

00164



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

---

FACULTAD DE ARQUITECTURA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

ANALISIS DE VIENTO EN LA CONCEPCION Y  
DISEÑO ARQUITECTONICO DE SUPERFICIES  
ANTICLASTICAS.

**T E S I S**  
Q U E P R E S E N T A  
PABLO DAVID CHAVEZ CARRIZOSA  
PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN ARQUITECTURA-TECNOLOGIA

MEXICO, D. F.

MM

281800



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

**Jurado:**

Director de Tesis:

Mtro. en Arq. Alejandro Rojas Contreras.

Asesores:

Propietarios:

Mtro. en Arq. Francisco Reyna Gómez.

Mtro. en Arq. Jorge Rangel Dávalos.

Suplentes:

Mtra. en Ing. Perla Santa Ana Lozada.

Mtro. en Arq. Agustín Hernández Hernández.

## **Agradecimientos.**

### **A mis hijos Miguel y Aline.**

Por la paciencia, su compañía, que tuvieron cuando cursando los estudios de maestría estuvieron acompañándome todos los días por la tarde, esperando no defraudarlos jamás.

### **A mi esposa.**

Por el apoyo moral, que me brindo para iniciar los estudios y durante estos, así como, la paciencia, su compañía durante todos estos años.

### **A mi padre.**

Por la confianza que me tiene para terminar todo lo que inicio, el apoyo moral y económico durante los estudios y la elaboración del presente documento. Gracias.

### **A mi abuela paterna.**

Gracias por toda tu ayuda siempre estaras presente en mi.

### **Mtro. En Arq. Ing. Alejandro Rojas Contreras.**

Por todas las enseñanzas que me ha heredado, los consejos y forma de ver la vida desde un punto distinto al que conocia. Su filosofía nunca la olvidaré. El respeto, gratitud y humildad con la que me dirijo a usted siempre será perpetua. Muchas gracias maestro.

### **A mis asesores.**

Fueron mis maestros, de tal manera que su influencia fue trascendente para la elaboración de este documento. Gracias Maestros.

### **Mtro en C. Enrique Martínez Romero.**

Todas sus enseñanzas siempre las conservare, así como, nunca olvidare la paciencia especial con la que me trato en su clase. Gracias maestro.

### **Mtro. en Ing. Neftali Rodríguez Cuevas.**

Por los consejos que me brindo para entender el análisis eolítico. Gracias maestro.

### **Ing. Lorenzo Hernández Reyes.**

Por su tiempo que me dedico, durante mis estudios y la elaboración del presente documento.

### **Mtro. en Arq. Bernardo Calderón Cabrera.**

Maestro, usted fue la persona por la que conoci la unidad de posgrado de arquitectura, le agradezco todas sus enseñanzas, gracias maestro.

### **Lic. Leticia Carrillo Fernández.**

Por su valiosa colaboración en la revisión de estilo y forma del presente documento.

### **A la Univesidad del Valle de México.**

Y a todas las personas que colaboraron conmigo ya sea de forma directa o indirecta, gracias a ellos no se hubiera podido realizar el presente documento.

<b>Introducción.</b>	<b>1</b>
<b>Antecedentes</b>	<b>3</b>
<b>Título Primero. Viento</b>	
<b>Capítulo 1, Clasificación y Efectos.</b>	
1.1.- Compendio sobre el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal y al Manual de Diseño de Obras Civiles, "Diseño por Viento" por Comisión Federal de Electricidad.	4
1.2.- Clasificación de las estructuras según su respuesta ante la acción del viento.	4
1.3.- Efectos del viento a considerar.	5
1.4.- Determinación del tipo de análisis eólico.	6
1.5.- Determinación de la velocidad de diseño.	6
<b>Capítulo 2, Agentes Externos.</b>	
2.1.- Categorías de terrenos y clases de Estructuras.	7
2.2.- Velocidad regional (Mapas de Isotacas CFE)	8
2.3.- Factor de Exposición.	9
2.3.1.- Factor de Tamaño	
2.3.2.- Factor de rugosidad y altura.	
2.4.- Factor de Topografía.	11
2.5.- Presión Dinámica en la base.	12
<b>Título Segundo. Paraboloide hiperbólico como Cubierta Ligera.</b>	
<b>Capítulo 3, Superficies.</b>	
3.1.- Clasificación de las superficies.	14
3.1.1.- Curvatura Gaussiana Positiva.	
3.1.2.- Curvatura Gaussiana Negativa.	
3.1.3.- Curvatura Gaussiana Nula.	
3.2.- Definición de cascarón.	15
3.3.- Definición de membrana.	15
3.4.- Construcción del Paraboloides Hiperbólico.	16

3.5.- Definición del paraboloides hiperbólico.	18
3.5.A.- Superficie de traslación.	
3.5.B.- Superficie reglada.	
<b>Titulo Tercero. Propuesta de análisis de diseño por viento para superficies anticlasticas.</b>	
<b>Capitulo 4, Presedentes.</b>	
4.1.- Análisis Estático.	20
4.2.- Limitaciones.	20
4.3.- Resumen de análisis de viento para una cubierta de arco circular según las normas técnicas complementarias de diseño por viento.	20
4.4.- Presión exterior.	21
<b>Capitulo 5, Metodología Propuesta.</b>	
5.1.- analisis de curvas.	22
5.2.- Coeficientes de presión.	25
<b>Titulo Cuarto. Ejemplo de aplicación del método propuesto.</b>	
<b>Capitulo 6, Analogia entre el Método Propuesto y los Resultados del Túnel de Viento.</b>	
6.1.- Análisis de viento.	28
6.2.- Cálculo de coeficientes de presión para la parábola principal A (PPA).	29
6.3.- Cálculo de coeficientes de presión para la parábola principal B (PPB).	30
6.4.- Coordenadas de los nodos de intersección de las parábolas principales y secundarias.	31
6.5.- Recomendaciones.	54
<b>Conclusiones.</b>	55
<b>Bibliografía.</b>	59
<b>Glosario de Abreviaturas.</b>	60
<b>Corolarios</b>	I
<b>Anexo</b>	X

## Introducción.

El título "Análisis de Viento en la Concepción y Diseño Arquitectónico de Superficies Anticlasticas" surge de la palabra griega analysis que significa descomposición, desatar, descomponer es decir distinción y separación de las partes de un todo con el fin de llegar a conocer sus principios o elementos.

En la edad antigua y parte de la moderna, el análisis tomó el sentido de la matemática, presentando así, el Metodo de Analisis con dos características:

- 1.- Descomponer lo complejo en lo simple.
- 2.- Descender de proposiciones dadas a una proposición evidente apoyándose en otra proposición que se intenta demostrar y que se acepta como verdadera.

Por otra parte, viento es la corriente de aire producida en la atmósfera por causas naturales, formando corrientes conectivas en la atmósfera que tienden a igualar el calentamiento diferencial en diversas zonas de la tierra es decir, el sol calienta unas partes más que otras, por lo cual el viento distribuye ese calor de manera más uniforme por todo el mundo.

El aire se mueve en virtud de las diferencias de presión ya que éste al calentarse, se expande haciéndose más ligero al subir dejando un área de baja presión sin embargo el aire frío, es más pesado y tiende a bajar dejando un área de alta presión, por lo que podemos decir, que el viento soplará de las zonas de alta presión a las de baja presión.

El objetivo de esta investigación, es proporcionar bases sólidas para el análisis de viento práctico, para superficies del tipo Paraboloide Hiperbólico, ya que por sus características propias son poco usuales, haciendolas particularmente sensibles al viento.

Los resultados esperados en cuanto a la seguridad estructural del Paraboloide Hiperbólico por el método propuesto, son que sus reacciones y resultantes que se obtengan sean iguales de protegidas a los resultados de las pruebas del túnel de viento.

A continuación se presenta una clasificación de los vientos según su nombre, velocidad y presión.

Cabe mencionar que la presión fue obtenida con la formula<sup>1</sup>  $p=0.0075 V^2$ .

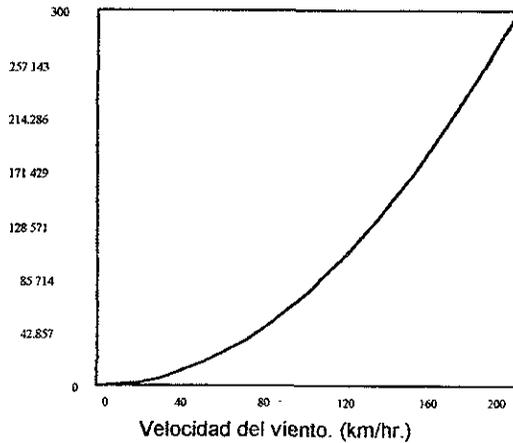
Nombre	Velocidad (Km./hr.)	Presión sobre una superficie. (kg./m <sup>2</sup> )
Calma	1	0.0075
Brisa	6	0.27
Viento fresco	40	12
Viento duro	70	36.75
Viento muy duro	80	48
Huracanado	100	75
Huracán	160	192

La siguiente gráfica muestra la formula empírica recomendada por el libro Design for lateral forces, cabe aclarar que las presiones marcadas en ésta no necesadamente son las que se utilizaran a lo largo del presente trabajo, ya que estas velocidades únicamente se utilizaron para poder clasificar la forma en que se divide el viento, y las posibles presiones que se pudieran obtener.

---

<sup>1</sup>Formula empírica tomada del libro  
"Design for Lateral Forces, Chapter Three"  
Bielak J., 1971

Presión de viento sobre una superficie. (kg/m<sup>2</sup>)



Una estructura ligera, se determina como aquella que su relación peso - área es pequeña, las estructuras ligeras son aquellas sensibles al viento por la geometría de la superficie, así como, el valor de la masa es susceptible a sufrir grandes deformaciones por los efectos del viento por lo cual este trabajo de investigación nace del estudio del reglamento de construcciones y sus normas técnicas complementarias de diseño por viento; mismos que no contemplan un capítulo para estructuras ligeras, tampoco se encuentran definidas dentro de estas mismas normas.

La presente investigación resulta importante, para los profesionales relacionados con el análisis de viento, ya que al realizar estos, en el túnel de viento, para diferentes geometrías de estructuras ligeras y compararlas con el método propuesto registrando los resultados en un documento, se podrán tomar como base para el análisis de superficies anticlásticas, ya que son el resultado de ensayos realizados en modelos de construcciones de características semejantes, como lo menciona el punto 2.4 de las normas técnicas complementarias de diseño por viento, así como para estudiantes y toda aquella persona que le interese la construcción de estructuras ligeras; teniendo el conocimiento previo del reglamento de construcciones y las normas técnicas complementarias de diseño por Viento.

Cabe mencionar que en esta investigación, se le llamara estructura a la distribución y orden de las partes que componen un todo, esto es, un conjunto de las relaciones existentes entre los diversos elementos que forman un todo en el que cada uno depende de los otros y existe en función del todo.

Así mismo, se realizará teniendo presente al reglamento de construcciones y sus normas técnicas complementarias, por ser un instrumento legal, así como, uno de los elementos que esta a mi disposición.

Por otra parte, con la intención de contener los resultados con parámetros autorizados y conocidos por diseñadores y constructores, se basara en la normatividad de Comisión Federal de Electricidad<sup>2</sup>, por ser la Institución que más ha construido en todo México, la que tiene una gran experiencia y que le ha interesado la investigación de todos estos fenómenos naturales.

<sup>2</sup> En lo sucesivo se denominara CFE.

## Antecedentes.

El arquitecto tiene que valerse de varios medios para lograr una obra arquitectónica que debe cubrir algunos requisitos, sea funcional, estética, o segura, mismas que no influyen en el valor mismo de la palabra, todas resultan importantes.

El arquitecto produce obras de arte, debemos entender qué está "haciendo", creando un objeto con un lenguaje fino, refinado, es algo artificial, diferente de lo que la misma naturaleza ha podido crear, apoyándose en este lenguaje que no es habitual y corriente, intuyendo que la obra arquitectónica es el fruto de un creador, con una dirección especial que nos lleva a darle el calificativo de arte y arquitectura.

El hombre por sí mismo tiene la capacidad y necesidad de construir, construye en todo momento, construye frases, pensamientos, inclusive construye estaciones espaciales y por medio de todo lo que construye nos expresamos. La expresión misma es una construcción, por lo que podemos construir juicios que elabora nuestro conocimiento a partir de la expresión de otros.

En una obra arquitectónica conviene emplear los conceptos para satisfacer tantas necesidades como sea posible, como el de resolver el mayor número de problemas y satisfacer el máximo de necesidades con la menor cantidad de conceptos posibles.

El arquitecto tiene la gran capacidad no solo para proponer formas y materiales con las que se compondrá una obra, sino también para resolver el problema técnico, la preparación escolar, tiende a ilustrar y a educar los talentos naturales del aspirante a Maestro en Arquitectura, el aprendizaje para el resolver adecuadamente un problema técnico lo referimos al dominio de la materia mecánica, el estudio referente a la ciencia aplicada a los fenómenos físicos, los fenómenos que intervienen en la permanencia de la obra como el Viento, Agua, Sismo entre otros.

Para poder analizar estos fenómenos debemos de sustentarnos en la ciencia, la revolución científica aquella que cambió el mundo de cosas ordenadas de acuerdo a su naturaleza propia, La ciencia permite desarrollar técnicas muy precisas para recrear fenómenos que pueden repetirse a voluntad y medirse en condiciones controladas, las causas de un fenómeno natural había que describirlas lo mejor posible en términos cualitativos y cuantitativos.

El hombre por medio de sus sentidos observaba la intensidad de los fenómenos naturales, estas sensaciones las medía de forma cualitativa, es decir, hace calor, me duele mucho, etc, sin embargo, las características del conocimiento científico reside directamente en su objetividad, es decir, la asociación de un valor numérico a una determinada propiedad física, el hombre lo transforma en algo cuantitativo, que es reproducible por sus características físicas de un fenómeno ha investigar

Por todo lo anterior la ciencia para poder reproducir y explicar fenómenos naturales, como es el caso del viento, ha creado instrumentos de medición para conocer la medición exacta, con los avances tecnológicos es posible obtener mediciones con un grado de precisión que podemos considerar exactos con las debidas reservas de incertidumbres al momento de medir.

*La exactitud de la medida es directamente proporcional a la exactitud de los instrumentos de medición,* por lo que todas las medidas son aproximadas.

El Instituto de Ingeniería de la UNAM cuenta con un túnel de viento para la solución de problemas de Arquitectura e Ingeniería relacionados directamente con el movimiento y comportamiento de los vientos y otros fluidos.

## Titulo Primero.

### Viento.

## Capitulo 1.

### Clasificación y Efectos.

#### 1.1.- Compendio sobre el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal y al Manual de Diseño de Obras Civiles, "Diseño por Viento" por Comisión Federal de Electricidad.

El Reglamento de las Construcciones del Distrito Federal en él capítulo VII se refiere al Diseño por Viento el cual menciona que toda construcción deberá ser diseñada para resistir los efectos del viento proveniente de cualquier dirección horizontal, así mismo deberá de ser revisada la estructura en su conjunto y los componentes sobre los que actúa el viento.

En las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento se hace mención que la estructura será revisada por los efectos de las fuerzas que producen las presiones de succión y empuje producidas en la superficie de la construcción y que son transmitidos al sistema estructural.

