis antes de comenzar; diversas publicaciones <sup>1</sup> referentes al análisis de placa doblada, manejan siempre un mismo ejemplo de aplicación para poder tener un punto de comparación entre sus resultados. Tomando entonces la misma referencia, se trata de obtener la respuesta de una estructura convencional de placa doblada como se muestra en la fig 7.1. Los datos que se toman en cuenta son los mismos que aparecen en aquellos artículos (fig 7.1), pero los resultados se limitan solo al campo de desplazamientos; siendo ésto suficiente para verificar el programa. A continuación se presentan los desplazamientos totales en coordenadas globales al centro del claro, mismos que tienen semejanza con los obtenidos en las publicaciones mencionadas. Sus pequeñas diferencias seguramente se deben a que el  $f'c$  y  $E$  del concreto no aparecen en los datos, por lo que se tuvo que suponer a  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$  y

$$E = 10000 \sqrt{f'c}$$

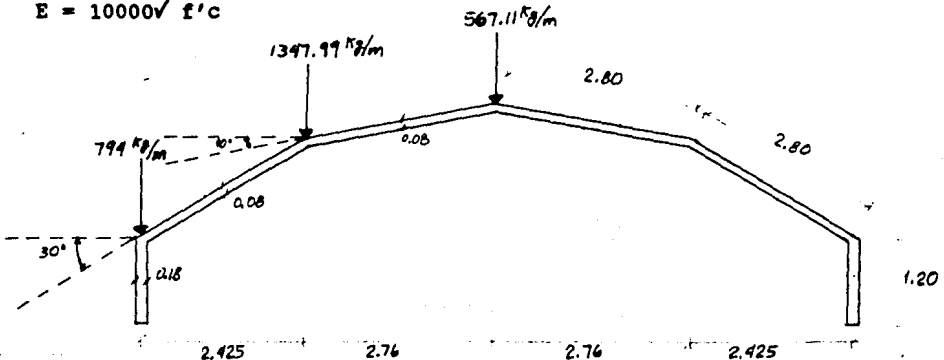


Fig 7.1

1	1) J	U	(1)	=	2.1416	2.0131
	2) J	Y	(2)	=	0.0000	0.0000
	3) J	W	(3)	=	2.8934	-0.0062
	4) J	e	(4)	=	0.0066	0.0062
2	5) J		(5)	=	0.3612	1.2795
	6) J		(6)	=	0.0000	0.0000
	7) J		(7)	=	2.9055	-0.0062
	8) J		(8)	=	0.0066	0.0000
3	9) J		(9)	=	0.4199	0.3359
	10) J		(10)	=	0.0000	0.0000
	11) J		(11)	=	1.2576	0.0000
	12) J		(12)	=	0.0094	-0.0079
4	13) J		(13)	=	0.0000	0.0000
	14) J		(14)	=	0.0000	0.0000
	15) J		(15)	=	-1.1233	-0.0000
	16) J		(16)	=	0.0066	0.0000
5	17) J		(17)	=	0.4199	-0.3354
	18) J		(18)	=	0.0000	0.0000
	19) J		(19)	=	1.2573	0.0000
	20) J		(20)	=	-1.0094	0.0079
6	21) J		(21)	=	-1.3591	-1.2787
	22) J		(22)	=	0.0000	0.0000
	23) J		(23)	=	2.9029	0.0062
	24) J		(24)	=	0.0066	0.0062
7	25) J		(25)	=	-1.159	-2.0107
	26) J		(26)	=	0.0000	0.0000
	27) J		(27)	=	2.8909	0.0000
	28) J		(28)	=	0.0066	0.0062

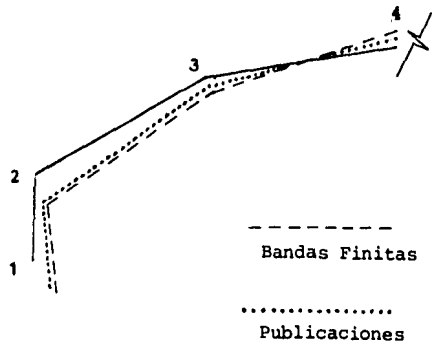
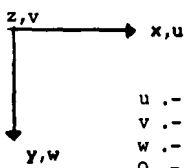


Fig 7.2



- u .- desplazamiento paralelo a x
- v .- desplazamiento paralelo a z
- w .- desplazamiento paralelo a y
- o .- rotación alrededor de z

Desplazamientos en cms.

El hecho de contar con un marco de referencia previo, permite revisar los resultados que arroja el programa, y proporciona certidumbre de que las discrepancias en los esfuerzos teórico-experimentales de las láminas, no se deben a errores de programación.

\* Características geométricas de las láminas.

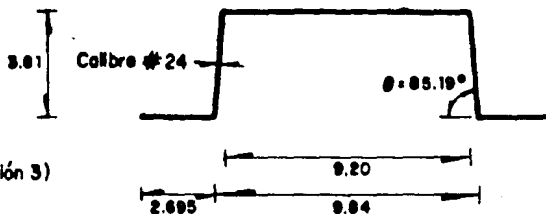
+ Lámina L1



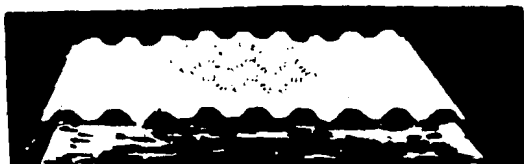
Momento de inercia

$$I_x = 2.39 \text{ cm}^4/\text{corrugación}$$

a) Lámina L-1 (Robertson Mexicana sección 3)



+ Lámina L2

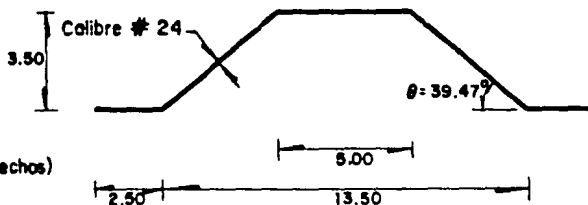


Acotaciones, en cm

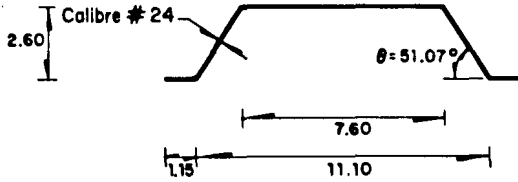
Momento de inercia

$$I_x = 1.94 \text{ cm}^4/\text{corrugación}$$

b) Lámina L-2 (Robertson Mexicana HR techos)



+ Lámina L3



Momento de inercia

$I_x = 0.75 \text{ cm}^4/\text{corrugación}$

c) Lámina L-3 (Hylsa R-72)

+ Lámina R-90

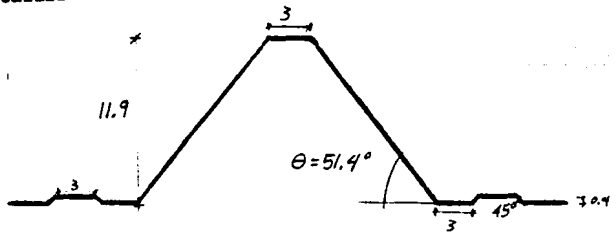


calibre # 22

Momento de inercia total

$I_x = 152.9 \text{ cm}^4$

d) Lámina R-90 (Sicartsa)



+ Lámina RN-100/35

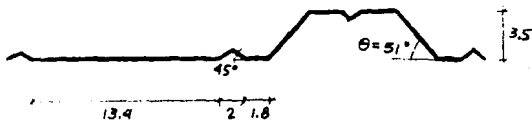


calibre # 22

Momento de inercia total

$$I_x = 16.02 \text{ cm}^4$$

e) Lámina RN-100/35 (Sicartsa)



Todas las acotaciones son en cms.

NOTAS : Los datos generales son

$$E = 2.06 \times 10^6$$

$$\nu = 0.3$$

$$\text{Cal. \# 22} \quad e = 0.8 \text{ mm}$$

$$\text{Cal. \# 24} \quad e = 0.635 \text{ mm}$$

## \* Resultados

En base al capítulo 4, 5 y 6 se llevó a cabo el desarrollo numérico para obtener el campo de desplazamientos totales, tomando en cuenta 4 modos de carga suficientes para llegar a una precisión aceptable.

En las tablas siguientes se presentan los desplazamientos totales obtenidos en cada arista al centro y cuarto del claro de todas las láminas. Las tablas se enumeran según el número de aristas que correspondan a cada lámina, respetando el orden consecuente de las placas; así que para cada arista existen 4 valores, o sea,  $\delta_r = \left\{ u_r, v_r, w_r \text{ y } \theta_r \right\}^T$  donde  $r$  es una arista cualquiera.

Con fines ilustrativos se presentan dibujos de las láminas deformadas, con la escala vertical mucho mayor que la horizontal para que la elástica sea apreciable de alguna manera. Por lo que respecta a estos resultados se nota que las láminas L-3 y RN-100/35 presentan los menores desplazamientos, mientras que las láminas L2 y R-90 presentan los mayores desplazamientos ante la misma acción eólica.

LAMINA L1

( Desplazamientos al centro del claro )

DESP1LCE (02/26/90)

1	100	D( 1 )=	-0.0025353
	200	D( 2 )=	0.0000000
	300	D( 3 )=	-0.0075696
	400	D( 4 )=	-0.0210205
	500	D( 5 )=	-0.0326788
2	600	D( 6 )=	-0.0300000
	700	D( 7 )=	-0.0075731
	800	D( 8 )=	-0.0022364
	900	D( 9 )=	-0.0026953
3	1000	D( 10 )=	-0.0300000
	1100	D( 11 )=	-0.0040313
	1200	D( 12 )=	-0.0012331
	1300	D( 13 )=	-0.0007864
4	1400	D( 14 )=	-0.0000000
	1500	D( 15 )=	-0.0041969
	1600	D( 16 )=	-0.0014242
	1700	D( 17 )=	-0.0007514
5	1800	D( 18 )=	-0.0000000
	1900	D( 19 )=	-0.0087256
	2000	D( 20 )=	-0.0021551
	2100	D( 21 )=	-0.0011331
6	2200	D( 22 )=	-0.0000000
	2300	D( 23 )=	-0.0067009
	2400	D( 24 )=	-0.0011371
	2500	D( 25 )=	-0.0004683
7	2600	D( 26 )=	-0.0000000
	2700	D( 27 )=	-0.0095585
	2800	D( 28 )=	-0.0012988
	2900	D( 29 )=	0.0002351
8	3000	D( 30 )=	0.0000000
	3100	D( 31 )=	-0.0095995
	3200	D( 32 )=	-0.0007257
	3300	D( 33 )=	0.0003257
9	3400	D( 34 )=	0.0000000
	3500	D( 35 )=	-0.0085134
	3600	D( 36 )=	-0.0011230
	3700	D( 37 )=	0.0010562
10	3800	D( 38 )=	-0.0000000
	3900	D( 39 )=	-0.0084472
	4000	D( 40 )=	-0.0016105
	4100	D( 41 )=	0.0010398
11	4200	D( 42 )=	-0.0000000
	4300	D( 43 )=	-0.0107379
	4400	D( 44 )=	-0.0009614
	4500	D( 45 )=	0.0009395
12	4600	D( 46 )=	-0.0000000
	4700	D( 47 )=	-0.0107317
	4800	D( 48 )=	-0.0001761
	4900	D( 49 )=	0.0009752
13	5000	D( 50 )=	-0.0000000
	5100	D( 51 )=	-0.0051076
	5200	D( 52 )=	-0.0015524
14	5300	D( 53 )=	-0.0022755
	5400	D( 54 )=	-0.0000000
	5500	D( 55 )=	-0.0049942
	5600	D( 56 )=	-0.0015424
	5700	D( 57 )=	0.0022564

