

01161  
4  
24

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Facultad de Ingenieria

DISEÑO PROBABILISTA DE PLACAS DE VIDRIO  
SOMETIDAS A LA ACCION DEL VIENTO

JOSE ANGEL NORIEGA PICO

DEPFI UMAM

T E S I S

PRESENTADA A LA DIVISION DE ESTUDIOS DE

POSGRADO DE LA

FACULTAD DE INGENIERIA

DE LA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

COMO REQUISITO PARA OBTENER

EL GRADO DE

MAESTRO EN INGENIERIA

( E. S. T. R. U. C. T. U. R. A. S. )

CIUDAD UNIVERSITARIA

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

MAYO DE 1990.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## I N D I C E

- 1.- Introducción.
- 2.- Distribución de velocidades máximas en un sitio a 10 m de altura y parámetros estadísticos representativos.
- 3.- Estimación de la velocidades a diversas alturas, con diversas topografías.
- 4.- Estimación de presiones de diseño para diversos periodos de retorno.
- 5.- Teoría lineal y de Von Kármán para estudiar el comportamiento de placas de vidrio, sometidas a carga uniforme.
- 6.- Comportamiento estático y dinámico de placas de vidrio.
- 7.- Estudio experimental y estadístico de barras de vidrio, bajo diversas velocidades de carga.
- 8.- Criterios para diseño probabilístico de placas bajo acción del viento.
- 9.- Aplicación a casos específicos en dos ciudades de la República Mexicana.
- 10.- Comentarios finales.
- 11.- Bibliografía.

## 1.- INTRODUCCION

En los últimos años, en la República Mexicana, se ha incrementado notablemente el número de edificios construidos en regiones azotadas por vientos de gran intensidad. En la mayoría de estas estructuras los acabados exteriores se realizan tomando como material básico placas de vidrio y son estas en última instancia la que soportan las presiones inducidas por la acción del viento.

Existe evidencia sobre el número de vidrios rotos por causa de las presiones del viento en edificios construidos en los estados de Quintana Roo, Sinaloa, Veracruz, Guerrero, etc.

Es probable que los métodos de dimensionamiento de placas de vidrio utilizados, no consideran el número de variables adecuado.

En el presente trabajo se presenta un procedimiento probabilístico para el diseño de placas de vidrio sujetas a la presión del viento, para ello, se estudio el comportamiento estático y dinámico, de cuatro placas de vidrio de  $116 \times 116 \times 0.58$  cm.

El comportamiento estático de placas resultó ser elástico no lineal, por lo que fué necesario aplicar la teoría no lineal para el análisis de esfuerzos y desplazamientos.

Además, se realizó el estudio probabilístico de la presión que ejerce el viento sobre placas con diversas áreas de exposición y el estudio del esfuerzo a la ruptura para 27 placas de vidrio de  $20.4 \times 4.1 \times 0.58$  cm sometidas a cargas concentradas aplicadas en el centro del claro a intervalos de tiempo de un minuto.

Se realizan ejemplos numéricos para dos ciudades de la República Mexicana, considerando las características geográficas, climatológicas y topográficas correspondientes.

## 2. DISTRIBUCION DE VELOCIDADES MAXIMAS EN UN SITIO A 10 M. DE ALTURA Y PARAMETROS ESTADISTICOS --- REPRESENTATIVOS.

El viento forma parte de la circulación atmosférica y se puede definir como el movimiento de aire con respecto a la superficie de la tierra producido por:

El calentamiento variable de la atmósfera por los rayos solares, la acción de la gravedad sobre la masa de aire de diferente densidad, la variación de las aceleraciones de coriolis, provocada por la rotación de la tierra y por las fuerzas centrífugas, generadas en la trayectoria del viento.

La rugosidad de la superficie terrestre, la viscosidad del aire, la presión y la temperatura son también factores importantes en la generación de vientos intensos.

Si el viento no encuentra obstáculos, este se mueve bajo la acción de un gradiente de presión, con una velocidad que se conoce como velocidad gradiente.

Pero la existencia de fricción, debido a las irregularidades de la superficie de la tierra, ocasiona que el viento sea obstruido en su trayectoria de tal manera que su velocidad, cerca de la superficie de la tierra es menor a la velocidad gradiente. Además, estos obstáculos producen vórtices y rafagas de vientos que van disminuyendo su intensidad con la altura.

En la figura 2.1 se muestra la variación típica de la velocidad del viento a una misma altura sobre la superficie de la tierra para dos condiciones de rugosidad

La figura 2.2 muestra velocidades de viento medidas en tres alturas diferentes sobre un mástil (ref. 2 y 4) y se puede observar que la velocidad media aumenta con la altura mientras que la amplitud de

las velocidades máximas disminuyen.

La velocidad del viento se puede dividir en dos componentes : La velocidad media que representará la componente estática y la velocidad de Reynolds , ó de rafaga con desviaciones de velocidad respecto a la velocidad media , que originan fenomenos vibratorios. La primera componente se puede definir mediante la teoría de probabilidad que define la función de densidad de probabilidad de  $V(t)$ , como  $F(v)$  para una velocidad máxima  $v_p$  asociada a una cierta probabilidad de que  $V(t)$  sea excedida en un tiempo preestablecido. (figura 2.3).

La velocidad máxima definida para la probabilidad

$$P(V < v_p) = P \quad (2.1)$$

se puede evaluar con la relación

$$v_p = \bar{v} + K S \quad (2.2)$$

en la cual, la velocidad media  $\bar{v}$  y la desviación estandar,  $S$ , dependen del intervalo promedio de tiempo adoptado para la determinación de la velocidad media. El valor de  $K$  depende de la probabilidad  $p$  y de la distribución estadística empleada. (fig.2.3).

### 3.- ESTIMACION DE VELOCIDADES A DIVERSAS ALTURAS CON DIVERSAS TOPOGRAFIAS.

Al nivel de la tierra la intensidad de viento es baja y el flujo de aire es turbulento debido a la fricción que se desarrolla con la rugosidad de la superficie de la tierra. A una cierta altura,  $H_g$ , llamada altura gradiente la influencia de la fricción de la tierra es despreciable y el aire se mueve solo bajo la influencia de la presión gradiente. Velocidad gradiente,  $V_0$  se le llamará a la correspondiente a la altura  $H_g$ .

Para propósitos ingenieriles, la variación de la velocidad del viento con la altura, abajo de la altura gradiente puede ser expresada con una ley de potencia, según Davenport (ref.10), cuyo exponente  $\alpha$  depende de las características termodinámicas de la atmósfera.

Figura 3.2.

$$V_H = V_0 \left( H / H_0 \right)^\alpha \quad 3.1$$

donde  $V_H$  es la velocidad del viento a una altura  $H$  sobre la superficie de la tierra.

Los valores de  $H_0$  y  $\alpha$  para algunos reglamentos se muestran en las tablas 3.1 y 3.2.

En la figura 3.1 se puede observar las variaciones de la velocidad con la altura para algunos reglamentos y autores.

De estudios hechos en (ref. 4) se encontró que  $\alpha$  presenta poca variación para valores medios de la velocidad en intervalos menores a 60 segundos, sin embargo, el valor medio de  $\alpha$  aumenta significativamente cuando el intervalo de promedio es mayor.

Para este trabajo se consideran velocidades medidas en un segundo, en anemómetros localizados en Mazatlán, Sin. y Tacubaya D. F. Y será necesario corregirlas para obtener las velocidades de viento horarias o para cualquier otro tiempo.

Para esto se empleará la fórmula de Mackey[ref. 4], ver tabla 3.3.

En la literatura[ref. 19] se encuentra que el diseño de placas de vidrio, esta basado en fuerzas uniformemente distribuidas actuando perpendicularmente a la superficie del vidrio en un tiempo de duración de 60 segundos, en lo que sigue, se determinará la velocidad media del viento para este periodo de tiempo en las dos ciudades antes mencionadas y en el capítulo cuatro de este trabajo se determinará la presión provocada por el viento.

Las velocidades máximas regionales son :

Mazatlán, Sin.

Tacubaya D.F.

$V=58.8 \text{ m/s}$

$V=28.2 \text{ m/s.}$

Corrección por altura: De las normas Británicas,  $\alpha=0.09$  para velocidades medidas en intervalos de 1 segundo y de la ecuación 3.1, tenemos.

Mazatlán, Sin.

Tacubaya D.F.

$V_{10}=58.8 \text{ m/s}$

$V_{10}=26.4 \text{ m/s}$

Cálculo de la velocidad media horaria tomando en cuenta las condiciones topográficas del lugar de medición.

Condición	Mazatlán, Sin.	Tacubaya, D.F.
Ciudad	30.4 m/s	13.7 m/s
Campo abierto	39.1 m/s	17.7 m/s
Costa	48.6 m/s	-----

Corrección para  $t= 60$  segundos.

Mazatlán, Sin.      Costa       $V=53.5 \text{ m/s ( 192.8 Km/hr )}$

Tacubaya, D.F.      Ciudad       $V=20.0 \text{ m/s ( 72.0 Km/hr )}$



#### 4. ESTIMACION DE PRESIONES DE DISEÑO PARA DIVERSOS PERIODOS DE RETORNO.

En las (ref. 1, 5, 9 y 12) se demuestra que para vientos máximos anuales en zonas tropicales, la función de distribución extrema que mejor se ajusta es la de Fisher-Tippet tipo II, y la probabilidad  $p$  de que la velocidad  $V_p$  pueda ser excedida en cualquier año es:

$$P(V > V_p) = 1 - P \quad (4.1)$$

y el periodo de retorno medio de  $V_p$  se definió como el inverso de esa probabilidad

$$T(V_p) = 1/P(V > V_p) = 1/1 - P \quad (4.2)$$

Esta ecuación expresa el periodo de retorno promedio, en años, en el que se excede la velocidad  $V_p$ .

En la mayoría de los reglamentos se consideran velocidades básicas del viento con periodos de retorno de 25, 50 y 100 años según sea la importancia o el riesgo de pérdidas humanas y/o materiales cuando se presenta la falla de la estructura.

Para valuar la fuerza,  $F(V)$ , que produce el viento sobre la placa de vidrio se recurre a un planteamiento simplificado (ref. 4), que estima una área expuesta normal a la dirección del viento  $A_e$ . Para esa área expuesta

$$F(V) = 1/2 \rho V^2 A_e C_d \quad 4.3$$

donde:  $\rho$  Densidad de la masa de aire.

$V$  Velocidad de diseño del viento, Km/hr.

$A_e$  Área expuesta.

probabilístico discutido por Mayne y Walker [ref. 24]. El modelo relaciona la velocidad máxima con la velocidad media de un registro de datos de velocidades de viento y presiones sobre la placa, medidas en prototipos de placas de vidrio localizadas en un edificio de 33 m de altura. Los valores obtenidos para  $C_d$  son:

	presión	succión
Velocidad media	1.0	-0.4
Velocidad máxima	1.6	-1.0

Sin embargo el reglamento Británico recomienda se use  $C_d = 1.5$  en general, aumentando dicho valor si las placas se encuentran cercanas a las esquinas de los edificios.

Si se considera éste último, para valores de  $C_d$  en elementos de recubrimiento para estructuras con alturas menores de 33 m, localizadas en zonas no cercanas a las esquinas del edificio. El valor  $C_d = 1.5$  se utilizará como un valor máximo para una área tributaria,  $A_e$ , menor a  $8 \text{ m}^2$ .

Presión media del viento en un tiempo de 60 s.

Mazatlán, Sin.

México, D.F.

$H=0 \text{ Km}$ ,  $V=192.8 \text{ Km/hr}$

$H=2 \text{ Km}$ ,  $V=72.0 \text{ Km/hr}$

$P_o=368.0 \text{ Kg/m}^2$

$P_o=42.8 \text{ Kg/m}^2$ .

\* $P=45.0 \text{ kg/m}^2$ .

- \* Valor obtenido con las Normas Técnicas Complementarias del R.D.D.F.

Cd Coeficiente de arrastre en dirección del viento.

F(V) Fuerza del viento sobre Ae.

El coeficiente Cd depende del número de Reynolds (ref. 4 ), (fig. 4.1). En los valores que aparecen en los reglamentos y normas para diseño por viento se acostumbra a proporcionar el valor de Cd correspondiente al flujo laminar, debido a que en este intervalo se presentan las mayores fuerzas que produce el viento sobre las estructuras. Además, depende de la forma de la estructura y generalmente se obtiene de modelos rígidos colocados en la sección de pruebas de túneles de viento con flujo laminar.

El valor de  $1/2 \rho$  se puede obtener de la siguiente expresión:

$$1/2 \rho = 0.0066(8+H)/(8+2H) \quad 4.4$$

donde: H Altura, en Km, sobre el nivel del mar del lugar en donde se encuentre la estructura.

Este valor considera las partículas en suspensión que contiene el aire.

La presión media de diseño se puede obtener de la ecuación 4.3 mediante

$$P_o = F(V)/A_e = 1/2 \rho V^2 C_d \quad 4.5$$

Con esta ecuación se calcula las presiones correspondientes a velocidades de diseño para las ciudades de Mazatlán, Sin. y México D.F. en un tiempo promedio de 60 segundos. Para este cálculo se consideraron velocidades básicas con periodos de retorno de 50 años.

V=28.2 m/s para la ciudad de México y V=58.8 m/s para Mazatlán. Las diferentes correcciones hechas a estas velocidades se evaluaron en el capítulo anterior.

Para considerar la acción turbulenta del viento en placas de vidrio mediante el coeficiente Cd se recurre a un modelo

Es importante mencionar que la fatiga en placas de vidrios puede ser una de las causas de las fallas de estas, sin embargo, un análisis realizado en la [ref. 25] sobre prototipos localizados en edificios, concluye que el análisis de presión máxima arroja resultados de presiones de diseño similares a los obtenidos por un análisis de fatiga. Para corroborar lo anterior, en las placas estudiadas en este trabajo, será necesario realizar mediciones de presiones y desplazamientos en función del tiempo en placas sujetas a la acción del viento.

5.- TEORIAS LINEAL Y DE VON KÁRMAN PARA  
ESTUDIAR EL COMPORTAMIENTO DE PLACAS  
DE VIDRIO, SOMETIDAS A CARGAS UNIFORMES.

Es posible encontrar en la literatura [ref. 17,18 y 20 ] teorías que modelen el comportamiento de placas delgadas sujetas a diferentes condiciones de carga y de apoyos.

En este capítulo se tratarán dos de estas teorías: Lineal y de grandes desplazamientos atribuida a Von Kármán.

5.1 Teoría lineal.

El análisis clásico de la teoría elástica se aplica a placas isotrópicas de comportamiento elástico lineal.

Y si además existen cargas distribuidas en la superficie externa de una placa, los desplazamientos están controlados por la ecuación:

$$\partial^4 w / \partial x^4 + 2 \partial^4 w / \partial x^2 \partial y^2 + \partial^4 w / \partial y^4 = q/D \quad 5.1$$

donde: w Desplazamiento de la placa.

$D = E t^3 / [ 12 ( 1 - \nu^2 ) ]$  Rigidez a flexión de la placa.