Es importante tener en cuenta el material con el que la estructura será recubierta, ya que las laminas de cubierta, elementos de fachada y vidrios son sensibles a los efectos del viento, así mismo, la geometría del elemento o del proyecto representa de forma contundente la respuesta de la estructura ante las acciones del viento

Existe una clasificación de las estructuras según su forma, altura, geometría y nivel de importancia social, estas se dividen en 4 tipos que se detallarán a continuación según Normas Técnicas Complementarias de diseño por viento.

#### 1.2.- Clasificación de las estructuras según su respuesta ante la acción del viento.<sup>3</sup>

*"Tipo 1.- Comprende las estructuras poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos del viento Incluye las construcciones cerradas techadas con sistemas de cubierta rígida; es decir que sean capaces de resistir las cargas debidas a viento sin que varíe esencialmente su geometría. Se excluyen las construcciones en que la relación entre altura y dimensión menor en planta es mayor que cinco o cuyo periodo natural de vibración excede de 2 seg Se excluyen las cubiertas flexibles, como las de tipo colgante desplantadas a nivel de suelo a menos que por la adopción de una geometría adecuada, la aplicación de preesfuerzo u otra medida se logre limitar la respuesta estructural dinámica "*

*"Tipo 2 - Comprende las estructuras cuya esbeltez o dimensiones reducidas de su sección transversal las hace sensibles a las ráfagas de corta duración, y cuyos periodos naturales largos favorecen la ocurrencia de oscilaciones importantes. Se cuentan en este tipo los edificios con esbeltez, definida como la relación entre la altura y la mínima dimensión en planta, mayor de 5 o con periodo fundamental mayor de 2 seg Se incluyen también las torres atrantadas o en voladizo para líneas de transmisión, antenas, tanques elevados, parapetos, anuncios, y en general las estructuras que presentan dimensión muy corta paralela a la dirección del viento, se excluyen las estructuras que explícitamente se mencionan como pertenecientes a los tipos tres y cuatro."*

*"Tipo 3.- Comprende estructuras como las definidas en el tipo 2 en que, además, la forma de la sección transversal propicia la generación periódica de vórtices o remolinos de ejes paralelos a la mayor dimensión de la estructura Son de este tipo las estructuras o componentes aproximadamente cilíndricos y de pequeño diámetro, tales como tuberías y chimeneas "*

---

<sup>3</sup>Normas Técnicas Complementarias.  
Diseño por viento  
Criterios de Diseño

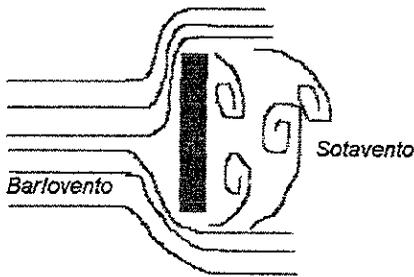
"Tipo 4 - Comprende las estructuras que por su forma o por lo largo de sus periodos de vibración presentan problemas aerodinámicos especiales. Entre ellas se hallan las cubiertas colgantes que no puedan incluirse en el Tipo 1"

"Estudios en Túnel de viento.

En construcciones de forma geométrica poco usual y con características que las hagan particularmente sensibles a los efectos de viento, el cálculo de dichos efectos se basará en resultados de estudio en túnel de viento. Podrán tomarse como base resultados existentes de ensayos realizados en modelos de construcción de características semejantes, cuando no se cuente con estos resultados o cuando se trate de construcciones de particular importancia deberá recurrirse a estudios de túnel de viento en modelos de la construcción misma."

### 1.3.- Efectos de viento a considerar.

El viento lo podemos considerar como una acción accidental por lo que los factores de carga y sus combinaciones deben tomarse como tal, y solo nos interesa este fenómeno cuando el viento alcanza grandes velocidades.



El viento al tomar una velocidad cualquiera y chocar contra algún elemento fijo tendrá que rodearlo, y en este momento ejercerá una serie de fuerzas sobre el elemento. Cuando las partículas del viento golpean directamente a la cara expuesta del elemento se le llama cara de barlovento y sobre esta se ejercerán fuerzas de empuje, la cara opuesta se le llama cara de sotavento, zona donde existirá una fuerza de succión.

Para este efecto se deberán de tener en cuenta los siguientes empujes, vibraciones e inestabilidad aerodinámica como se marca en las Normas Técnicas Complementarias de Diseño por Viento<sup>4</sup> en el punto 2.3.

A) Empujes y succiones estáticos.- Los empujes medios son aquellos cuando el viento corre paralelamente a la superficie. Estos son producidos por presiones y succiones del paso del viento de forma laminar, sobre la estructura en forma exterior como en interior y cuyos efectos son generales<sup>5</sup> y locales<sup>6</sup> y estos empujes los consideramos de forma estática porque su fluctuación en un período muy grande de tiempo es mínimo.

B) Empujes dinámicos paralelos y transversales a la dirección del viento principal, causados por turbulencias.- Estos empujes son fluctuaciones en el tiempo, "el viento contiene masas de aire que viajan a distintas velocidades las cuales no son constantes<sup>7</sup>", esto provoca que de un instante a otro existan cambios de velocidad por lo que cuando se tenga una superficie habrá cambios de presión de un instante a otro y esto tiene como consecuencia que influya de manera importante en la respuesta estructural.

C) Vibraciones transversales al flujo.- Cuando se encuentran cuerpos en particular cilindros o prismas, perpendiculares a la dirección del viento, se crea el desprendimiento de vórtices alternantes que a su vez provocan sobre los mismos cuerpos esfuerzos de presión y succión, como consecuencia se crean vibraciones transversales a la dirección del viento.

<sup>4</sup>En lo sucesivo se determinara como NTCDV.

<sup>5</sup>Para el diseño de la estructura en conjunto.

<sup>6</sup>Para el diseño de elementos estructurales y/o recubrimientos.

<sup>7</sup>Turbulencia

D) Inestabilidad aerodinámica.- La inestabilidad aerodinámica es cuando el periodo de vibrar de la estructura tiende a ser igual del periodo natural de las turbulencias y/o de los efectos de vórtice. Esta es la amplificación dinámica de la respuesta estructural causado por los efectos de geometría del proyecto y los diferentes ángulos de incidencia del viento.

#### 1.4.- Determinación del tipo de análisis eólico.

Existen básicamente 3 procedimientos para determinar las acciones del viento, el análisis estático, análisis dinámico y el tercero, llevar a cabo pruebas experimentales de modelos en túnel de viento.

El análisis estático se empleará cuando se trate de estructuras o elementos estructurales suficientemente rígidos, que no sean sensibles a los efectos dinámicos del viento.

El análisis dinámico se lleva a cabo cuando se presentan fuerzas importantes, provenientes de la interacción dinámica entre el viento y la estructura, como un ejemplo claro de este cualquier estructura de las de tipo membrana.

El tercero es el realizar a cabo pruebas experimentales de modelos en el túnel de viento, cabe destacar que estas pruebas de ensayo e interpretación de los estudios del túnel de viento sugerirán las técnicas reconocidas por los laboratorios y deberán ser aprobadas por el DDF. Estas pruebas deben realizarse cuando se desee conocer la respuesta dinámica de la estructura cuya geometría sea marcadamente diferente de las formas comunes.

#### 1.5.- Determinación de la velocidad de diseño (Vd.).

La velocidad de diseño es la velocidad elegida en base al reglamento de construcciones de la localidad para calcular los efectos del viento sobre la estructura, por ejemplo el artículo 216<sup>8</sup> indica que la velocidad de viento en el Distrito Federal<sup>9</sup> es de 80 km/hr sin embargo también podemos decir que la velocidad de diseño la obtendremos de la siguiente ecuación.

$$Vd = Ft * Fa * Vr$$

donde:

Ft = factor que depende de la topografía del terreno

Fa = factor que depende de las características locales tales como altura del edificio y la variación de la velocidad con respecto a esta misma.

Vr = la velocidad regional donde se construirá el proyecto, cabe mencionar que este dato se podrá obtener por los mapas de isotacas de Comisión Federal de Electricidad<sup>10</sup>, o por medio de los registros que se encuentran en el observatorio, o por medio de análisis de campo en la región.

Los mapas de isotacas que presenta CFE son elementos construidos con la información generada durante años de tomar medidas de velocidades de viento, en diferentes partes de la República. EL análisis de campo en la región, para poder determinar la velocidad regional se realiza tomando la velocidad durante un periodo de 5 años mínimo.

El fenómeno del viento tiene algunas características, el viento al entrar a tierra firme baja su velocidad, esto es porque la fricción que existe entre el terreno y el viento, podemos decir que mientras más alto o más alejado del suelo mayor velocidad tendrá este, cuando esta velocidad no es afectada por la fricción del suelo se le llama velocidad gradiente.

<sup>8</sup>Reglamento de Construcciones para el D.F.

<sup>9</sup>En lo sucesivo D.F

<sup>10</sup>En lo sucesivo se determinara como CFE

## Capítulo 2. Agentes Externos.

### 2.1.- Categorías de Terrenos y clases de estructura.

Para poder realizar nosotros cualquiera de los análisis sea Estático y/o Dinámico debemos conocer todos los factores que intervienen, en este caso las condiciones topográficas y de exposición locales del sitio donde tengamos nuestro proyecto.

Tabla 1 Categoría del terreno según su rugosidad <sup>11</sup>

Categoría	Descripción	Ejemplos	Limitantes.
1	Terreno abierto prácticamente plano y sin obstrucciones	Franjas costeras planas zonas de pantanos, campos aéreos pastizales y tierras de cultivo sin setos o bardas alrededores, Superficies nevadas planas.	La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 2000 m o 10 veces la altura de la obra por diseñar la mayor de las dos.
2	Terreno plano u ondulado con pocas obstrucciones	Campos de cultivo o granjas con pocas obstrucciones tales como setos o bardas alrededor, árboles y construcciones dispersas	Las obstrucciones tienen alturas de 1.5 a 10 m en una longitud mínima de 1500
3	Terreno cubierto por numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas.	Áreas urbanas, suburbanas y de bosque, o cualquier terreno con numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas. El tamaño de las construcciones corresponde al de las casas y viviendas	Las obstrucciones presentan alturas de 3 a 5 m. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 500m o 10 veces la altura de la construcción, la mayor
4	Terreno con numerosas obstrucciones largas altas y estrechamente espaciadas	Centros de grandes ciudades y complejos industriales bien desarrollados.	El 50% de los edificios tienen una altura mayor de 20 metros, las obstrucciones miden entre 10 y 30 m y la longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser la mayor entre 400 m y 10 veces la altura del proyecto

Otra clasificación podemos encontrarla en las Normas Técnicas Complementarias de diseño por viento en el punto 3.3 Corrección por exposición y por altura en el cual se presentan 5 casos.

- Caso I Edificios y construcciones cerradas
- Caso II Paredes aisladas y anuncios
- Caso III Estructuras reticulares.
- Caso IV Chimeneas silos y similares.
- Caso V Antenas o torres de sección pequeña.

<sup>11</sup>Tabla 1.1 Normatividad de CFE  
pag 1.4 13-C 1

## 2.2.- Velocidad regional. (Vr)

La velocidad regional es aquella máxima predominante probable con un cierto periodo de recurrencia, estas velocidades son tomadas a 10 m sobre el nivel de piso por lo que a éstas, la topografía y nivel de rugosidad no afecta, así mismo toma ráfagas con un periodo de 3 segundos. A continuación se presentara la tabla<sup>12</sup> 2 la cual indica las ciudades mas importantes con vigencia a 1996:

Nota explicativa. Vr - # Significa Vr = Velocidad Regional  
# = Periodo de retorno en numero de años.  
Este periodo representa el numero de años en que se puede presentar la velocidad indicada.

Tabla 2  
Ciudad

Ciudad	Velocidades en Km/h		
	Vr -10	Vr -50	Vr -200
Acapulco, Gro.	129	162	181
Aguascalientes, Ags	118	141	160
Campeche, Camp.	98	132	159
Cd. Guzmán, Jal.	101	120	132
Cd. Juárez, Chih.	116	144	158
Cd. Obregón, Son.	147	169	186
Cd. Victoria, Tamps.	135	170	197
Coatzacoalcos, Ver.	117	130	145
Colima, Col.	105	128	147
Colotlan, Jal.	131	148	161
Comitán, Chis.	72	99	124
Cozumel, Q. Roo	124	158	185
Cuernavaca, Mor.	93	108	120
Culiacán, Sin.	94	118	140
Chapingo, Edo. Mex.	91	110	126
Chetumal, Q. Roo	119	150	180
Chihuahua, Chih.	122	136	147
Chilpancingo, Gro.	109	120	131
Durango, Dgo.	106	117	126
Ensenada, B.C.	100	148	190
Guadalajara, Jal.	146	164	176
Guanajuato, Gto.	127	140	148
Guaymas, Son.	130	160	174
Hermosillo, Son.	122	151	179
Jalapa, Ver.	118	137	152
La Paz, B.C.	135	171	200
Laqos de Moreno, Jal.	118	130	141
León, Gto.	127	140	148
Manzanillo, Col.	110	158	195
Mazatlán, Sin.	145	213	240
Mérida, Yuc.	122	156	186
Mexicali, B.C.	100	149	190
México D.F.	98	115	129
Monclova, Coah.	123	145	159
Monterrey, N.L.	123	143	158
Morelia, Mich.	79	92	102

<sup>12</sup>Fuente: Planos de Isotacas de Comisión Federal de Electricidad.

Localidad	Vr -10	Vr -50	Vr -200
Nvo. Casas Gdes, Chih.	117	134	148
Oaxaca, Oax.	104	114	122
Orizaba, Ver.	126	153	172
Pachuca, Hgo.	117	128	137
Parral de Hgo, Chih.	121	141	157
Piedras Negras, Coah.	137	155	168
Progreso, Yuc.	103	163	198
Puebla, Pue.	93	106	117
Puerto Cortés, B.C.	129	155	172
Puerto Vallarta, Jal.	108	146	171
Querétaro, Qro.	103	118	131
Río Verde, SLP.	84	111	130
Salina Cruz, Oax.	109	126	146
Saltillo, Coah.	111	124	142
S.C. de las Casas, Chis.	75	92	105
S. Luis Potosí, SLP.	126	141	153
S. la Marina, Tamps.	130	167	204
Tampico, Tamps.	129	160	193
Tamuín, SLP.	121	138	155
Tapa chula, Chis.	90	111	132
Tepic, Nayarit.	84	102	115
Tlaxcala, Tlax.	87	102	113
Toluca, Edo de Mex.	81	93	102
Torreón, Coah.	136	180	193
Tulancingo, Hgo.	92	106	116
Tuxpan, Ver.	122	151	172
Tuxtla Gutiérrez, Chis.	90	106	120
Valladolid, Yuc.	100	163	198
Veracruz, Ver.	150	175	194
Villa hermosa, Tab.	114	127	138
Zacatecas, Zac.	110	122	131

Para entender mejor las velocidades regionales de esta tabla, podemos calcularlas de la siguiente forma:

- A) Se deberá acudir al observatorio nacional, o estatal.
- B) Se pedirán los registros de vientos dominantes por lo menos de los últimos 50 años ya que el promedio de vida útil de una obra se calcula para esta cantidad de años.
- C) Se observara cual es la velocidad máxima que se presento en la zona en el periodo de tiempo de 50 años y este valor será la velocidad regional Vr.