15	5800	D( 53 )=	-0.0000000
	5900	D( 53 )=	-0.0092563
	6000	D( 60 )=	-0.0021353
	6100	D( 61 )=	0.0012356
16	6200	D( 62 )=	0.0000000
	6300	D( 63 )=	-0.0092201
	6400	D( 64 )=	-0.0006248
	6500	D( 65 )=	0.0013256
17	6600	D( 66 )=	-0.0000000
	6700	D( 67 )=	-0.0026404
	6800	D( 68 )=	0.0015371
	6900	D( 69 )=	0.0034990
18	7000	D( 70 )=	0.0000000
	7100	D( 71 )=	0.0028249
	7200	D( 72 )=	-0.0003305
	7300	D( 73 )=	0.0039785
19	7400	D( 74 )=	-0.0000000
	7500	D( 75 )=	-0.0031331
	7600	D( 76 )=	-0.0014372
	7700	D( 77 )=	0.0050549
20	7800	D( 78 )=	0.0000000
	7900	D( 79 )=	-0.0032323
	8000	D( 80 )=	0.0008356
21	8100	D( 81 )=	0.0050399
	8200	D( 82 )=	-0.0000000
	8300	D( 83 )=	-0.0012467
	8400	D( 84 )=	0.0004274

Desplazamientos en cms.



( Desplazamientos al cuarto del claro )

DESP1LCU (02/26/90)

100	D( 1 ) =	-0.0017733
200	D( 2 ) =	-0.0002005
300	D( 3 ) =	-0.0002654
400	D( 4 ) =	-0.0007523
500	D( 5 ) =	-0.0018340
600	D( 6 ) =	-0.0003969
700	D( 7 ) =	-0.0052633
800	D( 8 ) =	-0.0001572
900	D( 9 ) =	-0.0018648
1000	D( 10 ) =	-0.0001252
1100	D( 11 ) =	-0.0028263
1200	D( 12 ) =	-0.0003560
1300	D( 13 ) =	-0.0005462
1400	D( 14 ) =	-0.0002047
1500	D( 15 ) =	-0.0029405
1600	D( 16 ) =	-0.0003691
1700	D( 17 ) =	-0.0005217
1800	D( 18 ) =	-0.0003493
1900	D( 19 ) =	-0.0007763
2000	D( 20 ) =	-0.0003675
2100	D( 21 ) =	-0.0000931
2200	D( 22 ) =	-0.0004251
2300	D( 23 ) =	-0.0005738
2400	D( 24 ) =	-0.0002822
2500	D( 25 ) =	-0.0001109
2600	D( 26 ) =	-0.0004095
2700	D( 27 ) =	-0.0006826
2800	D( 28 ) =	-0.0000007
2900	D( 29 ) =	0.0002001
3000	D( 30 ) =	0.0003540
3100	D( 31 ) =	-0.0006701
3200	D( 32 ) =	-0.0004830
3300	D( 33 ) =	0.0002285
3400	D( 34 ) =	0.0002997
3500	D( 35 ) =	-0.0005932
3600	D( 36 ) =	0.0002711
3700	D( 37 ) =	-0.0007497
3800	D( 38 ) =	-0.0001731
3900	D( 39 ) =	-0.0058354
4000	D( 40 ) =	-0.0011189
4100	D( 41 ) =	0.0007313
4200	D( 42 ) =	-0.0004316
4300	D( 43 ) =	-0.0007494
4400	D( 44 ) =	0.0006656
4500	D( 45 ) =	0.0006561
4600	D( 46 ) =	0.0003740
4700	D( 47 ) =	-0.0007490
4800	D( 48 ) =	-0.0001009
4900	D( 49 ) =	0.0006311
5000	D( 50 ) =	0.0002003
5100	D( 51 ) =	-0.0035584
5200	D( 52 ) =	0.0009951
5300	D( 53 ) =	0.0015925
5400	D( 54 ) =	-0.0002041
5500	D( 55 ) =	-0.0034790
5600	D( 56 ) =	-0.0001765
5700	D( 57 ) =	0.0015790

5800	D( 58 ) =	-0.0004240
5900	D( 59 ) =	-0.0002617
6000	D( 60 ) =	0.0001232
6100	D( 61 ) =	0.0012512
6200	D( 62 ) =	-0.0003064
6300	D( 63 ) =	-0.0006435
6400	D( 64 ) =	-0.0004921
6500	D( 65 ) =	0.0012735
6600	D( 66 ) =	-0.0000311
6700	D( 67 ) =	0.0013363
6800	D( 68 ) =	0.0010924
6900	D( 69 ) =	0.0027718
7000	D( 70 ) =	0.0001331
7100	D( 71 ) =	0.0019647
7200	D( 72 ) =	-0.0005755
7300	D( 73 ) =	0.0027714
7400	D( 74 ) =	-0.0002155
7500	D( 75 ) =	-0.0002188
7600	D( 76 ) =	-0.0009973
7700	D( 77 ) =	0.0003523
7800	D( 78 ) =	0.0000219
7900	D( 79 ) =	-0.0002251
8000	D( 80 ) =	0.0006118
8100	D( 81 ) =	0.0008114
8200	D( 82 ) =	-0.0004995
8300	D( 83 ) =	-0.0039435
8400	D( 84 ) =	0.0002092

Desplazamientos en cms.

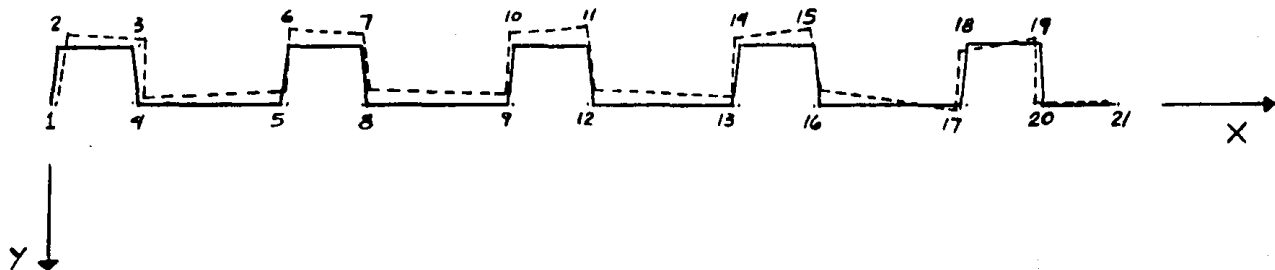


Fig 7.3 Estructura deformada de la LAMINA L1 (Coordenadas Globales)

LAMINA L2

( Desplazamientos al centro del claro )

DESP2LCE (02/20/90)

1	100	D( 1 ) =	0.0059794
	200	D( 2 ) =	0.0000000
	300	D( 3 ) =	0.0111103
	400	D( 4 ) =	0.0358711
2	500	D( 5 ) =	-0.0000000
	600	D( 6 ) =	-0.0000000
	700	D( 7 ) =	-0.0072353
	800	D( 8 ) =	-0.0072353
3	900	D( 9 ) =	-0.0019725
	1000	D( 10 ) =	-0.0000000
	1100	D( 11 ) =	0.0003503
	1200	D( 12 ) =	-0.0019725
4	1300	D( 13 ) =	-0.0007703
	1400	D( 14 ) =	-0.0000000
	1500	D( 15 ) =	-0.0064021
	1600	D( 16 ) =	-0.0063979
5	1700	D( 17 ) =	0.0011030
	1800	D( 18 ) =	0.0000000
	1900	D( 19 ) =	-0.0002565
	2000	D( 20 ) =	-0.0008471
6	2100	D( 21 ) =	0.0011313
	2200	D( 22 ) =	0.0000000
	2300	D( 23 ) =	-0.0100306
	2400	D( 24 ) =	-0.0005520
7	2500	D( 25 ) =	-0.0074573
	2600	D( 26 ) =	-0.0000000
	2700	D( 27 ) =	-0.0119497
	2800	D( 28 ) =	-0.0014023
8	2900	D( 29 ) =	-0.0000000
	3000	D( 30 ) =	-0.0000000
	3100	D( 31 ) =	-0.0127805
	3200	D( 32 ) =	0.0210311
9	3300	D( 33 ) =	0.0300324
	3400	D( 34 ) =	0.0000000
	3500	D( 35 ) =	-0.0134116
	3600	D( 36 ) =	-0.0011752
10	3700	D( 37 ) =	0.0000642
	3800	D( 38 ) =	0.0000000
	3900	D( 39 ) =	-0.0135234
	4000	D( 40 ) =	0.0011954
11	4100	D( 41 ) =	-0.0001551
	4200	D( 42 ) =	-0.0000000
	4300	D( 43 ) =	-0.0013419
	4400	D( 44 ) =	-0.0010822
12	4500	D( 45 ) =	-0.0001250
	4600	D( 46 ) =	-0.0000000
	4700	D( 47 ) =	-0.0121157
	4800	D( 48 ) =	-0.0014223
13	4900	D( 49 ) =	-0.0000000
	5000	D( 50 ) =	-0.0000000
	5100	D( 51 ) =	-0.0105752
	5200	D( 52 ) =	-0.0006385
14	5300	D( 53 ) =	-0.0008808
	5400	D( 54 ) =	0.0000000
	5500	D( 55 ) =	-0.0096531
	5600	D( 56 ) =	0.0010116
	5700	D( 57 ) =	0.0005676

15	5800	D( 58 ) =	-0.0070000
	5900	D( 59 ) =	-0.0078114
	6000	D( 60 ) =	0.0009333
16	6100	D( 61 ) =	-0.0005555
	6200	D( 62 ) =	-0.0000000
	6300	D( 63 ) =	-0.0025540
	6400	D( 64 ) =	0.0018973
17	6500	D( 65 ) =	-0.0052573
	6600	D( 66 ) =	-0.0000000
	6700	D( 67 ) =	0.0049503
	6800	D( 68 ) =	0.0017327
18	6900	D( 69 ) =	-0.0052475
	7000	D( 70 ) =	0.0000000
	7100	D( 71 ) =	0.0078914
	7200	D( 72 ) =	-0.0020547

Desplazamientos en cms.