E Módulo de Young del material que forma la placa.

t Espesor de la placa.

$\nu$  Relación de Poisson.

q Carga normal a la superficie media.

Mediante razonamientos dinámicos de placas elásticas se pueden obtener las siguientes relaciones:

$$M_x = -D (\partial^2 w / \partial x^2 + \nu \partial^2 w / \partial y^2) \quad (5.2)$$

$$M_y = -D (\partial^2 w / \partial y^2 + \nu \partial^2 w / \partial x^2) \quad (5.3)$$

$$M_{xy} = -\partial^2 w / \partial x \partial y D (1 - \nu) \quad (5.4)$$

$$V_x = -D (\partial^3 w / \partial x^3 + \partial^3 w / \partial x \partial y^2) \quad (5.5)$$

$$V_y = -D(\partial^3 w / \partial Y^3 + \partial^3 w / \partial X^2 \partial Y) \quad (5.6)$$

$$R_x = -D[\partial^3 w / \partial X^3 + (2-\nu) \partial^3 w / \partial X \partial Y^2] \quad (5.7)$$

$$R_y = -D[\partial^3 w / \partial Y^3 + (2-\nu) \partial^3 w / \partial X^2 \partial Y] \quad (5.8)$$

$$R_0 = -2D(1-\nu) \partial^2 w / \partial X \partial Y \quad (5.9)$$

## 5.2 Teoría de grandes desplazamientos desarrollada por Von Kármán.

Si los desplazamientos de la placa son mayores a  $t/2$ , la hipótesis sobre la inexistencia de deformaciones en el plano medio de la placa no es satisfecha. Una teoría que considera estos órdenes de magnitud en los desplazamientos se discute en las [ref.18 y 19] y se llega a dos ecuaciones biarmónicas acopladas siguientes.

$$D\nabla^4 w = q + tL(w, \phi) \quad (5-10)$$

$$\nabla^4 \phi = -E/2 L(w, w) \quad (5-11)$$

donde  $\phi$  es una función de esfuerzos de Airy y el operador  $L(w, \phi) = \partial^2 w / \partial X^2 (\partial^2 \phi / \partial Y^2) - 2\partial^2 w / \partial X \partial Y (\partial^2 \phi / \partial X \partial Y) + \partial^2 w / \partial Y^2 (\partial^2 \phi / \partial X^2)$ .

Las condiciones de frontera implícitas corresponden a una placa rectangular simplemente apoyada y que no exista restricción a la fuerza de tensión en el plano medio de la placa.

La solución a las ecuaciones 5-10 y 5-11 permiten encontrar los valores de  $w$  y  $\phi$  y al sustituir en las ecuaciones

$$N_x = t\partial^2 \phi / \partial Y^2, \quad N_y = t\partial^2 \phi / \partial X^2 \quad \text{y} \quad N_{xy} = -t\partial^2 \phi / \partial X \partial Y \quad (5.12)$$

se determinan las fuerzas unitarias en la superficie media de la placa; los esfuerzos cortantes y flexionantes se determinan con

las mismas ecuaciones utilizadas en la teoría de pequeños desplazamientos.

Se considerará que las dimensiones de los lados de la placa son iguales a  $2a \times 2b$ ; se introducen las siguientes cantidades adimensionales. [ fig. 5.1 ].

$$X=x/a, Y=y/b, W=w/t, P=q/E(a/t)^4 \text{ y } \phi=\phi/Et^2$$

en las ecuaciones de equilibrio para obtener los resultados adimensionales normalizados respecto a los máximos. Los resultados se muestran en las figuras 5.2, 5.3 y 5.4.

Las curvas fueron calculadas para  $\nu=0.22$  y  $E=7.1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ .

El procedimiento para utilizar estas gráficas es bastante sencillo, por ejemplo, para calcular el desplazamiento máximo,  $w$ . Se determina de la ecuación  $Pn=q/E(a/t)^4$ , con este valor  $Pn$  subir perpendicular al eje de las abscisa (fig. 5.2 ), hasta la intersección de la curva con la relación de aspecto escogida. Desde el punto de intersección trazar una perpendicular al eje de las ordenadas, éste nos dará el valor  $W=w/t$ , de el cual se despeja el valor  $w$ .

Para calcular el esfuerzo principal máximo en cualquier punto de la placa o en el centro de la misma, se procede en forma similar, pero utilizando las (fig. 5.3 y 5.4) respectivamente.

Se puede observar que el desplazamiento máximo en la placa ocurre siempre en el centro del claro y el esfuerzo máximo se presenta en las esquinas, para desplazamientos del orden de la dimensión del espesor de la placa. En la ( fig. 5.5 ) se muestra la variación de los esfuerzos principales máximos en una placa rectangular cuando el desplazamiento máximo en el centro es mayor a  $t$ . Comparando las (fig. 5.5 ) y (fig. 6.6, 6.7 y 6.8) se observa que la líneas de fallas de una de las placas sigue el mismo patron de las trayectorias de los esfuerzos principales máximos obtenidos en el modelo representado por las ecuaciones desarrolladas por Von Kármán. Una comparación de los resultados obtenidos por las teorías lineal, grandes desplazamientos y medidos en el laboratorio para la placa número 1 se muestra en la (fig. 6.2 ).

## 6. COMPORTAMIENTO ESTÁTICO Y DINÁMICO DE PLACAS DE VIDRIO

En este capítulo se estudia el comportamiento estático y dinámico de cuatro placas de vidrio de 1.16 m. x 1.16 m. apoyadas simplemente.

Se obtuvieron gráficas carga-desplazamientos para cada placa aplicando carga uniforme distribuida, así como frecuencias naturales y modos de vibrar de dichas placas.

Se realiza la comparación de los comportamientos medidos con los obtenidos mediante la teoría de elasticidad lineal y de Von Karman. Para lograr lo anterior se tomaron en cuenta las siguientes condiciones:

### 1) Placas simplemente apoyadas.

Las placas se colocaron sobre un marco de madera, de manera que en todo su perímetro esta en contacto con el marco aproximadamente en 1 cm. En las esquinas del marco, se colocaron escuadras metálicas atornilladas; un clavo presiona el vidrio hacia abajo en cada una de las esquinas para generar fuerzas de esquina, como se muestra en las (fig. 6.6, 6.7 y 6.8).

### 2) Carga gradual.

Para la obtención de la curva carga-desplazamiento se aplicó carga uniformemente distribuida en un periodo de tiempo de dos horas y después de doce horas se descargaba en el mismo periodo de carga. Los incrementos de carga que se utilizaron fueron de 44.8 kg. y 104 kg. Ver graficas y tablas en las figuras 6.2, 6.3, 6.4 y 6.5.

### 3) Medición dinámica.

Para la obtención de las frecuencias naturales y modos de vibrar de las placas se utilizó un analizador de espectros Hewlett-Packard 3582A, el cual proporciona en forma directa las densidades espectrales en los acelerómetros A y B, así como frecuencias, funciones de transferencia para la amplitud, función de transferencia para el ángulo de fase y coherencia. Los resultados obtenidos en cada placa se pueden ver en las tablas 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4.



### 6.1 Variables más importantes en el comportamiento.

Se mencionarán las variables más importantes que intervienen en el comportamiento así como la evaluación que se realizó en el laboratorio.

#### 1) Peso volumétrico.

Para cada placa se midieron los espesores en diferentes puntos, y se tomó el promedio como el espesor de la misma. Con la relación peso-volumen se determinó el peso volumétrico de cada placa.

#### 2) Condiciones de apoyo.

Los apoyos proporcionados físicamente a la placa, como se mencionó anteriormente, representan las condiciones de apoyos simples considerados en una solución particular de la teoría de placas.

En la tabla 6.5 se hace un resumen de algunas propiedades de las placas de vidrio ensayadas.

Los valores de las frecuencias y modos de vibrar de las placas obtenidos mediante la ecuación diferencial de movimiento elástica (ref.20) se muestran en la tabla 6.6 y las frecuencias y modo de vibrar medidos en el laboratorio se representan en las figuras 6.9, 6.10, 6.11 y 6.12.

En las cuales se observan que los valores teóricos de las frecuencias naturales en los tres primeros modos de vibrar de las placas son mayores a los medidos en un intervalo del 33 al 35 %.

En el cuarto modo, las placas de vidrio número 2 y 3 tienen un valor del 16 % mayor, mientras que las placas números 1 y 4 los valores prácticamente coinciden.

Con respecto a los modos de vibrar, se logró medir los tres primeros en las cuatro placas, la comparación con los modos teóricos se ve gráficamente en las figuras antes mencionadas. Es importante decir que la condiciones de apoyo físico de las placas es una variable muy sensible en el valor numérico de las frecuencias naturales de las placas.

En la [fig.6.1] se presenta una perspectiva de la configuración de los cuatro primeros modos de vibrar de una placa.

## 6.2 Efectos de resonancia.

Para el estudio de la resonancia en placas de vidrio se recurre a los espectros de respuesta para desplazamientos y presiones obtenidos en la [ref. 24] para placas de 1.3x1.6 m. Se puede observar en estos espectros que las magnitudes de los desplazamientos y presiones se empiezan a amplificar para frecuencias menores a 2 Hz, por otra parte, el reglamento Británico recomienda que se estudie los efectos de resonancia, cuando la frecuencia natural de placas de vidrio sea menor a 6 Hz. Las frecuencias naturales principales obtenidas para las placas estudiadas son del orden de 16 Hz, que distan mucho de 2 y 6 Hz para las dimensiones de placas diseñadas en el capítulo 9 y las estudiadas.

## 7.-ESTUDIO EXPERIMENTAL Y ESTADISTICO DE BARRAS DE VIDRIO, BAJO DIVERSAS VELOCIDADES DE CARGA.

Para este estudio se consideraron 27 barras de vidrio, de dimensiones 20,4x4,1x0,58 cm apoyadas simplemente y sujetas a una carga concentrada en el centro del claro como se muestra en la figura 7.1, se les sometió a un proceso de carga y descarga hasta llegar a la falla, el tiempo de aplicación de las cargas para tomar lecturas de desplazamientos máximos fué de un minuto y las magnitudes de los aumentos de carga de 0,5 kg.

El proceso de carga mencionado, consistió en cargar cada una de las 27 barras de vidrio, desde cero hasta 5,5 kg en un tiempo de un minuto, tomar la lectura en el micrómetro, descargar en el mismo tiempo, tomar la lectura en el micrómetro, volver a cargar la barra hasta 10,5 kg en un minuto, tomar lectura en el micrómetro, descargar hasta 5,5 kg en un minuto, tomar lectura en el micrómetro, cargar nuevamente hasta 15,5 kg en un minuto, tomar lectura en el micrómetro, descargar hasta 10,5 kg en un minuto, tomar lectura en el micrómetro, cargar nuevamente de acuerdo al ciclo establecido, hasta que el elemento se colapse.

Un resumen de los resultados obtenidos, esfuerzo de ruptura-desplazamiento máximo en el centro del claro de la barra se muestra en la tabla 7.1.

Es frecuente encontrar en la literatura que la distribución que mejor representa el fenómeno de la resistencia de materiales es la distribución normal que además es matemáticamente simple.

En las [fig. 7.2 y 7.3 ] se muestran el histograma de frecuencias de los resultados y la función de densidad de probabilidad para los ensayos mencionados.

El objeto de este capítulo, es obtener la resistencia a la falla de placas de vidrio, como las descritas arriba, para una probabilidad de falla de 0,008.

Al considerar una distribución normal, el valor de la resistencia se puede establecer en función de la desviación estándar.

$$R = \bar{R} - K \sigma R$$

7.1

Donde: R Resistencia a la falla para una probabilidad prestabecida.

$\bar{R}$  Resistencia media.

K Parámetro que depende de la probabilidad seleccionada.

$\sigma R$  Desviación estandar.

De la tabla 7.1.  $R = 477.72 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\sigma R = 88.47 \text{ kg/cm}^2$ .

Para  $p=0.008$  el valor de  $K = 2.482$ .

$R = 258.1 \text{ kg/cm}^2$ .

Los fabricantes de placas de vidrio en la Unión Americana (ref. 16 y 21) recomiendan un valor del factor de seguridad de 2.5, valor que se ha adoptado en la mayoría de los reglamentos, hace que la probabilidad de falla para una geometría de placa de vidrio dada, bajo carga de diseño se a igual a 0.008, si el valor del coeficiente de variación es el 25 % y si se usa una distribución normal. En nuestro caso el coeficiente de variación es más bajo, 18.5 %, implica que el factor de seguridad empleado es igual a 1.85.

## 8. CRITERIOS PARA DISEÑO PROBABILISTA DE PLACAS BAJO ACCION DE VIENTO

En general se pueden establecer algunos postulados basados en conceptos universalmente aceptados en la práctica del diseño estructural; éstos, eliminan el riesgo de entrar en contradicciones al implementar métodos de diseño nuevos.

Las teorías basadas en probabilidad de la seguridad estructural hacen uso de los siguientes postulados e hipótesis generales.

1) El efecto de la presión sobre la placa,  $q$ , puede ser la suma de los efectos separados de componentes de cargas.

2) La resistencia de una placa,  $R$ , es una variable aleatoria, continua, positiva y su evaluación se determina de acuerdo a procedimientos estadísticos, como el utilizado en el capítulo 7.

3) Las placas de vidrio deberán ser diseñados para que se cumpla la condición,

$$q \leq R$$

4) La medida probabilista de la seguridad es la confiabilidad  $P_s$ , o de la probabilidad de falla, tal que:

$$Pr+P_s=1.0$$

5) Los datos estadísticos para cualquier variable aleatoria deberán ser suficientes no necesariamente exhaustivos.

6) Los efectos de la carga  $q$  y la resistencia  $R$  de las secciones deberán ser variables aleatorias independientes.

7) El análisis probabilista de la seguridad debe tomar en cuenta que los efectos de carga  $q$ , y en ocasiones los valores de  $R$  son obtenidos por ecuaciones determinísticas.

8) La falla de una placa de vidrio ocurre en una sola aplicación de carga, sea o no combinación de cargas.

Al tomar en cuenta lo anterior, podemos definir en términos probabilísticos la resistencia a la falla de placas de vidrios, tal como se realizó en el capítulo 7 de este trabajo. Lo mismo se puede decir para las presiones debidas al viento sobre las placas de vidrio.

Para la resistencia a la falla de placas de vidrio, en la [fig.7.2] se puede observar la función de densidad de probabilidad normal y el cuantil para una probabilidad de falla de 0.008 con un coeficiente de variación de 18.5 %.

Para la presión del viento sobre las placas se tomó un periodo de retorno de 50 años y las funciones de densidad de probabilidad y distribución acumulativa para las velocidades de viento máximos anuales medidas en las ciudades de Mazatlán y México se pueden ver en las figuras 8.1 y 8.2.

Los cuantiles de velocidad del viento calculados son: Mazatlán,  $S_q = 192.8$  Km/hr y México,  $S_q = 72.0$  Km/hr, las cuales producen una presión sobre las placas de vidrio de :

$P_o = 368.0$  kg/m<sup>2</sup> para Mazatlán, Sin. y  $P_o = 42.8$  kg/m<sup>2</sup> para México.