### 2.3.- Factor de exposición. (Fa)

Este factor involucra las variaciones de la velocidad del viento con respecto a la altura total del proyecto ya que la fricción del viento será menor inversamente proporcional a la altura del piso, esto es; a menor altura, mayor fricción; menor velocidad del viento; a mayor altura, menor fricción, mayor velocidad del viento, así mismo también se considera el tipo de recubrimiento que tenga la estructura, una superficie lisa provocara una menor fricción con el aire que una superficie rugosa. El factor de exposición se podrá calcular con la siguiente expresión:

$$Fa = Fc * Frz$$

Donde. Fc = Factor de tamaño y Frz = Factor de rugosidad y altura.

### 2.3.1.- Factor de Tamaño. (Fc)

Este factor toma en cuenta el tamaño de la construcción<sup>13</sup> y el tiempo de incidencia del viento sobre esta misma, ya que por cuestiones geográficas del ámbito natural existen obras que su estructura esta un 99% de su vida útil expuestas al viento, tal es el claro ejemplo de la cubierta de Cacaxtla<sup>14</sup> que cubre las ruinas y pinturas prehispánicas del mismo nombre.

Tipo	Clase de estructura	Fc
Todo elemento de recubrimiento de fachada, de ventanería y de techumbre con sujetadores, Así como elementos estructurales expuestos directamente a los efectos del viento, así como obras cuya dimensión sea horizontal o vertical mayor de 20 m.	A	1.0
Aquellas obras cuya mayor dimensión, sea vertical u horizontal sea mayor de 50m.	B	0.95
Aquellas que sobrepasen los 50 m sea de forma horizontal o vertical.	C	0.9

### 2.3.2.- Factor de rugosidad y altura. (Frz)

Este factor básicamente establece la relación entre la altura, medida a partir del nivel de terreno de desplante de la obra, contra la forma de la variación de la velocidad del viento, cabe mencionar que el las NTCDV en el punto 3.2 definen el factor Cz.

El factor Cz se tomará igual a 1 para alturas hasta de 10m sobre el nivel de terreno de desplante, esto es porque los estudios llevados a cabo en el instituto de ingeniería de la UNAM indican que de 10m o mas la fricción del terreno es menor, por lo tanto la velocidad aumenta a partir de esta altura, para alturas mayores de 10 m será igual a:

$$Cz = \frac{2}{a} \left( \frac{z}{10} \right)^2$$

Donde z = altura del área expuesta.

a = un factor que según el tipo de edificación puede ser 3.6, 4.5 o 7 para obras A, B o C respectivamente mencionadas en el punto 2.3.1.

Sin embargo el Maestro Nefalí Rodríguez Cuevas<sup>15</sup> y el Maestro Enrique Martínez Romero<sup>16</sup> recomiendan que el factor de rugosidad sea obtenido por las siguientes expresiones.

$$\begin{aligned} Frz &= 1.56 \left( \frac{10}{d} \right)^a && \text{si } z < 10 \text{ m} \\ Frz &= 1.56 \left( \frac{z}{d} \right)^a && \text{si } 10 < z < d \\ Frz &= 1.56 && \text{si } Z > d \end{aligned}$$

<sup>13</sup>Explicado en el punto 8 pagina 12 manual CFE

<sup>14</sup>Diseño estructural del M en i  
. Enrique Martínez Romero.

<sup>15</sup>Instituto de Ingeniería, UNAM  
Manual de diseño por viento. (CFE)

<sup>16</sup>Facultad de Ingeniería, UNAM  
Manual de diseño por viento. (CFE)

Donde:

a = Factor que determina la variación de la velocidad.  
d = la altura, medida a partir del nivel del terreno de desplante

Categoría del Terreno	Clase de estructura			d en m.
	A	B	C	
1	0.99	0.101	0.105	245
2	0.128	0.131	0.138	315
3	0.156	0.160	0.171	390
4	0.170	0.177	0.193	455

Valoremos el factor de rugosidad y altura, éste se encuentra condicionado a 1 por las Normas Técnicas Complementarias de Diseño por Viento a una altura de 10 m sobre el nivel del terreno. Que pasa si le damos 3 valores de 0 a 10 que sean 3, 10, y 15.

$$Cz = (z/10)^{(2/a)}$$

donde:

Z o n a			z = altura del edificio
A	B	C	
a	3.6	4.5	7

supongamos una Zona A

$$Cz = (3/10)^{(2/3.6)} \quad Cz = 0.51$$

$$Cz = (10/10)^{(2/3.6)} \quad Cz = 1$$

$$Cz = (15/10)^{(2/3.6)} \quad Cz = 1.25$$

Realmente lo que esta obteniendo el reglamento, es un coeficiente que permita incrementar la presión de diseño según la variación de la altura, sin embargo, es necesario que exista un valor mínimo que es fijado en 10 m, por lo que, cualquier altura menor a su coeficiente Cz será de 1 ya que si no se toma este valor la presión de diseño se vería reducida de forma sumamente drástica.

#### 2.4.- Factor de topografía. (Ft)

Para obtener este factor existen varios procedimientos, de los cuales algunos son más largos y otros más rápidos, cabe destacar que cualquiera de los métodos son igual de eficientes para considerar el efecto del factor topográfico.

- 1.- Modelos experimentales en túnel de viento.
- 2.- Trabajo de campo.
- 3.- Ecuaciones basadas en modelos experimentales.

Algunos investigadores han desarrollado los tres métodos anteriores y concluyeron que todo lo anterior se puede resumir en forma general en la siguiente tabla.

Sitios	Topografía	Ft
Protegido	P.1.- Base de promontorios y faldas de serranías del lado de sotavento.	0.8
	P.2.- Valles cerrados	0.9
Normales	N.1.- Terreno prácticamente plano, campo abierto, ausencia de cambios topográficos importantes, con pendientes menores que 5%.	1.0
Expuestos	E.1.- Terrenos inclinados con topografía entre 5 y 10%, valles abiertos y litorales planos.	1.1
	E.2.- Cima de promontorios, colinas o montañas, topografía mayor al 10%, Valles que formen un embudo o cañón, islas.	1.2

Sin embargo, si existieran dudas por los factores arriba presentados o que no se puedan identificar plenamente en el sitio en el cual se está trabajando, recomendamos recurrir al túnel de viento para poder dar los valores adecuados o utilizar en ultima instancia el mas critico. (1.2)

## 2.5.- Presión Dinámica en la base.

Presión dinámica de la base es aquella presión ejercida sobre una superficie perpendicular a la dirección del viento que tomara turbulencias con un periodo de 3 seg. de duración. Esta presión tendrá diferentes variantes según la velocidad del viento en la localidad, y la dirección del viento.

Esta la podemos determinar con la siguiente expresión.

$$qz = 0.0045 G Vd^2$$

Donde.

Vd = a la velocidad del viento en km/hr.

qz = presión dinámica de base con respecto a una altura Z sobre el nivel de terreno.

G = al factor de corrección por temperatura, y por altura con respecto al nivel del mar, esto es debido porque la presión barométrica esta en función de la altura de la localidad, al existir menor presión barométrica la presión ejercida por efecto de la velocidad del viento será mayor que cuando existe mayor presión barométrica.

$$G = \frac{0.392 j}{273 + t}$$

Donde.

j = Presión barométrica de la localidad en mm. de Hg.

t = Temperatura promedio en °C.

Tomaremos un ejemplo para ver de que forma influye la presión barométrica, supóngase una temperatura de 30° C. para dos localidades, estas dos localidades pueden ser Acapulco, Gro. y el Distrito Federal y que exista una velocidad de viento de 100 km/hr.

$t = 30^{\circ} \text{ C.}$   
 $j_1 = 1013 \text{ mm. de Hg. (presión barométrica de Acapulco)}$   
 $j_2 = 779 \text{ mm. de Hg. (presión barométrica del D.F.)}$   
 $G_1 = 1.31 \text{ (factor de corrección para Acapulco)}$   
 $G_2 = 1.0078 \text{ (factor de corrección para el D.F.)}$

La presión dinámica de la base esta definida como:

$qz = 0.0045 G Vd.$   
 $qz_1 = 0.0045 * 1.31 * 100^2 \quad qz_1 = 58.95 \text{ kg/m}^2 \text{ presión para Acapulco}$   
 $qz_2 = 0.0045 * 1.0078 * 100^2 \quad qz_2 = 45.351 \text{ kg/m}^2 \text{ presión para el D.F.}$

Por lo que se puede concluir que localidades que se encuentren a una altura cercanas al nivel del mar la presión dinámica de la base será mayor, a diferencia de localidades que se encuentren alejadas al nivel del mar.

Sin embargo, las Normas Técnicas Complementarias de Diseño por Viento en el punto 3.1 presión de diseño establece, será igual a  $30 \text{ kg/m}^2$  para todas las edificaciones excepto las del grupo A, y una presión de diseño igual a  $35 \text{ kg/m}^2$  para aquellas edificaciones que pertenezcan al grupo A.

Por lo anterior, se podrán utilizar las recomendaciones de cualquier manual de diseño por viento para poder determinar la presión dinámica de la base (presión de diseño), cuando la presión sea menor de los valores marcados en el párrafo anterior según el tipo de edificación, se deberán de tomar los mínimos dispuestos en el reglamento ( $30 \text{ kg/m}^2$  y  $35 \text{ kg/m}^2$ ).

Esto es, porque el reglamento de construcciones es un instrumento legal donde se pide lo mínimo requerido, de no realizarlo, se debe tener presente que estaríamos fuera de reglamento, violando así una serie de artículos por la que posteriormente se puede tener problemas legales.

**Título Segundo**  
**Paraboloide Hiperbólico como Cubierta Ligera.**

**Capítulo 3.**  
**Superficies.**

**3.1- Clasificación de las superficies.**

Gauss<sup>17</sup> menciona que en todos los planos que contiene en una misma normal a la superficie, es un punto P de ella; y existe en general, uno para el que la curvatura normal es máxima y otro para el que la curvatura es mínima. Las secciones que estos planos determinan se llaman secciones normales principales en el punto P de la superficie. Sin embargo, Gauss les llama curvaturas positivas o negativas, ya que al analizar la superficie podemos obtener en dos planos la síntesis de la superficie, esto es, que con dos curvas se puede analizar una superficie.

3.1.1.- Curvatura Gaussiana Positiva o Superficie Sinclástica.. La curvatura Gaussiana positiva es aquella que tiene una doble curvatura en un mismo sentido

Este tipo de superficie presenta curvaturas en la misma dirección en su forma ortogonal, esto es, que en los dos sentidos la curva va hacia abajo o hacia arriba, dos curvas, la misma dirección; ejemplo de estas son las cúpulas.

Donde:

**Curvatura Gaussiana  
Positiva**



$$K = \frac{1}{r_1 * r_1}$$

K= Coeficiente o curvatura total de Gauss.

r1= Curvatura positiva.

r2 = Curvatura negativa.

Nota: Cabe destacar que aquí la curvatura tendrá el mismo sentido por lo que el coeficiente de gauss será el cociente de uno entre  $r_1 * r_1 = ++ = +$ .

$$K = \frac{1}{(1)(1)}$$

K = 1 Positivo

3.1.2.- Curvatura Gaussiana Negativa o Superficie Anticlástica. La curvatura Gaussiana negativa es aquella que tiene una doble curvatura en dos direcciones o doble curvatura inversa.

Este tipo de superficie presenta Curvaturas contrarias en dos direcciones ortogonales, esto es, que en un sentido la curvatura se desarrolla hacia abajo y en otra se desarrolla hacia arriba, dos curvas, dos direcciones. Ejemplos de estas superficies son los Paraboloides hiperbólicos, el conoide, el hiperboloide de manto y algunas superficies de revolución.

**Curvatura Gaussiana  
Negativa.**



$$K = \frac{1}{r_1 * r_2}$$

K= Coeficiente o curvatura total de Gauss.

r1= Curvatura positiva.

r2 = Curvatura negativa.

Nota: Cabe destacar que aquí la curvatura tendrá el diferente sentido por lo que el coeficiente de gauss será el cociente de uno entre  $r_1 * r_2 = + * - = -$ .

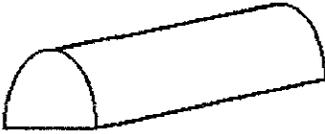
<sup>17</sup> Karl Friedrich Gauss (1777 - 1855) Matemático, astrónomo y físico Alemán

$$K = \frac{1}{(1)(-1)}$$

K = -1 Negativo

3.1.3.- Curvatura Gaussiana Nula. La curvatura Gaussiana nula es aquella que tiene una curvatura positiva y la otra con curvatura infinita.

### Curvatura Gaussiana Nula.



$$K = \frac{1}{r_1 * r_2}$$

K= Coeficiente o curvatura total de Gauss.

r1= Curvatura positiva.

r2 = Curvatura infinita

Nota: Cabe destacar que aquí la curvatura tendrá el diferente sentido por lo que el coeficiente de gauss será el cociente de uno entre r1\*r2.

$$K = \frac{1}{(1) (\infty)}$$

K =  $\infty$  Infinito

### 3.2.- Definición de cascaron.

Un cascaron es una estructura con superficie curva, la cual es capaz de transmitir cargas en más de dos direcciones hacia los apoyos, éste debe ser de alta eficiencia estructural.

Un cascarón cuenta con un espesor pequeño en comparación con sus otras dimensiones, sin embargo, no debe ser tan delgado para que las deformaciones a las que se ve sujeto sean tan grandes en comparación con el espesor, porque de lo contrario, podría deformarse y colapsarse.

Los cascarones deben satisfacer una serie de condiciones, tales como: ser insignificantes los esfuerzos cortantes normales a la superficie media y que los puntos en una línea normal a la superficie media antes de que se deforme, hacen que se encuentren en una línea recta después de la deformación, esta línea es normal a la superficie media deformada.

Por lo general, el cálculo de los esfuerzos en un cascarón se efectúa en dos etapas principales y ambas suelen incluir la solución de ecuaciones diferenciales o estáticamente en 2 direcciones como lo hicieron en el año de 1950 Cubiertas ALA. En el primer paso se desprecian la flexión y la torsión, en el segundo paso se realizan correcciones a la solución previa.

### 3.3.- Definición de membrana.

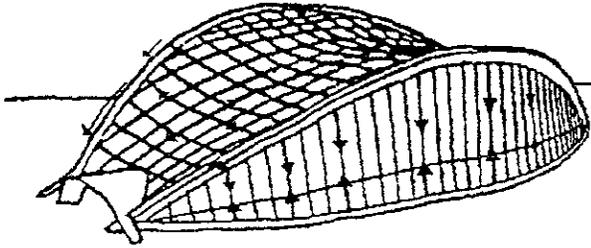
La membrana es una superficie curva, que tiene la capacidad de transmitir por lo regular las cargas en más de dos direcciones hacia los bordes, está, tiene una eficiencia estructural muy aceptable cuando tiene proporciones y apoyos de modo que transmita las cargas sin doblarse ni torcerse.

La cubierta ligera es un elemento que al mismo tiempo es estructura y cubierta. Las membranas entendemos que es aquella lámina delgada que puede ser a base de tela, lonas, plástico entre otras que pueden ser parecidas a una piel. El espesor de una membrana se define como la distancia entre los extradós<sup>18</sup> y los intradós<sup>19</sup>.