( Desplazamientos al cuarto del claro )

DESP2LCU (02/26/90)

100	D( 1 )=	0.00477559
200	D( 2 )=	0.00049304
300	D( 3 )=	0.00702900
400	D( 4 )=	0.0045533
500	D( 5 )=	0.0047504
600	D( 6 )=	-0.00027333
700	D( 7 )=	0.0066077
800	D( 8 )=	-0.0014448
900	D( 9 )=	-0.0035577
1000	D( 10 )=	-0.00016709
1100	D( 11 )=	-0.00017000
1200	D( 12 )=	-0.00012400
1300	D( 13 )=	-0.0004769
1400	D( 14 )=	-0.00010022
1500	D( 15 )=	-0.0044769
1600	D( 16 )=	-0.0002634
1700	D( 17 )=	0.0007723
1800	D( 18 )=	0.0004420
1900	D( 19 )=	-0.00060648
2000	D( 20 )=	-0.0005806
2100	D( 21 )=	0.0007895
2200	D( 22 )=	0.0003238
2300	D( 23 )=	-0.00070131
2400	D( 24 )=	0.0003876
2500	D( 25 )=	-0.0003241
2600	D( 26 )=	-0.0005189
2700	D( 27 )=	-0.0035567
2800	D( 28 )=	-0.0009200
2900	D( 29 )=	-0.0003456
3000	D( 30 )=	-0.0004722
3100	D( 31 )=	-0.0008213
3200	D( 32 )=	0.0007172
3300	D( 33 )=	0.0001144
3400	D( 34 )=	0.0005230
3500	D( 35 )=	-0.0009270
3600	D( 36 )=	-0.0002061
3700	D( 37 )=	0.0009458
3800	D( 38 )=	0.0005170
3900	D( 39 )=	-0.00094495
4000	D( 40 )=	0.0008285
4100	D( 41 )=	-0.0001042
4200	D( 42 )=	-0.0004983
4300	D( 43 )=	-0.0093793
4400	D( 44 )=	-0.0007502
4500	D( 45 )=	0.0000323
4600	D( 46 )=	-0.0005136
4700	D( 47 )=	-0.0084581
4800	D( 48 )=	-0.0009703
4900	D( 49 )=	-0.0006307
5000	D( 50 )=	-0.0003949
5100	D( 51 )=	-0.0075953
5200	D( 52 )=	-0.0004314
5300	D( 53 )=	-0.0006120
5400	D( 54 )=	-0.0004683
5500	D( 55 )=	-0.0007482
5600	D( 56 )=	-0.0007021
5700	D( 57 )=	0.0003938

5800	D( 53 )=	-0.00001760
5900	D( 59 )=	-0.0055331
6000	D( 60 )=	0.0000611
6100	D( 61 )=	-0.0003351
6200	D( 62 )=	-0.0002274
6300	D( 63 )=	-0.00014636
6400	D( 64 )=	-0.00011772
6500	D( 65 )=	-0.00036225
6600	D( 66 )=	-0.000012355
6700	D( 67 )=	0.00039884
6800	D( 68 )=	-0.00012053
6900	D( 69 )=	-0.00038235
7000	D( 70 )=	0.000043265
7100	D( 71 )=	0.00052031
7200	D( 72 )=	-0.00014371

Desplazamientos en cms.

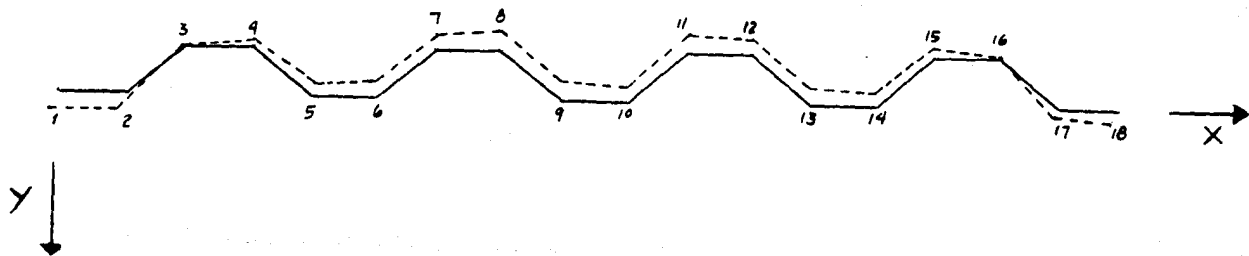


Fig 7.4 Estructura deformada de la LAMINA L2 (Coordenadas Globales)

LAMINA L3

( Desplazamientos al centro del claro )

DESP3LCE (02/26/90)

1	100	D ( 1 ) =	0.0006767	15	5800	D ( 53 ) =	-0.0000332
	200	D ( 2 ) =	0.0000000		5900	D ( 54 ) =	-0.0001222
	300	D ( 3 ) =	0.0007439		6000	D ( 55 ) =	-0.0004815
	400	D ( 4 ) =	-0.0000368		6100	D ( 56 ) =	-0.0002224
2	500	D ( 5 ) =	-0.0003294	16	6200	D ( 57 ) =	0.0000000
	600	D ( 6 ) =	-0.0000000		6300	D ( 58 ) =	0.0010032
	700	D ( 7 ) =	0.0010071		6400	D ( 59 ) =	0.0000610
	800	D ( 8 ) =	0.0003741		6500	D ( 60 ) =	-0.0002205
3	900	D ( 9 ) =	0.0003282	17	6600	D ( 61 ) =	0.0000000
	1000	D ( 10 ) =	-0.0000000		6700	D ( 62 ) =	0.0016441
	1100	D ( 11 ) =	-0.0039959		6800	D ( 63 ) =	0.0001122
	1200	D ( 12 ) =	-0.0003251	18	6900	D ( 64 ) =	-0.0000000
4	1300	D ( 13 ) =	-0.0000920		7000	D ( 65 ) =	-0.0000335
	1400	D ( 14 ) =	0.0000000		7100	D ( 66 ) =	-0.0000000
	1500	D ( 15 ) =	0.0006378		7200	D ( 67 ) =	0.0014943
	1600	D ( 16 ) =	-0.0000410		7300	D ( 68 ) =	0.0000772
5	1700	D ( 17 ) =	-0.0003913	19	7400	D ( 69 ) =	-0.0000000
	1800	D ( 18 ) =	0.0000000		7500	D ( 70 ) =	-0.0009000
	1900	D ( 19 ) =	0.0016072		7600	D ( 71 ) =	-0.0009000
	2000	D ( 20 ) =	0.0001507		7700	D ( 72 ) =	-0.0005500
6	2100	D ( 21 ) =	-0.0000279	20	7800	D ( 73 ) =	-0.0005251
	2200	D ( 22 ) =	-0.0000000		7900	D ( 74 ) =	0.0000000
	2300	D ( 23 ) =	0.0015367		8000	D ( 75 ) =	0.0004506
	2400	D ( 24 ) =	0.0001357		8100	D ( 76 ) =	0.0000463
7	2500	D ( 25 ) =	-0.0000656	21	8200	D ( 77 ) =	-0.0005912
	2600	D ( 26 ) =	-0.0000000		8300	D ( 78 ) =	0.0000000
	2700	D ( 27 ) =	0.0012133		8400	D ( 79 ) =	0.0005243
	2800	D ( 28 ) =	-0.0004674		8500	D ( 80 ) =	0.0000700
8	2900	D ( 29 ) =	-0.0002835	22	8600	D ( 81 ) =	-0.0003628
	3000	D ( 30 ) =	0.0000000		8700	D ( 82 ) =	0.0000000
	3100	D ( 31 ) =	0.0010411		8800	D ( 83 ) =	-0.0001244
	3200	D ( 32 ) =	0.0001027		8900	D ( 84 ) =	-0.0001545
9	3300	D ( 33 ) =	-0.0002806	23	9000	D ( 85 ) =	-0.0003624
	3400	D ( 34 ) =	0.0000000		9100	D ( 86 ) =	0.0000000
	3500	D ( 35 ) =	0.0019178		9200	D ( 87 ) =	-0.0001193
	3600	D ( 36 ) =	0.0001069				-0.0000203
10	3700	D ( 37 ) =	-0.0000228				
	3800	D ( 38 ) =	-0.0000000				
	3900	D ( 39 ) =	0.0017102				
	4000	D ( 40 ) =	0.0001106				
11	4100	D ( 41 ) =	-0.0000258				
	4200	D ( 42 ) =	-0.0000000				
	4300	D ( 43 ) =	0.0012579				
	4400	D ( 44 ) =	-0.0004788				
12	4500	D ( 45 ) =	-0.0002130				
	4600	D ( 46 ) =	0.0000000				
	4700	D ( 47 ) =	0.0011068				
	4800	D ( 48 ) =	0.0000977				
13	4900	D ( 49 ) =	-0.0002094				
	5000	D ( 50 ) =	0.0000000				
	5100	D ( 51 ) =	0.0018994				
	5200	D ( 52 ) =	0.0000819				
14	5300	D ( 53 ) =	-0.0000513				
	5400	D ( 54 ) =	-0.0000000				
	5500	D ( 55 ) =	0.0016779				
	5600	D ( 56 ) =	0.0001195				
	5700	D ( 57 ) =	0.0000279				

Desplazamientos en cms.

( Desplazamientos al cuarto del claro )

DESP3LCU (02/26/90)

100	D( 1 ) =	0.00003343
200	D( 2 ) =	0.00005314
300	D( 3 ) =	0.00005313
400	D( 4 ) =	-0.00001443
500	D( 5 ) =	-0.00011347
600	D( 6 ) =	-0.00003322
700	D( 7 ) =	0.00006455
800	D( 8 ) =	0.00019320
900	D( 9 ) =	0.00011344
1000	D( 10 ) =	-0.00004222
1100	D( 11 ) =	0.00005672
1200	D( 12 ) =	-0.00022224
1300	D( 13 ) =	-0.00001342
1400	D( 14 ) =	0.00000222
1500	D( 15 ) =	0.00003423
1600	D( 16 ) =	0.00000433
1700	D( 17 ) =	-0.00000777
1800	D( 18 ) =	0.00000122
1900	D( 19 ) =	0.00011242
2000	D( 20 ) =	0.00010333
2100	D( 21 ) =	-0.00000494
2200	D( 22 ) =	0.00000595
2300	D( 23 ) =	0.00110055
2400	D( 24 ) =	0.00011411
2500	D( 25 ) =	0.00000505
2600	D( 26 ) =	-0.00000673
2700	D( 27 ) =	-0.00005093
2800	D( 28 ) =	-0.00033177
2900	D( 29 ) =	-0.00020322
3000	D( 30 ) =	0.00000022
3100	D( 31 ) =	0.00006847
3200	D( 32 ) =	0.00000333
3300	D( 33 ) =	-0.00002035
3400	D( 34 ) =	0.00000333
3500	D( 35 ) =	0.00133077
3600	D( 36 ) =	0.00000748
3700	D( 37 ) =	-0.00000140
3800	D( 38 ) =	-0.00000543
3900	D( 39 ) =	0.00118111
4000	D( 40 ) =	0.00000805
4100	D( 41 ) =	-0.00000197
4200	D( 42 ) =	-0.00000552
4300	D( 43 ) =	0.00003397
4400	D( 44 ) =	-0.00003403
4500	D( 45 ) =	-0.00001522
4600	D( 46 ) =	0.00000126
4700	D( 47 ) =	0.00007255
4800	D( 48 ) =	0.00000793
4900	D( 49 ) =	0.00001530
5000	D( 50 ) =	0.00000333
5100	D( 51 ) =	0.00134098
5200	D( 52 ) =	0.00000855
5300	D( 53 ) =	0.00000333
5400	D( 54 ) =	-0.00000561
5500	D( 55 ) =	0.00115555
5600	D( 56 ) =	0.00000866
5700	D( 57 ) =	0.00000331