La obtención de la presión que produce la falla de placas de vidrio depende de las variables, dimensiones de la placa, relación de aspecto, espesor, área expuesta, etc., que hacen imposible obtener un solo valor de dicha presión, sin embargo al considerar solamente la variación con la relación de aspecto, es posible obtener factores de seguridad para el diseño de placas de vidrio sujetas a presiones de viento.

Por ejemplo, si se considera la definición convencional del factor de seguridad para una relación de aspecto de la placa de vidrio igual a uno, tenemos que para una Área de placa de 1 m<sup>2</sup>, en Mazatlán, Sin..

$$F.S. = r_p/S_q = 488.0/103.4 = 4.72.$$

Con una relación de aspecto igual a dos y con las demás variables fijas.

$$F.S. = 240/368.0 = 0.65 \text{ (falla)}$$

Muchos fabricantes de vidrio (ref.191) recomiendan utilizar un factor de 2.5 como mínimo para el diseño de placas de vidrio.

En la figura 9.1 se muestra una gráfica para diseño de placas de vidrio de espesor de 0.58 cm de fabricación nacional correspondiente a las placas probadas con factor de seguridad de 1.85.

## 9.- APLICACION A CASOS ESPECIFICOS EN DOS CIUDADES DE LA REPUBLICA MEXICANA.

Se escogieron las ciudades de Mazatlán Sin. y México D.F. para ejemplos del diseño de placas de vidrio. Los datos de las velocidades máximas anuales para estos dos casos se presentan en las tablas 9.1 y 9.2 y fueron medidos en los observatorios de las ciudades correspondientes. Se usaron las mismas propiedades geométricas y físicas de las placas, para las dos ciudades mencionadas.

El procedimiento para el diseño de placas de vidrio se resume en los siguientes pasos:

- 1)- Del capítulo ocho, se obtiene el esfuerzo a la ruptura de 27 placas en forma probabilística, que proporcionan un resultado igual a  $\sigma = 258.1 \text{ kg/cm}^2$ .
- 2)- Del capítulo cinco, se puede determinar la presión uniformemente distribuida sobre placas en función del esfuerzo máximo, al utilizar las (fig.5.2 y 5.3) y las expresiones adimensionales,

$$\sigma_n = \sigma/E (a/t)^2 \quad 9.1$$

$$P_n = q/E (a/t)^4, \quad q = P_n E (t/a)^4 \quad 9.2$$

Los resultados de q se muestran en la tabla 9.3 para espesores de vidrio  $t=0.58 \text{ cm}$ , áreas de placas de 1,2,4,6 y 8  $\text{m}^2$ , y relaciones de aspecto de 1,2,3,4 y 5.

Estos resultados se graficaron en la figura 9.1, y se comparan con las presiones de diseño propuesto por la Pittsburgh Plate Glass Company en la actualidad (PPG Industries, Inc.) de los Estados Unidos de América (ref. 19).

Es importante mencionar que la mayoría de los fabricantes de



vidrio usan un factor de seguridad de 2.5 para el diseño de sus vidrios, en este trabajo adoptaremos este mismo valor, por lo tanto los valores de la tabla 9.1 se deben dividir entre 1.33.

La figura 9.2 presenta la comparación de los valores de la tabla 9.1 afectados por un factor de seguridad de 2.5 y los valores para diseño propuestos por la industria PFG, Inc de U.S.A.

Para ilustrar el diseño por viento de placas de vidrio de espesor 0.58 cm, a usarse en estructuras localizadas en las ciudades de México D.F. y Mazatlán Sin. Las placas de vidrio provienen de un mismo fabricante y se considera que se usarán como elementos de recubrimiento. se muestran los siguientes resultados.

Las presiones de diseño para las ciudades mencionadas son: ( capítulo 4 )

Mazatlán, Sin.

México, D.F.

$$P_o=368.0 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_o=42.8 \text{ kg/cm}^2$$

$$* P_o=45.0 \text{ kg/cm}^2$$

de la figura 9.2

	Area(m <sup>2</sup> )	b/a	a(m)	b(m)	Area(m <sup>2</sup> )	b/a	a(m)	b(m)
1		1.0	1.00	1.00	8	2.00	2.00	4.00
		4.0	0.50	2.00		**		

\* Valor de la presión calculada con las N.T.C. de R.D.F.

\*\* Con otra Área menor a 8 m<sup>2</sup>.

## 10.- COMENTARIOS FINALES

El valor de  $\alpha$  considerado en el perfil del viento por ley de potencia debe ser cuidadosamente seleccionado, de acuerdo al intervalo de tiempo para el que se obtuvo la velocidad de diseño, de no seleccionarse adecuadamente el error podría ser hasta del 100 % .

El tiempo de duración de la presión del viento sobre las placas de vidrio para el diseño es de 60 segundos, lo anterior estandariza las fallas de las placas para cualquier fabricante.

Se consideran los efectos estáticos y dinámicos del viento tomando en cuenta las variables exposición, altura sobre el terreno, altura sobre el nivel del mar, forma y tipo de la construcción para el diseño de placas de vidrio.

De las teorías propuestas para modelar el comportamiento estático de las placas de vidrio ensayados, resulta que la desarrollada por Von Kármán, se ajusta mejor a los datos obtenidos en los ensayos de cuatro placas de vidrio de fabricación nacional.

El modelo dinámico para el cálculo de frecuencias y modos de vibrar arroja resultados de la magnitud de las frecuencias, mayores a los valores medidos para los tres primeros modos, sin embargo la configuración de los modos es muy similar. Por observación en el laboratorio se concluye que las condiciones de apoyo de las placas ensayadas influyen considerablemente en la magnitud de las frecuencias medidas.

Las curvas carga-desplazamiento de las cuatro placas de vidrio ensayadas son similares y de comportamiento elástico no lineal.

En una de las placas cargadas hasta el colapso, las líneas de fallas ( fracturas ) exhibidas coinciden considerablemente en trayectorias y localización con las líneas de esfuerzos principales

máximos obtenidos mediante las ecuaciones desarrolladas por Von Kármán

El estudio estadístico de la resistencia a la falla de barras de vidrio ensayados, arroja resultados del coeficiente de variación de 18.5 % y usando la distribución normal, el factor de seguridad a la falla con que se diseña será de 1.85 que es menor al proporcionado por fabricantes de U.S.A. y de muchos reglamentos, el cual es de 2.5.

Se proporcionan las figuras 9.1 y 9.2, que equivalen a la tabla 9.3, para el diseño de placas de vidrio considerando factores de seguridad de 1.85 (vidrios nacionales ensayados) y de 2.5 para propósitos de comparación con gráficas de diseño proporcionadas por Pittsburgh Plate Glass Company.

Los resultados indican que las presiones soportadas por las Placas ensayadas y las fabricadas en E.U. son similares, sin embargo será necesario hacer un número mayor de ensayos, como los que se presentan en este trabajo, con placas de vidrio de fabricación nacional para concluir con valores estadísticos representativos.

## 11. BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Brito R.R.P.: "Revisión de la velocidad básica de viento del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal", Tesis DEFFI UNAM 1982.
- 2.- Rodríguez C.N.: "Variación de la velocidad del viento con la altura en un punto", Informe No. 47, Instituto de Ingeniería, UNAM, México, D.F., 1961.
- 3.- Task Committee on Wind Forces.: "Wind Forces on Structures", Transactions, ASCE, Parte II, 1961.
- 4.- Ghiocel Dan y Lungu Dan : "Wind, Snow and Temperature Effects on Structures Based on probability", ABACUS PRESS, 1975.
- 5.- Rodríguez Cuevas, Neftalí: "Aplicación de la Estadística de Extremos a la Determinación de Velocidades del Viento para Diseño Estructurales", Publicación 105 del Instituto de Ingeniería, oct. 1964, México.
- 6.- Simiu, E. y Scanlon, R.A.: "Wind effects on structures; an introduction to wind engineering", John Wiley and Sons, 1978.
- 7.- Rodríguez Cuevas, Neftalí: "Turbulencia del aire y sus efectos en estructuras", Revista de Ingeniería, enero-marzo 1974, México, pp. 63-78.
- 8.- Rodríguez Cuevas, Neftalí: "La velocidad del viento y su estimación para fines de diseño estructural". Primer Seminario Nacional "La Ingeniería en casos de desastre". Colegio de Ing. Civ. de Jalisco, 1975.

9.- Thom, H.C.S.: "Distributions of Extremes wind in United States"  
Proceeding. ASCE, Vol. 86, ST4, April 1960, pp. 11-24.

10.-Davenport A.G.: "A Rationale for the Determination for Design  
Wind velocities" J. Structu., Div., ASCE, Vol. 86, STS (1960)  
pp. 39-68.

11.-Benjamin Jack R. y Cornell C. Allin : " Probability,  
Statistics, and Decision for Civil Engineers ", McGraw-Hill, 1970,  
684 p.p.

12.-Thom, H.C.S. : " New Distributions of Extreme Winds in the United  
States", J.Struct.Div. ASCE, vol. 94, No:ST7, July 1968, pp  
1787-1801.

13.-Kolousek v., Pirner M., Fischer O. y J. Naprestk: " Wind Effects  
on Civil Engineering Structures", Elsevier 1984.

14.-Barboč P. M., Giszerman O., Miroslavko M.M. y Pretegmeske E.N.D.:  
"Tablas para el análisis Elástico de Placas", Academia de  
Ciencias, de Kiev 1959.

15.-Rayleigh J.W.S.: " The Theory of Sound", Volumen I y II.

16.-Lynn Beason y James R. Morgan, M. ASCE: " Glass Failure  
Prediction Model", Journal of Structural Engineering, vol. 110 No:  
2 February, 1984 ASCE.

17.-Behr R.A., Minor J.E., Linden M.R. y Vallabhan C.V.G.: "Laminated  
Glass Units Under Uniform Lateral Pressure", Journal of Structural  
Engineering, vol. III, No: 5, may, 1985, ASCE.

18.-Vallabhan C.V.G. y Chow G.D.: " Stresses and  
Displacements of Window Glass Due to Wind".

19.-Minor J. E.,M. ASCE: " Window Glass Design Practices: A Review", Journal of the Structural Division,Proceeding of the ASCE, vol.107, January, 1981.

20.-Timoshenko, S. and Woinowsky-Krieger: "Theory of Plates and Shellem ", McGraw-Hill Book Company,Inc.,New York,N.Y.USA,1959.

21.-Fertis D.G.: " Dynamics and Vibration of Structures", John Wiley and Sons, 1973.

22.-" Reglamento de Distrito Federal ", 1987. México D.F.

23.-" Normas Técnicas Complementarias Para Diseño Por Viento ",1987. México D.F.

24.-Mayne J.R. y Walker G. R.: "The Response of Glazing to Wind Pressure ", Building Research Establishmen. Departament of the Environment. 1976.

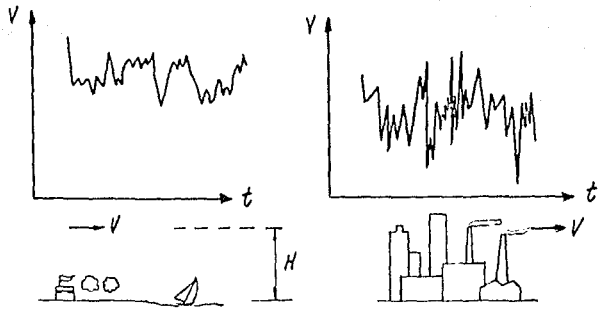


FIGURA 2.1 VARIACION DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN TERRENOS CON DIFERENTE RUGOSIDAD.

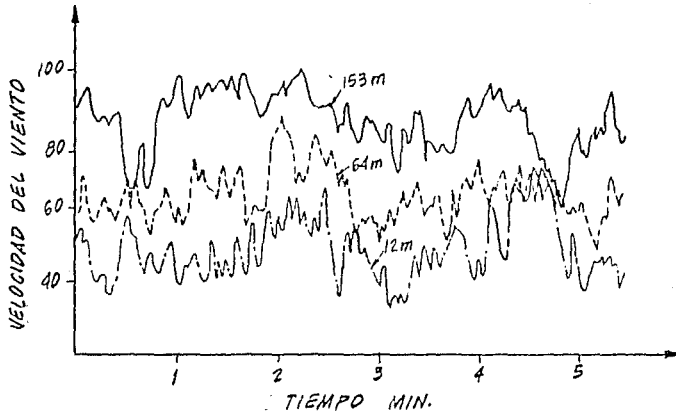


FIGURA 2.2 VELOCIDAD DEL VIENTO A TRES ALTURAS DIFERENTES.

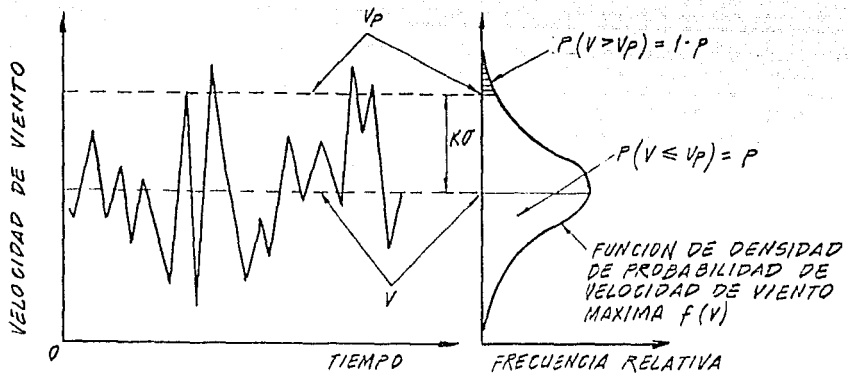


FIGURA 2.3 FUNCION DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD.

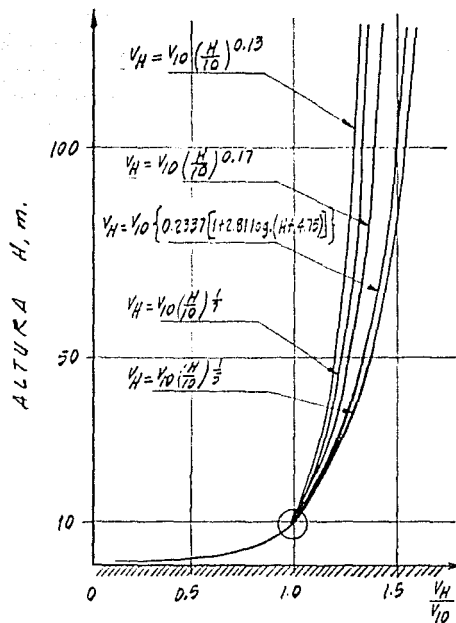


FIGURA 3.1 VARIACION DE LOS PERFILES DE VELOCIDAD DEL VIENTO.