<sup>18</sup>Superficie externa.

<sup>19</sup>Superficie interna.

Las membranas pretensadas son elementos que aunque la fuerza de gravedad o cargas actúen sobre éste, el material en su interior ya tiene una tracción que esta actuando sobre esta misma, ahora para que una membrana no sufra deformaciones debemos de tensarla lo suficientemente para resistir estas deformaciones, sin embargo al realizar este efecto consigo trae otro, el efecto de tambor, es aquella vibración que se activa sobre una tensión de membrana y puede volverse crítico cuando esta tracción es excesiva ya que la membrana vibrará por el efecto de vórtice hasta el punto de dañar y colapsar los bordes que ya no tendrán la capacidad y eficiencia estructural esperada.

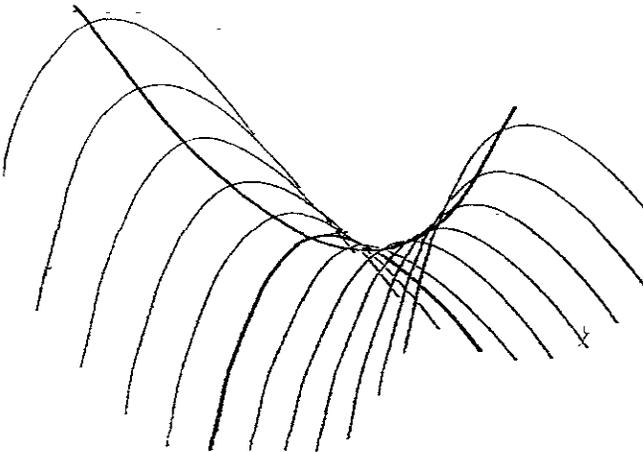


Las membranas son susceptibles a los efectos del viento, por lo que podemos decir, que la oscilación provocada por pequeños remolinos de aire, (los cuales se desarrollan por la superficie del manto) provocaran el efecto de tambor en la membrana.

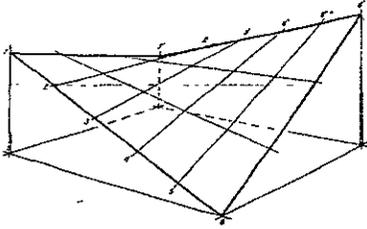
Es importante destacar que una membrana traccionada con curvatura Gaussiana negativa sujeta a cualquier vibración o que trate de moverla es rápidamente controlada y amortiguada por la misma geometría del paraboloides hiperbólico. Esto significa que, cuando en una dirección el manto trabaja a tracción, en la otra dirección trabaja a compresión.

Cabe mencionar, que la membrana tiene un espesor sumamente pequeño, que al colgarse forma una superficie funicular, ya que al igual que un cable que se forma por cargas ante los esfuerzos debidos a la gravedad.

### 3.4.- Construcción del Paraboloides Hiperbólico.



Cabe mencionar que al paraboloides hiperbólico no se le puede clasificar como solo como una superficie reglada, sino también, como una superficie de translación. Una superficie de translación se obtiene al desplazar una generatriz a lo largo de una directriz, donde ambas pueden ser dos parábolas, una hipérbola como generatriz y una parábola como directriz, o una parábola como generatriz y una hipérbola como directriz.



El paraboloides hiperbólico es una superficie de doble curvatura que ofrece un sin número de ventajas constructivas para poder desarrollarlo, si lo deseamos construir a base de concreto armado, basta con una cimbra, la cual sus generatrices son líneas rectas, el paraboloides hiperbólico es una superficie doblemente reglada, este tipo de superficies son engendradas por dos familias de generatrices rectas.

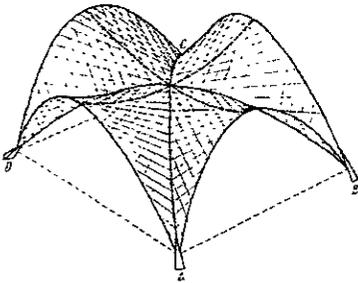
Por lo Anterior, podemos decir que un Paraboloides Hiperbólico se forma por parábolas suspendidas y congruentes, y un cierto número de parábolas aplicadas y congruentes, la formula del paraboloides hiperbólico es:

$$Z = \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} \quad \text{o bien} \quad Z = k \times y \quad *$$

### Ecuación del paraboloides hiperbólico.

Como se observa se trata de una ecuación de 2° grado, existen dos formas de poder lograr el dominio de la geometría del paraboloides, cabe señalar que se utilizará la ecuación  $z=kxy$  es la que se usara en este trabajo por facilidad de manejo de la ecuación. \*

Al P.H. lo podemos cortar en cualquiera de sus partes, es importante mencionar que en estos cortes las curvas que arrojan son: parábolas, hipérbolas y rectas, así cuando el P.H. sea cortado transversalmente o longitudinalmente sea perpendicular al plano "x,y" encontraremos parábolas, cuando sea cortado horizontalmente paralelos al plano "x,y" donde sea diferente del punto de silla, encontraremos hipérbolas, cuando sea cortado paralelo al plano "x,y" en el punto de silla, encontraremos rectas.



Como podemos observar esta figura responde a la intersección de dos segmentos de paraboloides hiperbólico tomados en el centro de la silla, cabe mencionar que esta forma es un modelo que fue solicitado al Doctor Juan Gerardo Oliva Salinas<sup>20</sup> para diseñar el Modulo UNAM.

En el P.H. las fuerzas de compresión se ejercen en el sentido de las parábolas erguidas y las fuerzas de tracción en el sentido de las parábolas suspendidas, al estar unidas entre sí por lo que habíamos explicado anteriormente<sup>21</sup> producen de este modo la gran rigidez característica de una cubierta ligera de Paraboloides Hiperbólico, evitando de esta forma vibraciones excesivas<sup>22</sup>.

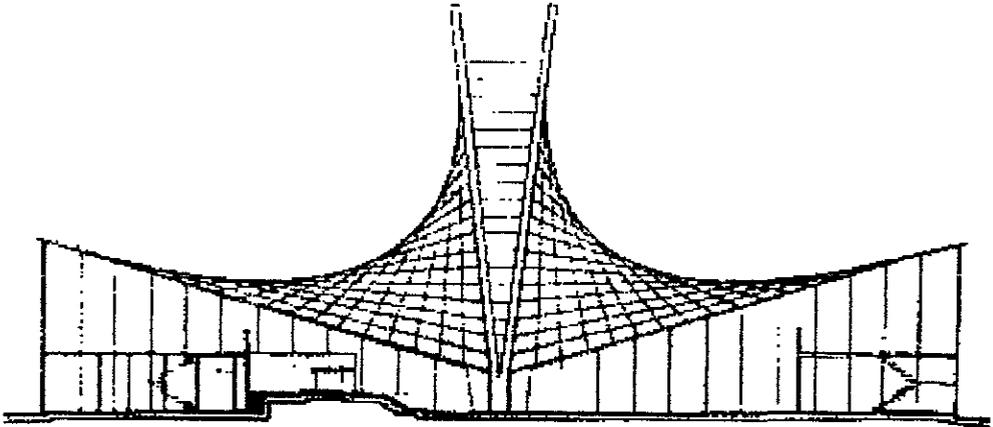
Podemos pensar entonces que una membrana al pretensarla aumentará sumamente su rigidez, y sufrirá cambios naturales al pasar de un estado de carga a otro, la doble curvatura proporcionada por el P.H. aumenta la rigidez de la membrana, ya que va a estar en continua tracción ya que, el mejor material es el acero para las relingas y tensores de la membrana, la diferencia de módulos de elasticidad evitará que ambos se deformen proporcionalmente.

<sup>20</sup>Profesor de la Facultad de Arquitectura, UNAM

<sup>21</sup>Superficie de Traslación.

<sup>22</sup>Efecto de Tambor.

### 3.5.- Definición del Paraboloido Hiperbólico.



El Paraboloido Hiperbólico es una superficie que puede ser tratada de acuerdo a dos criterios que nos ayudan a definirlo"

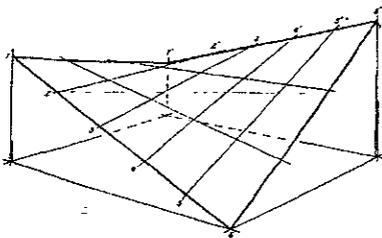
A) Superficie de translación.

B) Superficie reglada

#### 3.5. A .- Superficie de translación.

Esta superficie se genera por la translación de una parábola principal A (PPA) la cual conservándose en su desplazamiento constantemente paralela así misma, se mueve a lo largo de otra parábola principal B (PPB) de concavidad opuesta de tal manera que el eje de la primera se halla siempre en el plano de la segunda

#### 3.5. B .- Superficie reglada.



El Paraboloido Hiperbólico puede considerarse engendrado por una recta  $\lambda$  de tal forma que apoyándose sobre otras dos rectas cualesquiera  $\upsilon_3, \upsilon-3$  se mantienen en su movimiento constantemente paralela al plano director XOZ; o viceversa, por una recta  $\upsilon$  que, apoyándose sobre otras dos rectas cualesquiera  $\lambda_3, \lambda-3$ , se mantiene constantemente paralela al plano director YOZ.

EL Paraboloide Hiperbólico tiene 3 formas matemáticas con la cual se puede conocer y dominar su geometría:

$$Z = \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}$$

## Ecuación Canónica del Paraboloide Hiperbolico.

$$Z = \frac{x^2}{2P1} - \frac{y^2}{2P2}$$

### Ecuación del paraboloide hiperbólico. Referido a los parametros P de las Parabolas principales

Deducido por el Arq Pablo D Chavez Carrizosa

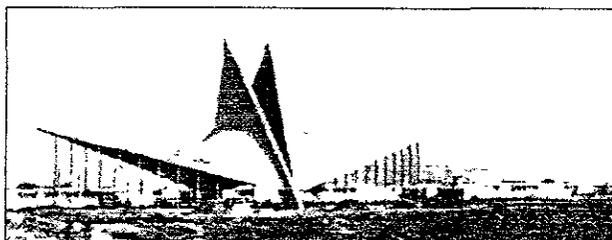
$$Z = k x y \quad \text{Donde} \quad K = \frac{4 C}{a^2 + b^2}$$

Ecuación del paraboloide hiperbólico.  
Utilizada por el Maestro Felix Candela.  
del P.H.

Esta expresión del P.H. la podemos utilizar cuando conocemos los parámetros "a" y "b" de las hipérbolas que existen en la superficie, por lo que si se ignoran estos datos se tendrá que estudiar la forma para poder obtenerlos. Los ejes "x" y "y" por lo regular no las conocemos ya que se encuentran referidas a la superficie del P.H. por lo que se tienen que calcular para poder obtenerlos.

Esta forma de la ecuación esta referida a los parámetros "P"<sup>23</sup> de las parábolas principales del P.H. por lo que es sumamente sencillo obtenerlas, los ejes "x" y "y" son valores que no requerimos como en el caso anterior por lo que no es necesario que se deban de calcular para poder obtener el dominio del P.H.

En la ecuación utilizada por el Maestro Candela, se tiene que calcular los ejes "x" y "y" como en los dos casos anteriores, sin embargo la constante "k"<sup>24</sup> tiene todos los demás valores por lo que, únicamente despejamos la constante "k", y podremos tener el dominio, de la superficie



*Iglesia de San José Obrero, Monterrey, Nuevo León México, 1959 - 1960  
Proyecto de los Arquitectos Enrique de la Mora y Félix Candela  
Obra realizada por Cubiertas Ala S A. Distrito Federal, México.*

<sup>23</sup>Ver desarrollo en el Anexo y Corolarios.

<sup>24</sup>Ver desarrollo en el Anexo y Corolarios

**Titulo Tercero.**  
**Metodología de la Propuesta**

**Capitulo 4.**  
**Precedentes.**

**4.1.- Análisis Estático.**

Cabe señalar que este procedimiento es aplicable a estructuras como las del tipo 4 definidas en el punto 1.2, evaluándose los empujes medios ya definidos con anterioridad.

EL reglamento en sus normas técnicas complementarias de diseño por viento explicando en el punto 3 considera es equivalente a una presión que puede ser empuje o succión en la dirección perpendicular al viento como

$$p = (C_p)(C_z)(K)(p_0)$$

*también define cada uno de estos valores mas sin embargo este método tiene ciertas limitaciones según los comentarios del Manual de Diseño por Viento de CFE.*

**4.2.- Limitaciones.**

El método propuesto por el reglamento del D.F. y sus NTCDV tiene las siguientes limitaciones:

a.- El cociente de la división de H/D < 5

En donde H es la altura de la construcción  
D la dimensión mínima de la base.

b.- El periodo fundamental de la estructura es menor o igual que un segundo.

Cuando se tengan estructuras cerradas, techos aislados, toldos y cubiertas adyacentes, no es necesario calcular su periodo fundamental cuando se cumplan las sig. condiciones:

a) La altura de la construcción es máximo de 15 m.

b) La planta de la estructura es rectangular o formada por módulos rectangulares.

c) EL cociente de la división H/D es menor que cuatro para construcciones cerradas y menor que uno para techos aislados; para toldos y techos en voladizo el claro no debe exceder de 5 m.

d) Las construcciones cerradas y techos aislados, la pendiente -inclinados a una o dos aguas- no debe de exceder de los 20°, cuando se presenten obras de techos múltiples, estos deberán ser menor de 60°; para toldos y cubiertas adyacentes, la pendiente no será mayor que 5°.

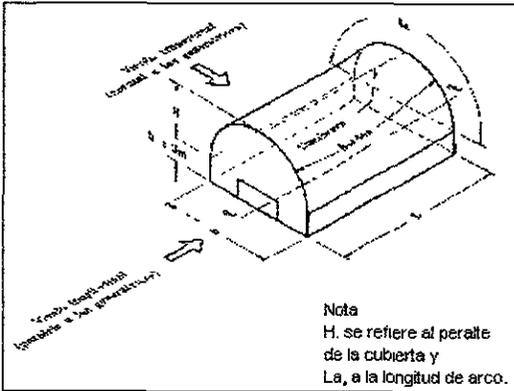
**4.3.- Resumen de análisis de viento para una cubierta de arco circular según las NTCDV.**

Cabe mencionar que el reglamento de construcciones en el punto 3.3 caso I manifiesta en la tabla 2, que es la que indica los factores de presión para cubiertas de arco, aunque no menciona o especifica que tipo de arco: circular, parabólico, elíptico, hiperbólico o cualquier otro.

La normatividad de diseño de CFE indica un procedimiento para obtener las presiones de diseño de cubierta circular basándose en la normatividad del reglamento. Esta metodología es aplicable a cubiertas que estén soportadas por muros.

**4.4.- Presión Exterior.**

Este factor de presión exterior (Pe) estará determinado en cubiertas de arco circular cuando el viento sea normal a las generatrices, y se calculara con la siguiente expresión.



$$Pe = Cpe \cdot qz$$

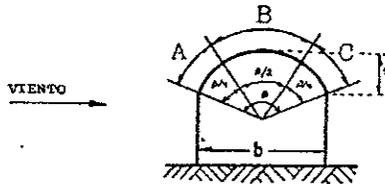
Pe = Presión exterior

Cpe = Coeficiente de presión exterior.

qz = Presión dinámica de la base.