5800	D( 58 ) =	-0.00000606
5900	D( 59 ) =	0.00008190
6000	D( 60 ) =	-0.00003422
6100	D( 61 ) =	-0.00016331
6200	D( 62 ) =	0.00000017
6300	D( 63 ) =	0.00006603
6400	D( 64 ) =	0.00000530
6500	D( 65 ) =	-0.00001617
6600	D( 66 ) =	0.00000274
6700	D( 67 ) =	0.00114055
6800	D( 68 ) =	0.00000817
6900	D( 69 ) =	-0.00000281
7000	D( 70 ) =	-0.00000545
7100	D( 71 ) =	0.00103319
7200	D( 72 ) =	0.00004220
7300	D( 73 ) =	-0.00000290
7400	D( 74 ) =	-0.00000559
7500	D( 75 ) =	0.00005833
7600	D( 76 ) =	-0.00000320
7700	D( 77 ) =	-0.00004259
7800	D( 78 ) =	-0.00000082
7900	D( 79 ) =	0.00002632
8000	D( 80 ) =	0.00004221
8100	D( 81 ) =	-0.00004236
8200	D( 82 ) =	0.00000752
8300	D( 83 ) =	0.00002567
8400	D( 84 ) =	0.00000615
8500	D( 85 ) =	-0.00002899
8600	D( 86 ) =	0.00000816
8700	D( 87 ) =	0.00001344
8800	D( 88 ) =	-0.00001000
8900	D( 89 ) =	-0.00002837
9000	D( 90 ) =	-0.00000987
9100	D( 91 ) =	-0.00000529
9200	D( 92 ) =	-0.00000773

Desplazamientos en cms.

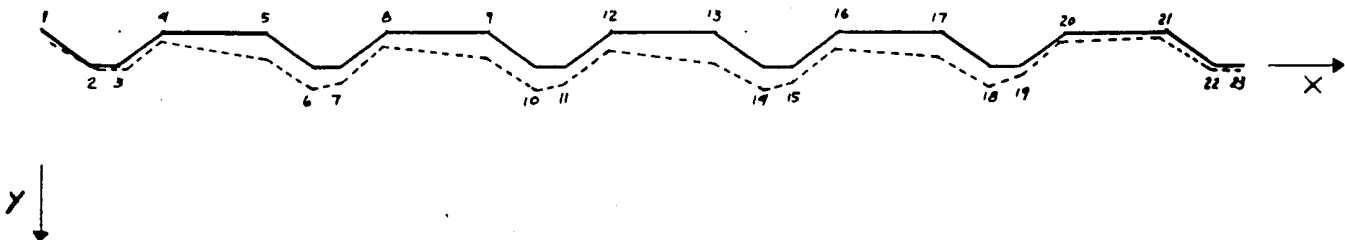


Fig 7.5 Estructura deformada de la LAMINA L3 (Coordenadas Globales)



( Desplazamientos al centro del claro )

DESP35RCE (02/26/90)

ARISTA

1	100	D( 1 ) =	+0.00002429
	200	D( 2 ) =	+0.00000000
	300	D( 3 ) =	-0.00019330
	400	D( 4 ) =	-0.00012554
	500	D( 5 ) =	+0.00024377
2	600	D( 6 ) =	+0.00000000
	700	D( 7 ) =	-0.00018556
	800	D( 8 ) =	+0.00010640
	900	D( 9 ) =	+0.00023445
3	1000	D( 10 ) =	+0.00000000
	1100	D( 11 ) =	-0.00014511
	1200	D( 12 ) =	+0.00000001
	1300	D( 13 ) =	+0.00012557
4	1400	D( 14 ) =	+0.00000000
	1500	D( 15 ) =	-0.00012558
	1600	D( 16 ) =	+0.00013453
	1700	D( 17 ) =	+0.00026229
5	1800	D( 18 ) =	+0.00000000
	1900	D( 19 ) =	-0.00009407
	2000	D( 20 ) =	+0.00008205
	2100	D( 21 ) =	+0.00006323
6	2200	D( 22 ) =	-0.00000000
	2300	D( 23 ) =	+0.00121522
	2400	D( 24 ) =	+0.00003263
	2500	D( 25 ) =	+0.00026226
7	2600	D( 26 ) =	-0.00000000
	2700	D( 27 ) =	+0.00158336
	2800	D( 28 ) =	+0.00006279
	2900	D( 29 ) =	+0.00025988
8	3000	D( 30 ) =	-0.00000000
	3100	D( 31 ) =	+0.00154788
	3200	D( 32 ) =	-0.00004471
	3300	D( 33 ) =	-0.00004992
9	3400	D( 34 ) =	+0.00000000
	3500	D( 35 ) =	+0.00102634
	3600	D( 36 ) =	+0.00001321
	3700	D( 37 ) =	-0.00002079
10	3800	D( 38 ) =	+0.00000000
	3900	D( 39 ) =	+0.00058446
	4000	D( 40 ) =	-0.00004374
	4100	D( 41 ) =	-0.00007995
11	4200	D( 42 ) =	+0.00000000
	4300	D( 43 ) =	+0.00025625
	4400	D( 44 ) =	-0.00002122
	4500	D( 45 ) =	+0.00036826
12	4600	D( 46 ) =	+0.00000000
	4700	D( 47 ) =	-0.00002555
	4800	D( 48 ) =	-0.00002835
	4900	D( 49 ) =	-0.00003610
13	5000	D( 50 ) =	+0.00000000
	5100	D( 51 ) =	-0.00004001
	5200	D( 52 ) =	-0.00001164
	5300	D( 53 ) =	+0.00004493
14	5400	D( 54 ) =	+0.00000000
	5500	D( 55 ) =	-0.00102993
	5600	D( 56 ) =	-0.00005010
	5700	D( 57 ) =	+0.00004512

15	5800	D( 58 ) =	+0.00000000
	5900	D( 59 ) =	-0.00117277
	6000	D( 60 ) =	+0.00033774
	6100	D( 61 ) =	+0.00026613
16	6200	D( 62 ) =	+0.00000000
	6300	D( 63 ) =	-0.00029635
	6400	D( 64 ) =	+0.00012665
	6500	D( 65 ) =	+0.00042322
17	6600	D( 66 ) =	+0.00000000
	6700	D( 67 ) =	-0.00007248
	6800	D( 68 ) =	+0.00004077
	6900	D( 69 ) =	+0.00041366
18	7000	D( 70 ) =	-0.00000000
	7100	D( 71 ) =	+0.00117653
	7200	D( 72 ) =	+0.00005069
	7300	D( 73 ) =	+0.00072991
19	7400	D( 74 ) =	-0.00000000
	7500	D( 75 ) =	+0.00143379
	7600	D( 76 ) =	+0.00003174
	7700	D( 77 ) =	+0.00033009
20	7800	D( 78 ) =	+0.00000000
	7900	D( 79 ) =	+0.00183511
	8000	D( 80 ) =	+0.00005627
	8100	D( 81 ) =	+0.00033764
21	8200	D( 82 ) =	+0.00000000
	8300	D( 83 ) =	+0.00159102
	8400	D( 84 ) =	-0.00008201
	8500	D( 85 ) =	-0.00122843
22	8600	D( 86 ) =	+0.00000000
	8700	D( 87 ) =	+0.00003432
	8800	D( 88 ) =	+0.00002436
	8900	D( 89 ) =	-0.00122820
23	9000	D( 90 ) =	+0.00000000
	9100	D( 91 ) =	+0.00006007
	9200	D( 92 ) =	+0.00008327
	9300	D( 93 ) =	-0.00120033
24	9400	D( 94 ) =	+0.00000000
	9500	D( 95 ) =	+0.00057335
	9600	D( 96 ) =	-0.00001913
	9700	D( 97 ) =	-0.00121577
25	9800	D( 98 ) =	+0.00000000
	9900	D( 99 ) =	+0.00035576
	10000	D( 100 ) =	+0.00010570
	10100	D( 101 ) =	-0.00121212
26	10200	D( 102 ) =	+0.00000000
	10300	D( 103 ) =	+0.00039994
	10400	D( 104 ) =	-0.00002923
	10500	D( 105 ) =	+0.00006383
27	10600	D( 106 ) =	+0.00000000
	10700	D( 107 ) =	-0.00104492
	10800	D( 108 ) =	-0.00004897
	10900	D( 109 ) =	+0.00004114
28	11000	D( 110 ) =	+0.00000000
	11100	D( 111 ) =	+0.00144003
	11200	D( 112 ) =	+0.00003222
	11300	D( 113 ) =	+0.00074926
29	11400	D( 114 ) =	+0.00000000
	11500	D( 115 ) =	+0.00128477
	11600	D( 116 ) =	+0.00001323
	11700	D( 117 ) =	+0.00005612

30	11300	D(113) =	+0.0000000
	11900	D(119) =	-0.0010460
	12000	D(120) =	+0.0004675
31	12100	D(121) =	+0.0005620
	12200	D(122) =	-0.0000000
	12300	D(123) =	+0.0015700
32	12400	D(124) =	+0.0007155
	12500	D(125) =	+0.0003353
	12600	D(126) =	-0.0000000
33	12700	D(127) =	+0.0019675
	12800	D(128) =	+0.0004017
	12900	D(129) =	+0.0005551
34	13000	D(130) =	-0.0000000
	13100	D(131) =	+0.0024269
	13200	D(132) =	+0.0007611
35	13300	D(133) =	+0.0005348
	13400	D(134) =	-0.0000000
	13500	D(135) =	+0.0022338
36	13600	D(136) =	-0.0008481
	13700	D(137) =	-0.0001925
	13800	D(138) =	+0.0000000
37	13900	D(139) =	+0.0016333
	14000	D(140) =	+0.0000718
	14100	D(141) =	-0.0001903
38	14200	D(142) =	+0.0000000
	14300	D(143) =	+0.0005153
	14400	D(144) =	-0.0009533
39	14500	D(145) =	+0.0005281
	14600	D(146) =	+0.0000000
	14700	D(147) =	-0.0001533
40	14800	D(148) =	-0.0007687
	14900	D(149) =	+0.0000000
	15000	D(150) =	+0.0000000
41	15100	D(151) =	-0.0006841
	15200	D(152) =	-0.0005470
	15300	D(153) =	+0.0000015
42	15400	D(154) =	+0.0000000
	15500	D(155) =	-0.0000037
	15600	D(156) =	+0.0014475

Desplazamientos en cms.