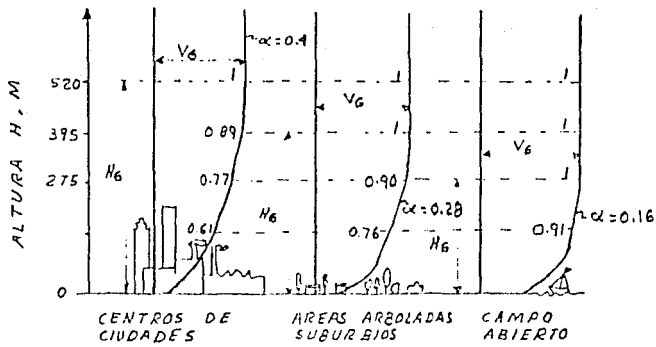


FIGURA 3.2 VARIACION DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO CON LA RUGOSIDAD

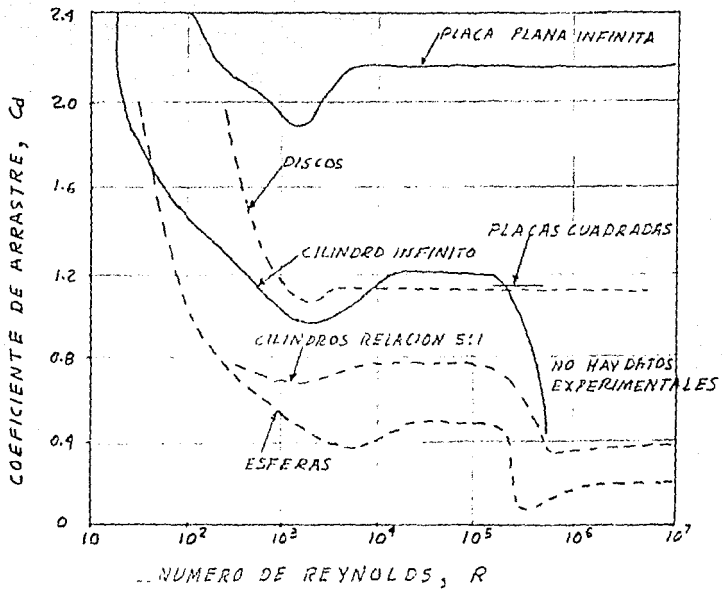


FIGURA 4.1 VARIACION DE  $C_d$  CON EL NUMERO DE REYNOLDS.

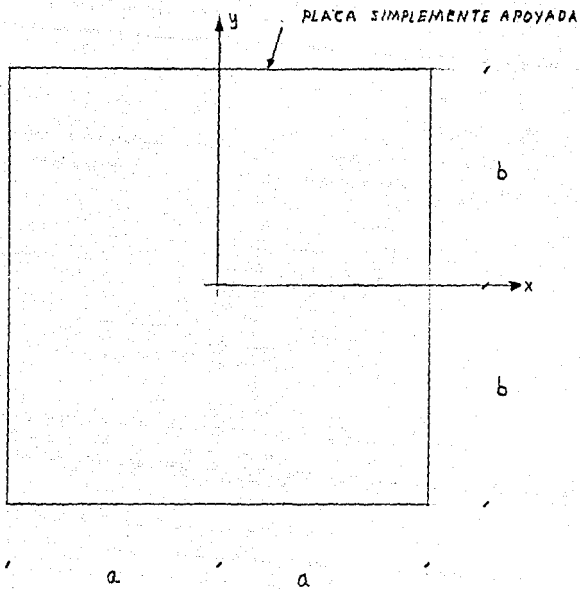
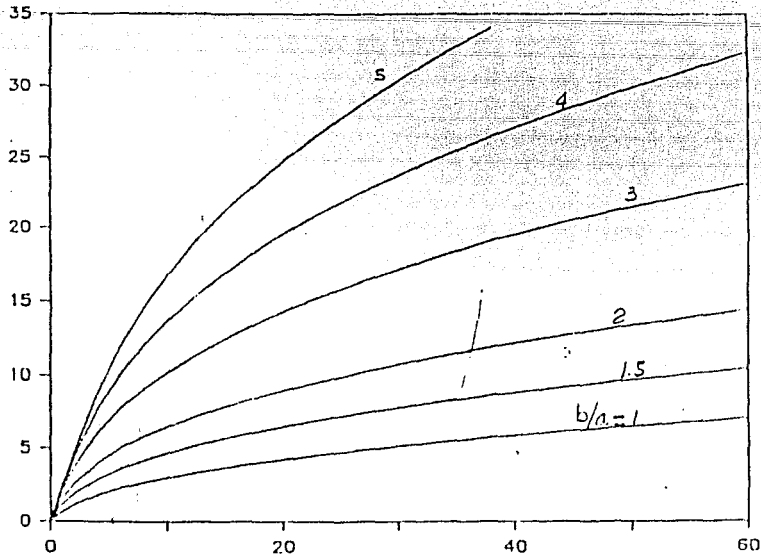


FIGURA 5.1 SISTEMA DE REFERENCIA Y DIMENSIONES DE LA PLACA

DESPLAZAMIENTO EN EL CENTRO ADIMENSIONAL

$$w_n = \frac{w_{max}}{t}$$

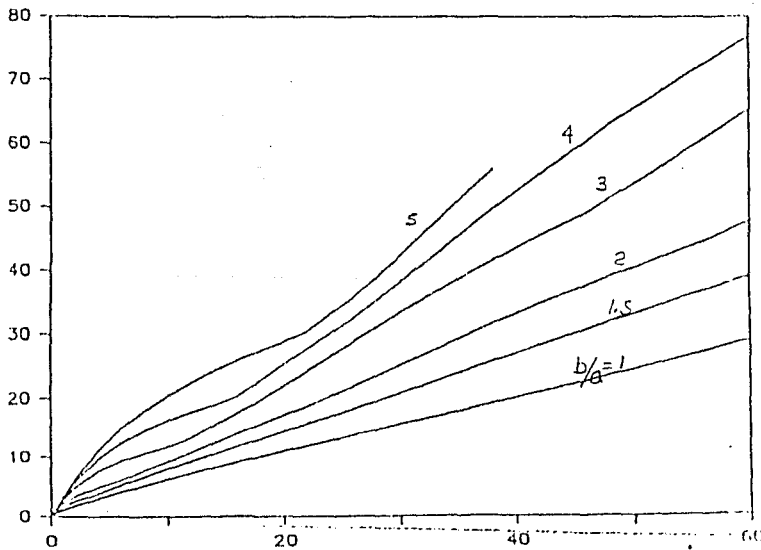


$$CARGA ADIMENSIONAL P_n = \frac{q}{E} \left(\frac{a}{t}\right)^4$$

FIGURA 5.2 CARGA VS. DESPLAZAMIENTO EN EL CENTRO

ESFUERZO PRINCIPAL MAXIMO ADIMENSIONAL

$$\sigma_n = \frac{\sigma}{E} \left(\frac{a}{t}\right)^2$$



$$CARGA ADIMENSIONAL P_n = \frac{q}{E} \left(\frac{a}{t}\right)^4$$

FIGURA 5.3 CARGA VS. ESFUERZO PRINCIPAL MAXIMO

ESFUERZO PRINCIPAL MAXIMO EN EL CENTRO ADIMENSIONAL

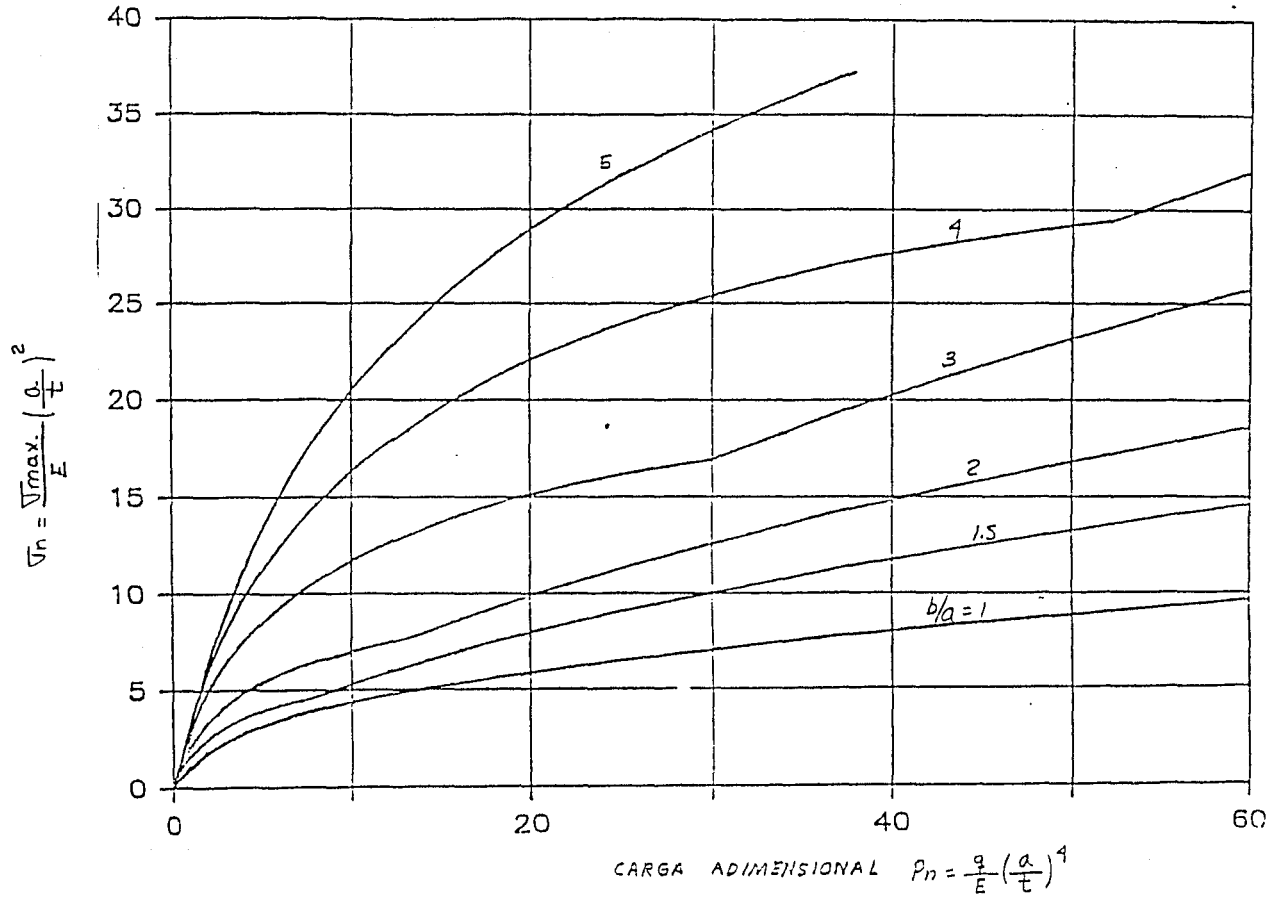
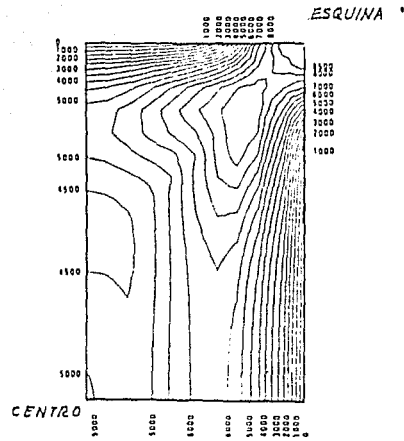


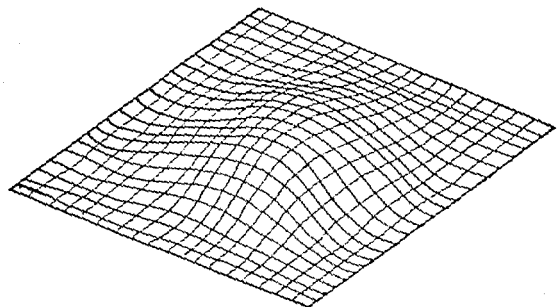
FIGURA 5.4 CARGA VS. ESFUERZO PRINCIPAL MAXIMO



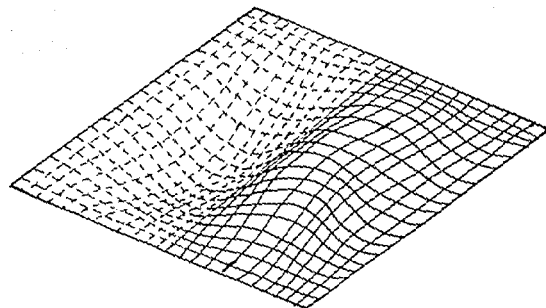
LOS NUMEROS INDICAN ESFUERZOS EN PSI

FIGURA 5.5 DISTRIBUCION DE ESFUERZOS

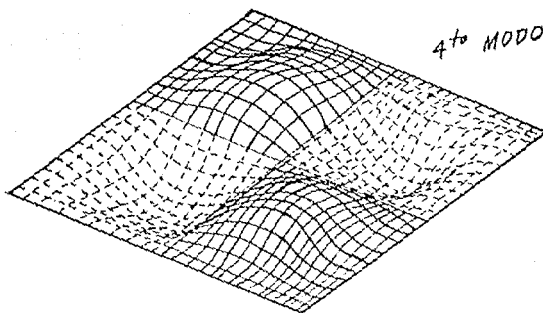
PRINCIPALES MAXIMOS DE TENSION.