Haciendo mención y referencia al reglamento de construcciones mostramos la tabla dos que indica los factores que determinaran el coeficiente a usar en pared de Barlovento o en pared de Sotavento.

**Tabla 2<sup>22</sup>**  
**FACTORES DE PRESION PARA CUBIERTAS DE ARCO**

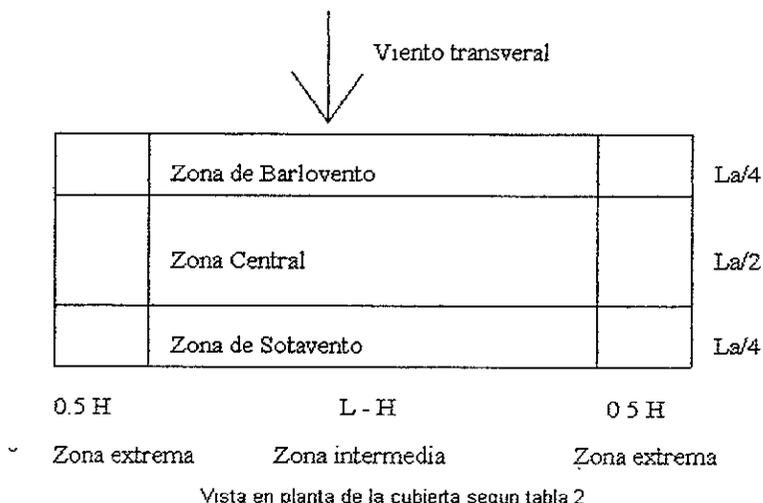


Relación $r = a/b$	A	B	C
$r < 0.2$	- 0.8		
$0.2 < r < 0.3$	$5r - 1.8$	$-0.7 - r$	-0.5
$r > 0.3$	$2.7r - 0.7$		

NOTA: Para cubiertas de arco apoyadas directamente sobre el suelo, la zona A deberá diseñarse con un factor de empuje igual a  $1.4r$ , para todo valor de  $r$ .

La siguiente figura nos muestra el análisis para detectar las zonas de barlovento y sotavento.

<sup>22</sup> Obtenida de las Normas Técnicas Complementarias de diseño por viento.



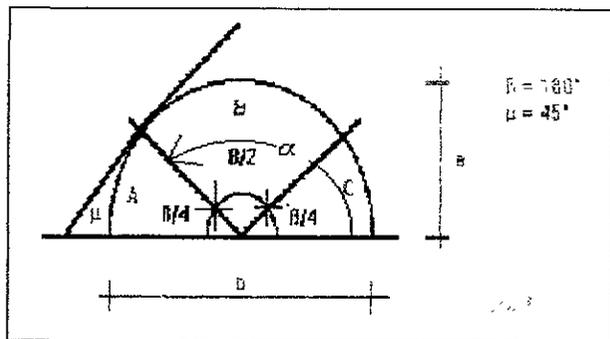
Cuando se trata de estructuras de geometría poco usual, de las cuales no están comprendidas dentro de las consideraciones de las normas técnicas complementarias se tendrán que realizar pruebas en el túnel de viento.

### Capítulo 5. Metodología propuesta.

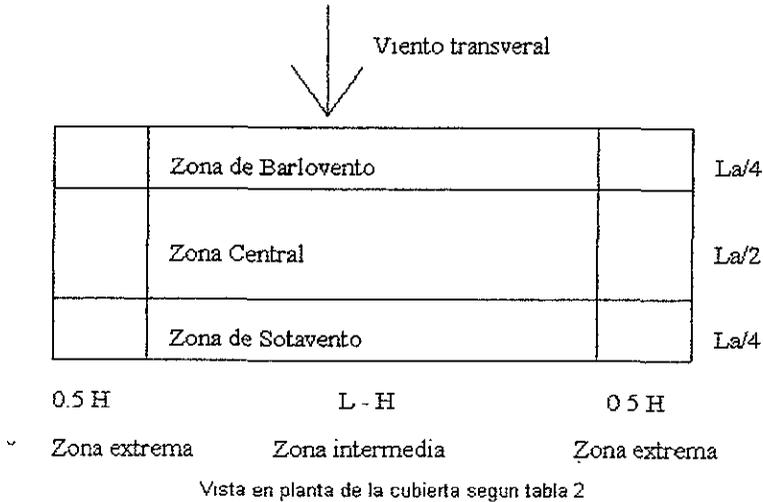
#### 5.1.- Análisis de Curvas.

La propuesta radica básicamente en que el Paraboloide hiperbólico se forma como una superficie no parecida a una circunferencia, por lo que, para poder utilizar la tabla 2 de las normas técnicas se propone el siguiente razonamiento.

Supongamos que tuviéramos una superficie de arco de circunferencia como la primera figura de la pag. 23 el cual tuviera 180° y que, según la tabla dos nos queda como resultado la figura 1.



Como se observa en la figura dividimos el arco en tres zonas, la zona A esta limitada por un ángulo  $\alpha = 135^\circ$  por lo que si obtenemos una normal en ese punto, el ángulo de esa normal será  $\mu = 45^\circ$ , sabemos nosotros que esta normal es la pendiente de la recta tangente (m), y también sabemos que la primera derivada de una ecuación se puede interpretar como la pendiente de la recta tangente.



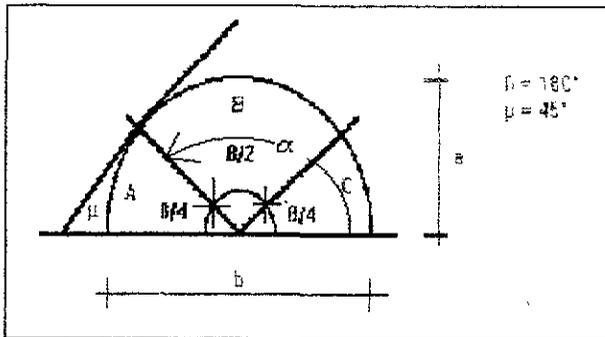
Quando se trata de estructuras de geometría poco usual, de las cuales no están comprendidas dentro de las consideraciones de las normas técnicas complementarias se tendrán que realizar pruebas en el túnel de viento.

### Capítulo 5. Metodología propuesta.

#### 5.1.- Análisis de Curvas.

La propuesta radica básicamente en que el Paraboloide hiperbólico se forma como una superficie no parecida a una circunferencia, por lo que, para poder utilizar la tabla 2 de las normas técnicas se propone el siguiente razonamiento.

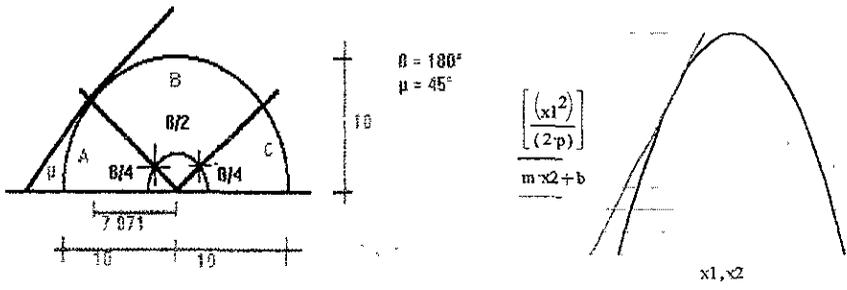
Supongamos que tuviéramos una superficie de arco de circunferencia como la primera figura de la pag. 23 el cual tuviera 180° y que, según la tabla dos nos queda como resultado la figura 1.



Como se observa en la figura dividimos el arco en tres zonas, la zona A esta limitada por un ángulo  $\alpha = 135^\circ$  por lo que si obtenemos una normal en ese punto, el ángulo de esa normal será  $\mu = 45^\circ$ , sabemos nosotros que esta normal es la pendiente de la recta tangente (m), y también sabemos que la primera derivada de una ecuación se puede interpretar como la pendiente de la recta tangente.

Si a la ecuación de la parábola y la ecuación de la circunferencia las derivamos y las igualamos a uno, podemos tener el valor correspondiente a: A, B y C, como se observa en la figura 1.

De lo anterior, surgen dos comparativas distintas: a) que si nosotros pensamos en una circunferencia y buscamos esa tangente a 45 grados la vamos a encontrar a una distancia de 0.7071 del radio, esto es que si el radio de la circunferencia es de 10 m, el punto de tangencia lo encontraremos a 7.071 m, (figura 2) b) si nosotros tenemos una parábola no lo encontraremos a esa distancia sino en 5 m, podemos observar que este punto lo encontraremos en la frontera del valor del parámetro "P" de la ecuación de la parábola. (grafica inmediata inferior)



En el momento en que se comparen las dos distancias del origen a los extremos donde encontramos la normal a 45° podemos ver que la diferencia de dos curvas diferentes con misma altura (10 m) y con misma luz (20 m) en la circunferencia la encontramos a 7.071m y en la parábola a 5 m.

Por lo que trae por consiguiente que la pared de barlovento que esta expuesta en la parábola es mucho mayor área que la de la circunferencia, por lo que si se tomaran las recomendaciones de la tabla dos de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento se estaría tomando un error ya que la cara de barlovento no sería la real.

Lo anterior provoca que sea considerada una menor área, y en el momento de vientos sumamente fuertes si se apreciaría este faltante de área para cara de barlovento, cabe mencionar, que esta normal parte de que el arco de circunferencia es de 180°.

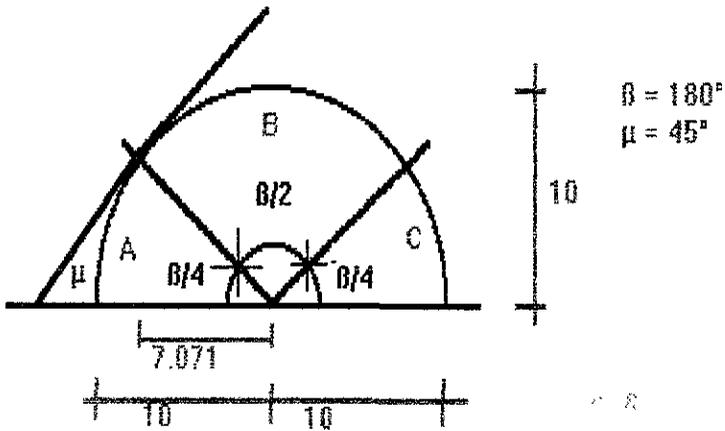
Para poder utilizar este método estático la recomendación es utilizar la razón de cambio en una pendiente igual a 1 en el punto de la curva; cabe destacar que todos los puntos en este capítulo son muy importantes en muros ya que el Paraboloide Hiperbólico por lo regular va protegidos por este tipo de estructuras.

Suponiendo que se deseara utilizar el método estático aquí propuesto, para aplicar a un paraboloide hiperbólico, si nosotros utilizamos la pendiente de la recta tangente igual a 1, podemos decir que en este punto de la ecuación del Paraboloide Hiperbólico existe un cambio de Barlovento a Sotavento.

Tomando como base las normas técnicas complementarias de diseño por viento se observa que no se puede guiar por una ángulo sino a la siguiente hipótesis del reglamento de construcciones.

Las Normas Técnicas Complementarias de diseño por viento se basan en que para cualquier arco de circunferencia se debe de dividir entre A, B y C como lo muestra la tabla 2

siguiendo esa misma premisa se ha podido comprobar que el ángulo propuesto de  $45^\circ$  es el correcto.

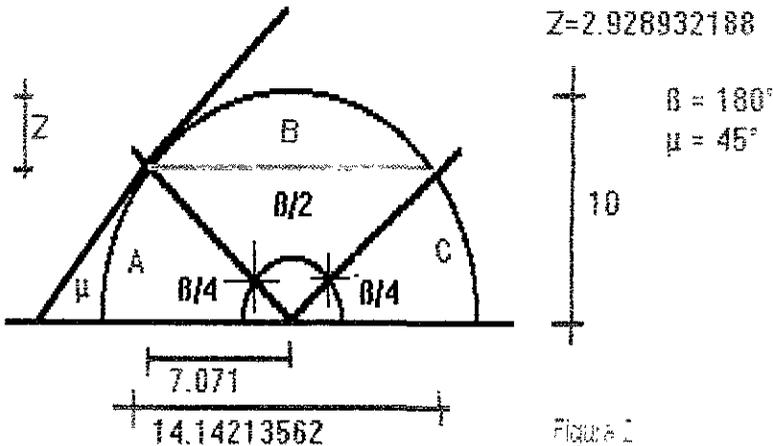


La tabla 2<sup>23</sup> indican que se debe tomar la relación  $a/b$  donde "a" es igual al peralte del arco de circunferencia y "b" es igual a la luz del arco de circunferencia. El valor de "r" es la relación de  $a/b$ , si nos referimos numéricamente podemos observar que  $r = 10/20$ ;  $r = 0.5$  según la tabla dos le corresponde al valor encontrado esta  $r > 0.3$  y la parte "A" esta a barlovento.

Datos	$a = 1$	$b = 2$
Formula	$r = \frac{a}{b}$	$r = 0.5$

**Resultado**

Que sucede si se obtiene la siguiente relación según la figura 2.



<sup>23</sup> Normas Técnicas Complementarias de diseño por viento.

$$a1 = 10 - \sin\left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot 10$$

$$a1 = 2.928932188134525$$

$$b1 = \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot 20$$

$$b1 = 14.14213562373095$$

$$r1 = \frac{a1}{b1}$$

$$r1 = 0.207106781186548$$

Datos en radianes

Para este valor de  $0.2 < r1 < 0.3$  podemos decir que la sección "A" trabaja a succión ya que el valor recomendado por las normas es de  $5 r1 - 1.8 = -0.7445$ , así mismo en el punto 3.1 en el punto Cp dice "Los valores positivos de Cp corresponden a empuje y los negativos a succión"

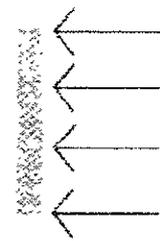
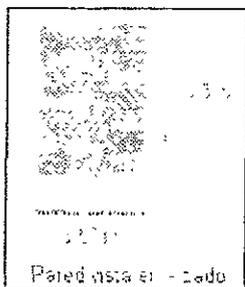
Con lo anterior se deduce que geoméricamente el valor supuesto de 1 para la pendiente de la recta tangente esta bien considerado, por lo que efectivamente ocurre un cambio en  $45^\circ$ , así mismo, trabajara a pared de barlovento cualquier elemento que se encuentre de  $45^\circ$  a  $90^\circ$ ; y trabajara a pared de sotavento cualquier elemento que se encuentre de  $0^\circ$  a  $45^\circ$ .

## 5.2.- Coeficientes de presión.

El coeficiente de presión es aquel porcentaje que se toma de la presión del viento ejercida sobre una superficie, el valor de este porcentaje dependerá directamente del tipo de superficie, su permeabilidad al viento, calidad de su rugosidad y el ángulo de inclinación que tenga la superficie con respecto a la dirección del viento.

Para determinar los coeficientes de pared de barlovento y sotavento a continuación se presenta el análisis de una superficie, propongo el análisis de una superficie cuadrada.