( Desplazamientos al cuarto del claro )

DESP35RCU (02/26/90)

100	D( 1) =	+0.000124	5800	D( 53) =	+0.0000650
200	D( 2) =	+0.0000356	5900	D( 59) =	+0.0002525
300	D( 3) =	-0.0001533	6000	D( 60) =	+0.0002234
400	D( 4) =	-0.0001010	6100	D( 61) =	+0.0004151
500	D( 5) =	+0.0001628	6200	D( 62) =	+0.0000229
600	D( 6) =	+0.0000260	6300	D( 63) =	+0.0003693
700	D( 7) =	-0.0001481	6400	D( 64) =	+0.0001414
800	D( 8) =	+0.0000303	6500	D( 65) =	+0.0002781
900	D( 9) =	+0.0002055	6600	D( 66) =	+0.0000413
1000	D( 10) =	+0.0000197	6700	D( 67) =	-0.0002292
1100	D( 11) =	-0.0001055	6800	D( 68) =	+0.0002173
1200	D( 12) =	+0.0000221	6900	D( 69) =	+0.0002722
1300	D( 13) =	+0.0001720	7000	D( 70) =	-0.0000351
1400	D( 14) =	+0.0000178	7100	D( 71) =	+0.0002067
1500	D( 15) =	-0.0000723	7200	D( 72) =	+0.0001031
1600	D( 16) =	+0.0000573	7300	D( 73) =	+0.0003607
1700	D( 17) =	+0.0001500	7400	D( 74) =	-0.0000577
1800	D( 18) =	-0.0000595	7500	D( 75) =	+0.0002936
1900	D( 19) =	+0.0000617	7600	D( 76) =	+0.0003383
2000	D( 20) =	+0.0001829	7700	D( 77) =	-0.0001248
2100	D( 21) =	+0.0003263	7800	D( 78) =	+0.0001173
2200	D( 22) =	-0.0000364	7900	D( 79) =	+0.0005333
2300	D( 23) =	+0.0002191	8000	D( 80) =	+0.0003383
2400	D( 24) =	+0.0002321	8100	D( 81) =	+0.0001235
2500	D( 25) =	-0.0000464	8200	D( 82) =	-0.0001423
2600	D( 26) =	+0.0000864	8300	D( 83) =	+0.0006300
2700	D( 27) =	+0.0004790	8400	D( 84) =	-0.0003254
2800	D( 28) =	+0.0002086	8500	D( 85) =	-0.0003427
2900	D( 29) =	+0.0000553	8600	D( 86) =	-0.0002535
3000	D( 30) =	-0.0001051	8700	D( 87) =	-0.0001413
3100	D( 31) =	+0.0007277	8800	D( 88) =	-0.0001099
3200	D( 32) =	-0.0001871	8900	D( 89) =	-0.0004356
3300	D( 33) =	-0.0003434	9000	D( 90) =	+0.0000232
3400	D( 34) =	+0.0000141	9100	D( 91) =	+0.0001393
3500	D( 35) =	+0.0004064	9200	D( 92) =	+0.0002522
3600	D( 36) =	-0.0000293	9300	D( 93) =	-0.0001046
3700	D( 37) =	-0.0003490	9400	D( 94) =	+0.0002216
3800	D( 38) =	+0.0000255	9500	D( 95) =	+0.0002503
3900	D( 39) =	+0.0001571	9600	D( 96) =	+0.0000152
4000	D( 40) =	-0.0001523	9700	D( 97) =	-0.0004223
4100	D( 41) =	-0.0002279	9800	D( 98) =	+0.0000466
4200	D( 42) =	+0.0000132	9900	D( 99) =	+0.0003700
4300	D( 43) =	+0.0000360	10000	D( 100) =	+0.0002852
4400	D( 44) =	-0.0001663	10100	D( 101) =	-0.0004820
4500	D( 45) =	-0.0003113	10200	D( 102) =	+0.0000943
4600	D( 46) =	+0.0000171	10300	D( 103) =	+0.0004794
4700	D( 47) =	-0.0000481	10400	D( 104) =	-0.0002264
4800	D( 48) =	-0.0000522	10500	D( 105) =	+0.0003994
4900	D( 49) =	-0.0003110	10600	D( 106) =	-0.0001430
5000	D( 50) =	+0.0000276	10700	D( 107) =	+0.0005432
5100	D( 51) =	-0.0001071	10800	D( 108) =	+0.0003768
5200	D( 52) =	-0.0000219	10900	D( 109) =	+0.0003919
5300	D( 53) =	+0.0002580	11000	D( 110) =	+0.0001140
5400	D( 54) =	+0.0000365	11100	D( 111) =	-0.0009704
5500	D( 55) =	-0.0005492	11200	D( 112) =	+0.0002166
5600	D( 56) =	-0.0002810	11300	D( 113) =	+0.0005044
5700	D( 57) =	+0.0002557	11400	D( 114) =	+0.0000070
			11500	D( 115) =	-0.0005920
			11600	D( 116) =	+0.0000853
			11700	D( 117) =	+0.0003754

11800	D(118)=	+0.0000857
11900	D(119)=	-0.0006428
12000	D(120)=	+0.0002407
12100	D(121)=	+0.0003754
12200	D(122)=	-0.0000606
12300	D(123)=	+0.0006072
12400	D(124)=	+0.0003120
12500	D(125)=	+0.0005326
12600	D(126)=	-0.0000333
12700	D(127)=	+0.0003154
12800	D(128)=	+0.0002554
12900	D(129)=	+0.0002730
13000	D(130)=	-0.0001050
13100	D(131)=	+0.0011240
13200	D(132)=	+0.0005292
13300	D(133)=	+0.0002718
13400	D(134)=	-0.0001348
13500	D(135)=	+0.0012563
13600	D(136)=	-0.0003587
13700	D(137)=	-0.0001400
13800	D(138)=	+0.0000176
13900	D(139)=	+0.0009350
14000	D(140)=	-0.0000081
14100	D(141)=	-0.0001408
14200	D(142)=	+0.0000222
14300	D(143)=	+0.0003015
14400	D(144)=	-0.0003193
14500	D(145)=	+0.0002343
14600	D(146)=	+0.0000130
14700	D(147)=	-0.0000738
14800	D(148)=	-0.0003913
14900	D(149)=	+0.0000006
15000	D(150)=	-0.0000033
15100	D(151)=	-0.0003076
15200	D(152)=	-0.0002301
15300	D(153)=	+0.0000008
15400	D(154)=	-0.0000050
15500	D(155)=	-0.0000015
15600	D(156)=	+0.0006407

Desplazamientos en cms.

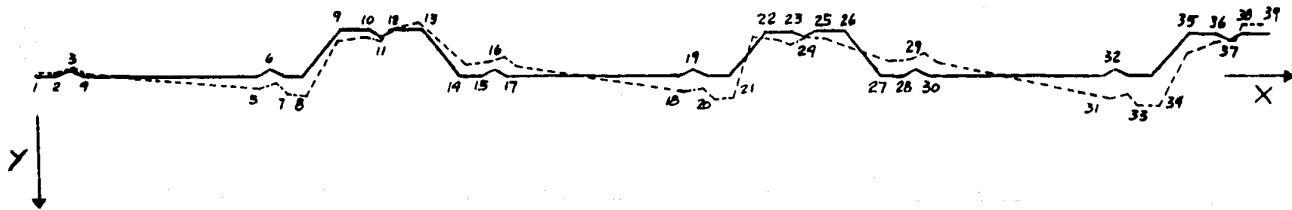


Fig 7.6 Estructura deformada de la LAMINA RN-100/35 (Coord. Globales)

LAMINA R-90

( Desplazamientos al centro del claro )

DESPORCE (02/26/90)

	100	D( 1 ) =	-0.0177735	15	5800	D( 53 ) =	-0.0000000
	200	D( 2 ) =	-0.0000000		5900	D( 52 ) =	-0.0001731
1	300	D( 3 ) =	0.0240247		6000	D( 51 ) =	-0.0003224
	400	D( 4 ) =	0.0032114	16	6100	D( 50 ) =	-0.0004717
	500	D( 5 ) =	-0.0173132		6200	D( 49 ) =	-0.0006210
2	600	D( 6 ) =	0.0000000		6300	D( 48 ) =	-0.0007703
	700	D( 7 ) =	0.0160103	17	6400	D( 47 ) =	-0.0009196
	800	D( 8 ) =	-0.0035573		6500	D( 46 ) =	-0.0010689
	900	D( 9 ) =	-0.0033336		6600	D( 45 ) =	-0.0012182
3	1000	D( 10 ) =	-0.0000000	18	6700	D( 44 ) =	-0.0013675
	1100	D( 11 ) =	0.0113774		6800	D( 43 ) =	-0.0015168
	1200	D( 12 ) =	0.0113774		6900	D( 42 ) =	-0.0016661
	1300	D( 13 ) =	-0.0032422	19	7000	D( 41 ) =	-0.0018154
4	1400	D( 14 ) =	-0.0000000		7100	D( 40 ) =	-0.0019647
	1500	D( 15 ) =	0.0003693		7200	D( 39 ) =	-0.0021140
	1600	D( 16 ) =	-0.0000199	20	7300	D( 38 ) =	-0.0022633
	1700	D( 17 ) =	-0.0003359		7400	D( 37 ) =	-0.0024126
5	1800	D( 18 ) =	-0.0000000		7500	D( 36 ) =	-0.0025619
	1900	D( 19 ) =	0.0003784	21	7600	D( 35 ) =	-0.0027112
	2000	D( 20 ) =	0.0000819		7700	D( 34 ) =	-0.0028605
6	2100	D( 21 ) =	-0.0003442		7800	D( 33 ) =	-0.0030098
	2200	D( 22 ) =	-0.0000000	22	7900	D( 32 ) =	-0.0031591
	2300	D( 23 ) =	0.0003488		8000	D( 31 ) =	-0.0033084
	2400	D( 24 ) =	-0.0000357	23	8100	D( 30 ) =	-0.0034577
7	2500	D( 25 ) =	-0.0003358		8200	D( 29 ) =	-0.0036070
	2600	D( 26 ) =	-0.0000000		8300	D( 28 ) =	-0.0037563
	2700	D( 27 ) =	-0.0003744	24	8400	D( 27 ) =	-0.0039056
	2800	D( 28 ) =	-0.0000104		8500	D( 26 ) =	-0.0040549
8	2900	D( 29 ) =	-0.0003434		8600	D( 25 ) =	-0.0042042
	3000	D( 30 ) =	0.0000000	25	8700	D( 24 ) =	-0.0043535
	3100	D( 31 ) =	0.0003521		8800	D( 23 ) =	-0.0045028
	3200	D( 32 ) =	-0.0000007	26	8900	D( 22 ) =	-0.0046521
9	3300	D( 33 ) =	-0.0003307		9000	D( 21 ) =	-0.0048014
	3400	D( 34 ) =	0.0000000	27	9100	D( 20 ) =	-0.0049507
	3500	D( 35 ) =	0.0003623		9200	D( 19 ) =	-0.0050999
	3600	D( 36 ) =	-0.0000223	28	9300	D( 18 ) =	-0.0052492
	3700	D( 37 ) =	-0.0003310		9400	D( 17 ) =	-0.0053985
10	3800	D( 38 ) =	-0.0000000		9500	D( 16 ) =	-0.0055478
	3900	D( 39 ) =	-0.0003495	29	9600	D( 15 ) =	-0.0056971
	4000	D( 40 ) =	-0.0000562		9700	D( 14 ) =	-0.0058464
11	4100	D( 41 ) =	-0.0003212		9800	D( 13 ) =	-0.0059957
	4200	D( 42 ) =	-0.0000000	25	9900	D( 12 ) =	-0.0061450
	4300	D( 43 ) =	-0.0003624		10000	D( 11 ) =	-0.0062943
	4400	D( 44 ) =	-0.0000000	26	10100	D( 10 ) =	-0.0064436
	4500	D( 45 ) =	-0.0003232		10200	D( 9 ) =	-0.0065929
12	4600	D( 46 ) =	-0.0000000		10300	D( 8 ) =	-0.0067422
	4700	D( 47 ) =	0.0003269	27	10400	D( 7 ) =	-0.0068915
	4800	D( 48 ) =	0.0000242		10500	D( 6 ) =	-0.0070408
	4900	D( 49 ) =	-0.0003053	28	10600	D( 5 ) =	-0.0071901
13	5000	D( 50 ) =	0.0000000		10700	D( 4 ) =	-0.0073394
	5100	D( 51 ) =	0.0003437		10800	D( 3 ) =	-0.0074887
	5200	D( 52 ) =	-0.0000109	29	10900	D( 2 ) =	-0.0076380
	5300	D( 53 ) =	-0.0003063		11000	D( 1 ) =	-0.0077873
14	5400	D( 54 ) =	-0.0000000		11100	D( 0 ) =	-0.0079366
	5500	D( 55 ) =	-0.0002559		11200	D( -1 ) =	-0.0080859
	5600	D( 56 ) =	-0.0000000		11300	D( -2 ) =	-0.0082352
	5700	D( 57 ) =	-0.0003343		11400	D( -3 ) =	-0.0083845
					11500	D( -4 ) =	-0.0085338
					11600	D( -5 ) =	-0.0086831
					11700	D( -6 ) =	-0.0088324