1er MODO



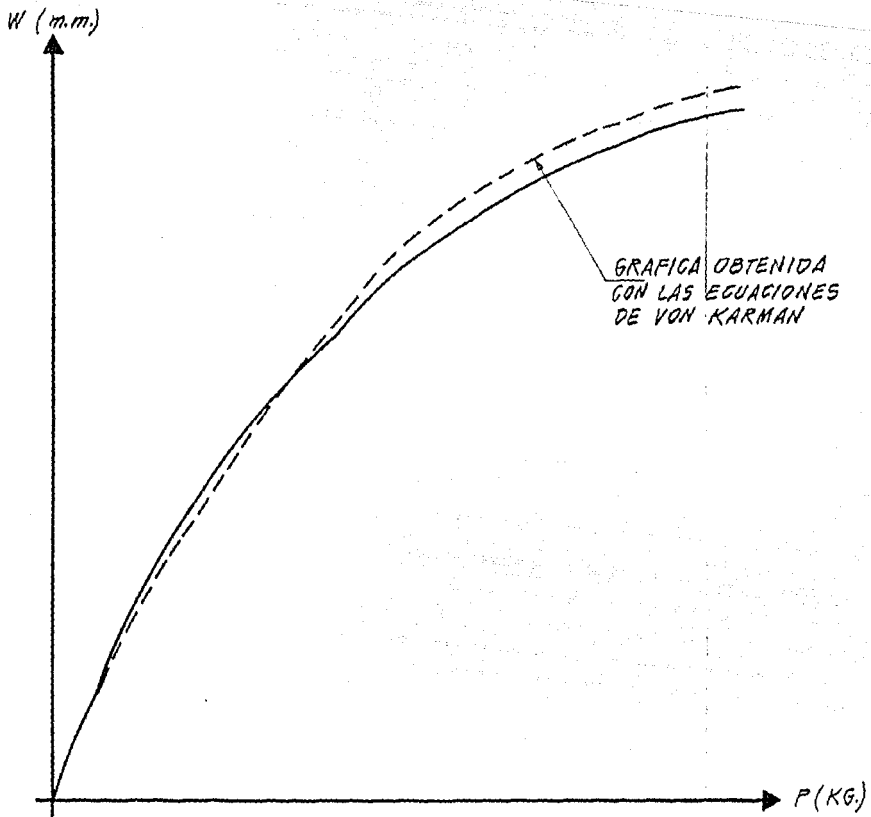
2do y 3er MODO



4to MODO

MODOS DE VIBRAR DE PLAGAS

FIGURA 6.1



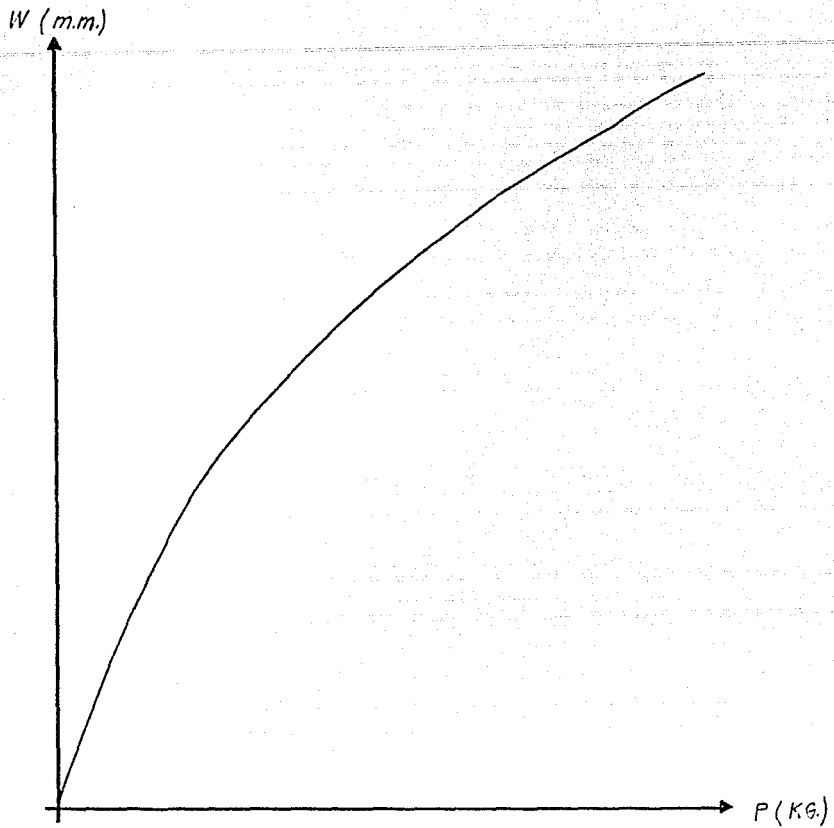
W (m.m.)	P (KG)
1.84	44.68
5.33	148.68
6.35	193.36
8.36	297.36
8.89	342.04
10.19	446.04
10.35	469.81
11.43	573.81
11.62	597.58
12.18	687.96

¡EXPLOTO!

CURVA CARGA-DESPLAZAMIENTO  
PLACA DE VIDRIO # 1

FIGURA 6.2

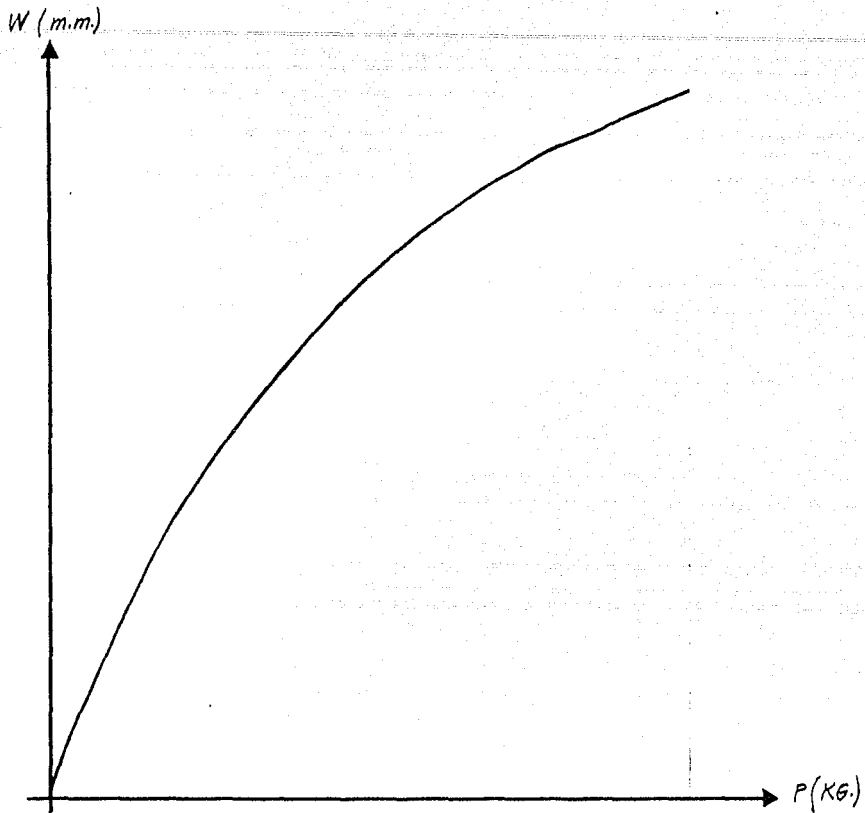




W (m.m.)	P (KG.)
2.00	44.68
5.70	148.68
6.63	133.36
8.60	297.36
8.50	321.13
10.37	425.13
10.62	448.50
11.76	552.50
12.16	537.53
12.12	687.50

CURVA CARGA- DESPLAZAMIENTO  
PLACA DE VIDRIO # 2

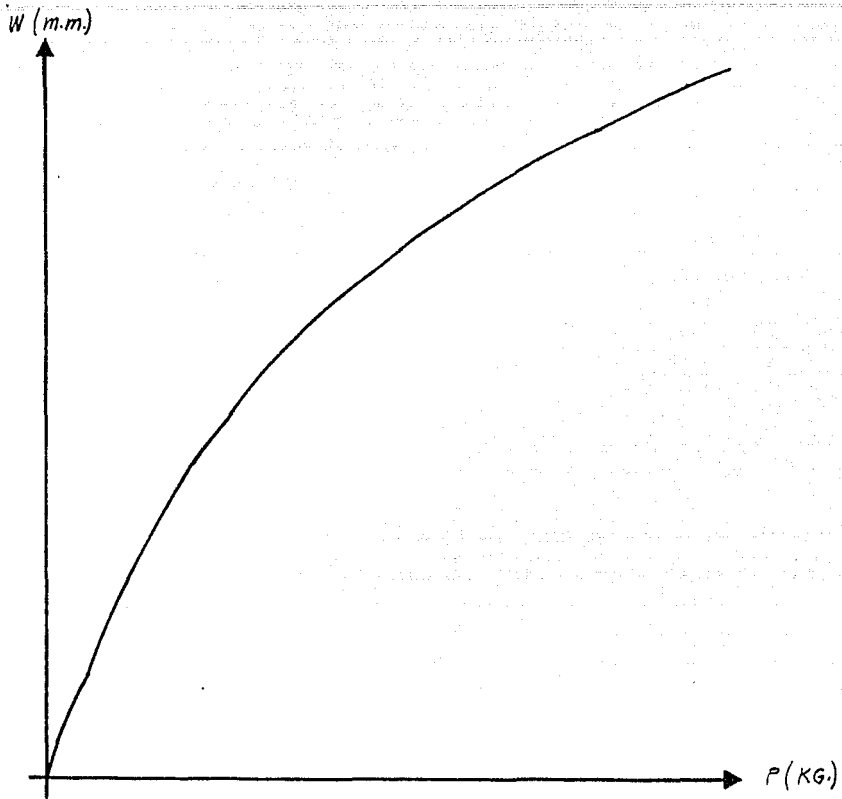
FIGURA 6.3



$W$ (m.m.)	$P$ (KG)
1.84	44.68
5.29	148.68
6.32	193.36
8.40	297.36
9.09	342.04
10.40	446.04
10.65	469.81
11.71	573.81
11.92	597.58
12.67	687.96

CURVA CARGA - DESPLAZAMIENTO  
 PLACA DE VIDRIO #3

FIGURA 6.4



W (m.m.)	P (KG.)
1.83	44.68
5.42	148.68
6.43	193.36
8.17	297.36
8.77	342.04
10.07	446.04
10.30	469.81
11.37	573.81
11.57	597.58
12.40	687.96

CURVA CARGA-DESPLAZAMIENTO  
PLACA DE VIDRIO #4

FIGURA 6.5

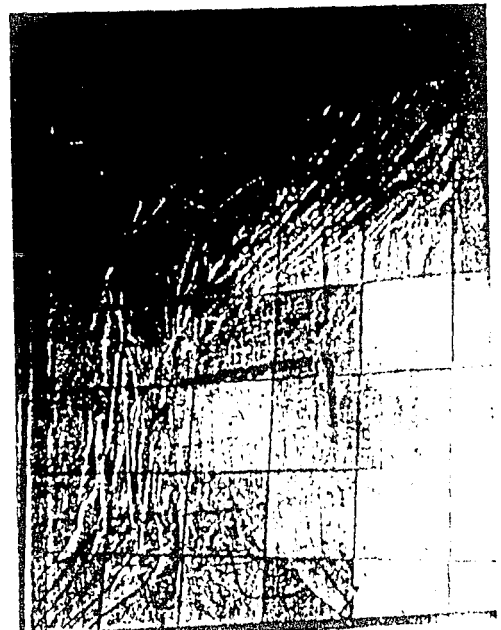
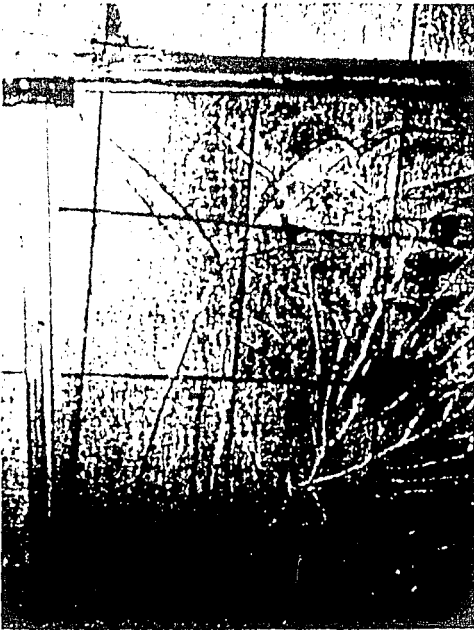
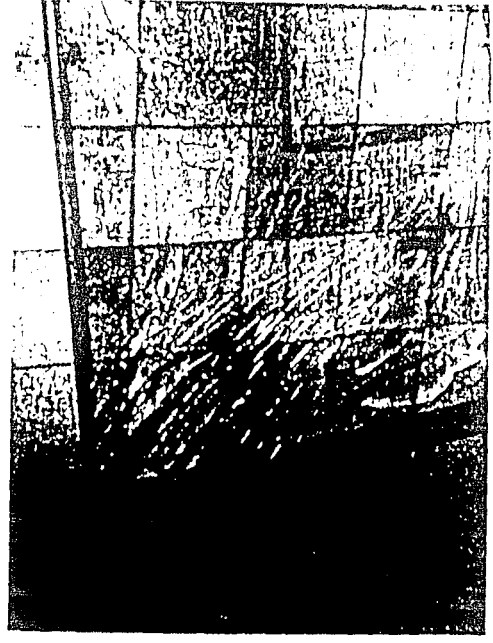
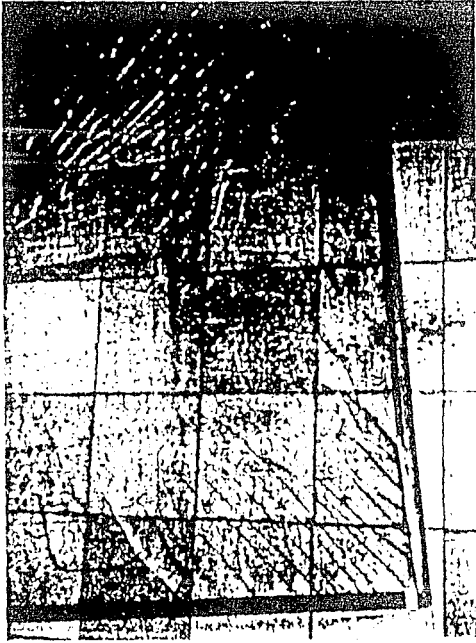


FIGURA 6.6 ASPECTO DE LA FALTA EN LA PLACA DE VIDRIO N°1

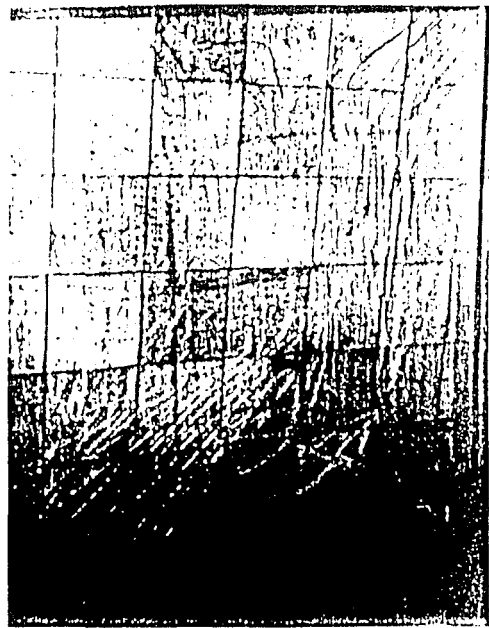
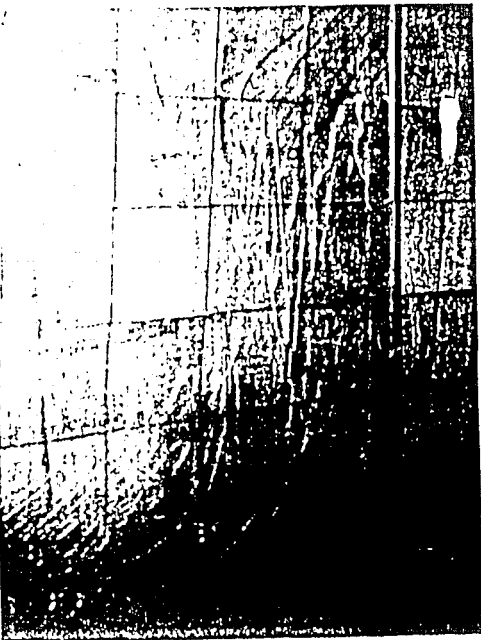
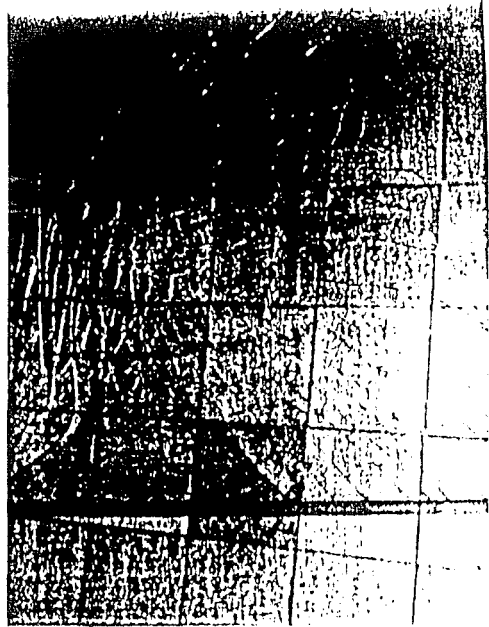