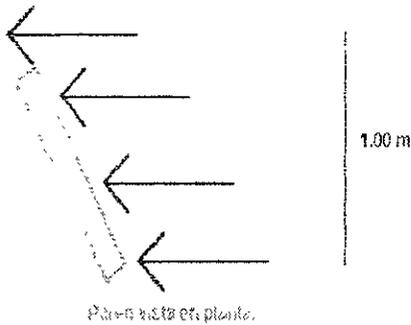
### 21.A.- Coeficientes de presión para pared de Barlovento.



Suponiendo que tenemos una superficie cuadrada que mide  $1.00 \text{ m} \times 1.00 \text{ m}$ , el viento viaja perpendicularmente a la superficie, y así mismo que también esa racha de viento sea de  $1 \text{ m}^2$ , viaja a una velocidad donde el momento del impacto es de  $50 \text{ kg/m}^2$  es decir, la superficie tiene características de no permeabilidad<sup>24</sup>, la calidad de la rugosidad es alta<sup>25</sup> por lo que la presión del aire sobre la superficie será transmitida íntegramente de su valor.

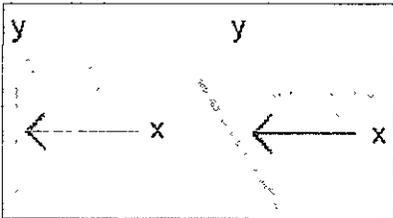
<sup>24</sup> Dependiendo del material permitirá una permeabilidad del 50% al 0%.

<sup>25</sup> Ver tabla de rugosidad pag. 9.



El viento es un fluido y como tal se debe de considerar. Esto es que no es un elemento sólido y puede moldearse a las necesidades físicas de las paredes que lo contienen, o con las que se impactan.

Ahora supongamos que esta pared se encuentra rotada con respecto al viento  $40^\circ$  por lo que existirán partes de esa ráfaga de viento de  $1.00\text{ m} \times 1.00\text{ m}$  que **no se impactan con esta pared** y por lo tanto no afectará esta presión a la superficie. Una vez explicado esto podemos decir que dependiendo del ángulo al que se encuentre la superficie con respecto a la dirección del viento tendrá un porcentaje determinado y real.



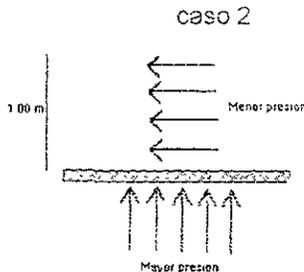
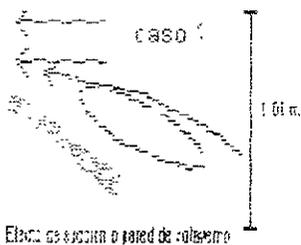
Para obtener los valores de pared de barlovento se tomaran superficies que se encuentren en un rango de  $45.01^\circ$  a  $90^\circ$  con respecto a la dirección del viento. Ahora, para obtener todos estos coeficientes debemos entender que el seno nos puede ayudar para ver ese porcentaje de área que se refleja en eje coordenado Y, por lo que obtendríamos el siguiente razonamiento. Pensemos en un ángulo cuyo

rango se encuentra entre  $45.00^\circ$  a  $50.00^\circ = 47.50^\circ$  obtenemos el seno de este ángulo  $\text{sen}(47.50^\circ) = 0.737$ , este coeficiente se multiplica por 1, ya que la presión del viento con la que se impactara contra la pared solamente será de forma parcial y no total, y así sucesivamente se realizara para todos los ángulos.

**Tabla de coeficientes para pared de barlovento.**

Ángulo formado entre la pared y la dirección del viento.	Coefficiente correspondiente Cp
45.00° a 50.00°	0.73
50.01° a 55.00°	0.79
55.01° a 60.00°	0.84
60.01° a 65.00°	0.88
65.01° a 70.00°	0.92
70.01° a 75.00°	0.95
75.01° a 90.00°	1.00

**21.B.- Coeficientes de presión para pared de Sotavento.**



Cualquier pared al tener un ángulo superior a los  $45^\circ$  con respecto a la dirección del viento (caso 1) ocasionará efectos de succión, sin embargo es importante señalar que estos efectos serán mucho mayores cuando la pared se encuentre

paralela a la dirección del viento (caso 2), ya que la presión ejercida por el volumen del aire en la parte inferior será superior, a la presión ejercida en la parte superior, esto ocasiona un efecto de succión para el elemento en la parte superior de este.



Titulo Cuarto.  
Ejemplo de aplicación del método propuesto.

**Capitulo 6.**

**Analogía entre el Método Propuesto y los Resultados del Túnel de Viento.**

**6.1.- Análisis de viento.**

Para fines de análisis la superficie anticlástica la ubicaremos en el municipio de Tecamac, Edo de México, donde el terreno es abierto, prácticamente plano y sin obstrucciones, correspondiente a una Categoría "1"<sup>25</sup>, así mismo, las dimensiones de la superficie se encuentran en la tabla 6.4 (Coordenadas de los nodos de las parábolas principales y secundarias) mismas que se explicará más adelante en el presente documento.

Cálculo del Factor de Exposición<sup>26</sup>.

$$Fa = (Fc)(Frz)$$

Donde:

Fc = 1.00 (ya que se clasifica como clase "A" por contener elementos estructurales expuestos directamente a los efectos del viento.)

$$z = 17.20 \quad a = 3.6$$

$$Frz = \left( \frac{z}{10} \right)^{\left( \frac{z}{a} \right)} \quad Frz = 1.352$$

$$Fa = (1.00)(1.352), \quad Fa = 1.352$$

El factor de topografía se considera con un valor de "1" ya que se sitúa en una zona abierta con ausencia de accidentes topográficos y pendientes menores al 5%.

$$Ft = 1.00$$

Se involucrará una constante K, la cual se debe de multiplicar por los coeficientes de presión propuestos. La constante K es un incremento o decremento de estos coeficientes porque esta en términos de las condiciones donde se ubique la superficie anticlástica.

$$K = (Ft)(Fa)$$

$$K = 1.352$$

<sup>25</sup> Punto 2.1 de la presente investigación, Pág. 9

<sup>26</sup> Punto 2.3 de la presente investigación, Pág. 11

### 6.2.- Cálculo de coeficientes de presión para la parábola principal A (PPA)

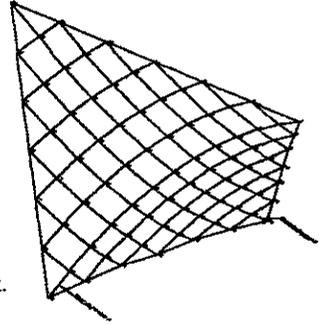
Para determinar las isolneas de coeficientes de presión para el P.H. se partió del siguiente razonamiento mostrado en las dos Parábolas Principales.

$$y = 17.90 \quad \text{m}$$

$$z = 5.30 \quad \text{m}$$

$$p = \frac{y^2}{(2 \cdot z)} \quad p = 30.227 \quad \text{m}$$

$$z' = y/p \quad z' = \text{la primera derivada de la ecuación con forme a } z.$$



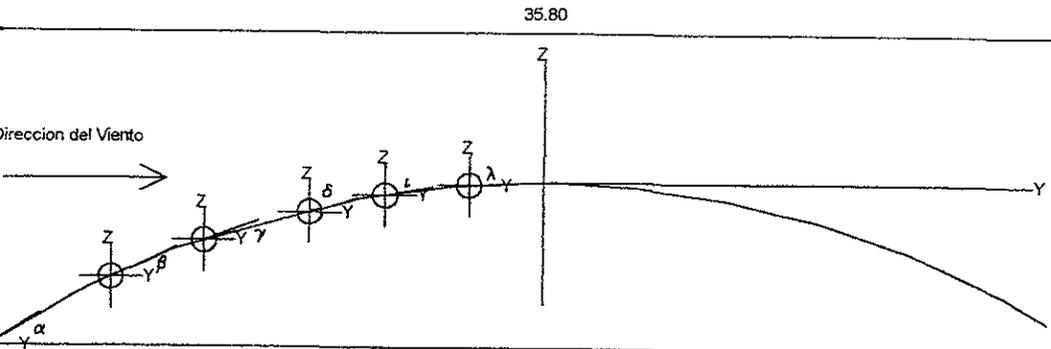
Con las constantes anteriores, se forma la tabla T-A mismas que muestran las coordenadas de los puntos de las isolienas y sus coeficientes de presión propuestos.

Ángulo	Grados	$z'$	y en m.	Coefficiente de presión.
$\alpha$	30	0.5	15.11	-0.88
$\beta$	25	0.42	12.77	-0.92
$\gamma$	20	0.34	10.33	-0.95
$\delta$	15	0.25	7.82	-0.97
$\epsilon$	10	0.17	5.24	-0.99
$\lambda$	5	0.08	2.63	-1.00

#### Evaluación.

La parábola principal "A" trabaja en su totalidad a succión, ya que el ángulo de inclinación de cada una de las tangentes analizadas no tienen un ángulo mayor de 44°.

#### Parábola Principal A.



### 6.3.- Cálculo de coeficientes de presión para la parábola principal B (PPB)

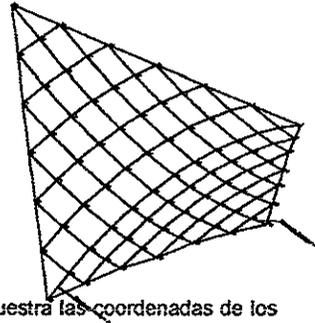
Datos para determinar los puntos de isolneas del P.H.

$$x := 23.80 \quad \text{m}$$

$$z = 6.90 \quad \text{m}$$

$$p = \frac{x^2}{(2 \cdot z)} \quad p = 41.046$$

$$z' = x/p \quad z' = \text{a la primera derivada conforme a } z$$



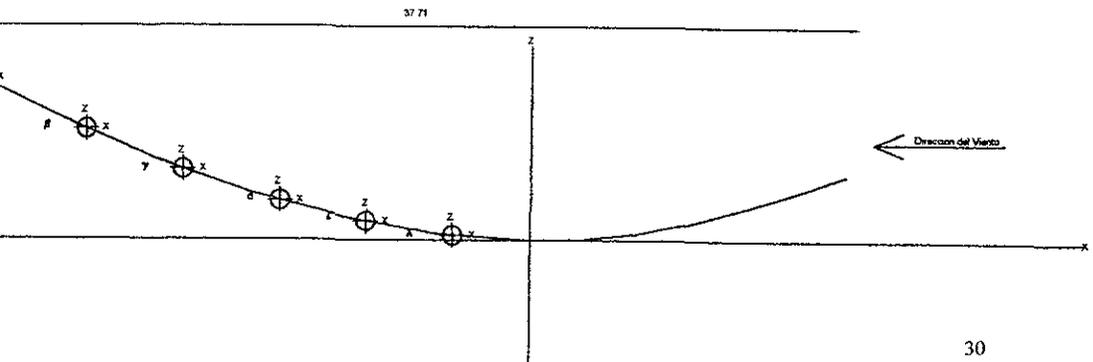
Con estas constantes, se forma la tabla T-A en donde se muestra las coordenadas de los puntos de las isolneas y sus coeficientes de presión propuestos.

Ángulo	Grados	$z'$	$x$	Coefficiente de presión.
$\alpha$	30	0.5	20.52	-0.88
$\beta$	25	0.42	17.34	-0.92
$\gamma$	20	0.34	14.03	-0.95
$\delta$	15	0.25	10.62	-0.97
$\epsilon$	10	0.17	7.12	-0.99
$\lambda$	5	0.08	3.57	-1.00

#### Evaluación.

La parábola principal "B" trabaja en su totalidad a succión, ya que el ángulo de inclinación de cada una de las tangentes analizadas no tienen un ángulo mayor de  $44^\circ$ , es importante resaltar que la zona en donde no existe un punto de isolinia se tomara como -0.5 esto es porque se considera que el viento no es de forma franca a la superficie.

#### Parábola Principal B.



En el proceso para determinar las isolienas pueden intervenir no solo las parábolas principales de la superficie, también la curvatura de las hipérbolas implícitas, estas pueden ser, un factor determinante para la configuración del coeficiente de presión.

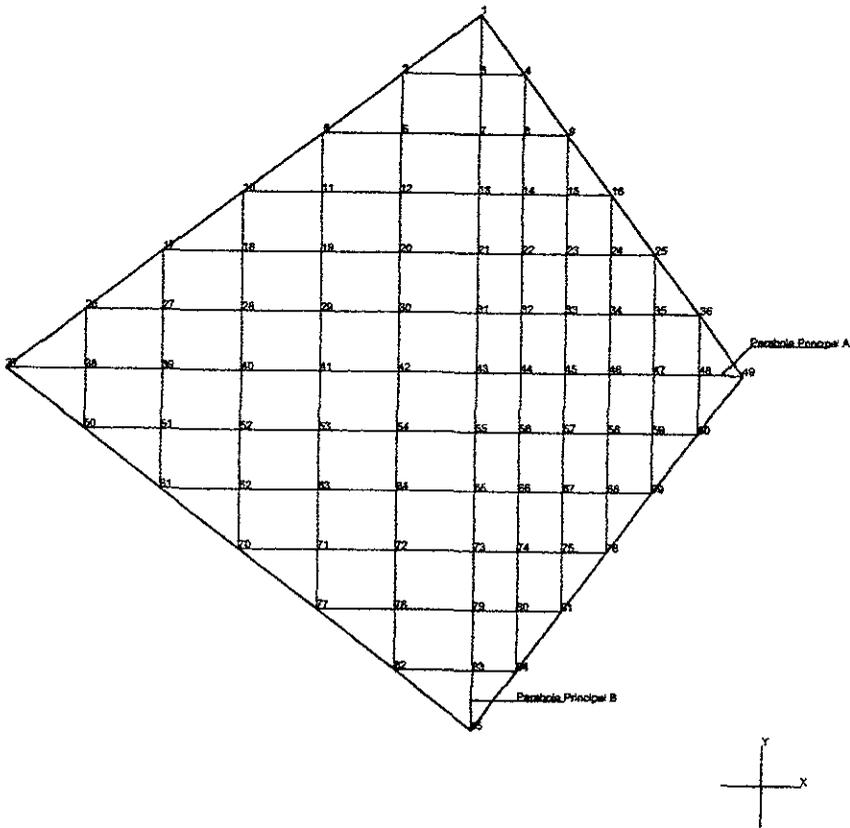
A continuación se presentan las coordenadas de una superficie tipo anticlástica (por existir pruebas en el túnel de viento), con lo cual, se podrá realizar un trabajo comparativo entre el método propuesto y los resultados del túnel de viento.

Cabe mencionar, que los resultados presentados, se tomaran de la tesis "Análisis de un sistema de cubierta formado por cables" del Maestro en Ingeniería Guillermo Utreras Lariva.