30	11800	D(113)=	0.0000000
	11900	D(113)=	0.0003305
	12000	D(120)=	-0.0000624
31	12100	D(121)=	0.0003715
	12200	D(122)=	0.0000000
	12300	D(123)=	0.0003639
	12400	D(124)=	-0.0001711
32	12500	D(125)=	0.0000000
	12600	D(126)=	-0.0000000
	12700	D(127)=	0.0003875
	12800	D(128)=	0.0002492
33	12900	D(129)=	0.0042227
	13000	D(130)=	0.0000000
	13100	D(131)=	0.0036974
	13200	D(132)=	0.0022479
34	13300	D(133)=	-0.0042129
	13400	D(134)=	-0.0000000
	13500	D(135)=	-0.0054185
	13600	D(136)=	-0.0021470

Desplazamientos en cms.

( Desplazamientos al cuarto del claro )

DESPORCU (02/26/90)

100	D( 1 )	=	-0.0001757	5800	D( 53 )	=	0.0001757
200	D( 2 )	=	-0.0000216	5900	D( 53 )	=	-0.0000216
300	D( 3 )	=	-0.0000551	6000	D( 53 )	=	-0.0000551
400	D( 4 )	=	-0.0001175	6100	D( 53 )	=	-0.0001175
500	D( 5 )	=	-0.0002207	6200	D( 53 )	=	-0.0002207
600	D( 6 )	=	-0.0003333	6300	D( 53 )	=	-0.0003333
700	D( 7 )	=	-0.0004544	6400	D( 53 )	=	-0.0004544
800	D( 8 )	=	-0.0005841	6500	D( 53 )	=	-0.0005841
900	D( 9 )	=	-0.0007225	6600	D( 53 )	=	-0.0007225
1000	D( 10 )	=	-0.0008696	6700	D( 53 )	=	-0.0008696
1100	D( 11 )	=	-0.0010254	6800	D( 53 )	=	-0.0010254
1200	D( 12 )	=	-0.0011900	6900	D( 53 )	=	-0.0011900
1300	D( 13 )	=	-0.0013635	7000	D( 53 )	=	-0.0013635
1400	D( 14 )	=	-0.0015460	7100	D( 53 )	=	-0.0015460
1500	D( 15 )	=	-0.0017375	7200	D( 53 )	=	-0.0017375
1600	D( 16 )	=	-0.0019381	7300	D( 53 )	=	-0.0019381
1700	D( 17 )	=	-0.0021478	7400	D( 53 )	=	-0.0021478
1800	D( 18 )	=	-0.0023667	7500	D( 53 )	=	-0.0023667
1900	D( 19 )	=	-0.0025948	7600	D( 53 )	=	-0.0025948
2000	D( 20 )	=	-0.0028321	7700	D( 53 )	=	-0.0028321
2100	D( 21 )	=	-0.0030787	7800	D( 53 )	=	-0.0030787
2200	D( 22 )	=	-0.0033346	7900	D( 53 )	=	-0.0033346
2300	D( 23 )	=	-0.0035999	8000	D( 53 )	=	-0.0035999
2400	D( 24 )	=	-0.0038747	8100	D( 53 )	=	-0.0038747
2500	D( 25 )	=	-0.0041591	8200	D( 53 )	=	-0.0041591
2600	D( 26 )	=	-0.0044532	8300	D( 53 )	=	-0.0044532
2700	D( 27 )	=	-0.0047571	8400	D( 53 )	=	-0.0047571
2800	D( 28 )	=	-0.0050709	8500	D( 53 )	=	-0.0050709
2900	D( 29 )	=	-0.0053947	8600	D( 53 )	=	-0.0053947
3000	D( 30 )	=	-0.0057286	8700	D( 53 )	=	-0.0057286
3100	D( 31 )	=	-0.0060726	8800	D( 53 )	=	-0.0060726
3200	D( 32 )	=	-0.0064268	8900	D( 53 )	=	-0.0064268
3300	D( 33 )	=	-0.0067913	9000	D( 53 )	=	-0.0067913
3400	D( 34 )	=	-0.0071662	9100	D( 53 )	=	-0.0071662
3500	D( 35 )	=	-0.0075516	9200	D( 53 )	=	-0.0075516
3600	D( 36 )	=	-0.0079476	9300	D( 53 )	=	-0.0079476
3700	D( 37 )	=	-0.0083543	9400	D( 53 )	=	-0.0083543
3800	D( 38 )	=	-0.0087718	9500	D( 53 )	=	-0.0087718
3900	D( 39 )	=	-0.0091999	9600	D( 53 )	=	-0.0091999
4000	D( 40 )	=	-0.0096388	9700	D( 53 )	=	-0.0096388
4100	D( 41 )	=	-0.0100885	9800	D( 53 )	=	-0.0100885
4200	D( 42 )	=	-0.0105491	9900	D( 53 )	=	-0.0105491
4300	D( 43 )	=	-0.0110207	10000	D( 100 )	=	0.0002207
4400	D( 44 )	=	-0.0115034	10100	D( 101 )	=	0.0002207
4500	D( 45 )	=	-0.0120073	10200	D( 102 )	=	0.0002477
4600	D( 46 )	=	-0.0125324	10300	D( 103 )	=	0.0002753
4700	D( 47 )	=	-0.0130788	10400	D( 104 )	=	0.0003036
4800	D( 48 )	=	-0.0136465	10500	D( 105 )	=	0.0003327
4900	D( 49 )	=	-0.0142357	10600	D( 106 )	=	0.0003625
5000	D( 50 )	=	-0.0148465	10700	D( 107 )	=	0.0003931
5100	D( 51 )	=	-0.0154790	10800	D( 108 )	=	0.0004244
5200	D( 52 )	=	-0.0161333	10900	D( 109 )	=	0.0004574
5300	D( 53 )	=	-0.0168095	11000	D( 110 )	=	0.0004921
5400	D( 54 )	=	-0.0175077	11100	D( 111 )	=	0.0005284
5500	D( 55 )	=	-0.0182280	11200	D( 112 )	=	0.0005664
5600	D( 56 )	=	-0.0189704	11300	D( 113 )	=	0.0006061
5700	D( 57 )	=	-0.0197350	11400	D( 114 )	=	0.0006475
				11500	D( 115 )	=	0.0006906
				11600	D( 116 )	=	0.0007354
				11700	D( 117 )	=	0.0007819



11800	D(118) =	0.0000290
11900	D(119) =	0.0002631
12000	D(120) =	-0.0000362
12100	D(121) =	0.0002591
12200	D(122) =	0.0000324
12300	D(123) =	0.0002571
12400	D(124) =	-0.0000025
12500	D(125) =	0.0002512
12600	D(126) =	-0.0000086
12700	D(127) =	0.0002401
12800	D(128) =	0.0002566
13000	D(130) =	0.0000974
13100	D(131) =	0.0000944
13200	D(132) =	-0.0003389
13300	D(133) =	0.0010358
13400	D(134) =	-0.0003213
13500	D(135) =	-0.0002289
13600	D(136) =	-0.0004071

Desplazamientos en cms.

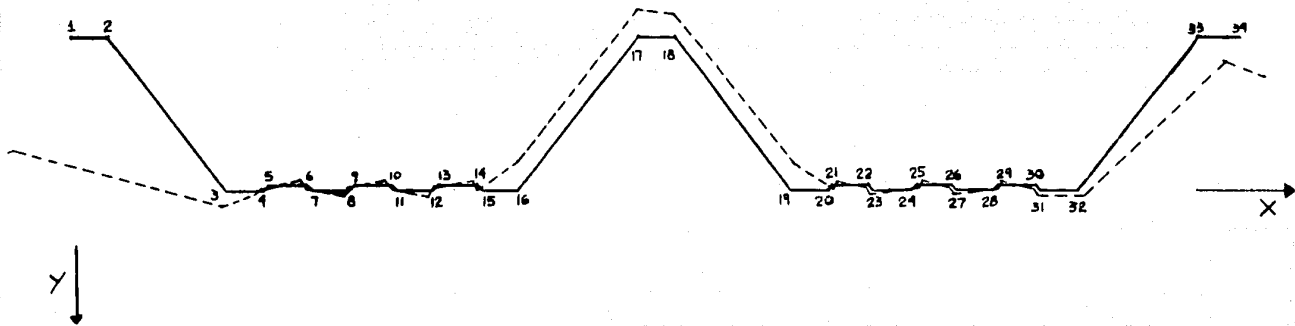


Fig 7.7 Estructura deformada de la LAMINA R-90 (Coord. Globales)

## CAPITULO VIII : Elementos mecánicos y esfuerzos.

El objeto primordial de cualquier análisis estructural, es el de proporcionar los elementos mecánicos que se requieren, para proceder a la etapa de diseño. Toda vez que se conoce un campo de desplazamientos, el problema se reduce a aplicar diferentes relaciones constitutivas basadas en la ley de Hooke y finalmente obtener los esfuerzos actuantes.