FIGURA 6.7 ASPECTO DE LA FALLA EN LA PLACA DE VIDRIO NO: 1

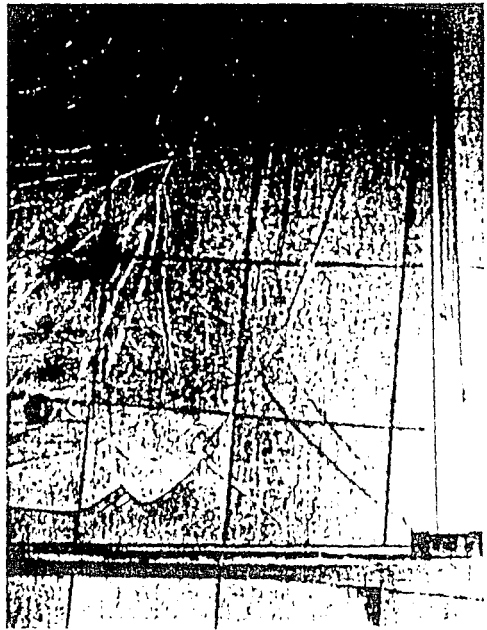
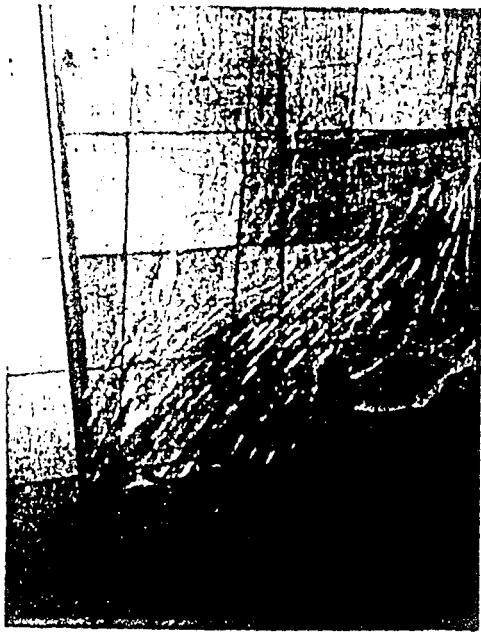
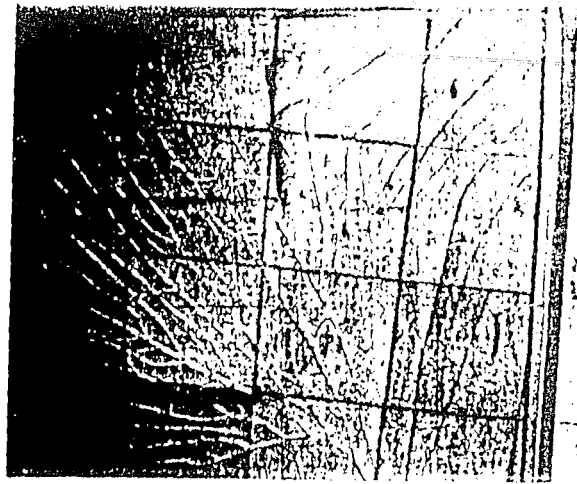
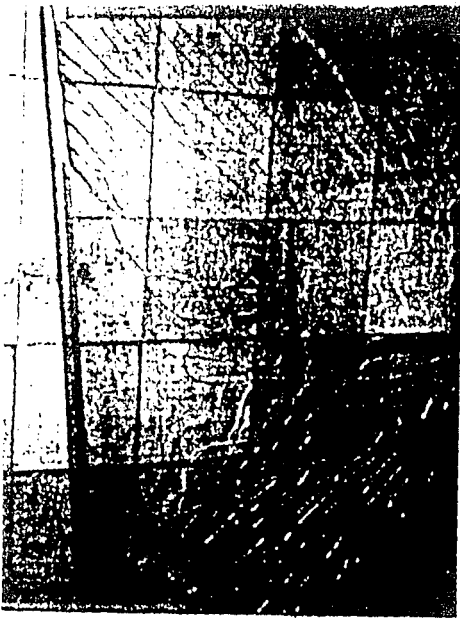


FIGURA 6.2 ASPECTO DE LA FALLA EN LA PLACA DE VIDRIO 10.1

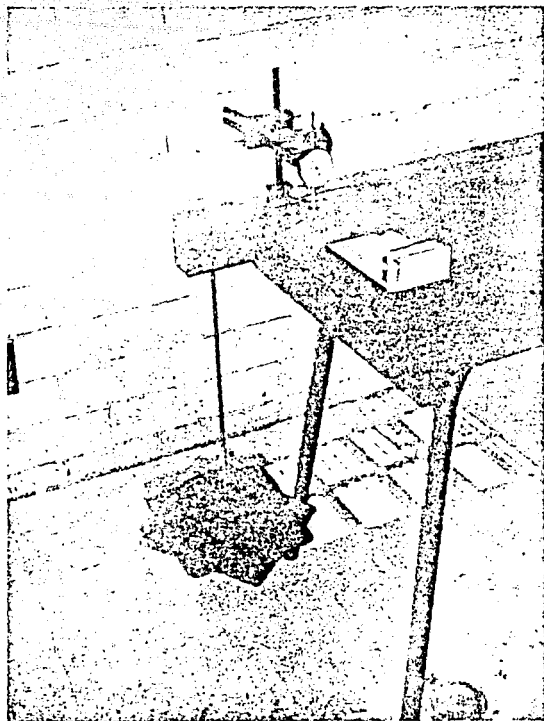
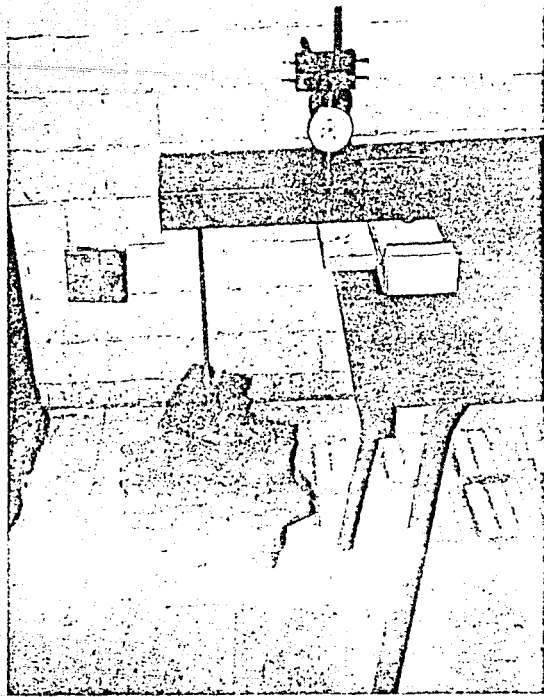


FIGURA 7.1

ENSAYE DE VIGAS DE VIDRIO AL  
COLAPSO.

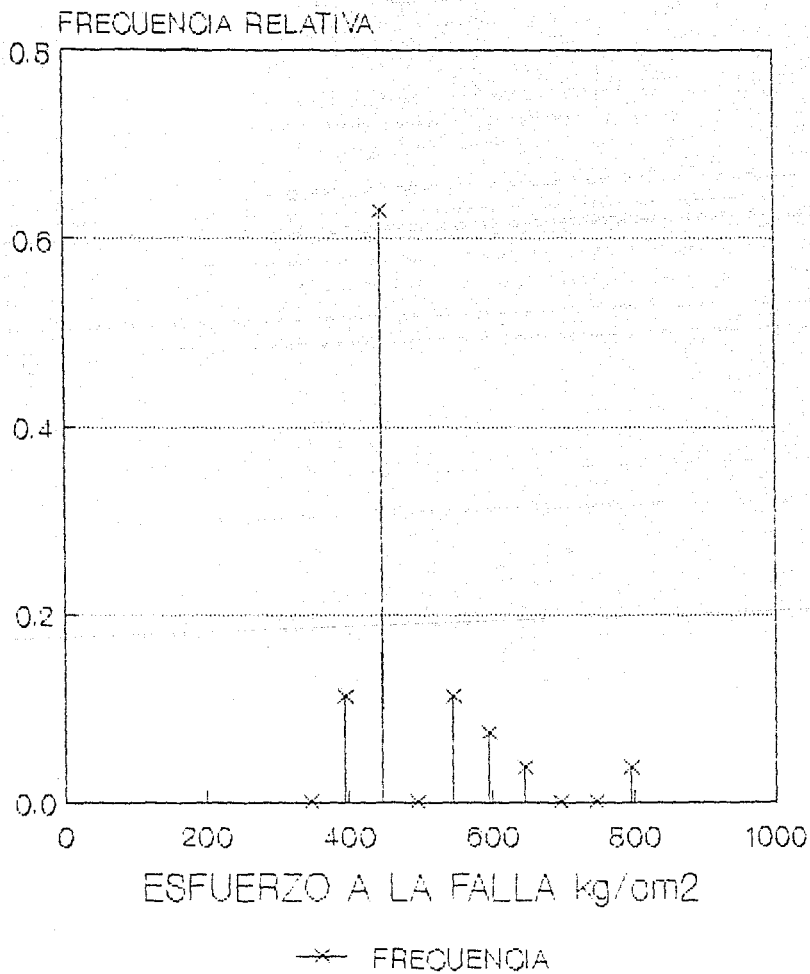


FIG. 7.2 HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS



$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_n} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma_n^2}}$$

X	f(x) x 10 <sup>-3</sup>
123.8	0.00
212.3	0.05
300.8	0.61
389.2	2.73
477.7	4.51

$$N = 27, \sigma_n = 88.47 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\bar{x} = 477.72 \text{ Kg/cm}^2$$

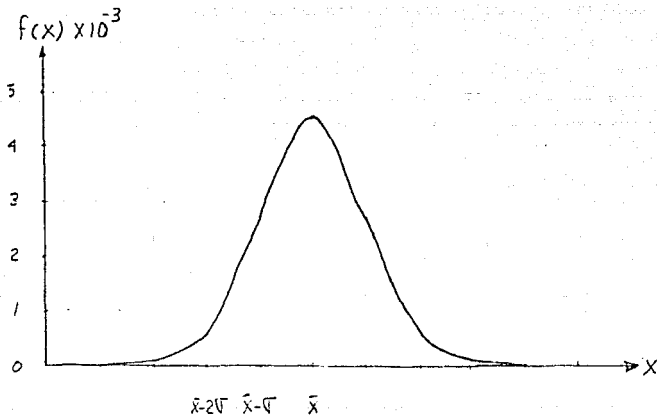
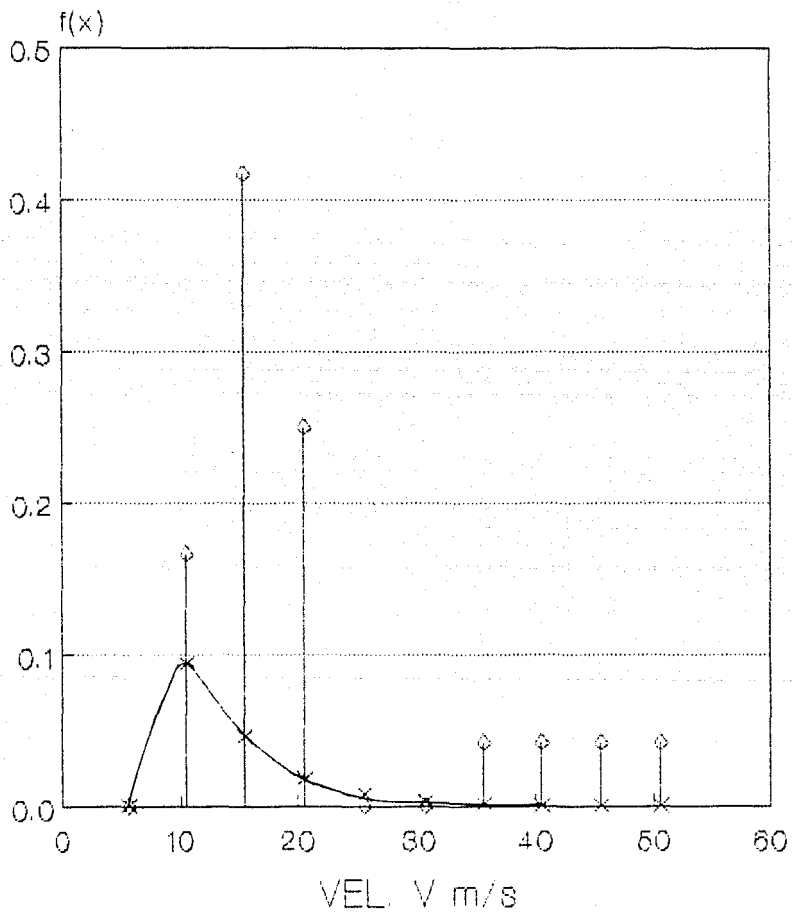
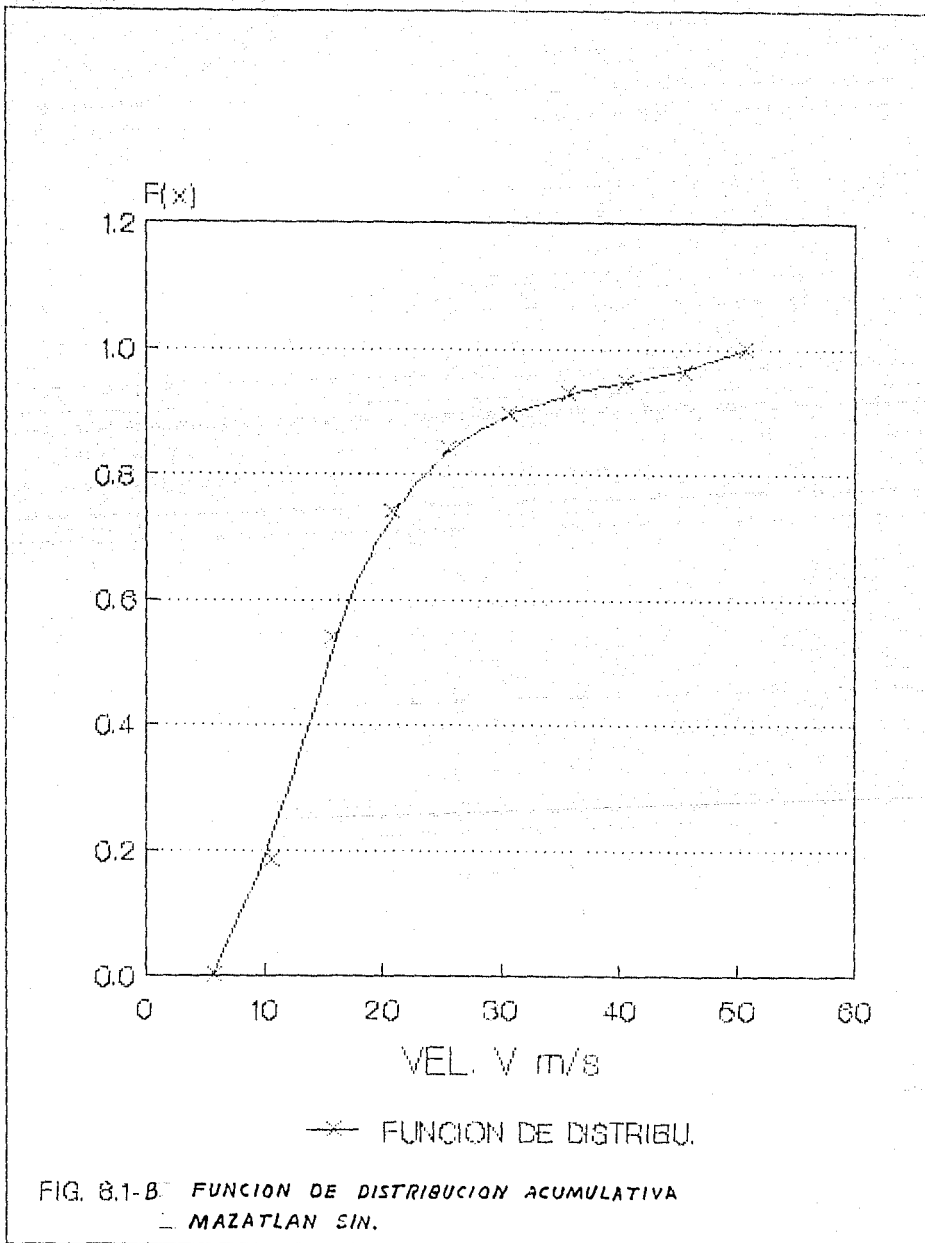