#### 6.4.- Coordenadas de los nodos de intersección de las Parábolas Principales y Secundarias.

Punto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Punto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
1	0	1790	0	45	447	0	557
2	-397	1490	203	46	670	0	600
3	0	1490	176	47	893	0	659
4	223	1490	192	48	1120	0	730
5	-793	1190	407	49	1340	0	803
6	-397	1190	336	50	-1980	-298	1020
7	0	1190	309	51	-1590	-298	849
8	223	1190	321	52	-1190	-298	713
9	447	1190	360	53	-793	-298	611
10	-1190	893	610	54	-397	-298	545
11	-793	893	503	55	0	-298	516
12	-397	893	435	56	223	-298	520
13	0	893	407	57	447	-298	544
14	223	893	412	58	670	-298	588
15	447	893	436	59	893	-298	652
16	670	893	465	60	1120	-298	727
17	-1590	595	813	61	-1590	-595	813
18	-1190	595	675	62	-1190	-595	675
19	-793	595	571	63	-793	-595	571
20	-397	595	504	64	-397	-595	504
21	0	595	475	65	0	-595	475
22	223	595	480	66	223	-595	480
23	447	595	504	67	447	-595	504
24	670	595	549	68	670	-595	549
25	893	595	628	69	893	-595	628
26	-1980	298	1020	70	-1190	-893	610
27	-1590	298	849	71	-793	-893	503
28	-1190	298	713	72	-397	-893	435
29	-793	298	611	73	0	-893	406
30	-397	298	545	74	223	-893	412

Punto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Punto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
31	0	298	516	75	447	-893	436
32	223	298	520	76	670	-893	465
33	447	298	544	77	-793	-1190	407
34	670	298	588	78	-397	-1190	336
35	893	298	652	79	0	-1190	309
36	1120	298	727	80	223	-1190	321
37	-2380	0	1220	81	447	-1190	360
38	-1980	0	1030	82	-397	-1490	203
39	-1590	0	861	83	0	-1490	176
40	-1190	0	726	84	223	-1490	192
41	-793	0	625	85	0	-1790	0
42	-397	0	559				
43	0	0	530				
44	223	0	534				



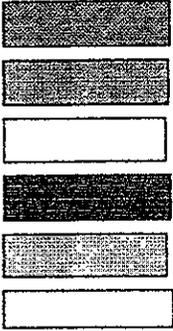
## Método Propuesto

Isolneas de Coeficientes de presión aplicando el método propuesto, con una dirección de viento de 0°.

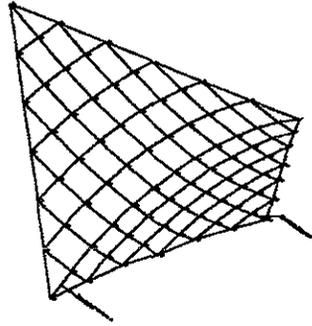
Zona

Ángulo

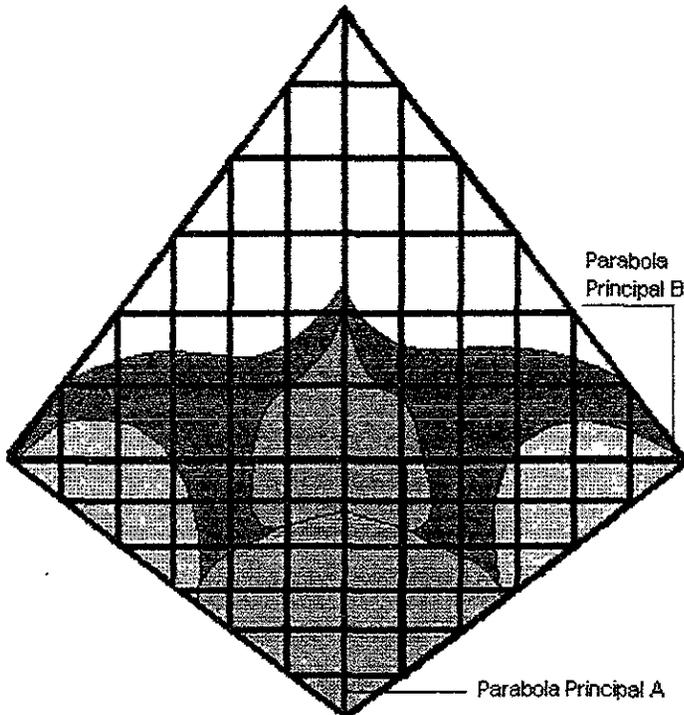
Coeficiente de presión.



5°	-1.00
10°	-0.99
15°	-0.97
20°	-0.95
25°	-0.92
30°	-0.50

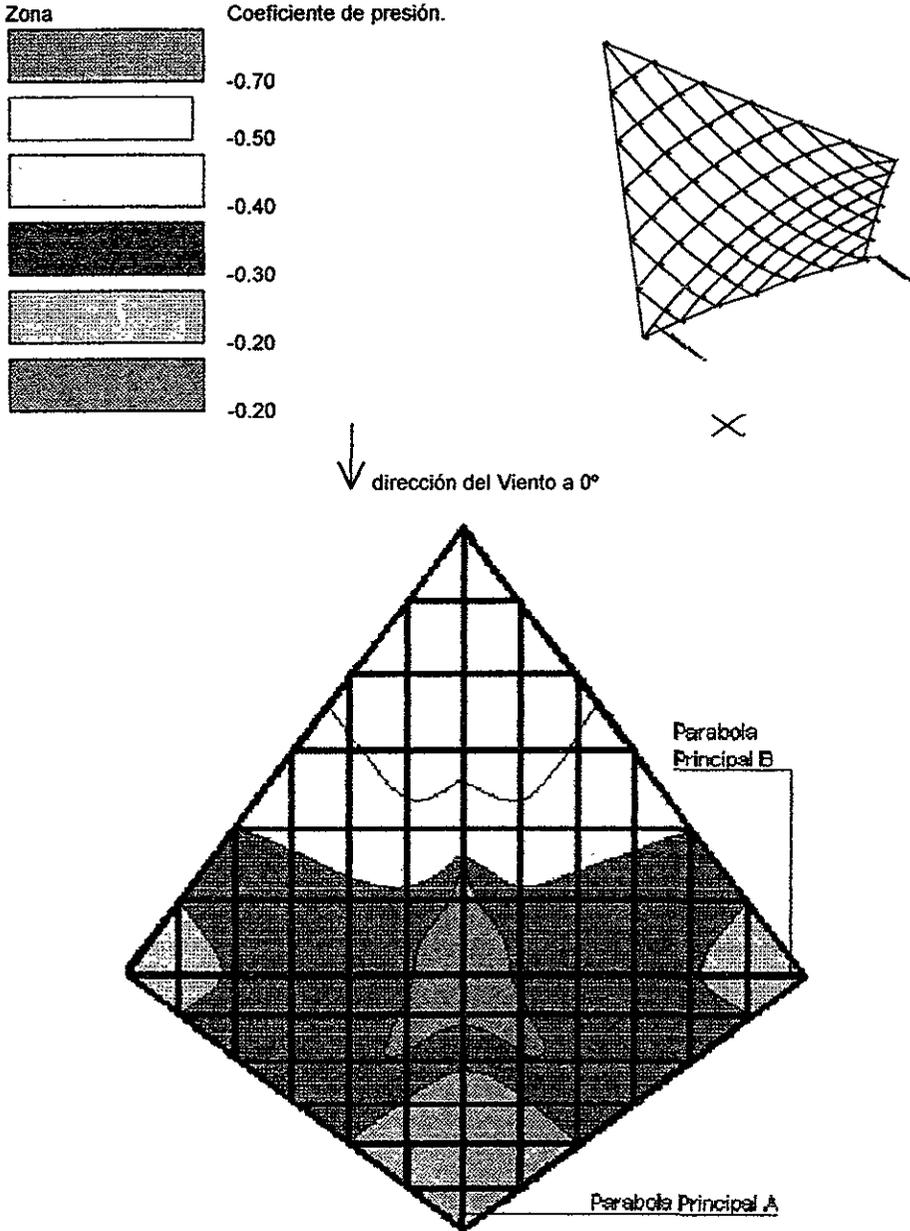


dirección del Viento a 0°



## Resultados del Túnel de Viento

Resultados del túnel de viento, isoclinas de coeficientes de presión, con una dirección de viento de  $0^\circ$ .



# Grafica Resumen con una Dirección del viento de 0°.

Zona	Método Propuesto	Resultados del Túnel de Viento	NTCDV	Calificación con respecto a lo propuesto Túnel NTCDV
	-1.00	-0.20	-0.88	2.00
	-0.99	-0.70	-0.80	7.07
	-0.97	-0.30	-0.80	3.09
	-0.95	-0.20	-0.80	2.10
	-0.50	-0.50	-0.50	10.00
	-0.50	-0.40	-0.50	8.00

Nota:

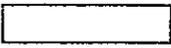
Para poder calificar supongo que el método propuesto tiene una calificación de 10, ejemplo Túnel / Método propuesto.

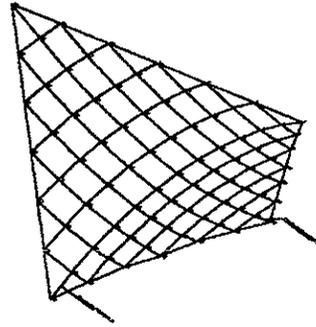
Para obtener el factor de presión para la cubierta según la tabla 2 se debe obtener la relación  $r = a / b$ , donde:  
 $a = 6.90 \text{ m}$  y  $b = 37.20 \text{ m}$   
 $r = a / b$ ;  $r = 6.90 / 37.20$ ;  $r = 0.185$   $r = 0.18$  si revisamos esta relación en la Tabla 2 indica que  $r < 0.20$ :

Zona	Valor a tomar
A	-0.80
B	-0.70-r por lo tanto $-0.70 - 0.18 = -0.88$
C	-0.50

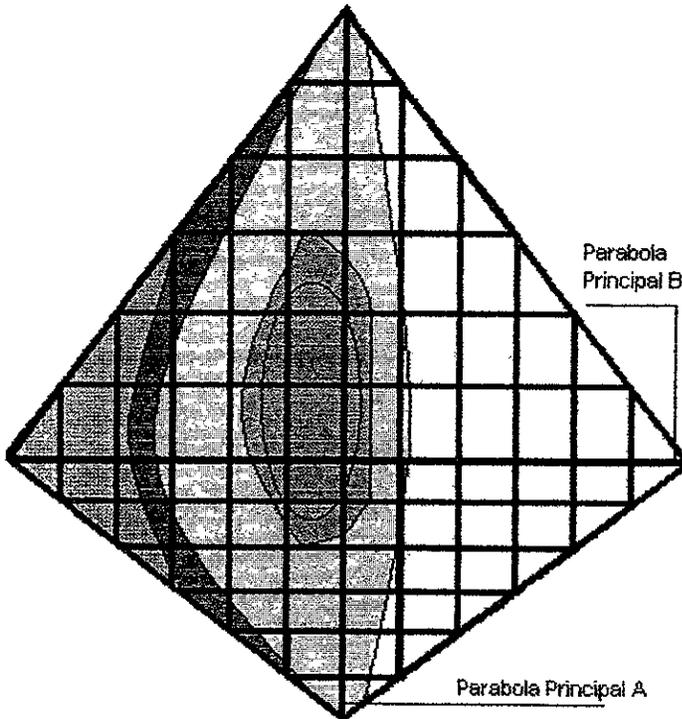
## Método Propuesto

Isolneas de Coeficientes de presión aplicando el método propuesto, con una dirección de viento de 90°.

Zona	Ángulo	Coefficiente de presión.
	5°	-1.00
	10°	-0.99
	15°	-0.97
	20°	-0.95
	25°	-0.92
	30°	-0.50




 dirección del Viento a 90°

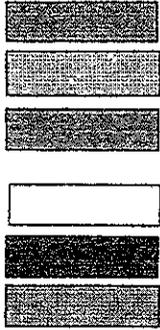


## Resultados del Túnel de Viento

Resultados del túnel de viento, isoclinas de coeficientes de presión, con una dirección de viento de 90°.

Zona

Coefficiente de presión.



-1.00

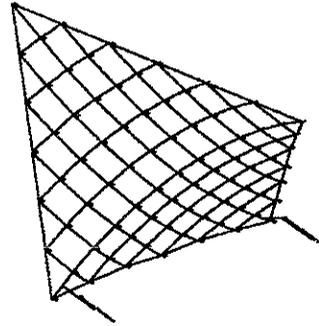
-0.90

-0.80

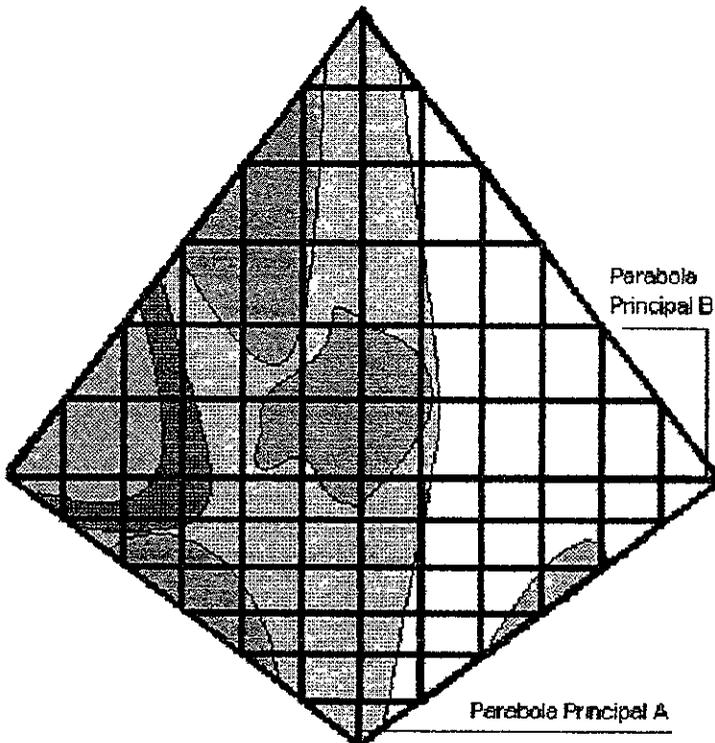
-0.50

-0.40

-0.20



dirección del Viento a 90° X



## Gráfica Resumen con una Dirección del viento de 90°.

Zona	Método Propuesto	Resultados del Túnel de Viento	NTCDV	Calificación con respecto a lo propuesto Túnel	NTCDV
	-1.00	-1.00	-0.85	10.00	8.50
	-0.99	-0.80	-0.85	8.08	8.58
	-0.97	-0.90	-0.80	9.27	8.25
	-0.95	-0.40	-0.80	4.21	8.42
	-0.92	-0.20	-0.80	2.17	8.70
	-0.50	-0.50	-0.50	10.00	10.00

Nota:

Para poder calificar supongo que el método propuesto tiene una calificación de 10, ejemplo Túnel / Método propuesto.

Para obtener el factor de presión para la cubierta según la tabla 2 se debe obtener la relación  $r = a / b$ , donde:

$$a = 5.30 \text{ m y } b = 35.80 \text{ m}$$

$$r = a / b; \quad r = 5.30 / 35.80; \quad r = 0.148 \quad r = 0.15 \text{ si revisamos esta relación en la Tabla 2 indica que } r < 0.20;$$

Zona	Valor a tomar
A	-0.80
B	-0.70-r por lo tanto $-0.70 - 0.15 = -0.85$
C	-0.50

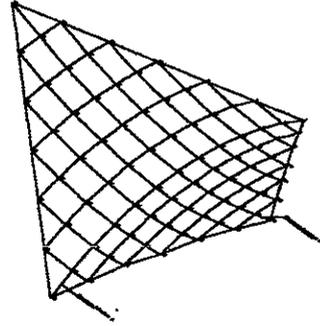
## Método Propuesto

Isolneas de Coeficientes de presión aplicando el método propuesto, con una dirección de viento de 130°.