Al no pretender esta tesis realizar un análisis completo de las láminas, entonces el trabajo se limita a estimar solo algunos de los esfuerzos. Y es que la comparación de los resultados teórico-experimentales no requiere necesariamente de la obtención completa del campo de esfuerzos teóricos sino de solo aquellos que sean comparables con los obtenidos experimentalmente. (por limitaciones experimentales se midieron pocas deformaciones unitarias); sin embargo hay que aclarar, que para calcular tan solo un esfuerzo, se requiere de todo el campo de desplazamientos.

A manera de ilustrar la obtención de esfuerzos en una placa cualquiera, enseguida se muestra un ejemplo numérico.

\*\*\* Obtención de los esfuerzos totales  $\sigma_x$ ,  $\sigma_z$  y  $\tau_{xz}$  de la placa 15 (Lamina R-90) por efectos de membrana y flexión al centro del claro.

::: Para  $m=1$

+ Esfuerzos por membrana

Se obtienen las deformaciones unitarias (ecs. 5.9 y 5.10 cap. 5)

$$\left\{ \epsilon \right\} = \begin{bmatrix} -0.333 & 0.00 & 0.333 & 0.00 \\ 0.00 & -0.0143 & 0.00 & -0.0143 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -3.2859E^{-4} \\ 0.00 \\ -3.2254E^{-4} \\ 0.00 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 2.0147E^{-6} \\ 0.00 \\ 0.00 \end{Bmatrix}$$

y luego la ec 5.11

$$\left\{ \begin{matrix} \sigma_x \\ \sigma_z \\ \tau_{xz} \end{matrix} \right\} = \begin{bmatrix} 2263736.26 & 679120.88 & 0.00 \\ 679120.88 & 2263736.26 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & G \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 2.0147E^{-6} \\ 0.00 \\ 0.00 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 4.561 \\ 1.368 \\ 0.000 \end{Bmatrix}$$

(Kg/cm<sup>2</sup>)

+ Esfuerzos por flexión

Se obtienen las curvaturas  $\chi$  ( ec. 5.23 )

$$\chi = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.333 & 0.00 & -0.333 \\ 4.078E^{-4} & 3.06E^{-4} & 4.078E^{-4} & -3.059E^{-4} \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -1.0437E^{-4} \\ 2.6229E^{-4} \\ -0.0037441 \\ 0.002621 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -7.851E^{-4} \\ -2.291E^{-6} \\ 0.00 \end{Bmatrix}$$

y al relacionar momento y curvatura se tiene que : (de la ec 5.24)

$$\begin{bmatrix} M \\ M \\ M_{xz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_x \\ M_z \\ M_{xz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 96.59 & 28.98 & 0.00 \\ 28.98 & 1.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 33.81 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -7.851E^{-4} \\ -2.291E^{-6} \\ 0.00 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -0.0759 \\ -0.0228 \\ 0.00 \end{Bmatrix} \text{ en Kg cm/cm}$$

posteriormente, al aplicar la formula de la escuadria a  $M_x$  y  $M_z$ .

$$\sigma = \frac{M}{I} c \quad I = \frac{t^3}{12}$$

$$c = 0.04 \text{ cm} \quad I = \frac{(0.08)^3}{12} = 4.2666E^{-5} \quad \text{por lo tanto} \quad \sigma = \begin{Bmatrix} -71.16 \\ -21.38 \\ 0.00 \end{Bmatrix} \text{ en Kg/cm}^2$$

De la misma forma se obtienen los esfuerzos para  $m = 3, 5$  y  $7$ .

Al final solo queda sumar los esfuerzos de cada modo correspondientes a las direcciones  $x$  y  $z$  para luego obtener los esfuerzos longitudinales y transversales totales, es decir :

- Placa 15 (fibras extremas) -

esfuerzos totales =            esf. por membrana    +            esf. por flexión

$$\sigma_{xt} = \sigma_{mx1} + \sigma_{mx3} + \sigma_{mx5} + \sigma_{mx7} + \sigma_{fx1} + \sigma_{fx3} + \sigma_{fx5} + \sigma_{fx7}$$

$$\sigma_{zt} = \sigma_{mz1} + \sigma_{mz3} + \sigma_{mz5} + \sigma_{mz7} + \sigma_{fz1} + \sigma_{fz3} + \sigma_{fz5} + \sigma_{fz7}$$

Las siguientes tablas muestran los diferentes esfuerzos totales obtenidos teóricamente ( como se ilustró en el ejemplo anterior ), para finalmente compararlos con los esfuerzos obtenidos de mediciones experimentales ( capítulo IX )

LAMINA RN-100/35

Unidades en Kg/cm<sup>2</sup>

Descripción		Esf. por membrana	Esf. por flexión	Esf. totales
C1	$\sigma_x$	0.4729	3.4875	3.9604
Nudos 4 y 5	$\sigma_z$	0.1419	1.0406	1.1825
b=13.4 x=6.7	$\tau_{xz}$	0.00	0.00	0.00
C2	$\sigma_x$	-0.461	1.2563	0.7953
Nudos 10 y 11	$\sigma_z$	-0.138	0.3795	0.2415
b=1.08 x=0.54	$\tau_{xz}$	0.00	0.00	0.00
C3	$\sigma_x$	-10.377	-13.31	-23.687
Nudos 13 y 14	$\sigma_z$	-3.113	-4.031	-7.144
b=4.45 x=4.45	$\tau_{xz}$	0.00	0.00	0.00
	$\sigma_x$	-2.39	38.813	36.423
Nudos 14 y 15	$\sigma_z$	-0.717	11.63	10.913
b=1.8 x=0	$\tau_{xz}$	0.00	0.00	0.00
C4	$\sigma_x$	0.777	0.6684	1.445
Nudos 17 y 18	$\sigma_z$	0.233	0.201	0.434
b=13.4 x=6.7	$\tau_{xz}$	0.00	0.00	0.00

C5	$\sigma_x$	4.908	-63.75	-58.842
Nudos 20 y 21	$\sigma_z$	1.472	-19.22	-17.748
b=1.8 x=1.8	$\tau_{xz}$	0.00	0.00	0.00
	$\sigma_x$	20.599	9.299	29.898
Nudos 21 y 22	$\sigma_z$	6.18	2.794	8.974
b=4.45 x=0	$\tau_{xz}$	0.00	0.00	0.00
C6	$\sigma_x$	0.00	2.8875	2.8875
Nudos 24 y 25	$\sigma_z$	0.00	0.863	0.863
b=1.08 x=0.54	$\tau_{xz}$	0.00	0.00	0.00
C7	$\sigma_x$	-0.1351	1.679	1.5439
Nudos 30 y 31	$\sigma_z$	-0.0405	0.503	0.463
b=13.4 x=6.7	$\tau_{xz}$	0.00	0.00	0.00
C8	$\sigma_x$	10.377	-9.853	0.524
Nudos 13 y 14	$\sigma_z$	3.113	-2.95	0.163
b=4.45 x=2.23	$\tau_{xz}$	0.00	0.00	0.00
C9	$\sigma_x$	-20.599	17.625	-2.974
Nudos 21 y 22	$\sigma_z$	-6.18	5.268	-0.912
b=4.45 x=2.23	$\tau_{xz}$	0.00	0.00	0.00

## LAMINA R-90

Descripción		Esf. por membrana	Esf. por flexión	Esf. totales
C1	$\sigma_x$	-2.488	4.21	1.722
Nudos 9 y 10	$\sigma_z$	-0.746	1.265	0.519
b=3 x=1.5	$\tau_{xz}$	0.00	0.00	0.00
C2	$\sigma_x$	5.655	-63.65	-57.995
Nudos 15 y 16	$\sigma_z$	1.696	-19.125	-17.429
b=3 x=1.5	$\tau_{xz}$	0.00	0.00	0.00
C3	$\sigma_x$	-10.93	-310.78	-321.71
Nudos 17 y 18	$\sigma_z$	-3.279	-93.196	-96.475
b=3 x=1.5	$\tau_{xz}$	0.00	0.00	0.00
C4	$\sigma_x$	7.538	-24.788	-17.25
Nudos 19 y 20	$\sigma_z$	2.2615	-7.425	-5.164
b=3 x=1.5	$\tau_{xz}$	0.00	0.00	0.00
C5	$\sigma_x$	1.281	1.969	3.25
Nudos 25 y 26	$\sigma_z$	0.384	0.59	0.974
b=3 x=1.5	$\tau_{xz}$	0.00	0.00	0.00
C6	$\sigma_x$	5.654	-525.3	-519.65
Nudos 15 y 16	$\sigma_z$	1.696	-157.59	-155.89
b=3 x=3	$\tau_{xz}$	0.00	0.00	0.00
	$\sigma_x$	-28.64	-9.84	-38.48
Nudos 16 y 17	$\sigma_z$	-8.59	-2.91	-11.50
b=15.17 x=0	$\tau_{xz}$	0.00	0.00	0.00

Se observa claramente que el nivel de esfuerzos en la lámina RN-100/35 son inferiores en un orden de magnitud a aquellos correspondientes a la lámina R-90, lo que indica un mejor comportamiento estructural, debido a que las acciones del viento en la lámina RN-100/35 son inferiores a las inducidas por la interacción viento-estructura en la lámina R-90.

Por otro lado, se nota que al haber obtenido los esfuerzos al centro del claro, los esfuerzos cortantes en el plano xz se anulan, mientras que los esfuerzos cortantes en el sentido del espesor se desprecian.



## CAPITULO IX : Estudio comparativo de resultados en las láminas analizadas.

Hasta ahora se ha obtenido información tanto teórica como experimental de las placas dobladas en estudio; se cuenta así con un marco de referencia representativo del fenómeno viento-placa doblada (experimentación), que permite comparar los resultados teóricos a fin de ponderar el método utilizado y por ende obtener conclusiones.

En consecuencia, el presente capítulo representa vital importancia en el desarrollo de esta investigación.

Las graficas (figs 9.1 y 9.2) son producto de comparar en los puntos de medición, los esfuerzos teóricos y experimentales. En la mayoría de los casos existe en los esfuerzos el mismo orden de magnitud, lo cual significa que el método de bandas finitas aplicado en este tipo de estructura sometida a la acción del viento, proporciona información valiosa.

Algunos de las comparaciones no presentan una similitud deseable, pues el tipo de estructuras en estudio resultan ser muy sensibles a cualquier variación en las condiciones de sujeción y en el sistema de fuerzas. Las placas dobladas debido a sus características geométricas son muy propensas a distorsionarse, por lo que el efecto dinámico que provoca el viento es también muy importante.

En la tabla 3.7 del cap. 3 se comprueba que al cambiar el número de pijas la respuesta fue significativamente diferente (menor), aunque no fue tanto así en la otra lámina; la geometría de las láminas influye pues en la poca o mucha distorsión de las láminas.