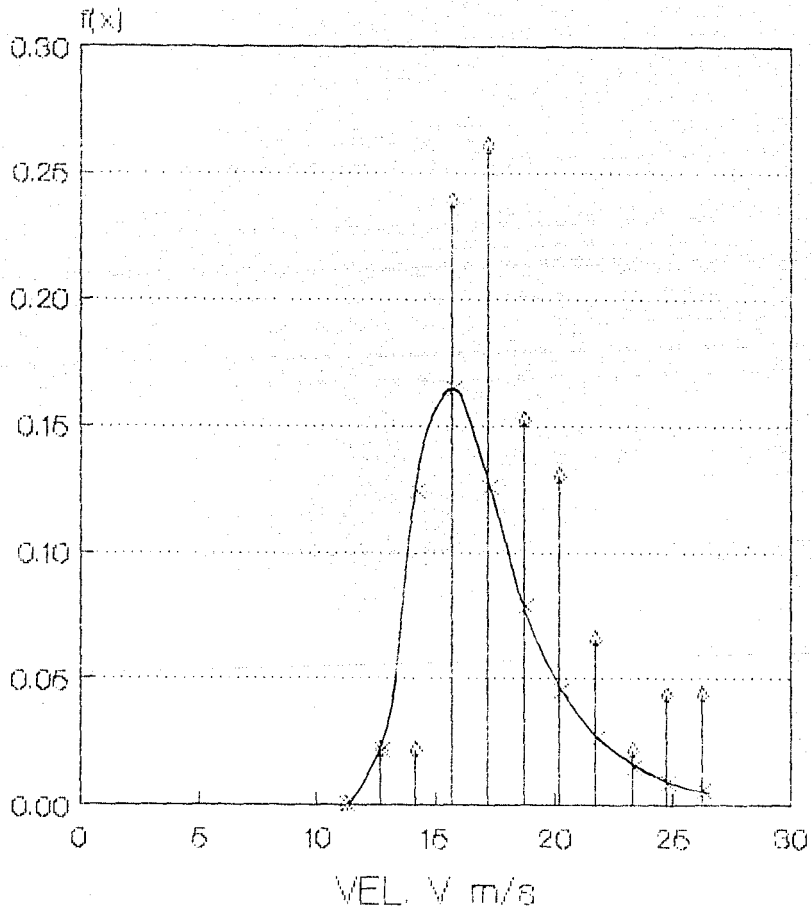
FIGURA 7.3. FUNCION DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD



× FUNCION DE DENSIDAD    ◇ FREQ. RELATIVAS

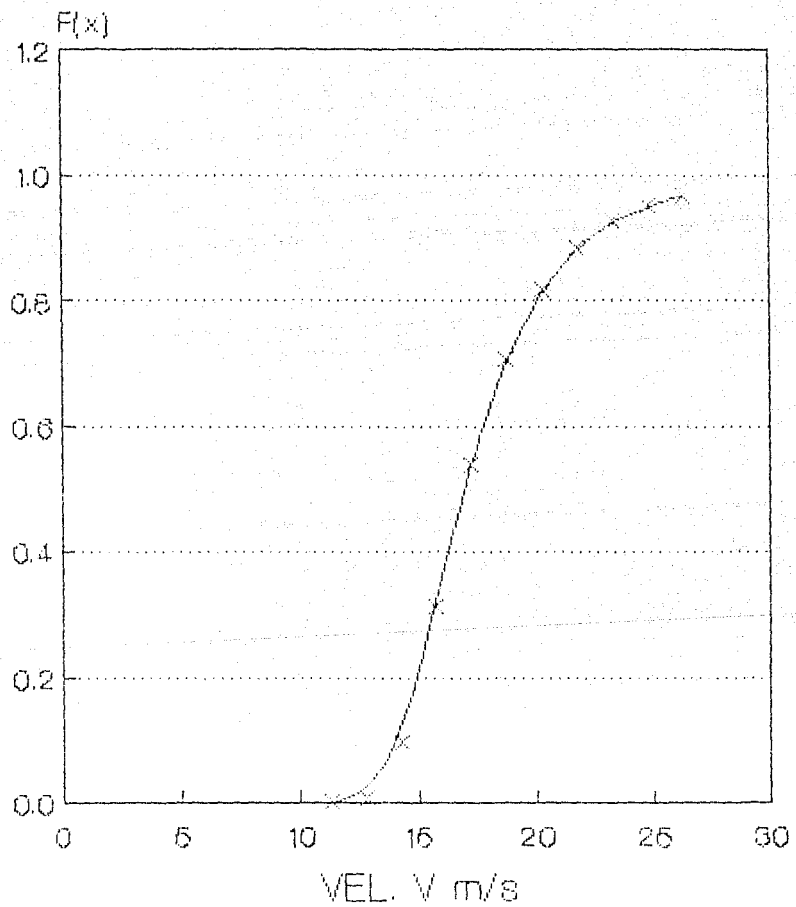
FIG. 8.1-A HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS Y FUNCION DE DENSIDAD MAZATLAN SIN.





× FUNCION DE DENSIDAD    ↕ FREQ. RELATIVAS

FIG. 8.2-A HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS Y FUNCION DE DENSIDAD  
TACUBAYA, MEXICO D.F.

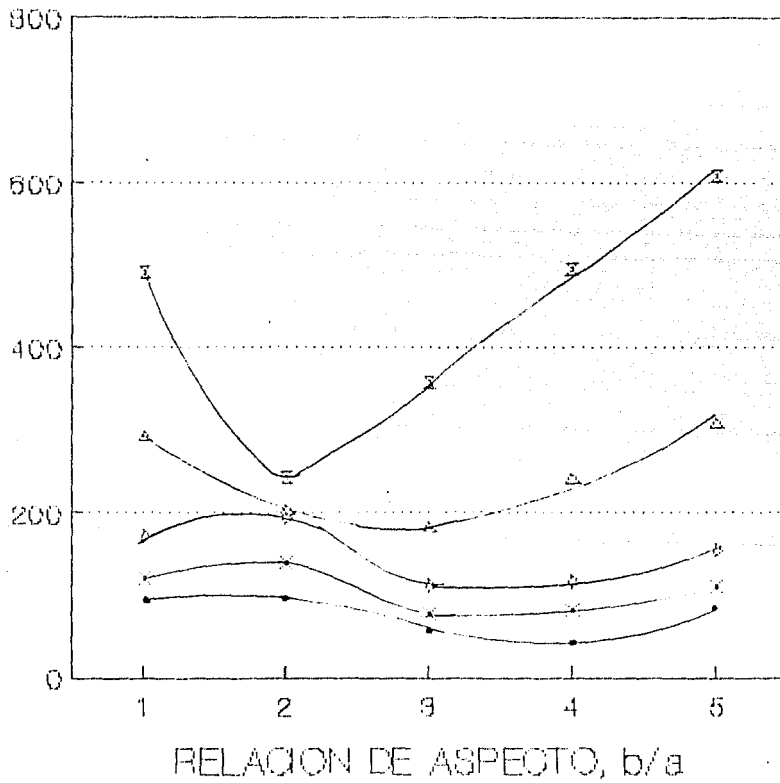


—x— FUNCION DE DISTRIBU.

FIG. 8.2-8 FUNCION DE DISTRIBUCION ACUMULATIVA  
TACUBAYA, MEXICO D.F.

# PLACA DE ESPESOR 0.58 cm.

PRESION DE DISEÑO POR VIENTO,  $P$  ( $Kg/m^2$ )

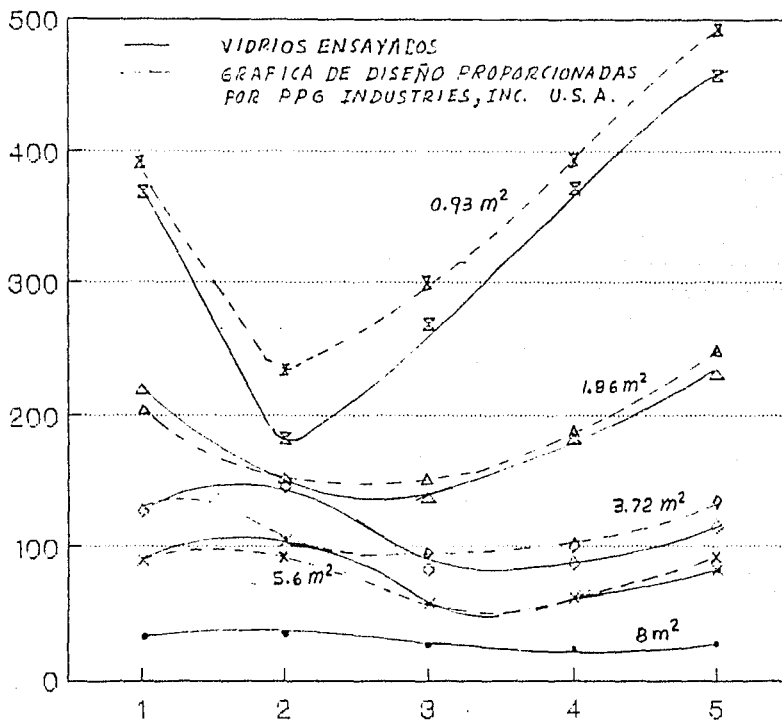


• 8 m<sup>2</sup>.    x 6 m<sup>2</sup>.    ◇ 4 m<sup>2</sup>.    △ 2 m<sup>2</sup>.  
I 1 m<sup>2</sup>.

FIG. 9.1 GRAFICAS PARA DISEÑO DE VIDRIOS

# PLACA DE ESPESOR 0.58 cm.

PRESION DE DISEÑO POR VIENTO,  $P$  ( $Kg/m^2$ )



RELACION DE ASPECTO,  $b/a$

- 8  $m^2$ .
- × 6  $m^2$ .
- ◇ 4  $m^2$ .
- △ 2  $m^2$ .
- 1  $m^2$ .

FIG. 9.2 GRAFICAS PARA DISEÑO DE VIDRIOS

TABLA 3.1

ALTURA Y EXPONENTE PARA LA LEY DE POTENCIA

CATEGORIA	RUGOSIDAD	CANADA		U. S. A.	
		H <sub>6</sub> (m)	$\alpha$	H <sub>6</sub> (m)	$\alpha$
1	CAMPO ABIERTO, COSTAS, ETC.	275	0.16	275	0.14
2	AREAS SUBURBANAS, CIUDADES PEQUEÑAS, ETC.	375	0.28	365	0.22
3	CENTROS DE CIUDADES GRANDES, TERRENOS RUGOSOS.	520	0.40	455	0.33

VELOCIDAD MEDIA

TABLA 3.2

EXPONENTE  $\alpha$  PARA LA LEY DE POTENCIA CORRESPONDIENTE  
A RAFAGA

CATEGORIA	RUGOSIDAD	AUSTRALIA	GRAN BRETAÑA		
		2-3 S	3 S	5 S	15 S
1	CAMPO ABIERTO, COSTAS, ETC.	0.070	0.080	0.090	0.100
2	AREAS SUBURBANAS, CIUDADES PEQUEÑAS, ETC.	0.085	0.085	0.095	0.105
3	CENTROS DE CIUDADES GRANDES, TERRENOS RUGOSOS, ETC.	0.200	0.090	0.105	0.115



TABLA 3.3

Ecuación de Mackey para conversiones de velocidades de viento horarias a velocidades de viento promediado en un tiempo t.

Intensidad de turbulencia I	Tiempo promedio t( seg )									
	3600	600	300	60	30	10	5	3	1	
Ciudades	0.26	1.00	1.202	1.279	1.461	1.538	1.662	1.738	1.797	1.922
Campo abierto	0.16	1.00	1.108	1.150	1.248	1.290	1.356	1.398	1.430	1.496
Costas	0.08	1.00	1.047	1.062	1.102	1.120	1.147	1.164	1.177	1.205

$$Vt/Vh = 1 - 0.6226(I)^{1.2716} \ln t/T$$

TABLA 5.1

Información obtenida del analizador de espectros para la placa de vidrio no: 1.

ACCELEROMETROS		MV	f	FTA	$\theta^\circ$	COHE	$W_A$	$W_B$
A	B							
1	1	1	16	0.514	0	0.95	1.700	0.888
		2	40	0.584	0	0.94	0.830	0.502
		3	86	0.516	1	1.00	5.670	2.920
1	2	1	16	0.357	- 20	0.03	1.250	0.492
		2	40	1.180	- 185	0.77	0.659	1.100
		3	88	0.406	- 21	0.99	4.970	1.970
1	3	1	16	0.360	2	0.75	0.666	0.261
		2	40	1.690	- 7	0.99	0.965	1.670
		3	88	0.464	- 17	1.00	2.610	1.210
1	4	1	16	0.366	- 3	0.81	0.984	0.396
		2	40	0.303	4	0.82	0.782	0.261
		3	88	0.214	- 111	0.93	3.520	0.743
1	5	1	16	0.355	0	0.81	0.994	0.396
		2	40	0.446	- 20	0.86	0.801	0.176
		3	86	0.226	- 126	0.97	3.170	0.714
1	6	1	16	0.245	- 12	0.75	1.160	0.323
		2	40	0.680	- 174	0.67	0.598	0.483
		3	88	0.183	- 113	0.98	4.460	0.811
1	7	1	16	0.315	- 8	0.91	1.060	0.338
		2	40	0.831	- 180	0.86	0.444	0.396
		3	74.4	1.120	- 17	0.94	2.320	2.660
1	8	1	16	0.231	- 10	0.86	1.130	0.270
		2	40	0.924	- 38	0.39	0.367	0.357
		3	87.2	0.200	- 118	0.99	2.330	4.630
1	9	1	16	0.293	- 1	0.82	1.090	0.347
		2	40	1.330	- 12	0.94	1.210	1.670
		3	88	0.116	- 68	0.96	4.130	0.473

Donde MV Modo de vibrar.  
f Frecuencia natural.  
 $\theta$  Angulo de fase.  
FTA Función de transferencia de amplitudes.  
 $W_A$  ,  $W_B$  Densidad espectral en los acelerómetros  
A y B respectivamente.  
COHE Coherencia.

TABLA 6.2

Información obtenida del analizador de espectros para la placa de vidrio no: 2.

ACELEROMETROS		MV	f	FTA	$\theta^\circ$	COHE	$W_A$	$W_B$
A	B							
1	1	1	17.6	0.442	- 3	0.94	1.54	0.579
		2	48.8	0.352	- 3	0.97	2.70	0.965
		3	88.0	0.449	0	0.95	1.54	0.772
1	2	1	17.6	0.354	4	0.82	1.06	0.386
		2	48.8	0.531	6	0.93	2.00	1.160
		3	74.4	0.085	- 70	0.69	5.31	0.386
1	3	1	17.6	0.377	- 10	0.93	1.64	0.579
		2	48.8	0.574	- 138	0.89	3.38	2.030
		3	74.4	0.108	77	0.60	2.89	0.289
1	4	1	16.8	0.386	4	0.93	1.83	0.579
		2	48.8	4.450	- 157	0.92	1.83	9.360
		3	74.4	0.501	- 28	0.96	3.18	1.640
1	5	1	17.6	0.342	- 9	0.91	1.64	0.579
		2	48.8	5.400	19	0.95	1.74	9.650
		3	75.2	0.291	- 7	0.95	3.67	1.060
1	6	1	17.6	0.235	- 6	0.88	2.12	0.386
		2	48.8	2.350	- 146	0.87	2.89	7.330
		3	74.4	0.548	17	0.97	4.54	2.410
1	7	1	16.0	0.294	- 9	0.90	0.58	0.096
		2	48.8	2.860	23	0.86	2.03	6.270
		3	74.4	0.821	- 148	0.89	3.96	3.470
1	8	1	17.6	0.275	- 18	0.85	1.64	0.336
		2	48.8	2.560	27	0.93	3.47	9.550
		3	73.6	0.684	58	0.89	4.54	3.280
1	9	1	17.6	0.251	- 15	0.84	1.83	0.386
		2	48.8	3.240	- 154	0.90	2.70	9.550
		3	75.2	0.562	- 142	0.95	4.05	2.220

ESTA TESIS NO DEBE

TABLA 6.3

ESTAR EN LA BIBLIOTECA

TABLA 6.3

Información obtenida del analizador de espectros para la placa de vidrio no: 3

ACCELEROMETROS		MV	f	FTA	$\theta^\circ$	COHE	$W_A$	$W_B$
A	B							
1	1	1	16.8	0.501	1	0.97	2.32	1.060
		2	49.6	0.540	- 9	0.97	1.74	0.869
		3	74.4	0.501	1	1.00	4.34	2.120
1	2	1	15.2	0.360	- 5	0.95	2.41	0.772
		2	48.0	2.620	-141	0.86	2.89	8.300
		3	76.0	0.369	- 30	0.97	4.54	1.640
1	3	1	16.8	0.340	3	0.98	2.70	0.869
		2	48.0	2.070	25	0.90	3.76	0.490
		3	72.8	0.266	- 66	0.60	6.95	1.740
1	4	1	16.0	0.327	14	0.96	3.09	0.869
		2	48.0	6.900	- 7	0.98	2.89	20.800
		3	74.4	0.348	- 20	0.97	4.34	1.450
1	5	1	14.4	0.367	- 16	0.96	3.09	1.060
		2	48.0	7.310	-171	0.92	3.47	27.600
		3	73.6	0.192	32	0.94	6.37	1.160
1	6	1	15.2	0.713	0	0.89	0.87	0.772
		2	48.0	0.089	58	0.89	7.72	0.675
		3	72.8	0.629	55	0.99	3.18	1.930
1	7	1	15.2	0.920	8	0.93	0.77	0.772
		2	48.8	0.036	163	1.00	11.40	0.579
		3	76.0	1.080	82	0.75	1.45	1.930
1	8	1	16.0	0.821	11	0.93	0.17	0.772
		2	48.0	0.074	-105	0.65	8.01	0.675
		3	72.0	1.970	70	0.95	1.16	2.410
1	9	1	17.6	0.840	11	0.93	0.87	0.772
		2	48.8	0.067	50	0.74	12.30	0.869
		3	72.8	1.400	132	0.96	1.74	2.700

TABLA 6.4

Información obtenida del analizador de espectros para la placa de vidrio no: 4

ACELEROMETROS		MV	f	FTA	$\theta^\circ$	COHE	$W_A$	$W_B$
A	B							
1	1	1	16.0	0.506	2	0.99	4.63	2.32
		2	46.4	0.727	15	0.92	2.61	1.83
		3	34.0	0.505	1	1.00	3.97	4.44
1	2	1	16.0	0.407	1	0.98	3.47	1.35
		2	42.4	1.160	-132	0.94	2.32	2.89
		3	30.0	0.333	-7	0.99	7.43	2.41
1	3	1	16.0	0.330	-5	0.37	3.67	1.16
		2	43.2	2.280	2	0.97	2.22	5.02
		3	79.2	0.277	10	0.99	7.04	1.93
1	4	1	16.0	0.384	6	0.92	4.92	1.83
		2	44.8	11.800	196	0.93	1.83	25.20
		3	90.4	0.314	37	0.80	4.44	1.45
1	5	1	15.2	0.341	-4	0.98	4.44	1.54
		2	44.8	10.600	5	0.95	2.32	26.50
		3	90.4	0.384	-126	0.91	4.44	1.64
1	6	1	15.2	0.310	5	0.98	3.96	1.16
		2	46.4	6.770	-137	0.89	2.32	17.00
		3	91.2	0.422	-141	0.80	5.21	2.22
1	7	1	16.0	0.324	-5	1.00	5.40	1.64
		2	45.6	7.480	31	0.88	2.12	18.20
		3	35.6	0.123	-103	0.75	5.98	0.77
1	8	1	16.0	0.282	2	0.98	3.06	1.06
		2	44.8	7.400	2	0.93	1.83	15.60
		3	30.8	0.267	-182	0.96	6.37	1.64
1	9	1	16.0	0.222	2	0.94	4.44	0.87
		2	46.4	6.510	-131	0.81	2.32	17.80
		3	79.2	0.186	-21	0.87	7.53	1.35

TABLA 6.5

## PROPIEDADES DE LAS PLACAS ENSAYADAS

PLACA NO:	1	2	3	4	UNIDADES
E	7.4E5	7.21E5	7.10E5	7.17E5	kg/cm <sup>2</sup>
P.V.	2.47	2.44	2.44	2.44	gr/cm <sup>3</sup>
$\nu$	0.22	0.22	0.22	0.22	
W	19.0	20.37	20.37	20.37	kg
$\rho$	1.43E-6	1.46E-6	1.46E-6	1.46E-6	kg s <sup>2</sup> /cm <sup>4</sup>
t	0.57	0.58	0.58	0.58	cm
Modo 1	21.38	21.45	21.29	21.39	HZ
Modo 2	53.45	53.63	53.22	53.48	HZ
Modo 3	85.52	85.81	85.16	85.57	HZ

Donde E: Módulo de young.

P.V. Peso volumétrico de la placa.

$\nu$  Relación de Poisson.

W Peso total de cada placa.

$\rho$  Densidad de masa de la placa.

t Espesor de la placa.

TABLA 6.6

PUNTOS	COORDENADAS		DESPLAZAMIENTO		
	X	Y	$m=n=1$	$m=1, n=2$	$m=n=2$
1	58	58	1.0	0.0	0
2	29	58	0.7071	0.0	0
3	87	58	0.7071	0.0	0
4	58	29	0.7071	1.0	0
5	58	87	0.50	-1.0	0
6	29	29	0.50	0.7071	1
7	29	87	0.50	-0.7071	-1
8	87	87	0.50	-0.7071	1
9	87	29	0.50	0.7071	-1
FRECUENCIAS NATURALES (HZ)			21.38	53.44	85.51

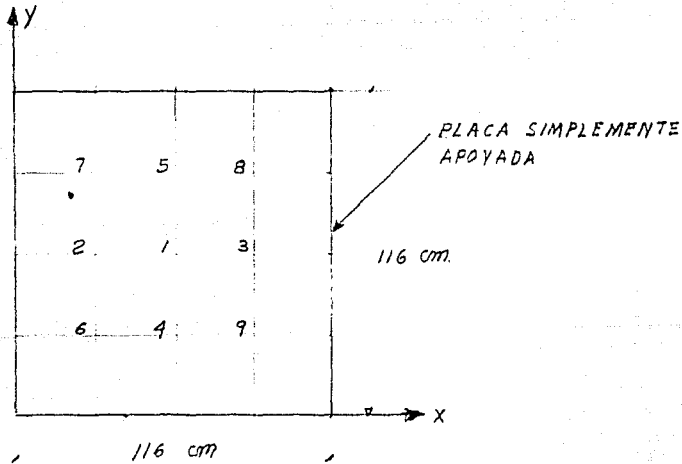




TABLA 7.1

Resultados experimentales de vigas de vidrio de  
20.4x4.1x.58 cm ensayadas hasta la ruptura.

Vidrio No.	Esfuerzo de ruptura en kg/cm <sup>2</sup> .	Desplazamiento en el centro de la viga en cm.
1	579.0 (kg/cm <sup>2</sup> )	3.93 (cm)
2	548.0	3.86
3	579.0	3.94
4	556.7	3.91
5	556.7	3.94
6	452.6	3.93
7	792.0	3.86
8	650.0	3.89
9	452.6	4.10
10	437.1	4.00
11	421.5	4.15
12	421.5	4.21
13	426.0	4.02
14	434.8	3.86
15	450.4	3.83
16	452.6	3.74
17	437.1	4.05
18	437.1	4.02
19	426.0	4.09
20	421.5	3.94
21	426.0	4.05
22	419.3	4.19
23	428.2	4.01
24	428.2	3.93
25	412.7	4.04
26	419.3	3.98
27	432.6	3.93

Tabla 9.1

VELOCIDADES DE VIENTOS MAXIMOS ANUALES REGISTRADOS EN  
EL OBSERVATORIO DE TACUBAYA MEXICO D.F.

ANO	VELOCIDAD (m/s)	ANO	VELOCIDAD (m/s)
1941	19.5	1964	16.7
1942	16.0	1965	25.4
1943	24.9	1966	18.1
1944	16.3	1967	17.0
1945	17.5	1968	17.0
1946	16.8	1969	22.2
1947	--	1970	22.7
1948	17.9	1971	16.8
1949	18.6	1972	15.3
1950	26.0	1973	21.0
1951	15.2	1974	15.3
1952	20.6	1975	20.9
1953	--	1976	21.7
1954	--	1977	19.6
1955	15.7	1978	18.3
1956	16.2	1979	17.7
1957	19.3	1980	18.2
1958	22.0	1981	16.2
1959	17.9	1982	16.0
1960	14.0	1983	17.0
1961	16.1	1984	17.0
1962	16.2	1985	12.9
1963	18.0	1986	17.9
		1987	20.2
		1988	26.0
		1989	20.2

TABLA 9.2

VELOCIDADES DE VIENTO MAXIMAS ANUALES REGISTRADAS EN  
EL OBSERVATORIO DE MAZATLAN SIN.

ANO	VELOCIDAD (m/s)	ANO	VELOCIDAD (m/s)
1962	10.0	1976	18.0
1963	9.0	1977	22.5
1964	8.0	1978	20.0
1965	8.0	1979	15.0
1966	12.0	1980	19.0
1967	---	1981	20.0
1968	35.0	1982	---
1969	43.0	1983	---
1970	14.0	1984	---
1971	47.2	1985	18.2
1972	14.0	1986	22.4
1973	8.0	1987	16.8
1974	18.0	1988	15.2
1975	51.5	1989	16.8

TABLA 9.3

Carga uniformemente distribuida para placas con diferentes relaciones de aspecto.

[  $t = 0.53 \text{ cm}$ ,  $a = \sqrt{\text{Area}/4 \cdot R}$  ]

Area=  $1 \text{ m}^2$

b/a	1	1.5	2	3	4	5
a	50.00	40.80	35.30	28.90	25.00	22.40
m	2.80	1.90	1.40	0.95	0.71	0.57
Pn	3.80	1.25	-0.46	0.31	0.24	0.19
P	488.00	362.00	240.00	357.00	493.00	606.00
(diseño) Pd	366.90	272.20	180.40	268.40	370.70	455.60

Area=  $2 \text{ m}^2$

b/a	1	1.5	2	3	4	5
a	70.70	57.70	50.00	40.80	35.30	31.60
m	5.70	3.85	2.80	1.90	1.40	1.14
Pn	9.00	4.20	1.56	0.62	0.46	0.38
P	289.00	304.00	200.00	179.80	238.00	306.00
(diseño) Pd	217.30	228.60	150.40	135.20	178.90	230.10

Area=  $4 \text{ m}^2$

b/a	1	1.5	2	3	4	5
a	100.00	81.60	70.70	57.70	50.00	44.70
m	11.40	7.60	5.70	3.80	2.80	2.30
Pn	21.00	9.50	6.00	1.50	0.90	0.76
P	168.70	172.20	193.00	109.00	115.00	153.00
(diseño) Pd	126.80	129.50	145.10	81.90	86.50	115.00

continuación TABLA 9.3 ...

Area= 6 m<sup>2</sup>

a	122.50	100.00	86.60	70.70	61.20	54.80
on	17.10	11.40	8.50	5.70	4.30	3.40
F <sub>n</sub>	33.00	15.00	9.50	2.30	1.40	1.20
P	118.00	120.50	136.00	74.00	80.20	107.60
(diseño) Pd	88.72	90.60	102.25	55.60	60.30	80.40

Area= 8 m<sup>2</sup>

a	141.40	115.50	100.00	81.60	70.70	63.20
on	22.70	15.20	11.40	7.60	5.70	4.50
F <sub>n</sub>	46.00	20.50	12.50	3.75	1.90	1.20
P	92.40	92.50	100.40	68.00	61.10	75.50
(diseño) Pd	69.50	69.50	75.50	51.10	45.90	56.80