Con ello se explica, que aún con condiciones reales de sujeción poco diferentes a las supuestas teóricamente, las respuestas para ambas condiciones no resultan muy semejantes. Esto se debe a la hipótesis de sujeción o apoyo del método, el cual considera que

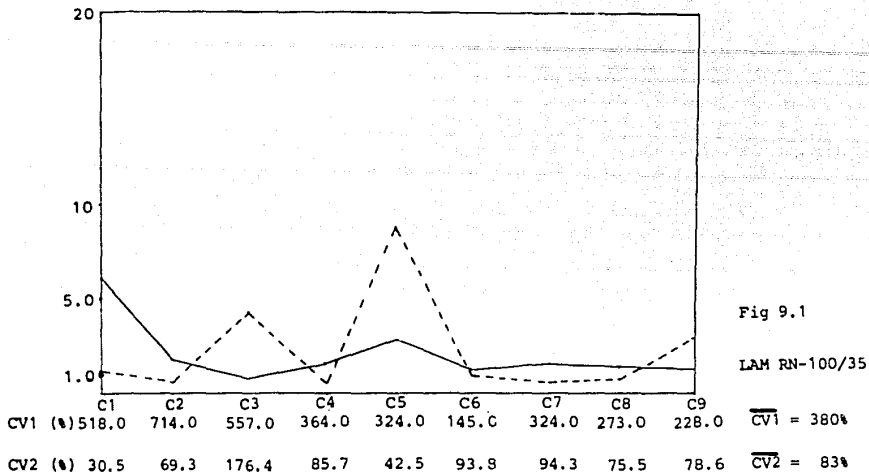
sus extremos son infinitamente rígidos en sus planos (no hay desplazamientos), siendo que en realidad se trabajó con una fijación a base de pijas autoroscantes en algunas placas de la lámina, por lo que debe existir diferencia en los resultados.

Así que surge la pregunta, ¿ Porqué no se soldaron los extremos para que se cumpliera la hipótesis de sujeción ? Por una parte, las pruebas experimentales no fueron planeadas específicamente para esta tesis, por tener objetivos de otra índole, sino que al contrario, esta tesis aprovechó la parte experimental ya hecha; se consideró que al aprovechar esta información experimental se podría conocer en que medida el método exige respetar sus hipótesis; al parecer, la utilización de pijas no representa con exactitud la hipótesis de sujeción.

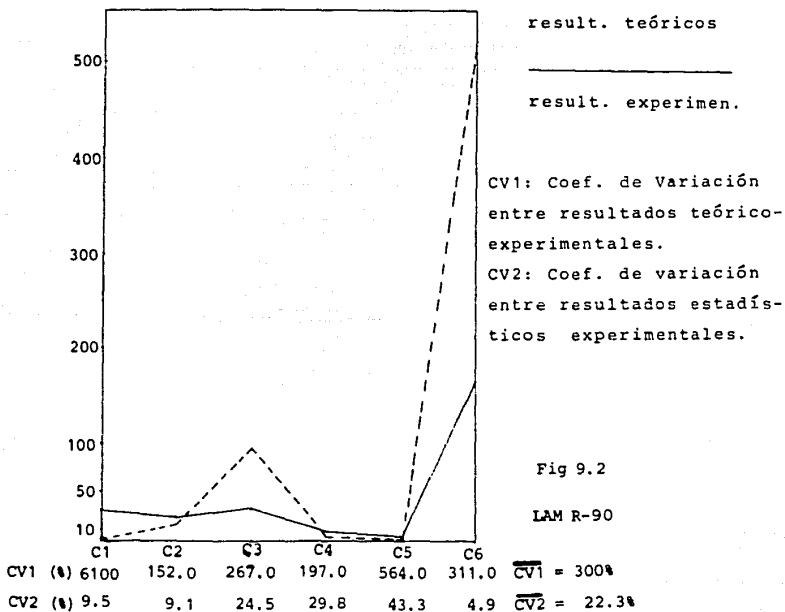
Al observar las figuras 9.1 y 9.2 podemos encontrar que en algunos puntos donde hay mayor coherencia (  $CV1_{(s)}$  mínimos ), en buena parte se deben a que están situados en las placas que contienen a las pijas; por ejemplo, tenemos a C2 y C4 en la L. R-90, a C5 en la L. RN-100/35 y a C8 y C9 de la misma lámina que de alguna manera están cercanos a un apoyo. Sin embargo, C3 que también está en una placa con pijas, no goza de similitud por la razón de que su coeficiente de variación entre las pruebas experimentales ( $CV2=176\%$ ) es grande como para esperar similitud con el resultado teórico.

Como ya se ha dicho, la respuesta de la lámina R-90 en términos de esfuerzos, es en general uno o dos ordenes de magnitud mayor que la otra lámina, tal como se puede apreciar en las escalas verticales de las gráficas. Además los coeficientes de variación de las pruebas experimentales en promedio, resultaron mayores en la L. RN-100/35 ( $\overline{CV2}=83\%$ ) que en la L. R-90<sup>2</sup> ( $\overline{CV2}=22.3\%$ ), lo cual se refleja las diferencias entre los resultados teóricos y los experimentales ( $CV1$ ); así que al haber en la L. RN-100/35 mayores  $CV2_{(s)}$ , también tendrá que haber mayores  $CV1_{(s)}$ .

esf (Kg/cm<sup>2</sup>)



esf (Kg/cm<sup>2</sup>)



## CAPITULO X : Comentarios finales

Es importante resaltar que el presente trabajo forma parte de un programa de estudio en cuanto a la acción del viento en estructuras, particularmente sobre placas dobladas; recurso estructural al parecer poco explotado rigurosamente en lugares donde el viento cobra importancia.

Esta tesis, cuya parte experimental y teórica fueron realizadas con el mayor cuidado posible, da motivos suficientes para pensar en la validéz del método de bandas finitas, cuando se trata con fuerzas de viento sobre placas plegadas.

Y es que de hecho los métodos de placa doblada ya están comprobados, pero generalmente éstos se aplican usando cargas gravitacionales, así que faltaba investigar que pasa cuando existen acciones de viento (objeto de la tesis). El método no genera una alta corroboración, tal como ocurre con fuerzas gravitacionales, pero sí genera sorprendentes resultados en el sentido de que existe una gran coherencia en el orden de magnitud y en cierta medida en la distribución de los esfuerzos comparados.

Sin embargo, es necesario señalar que las condiciones de sujeción reales, aparentemente poco diferentes de las hipotéticas, resultaron influir significativamente en la respuesta, lo que no consiguió el grado de precisión deseable. Además, a esto hay que agregar a las características dinámicas de la interacción viento-placa doblada, que distorsionan la forma de las láminas reflejandose en altos coeficientes de variación experimentales. (tabla 3.7 cap. 3)

Por todo ello surge la necesidad de querer corroborar mejor el método, soldando los extremos de las láminas a los apoyos de la sección de prueba del túnel; además sería recomendable usar como modelos láminas de configuración geométrica mas sencilla, evitando placas de ancho muy pequeño que hacen de todo esto algo muy detallado y propenso a acarrear errores.

Como se puede apreciar, se desprende que para el desarrollo de las placas dobladas ante vientos intensos, es necesario contar con un método exacto y programado, como una herramienta útil ventajosa en tiempo, certidumbre, versatilidad y precisión.

Será así posible realizar un análisis dinámico en base a este método (misma rigidez), sobre aquellas placas dobladas con respuestas muy amplificadas por los efectos dinámicos. Es posible calibrar el método para que tome en cuenta en las láminas sus fijaciones a base de pijas, a fin de obtener una mejor respuesta en ellas. Con ello y en virtud de que en la actualidad existen en las láminas una amplia gama de formas y materiales, es posible aplicar el método para el mejor uso de éstas y sus fijaciones; al respecto existe una muy buena referencia en que apoyarse. ( ref 17 ). Aun más, es factible compaginar métodos de optimización, para que las respuestas de las estructuras de placa doblada, ante vientos ciclónicos importantes, conduzcan al diseño de láminas mas aerodinámicas.

Se juzga por ello necesario seguir investigando al respecto, a fin de alentar o desalentar sistemas constructivos actuales, sobre todo aquellos prefabricados con recomendaciones prácticas, o bien, de proponer nuevas formas estructurales, todas ellas con el propósito de cumplir con su finalidad de garantizar la estabilidad de las construcciones ante la acción del viento.

## CAPITULO XI : Referencias

- 1.- " Apuntes de clase de Diseño Eólico de Estructuras "  
Prof. Neftali Rodriguez Cuevas  
División de Estudios de Posgrado F.I. UNAM, 1989-90
- 2.- " Wind Effects on Civil Engineering Structures "  
Kolousek, Pirner, Fischer, Náprstek  
Ed. Elsevier, Czechoslovakia.
- 3.- " Apuntes de Diseño Estructural "  
Oscar de Buen, Francisco de Pablo, Luis Esteva, Carlos Olagaray.  
Facultad de Ingeniería UNAM.
- 4.- " Second US National Conference of Wind Engineering Research "  
Colorado State University (June 1975).
- 5.- " Cladding and the wind "  
K.J. Eaton, May 1975  
Building Research Establishment, U.K.
- 6.- " Building Damage in South Carolina "  
Caused by the Tornadoes of march 28 1984  
Committee on Natural Disasters, National Research Council.
- 7.- " Evaluación de daños estructurales inducidos por huracanes "  
M en I. Enrique Martinez Romero  
VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica y VII Congreso Naciona  
Ingeniería Estructural.  
Acapulco Gro. 1989, Volumen I

- 8.- " Placas Ortotrópicas bajo la Acción del Viento "  
Prof. Neftalí Rodríguez Cuevas e Ing. Ricardo González A.  
Instituto de Ingeniería UNAM, Sept 1988
  
- 9.- " La rugosidad de las superficies y su efecto en los coeficiente empuje "  
Prof. Neftalí Rodríguez Cuevas  
Instituto de Ingeniería UNAM, 1984
  
- 10.- " Análisis de Fourier "  
Bloomfield Peter 1946  
New York J. Wiley
  
- 11.- " Folded Plate Structures by Finite Strip Method "  
Yau - Kai Cheung, Dec 1969  
Journal of the Structural Division, Proc. of the ASCE
  
- 12.- " PHASE I Report on folded plate construction "  
Committee on Masonry and Reinforced Concrete, Dec 1963  
Journal of the Structural Division, Proc. of the ASCE
  
- 13.- " Análisis por viento de silos de lámina delgada para granos "  
Ing. Rafael Cedeño Rosete  
Tesis de Maestría, 1984
  
- 14.- " The design of prismatic and cylindrical shell roofs "  
David Yitzhaki  
Technion, Israel Institute of Technology  
Haifa Science Publishers, 1958

15.- " Direct Stiffness Solution for Folded Plates "

Arnim DeFries- Skene and A.C. Scordelis, Aug 1964

Journal of the Structural Division, Proc. of the ASCE

16.- " Manual del Ingeniero Civil "

Frederick S. Merritt, Vol I

Mc Graw Hill 1984

17.- " Manual de Diseño de Fijaciones "

Información Técnica HILTI, Feb. 81

Hilti Latin America Ltd

HILTI