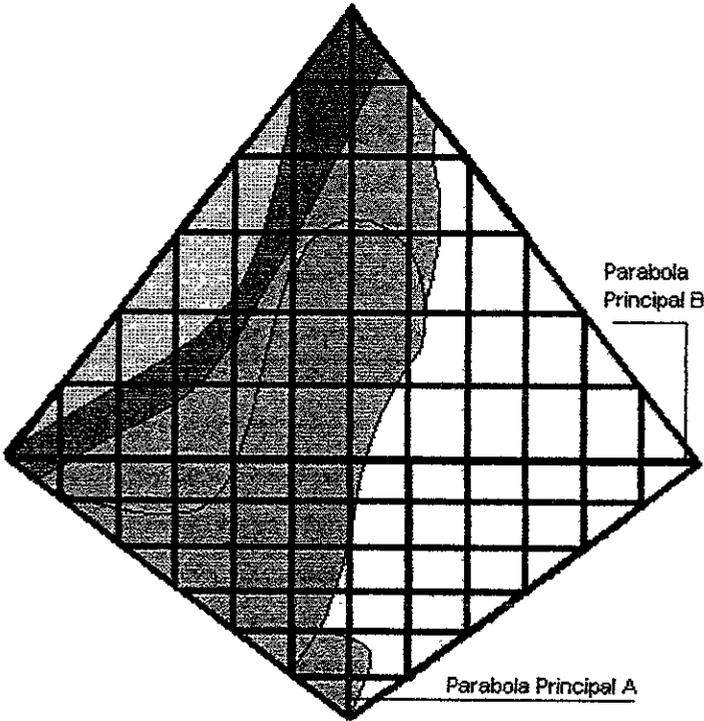
Zona                      Ángulo                      Coeficiente de presión.



5°	-1.00
10°	-0.99
15°	-0.97
20°	-0.95
25°	-0.50
30°	-0.88



dirección del Viento a 130° X



# Resultados del Túnel de Viento

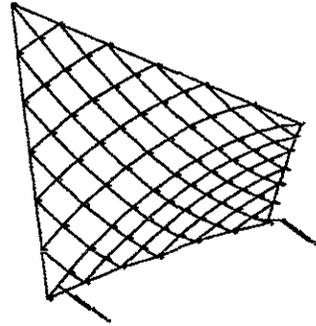
Resultados del túnel de viento, isolinias de coeficientes de presión, con una dirección de viento de 130°.

Zona

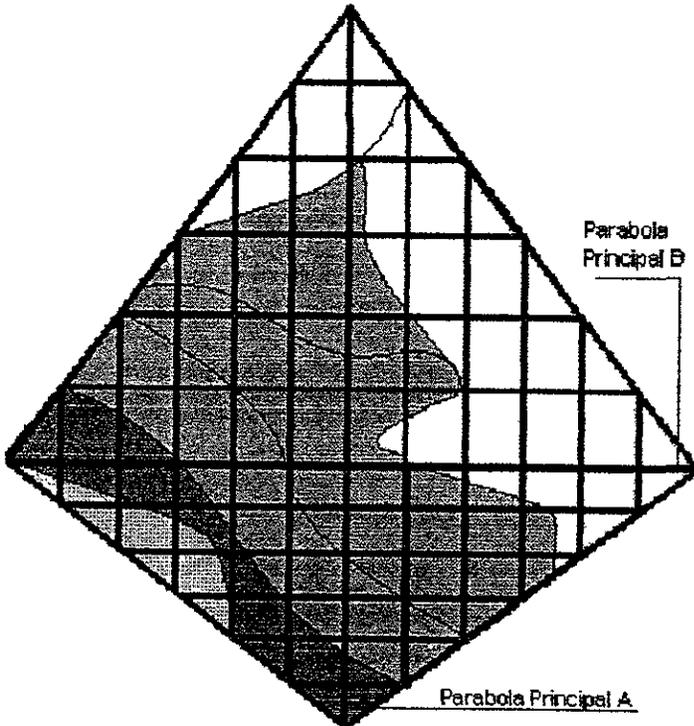
Coefficiente de presión.



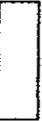
-1.00  
-0.80  
-0.40  
-0.30  
-0.20  
0.00



dirección del Viento a 130°



# Gráfica Resumen con una Dirección del viento de 130°.

Zona	Método Propuesto	Resultados del Túnel de Viento	NTCDV	Calificación con respecto a lo propuesto Túnel	NTCDV
	-1.00	-1.00	-0.81	10.00	8.10
	-0.99	-0.80	-0.80	8.08	8.08
	-0.97	-0.40	-0.80	4.12	8.24
	-0.95	-0.30	-0.80	3.15	8.42
	-0.50	-0.20	-0.50	4.00	10.00
	no registrada	-0.00	-0.80	-----	-----

Nota:

**Para poder calificar supongo que el método propuesto tiene una calificación de 10. ejemplo Túnel / Método propuesto.**

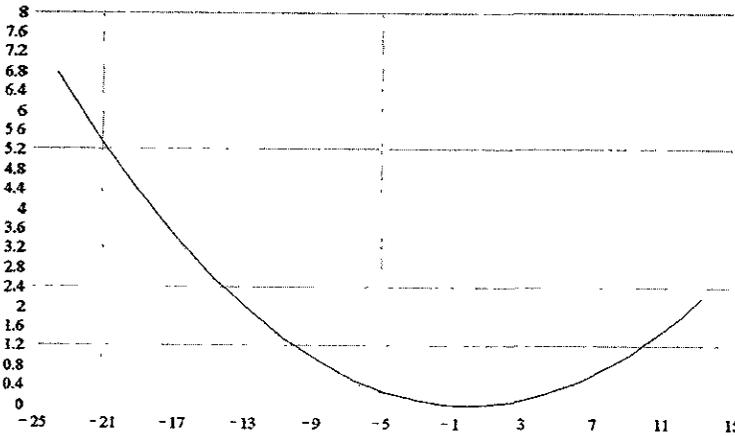
Para obtener el factor de presión para la cubierta según la tabla 2 se debe obtener la relación  $r = a / b$ , donde:  
 $a = 2.98 \text{ m}$  y  $b = 27.05 \text{ m}$  se tomaron las coordenadas 17 y 76 para está efecto.

$r = a / b$ ;  $r = 2.98 / 27.05$ ;  $r = 0.1101$   $r = 0.11$  si revisamos esta relación en la Tabla 2 indica que  $r < 0.20$ :

Zona	Valor a tomar
A	-0.80
B	-0.70-r por lo tanto $-0.70 - 0.11 = -0.81$
C	-0.50

Se realizará el cálculo de esfuerzos que obran sobre la Parábola principal "B" de la superficie anticlasticca, para estos fines vamos a suponer que desearamos realizarla a base de lona Shelter Rite modelo WTARP #8 con un peso de 1 kg/m<sup>2</sup>

<b>Cargas</b>		<b>Geometria de la parábola Principal "B".</b>		
wIB = 1.00	Kg peso de lona "wIB"	xB = 13.40, - 23.80	CP = 1.00	CP = coeficiente de presión
wcB = 2.50	kg peso por cables "wcB"	pB = 41.046		



X1B := 13.40    X2B = - 23.80    pB = 41.046

X1 = es la coordenada en x positiva y x2 = la cordenada en x negativa, cordenadas finales extremas

$$sB = \int_{X2B}^{X1B} \sqrt{1 + \left(\frac{x}{pB}\right)^2} dx \quad sB = \text{a longitud de la parábola principal "B".}$$

sB = 38.708                      m

LB = 23.80            m longitud en x del manto.            ZB := 6.90    m que es la altura del manto

WB = 3.50            Kg/m<sup>2</sup> peso del manto por carga gravitacional.

WvB = CP·80        kg/m<sup>2</sup> carga por viento.

**Cálculo del esfuerzo horizontal H**

**Calculo del esfuerzo Vertical V**

$$HB = \frac{[(WB + WvB) \cdot sB^2]}{(8 \cdot ZB)}$$

$$VB = \frac{((WB + WvB) \cdot sB)}{2}$$

HB = 2266.429    kg

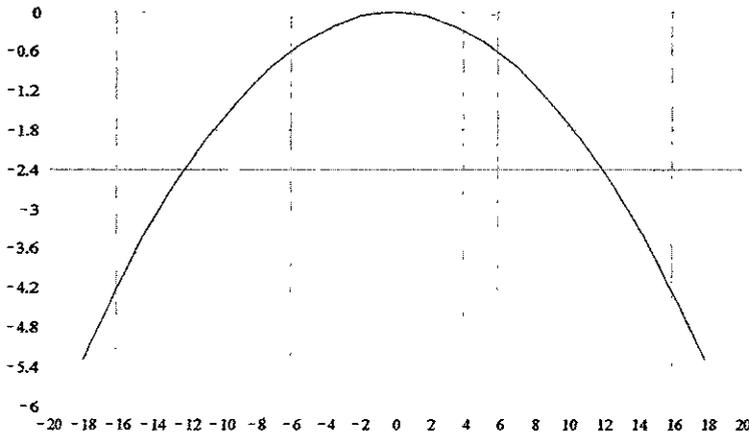
VB = 1616.047    kg

**Cálculo de la resultante auxiliandonos del metodo pitagorico RB**

$$RB = \sqrt{(HB^2 + VB^2)} \quad RB = 2783.578 \quad Kg$$

Se realizara el cálculo de esfuerzos que obran sobre la Parábola principal "A" de la superficie anticlasticca, para estos fines vamos a suponer que desearamos realizarla a base de lona Shelter Rite modelo WTARP #8 con un peso de 1 kg/m<sup>2</sup>

<b>Cargas</b>		<b>Geometria de la parábola Principal "B" CP := 1.00</b>	
wIA := 1.00	Kg peso de lona "wIA"	yA = 17.90, 16.11, - 17.90	CP = coeficiente de presión
wcA := 2.50	kg peso por cables "wcA"	pA := -30.227	



$$Y1A = 17.90 \quad Y2A = -17.90 \quad pA = -30.227$$

Y1 = es la coordenada en Y positiva y Y2 = la cordenada en Y negativa, cordenadas finales  
entramac

$$sA = \int_{Y2A}^{Y1A} \sqrt{\left[1 + \left(\frac{x}{pA}\right)^2\right]} dx$$

$$sA = 37.794 \quad m$$

LA := 13.40 m longitud en y del manto. ZA := 5.30 m que es la altura del manto

WA = 3.50 Kg/m<sup>2</sup> peso del manto por carga gravitacional.

WvA = CP·80 kg/m<sup>2</sup> carga por viento.

**Cálculo del esfuerzo horizontal H**

**Calculo del esfuerzo Vertical V**

$$HA = \frac{[(WA + WvA) \cdot sA^2]}{(8 \cdot ZA)}$$

$$VA := \frac{((WA + WvA) \cdot sA)}{2}$$

$$HA = 2813.003 \quad kg$$

$$VA = 1577.907 \quad kg$$

**Cálculo de la resultante auxiliandonos del metodo pitagorico RA**

$$RA := \sqrt{(HA^2 + VA^2)} \quad RA = 3225.334 \quad kg$$

Resumiendo tenemos dos resultados, RA y RB, estos resultados significan la tracción con la que el manto trabajara en sus fronteras mas fatigadas utilizando un coeficiente de succión de 1.00 con una velocidad de viento de 80 km/hr., este coeficiente se tomo ya que es el mayor coeficiente por el que el manto por el metodo propuesto y haci se vera afectado.

$$RA = 3225.334 \quad \text{kg de tracción}$$

$$RB = 2783.578 \quad \text{kg de tracción}$$

Ahora esta carga excede el esfuerzo de trabajo del manto en tracción, la lona Shelter Rite modelo WTARP #8, por lo que se decide que deberá de contener un cable de acero entre cada costura del manto, esta costura en promedio estara a cada 1.40 m, si obtenemos su area tributarea, está sera de 0.70 de cada uno de los lados, al ser la mas fatigada la parabola central se consioderara  $0.70 \times 2 = 1.40$  m. Por lo que se debera afectar las cantidades resultantes RA y RB por 1.40.

$$RAT = RA \cdot 1.40$$

$$RBT = RB \cdot 1.40$$

$$RAT = 4515.467 \quad \text{kg de tracción}$$

$$RBT = 3897.01 \quad \text{kg de tracción}$$

Calculo del cable y/o tensor de acero que se ubicara entre cada costura del manto de la superficie anticlastica.

Datos del tensor de acero:

$$F_y = 4200 \quad \text{kg / cm}^2$$

$$F_r = 0.90 \quad F_r = \text{factor de reducción.}$$

Calculo del area que debera de tener el tensor para la parabola principal "A"

$$a_{PPA} = \frac{RAT}{(F_y \cdot F_r)}$$

$$a_{PPA} = 1.195 \quad \text{cm}^2$$

Como observamos con un OS redondo solido liso de 1/2" con un area de 1.267 cm<sup>2</sup> es suficiente para absorber los esfuerzos de tracción que trabajan sobre la Parabola Principal "A"

Calculo del area que debera de tener el tensor para la parabola principal "B"

$$a_{PPB} = \frac{RBT}{(F_y \cdot F_r)}$$

$$a_{PPB} = 1.031 \quad \text{cm}^2$$

Como observamos con un OS redondo solido liso de 1/2" con un area de 1.267 cm<sup>2</sup> es suficiente para absorber los esfuerzos de tracción que trabajan sobre la Parabola Principal "B"

$pB = 41.046$  Parametro de la parabola principal "B"

$xB = 13.40.. - 23.80$  Rango en X de la parabola principal "B"

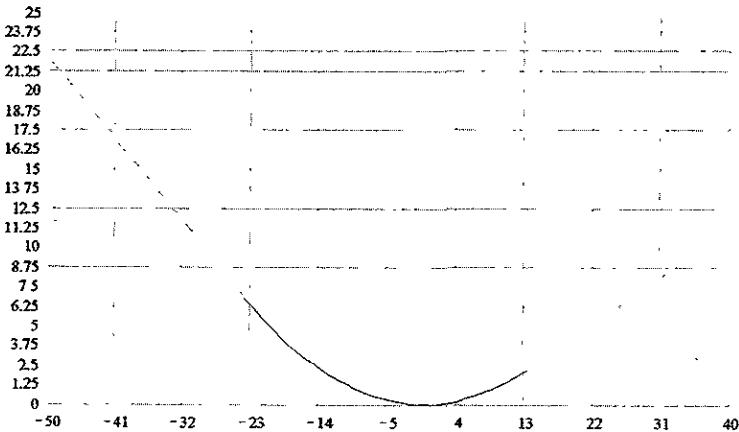
$ZI := -6.784583$  Altura del extremo izquierdo de la frontera de la PPB  $ZD := -2.03$  Altura del extremo derecho de la frontera de la PPB

$xI := -23.6.. - 50$  Rango en X izquierdo de la reaccion de la parabola principal "B"  $xD := 13.40.. 40$  Rango en X derecho de la reaccion de la parabola principal "B"

$m = \frac{-23.80}{pB}$  Pendiente de la reaccion izquierda.  $m2 = \frac{13.40}{pB}$  Pendiente de la reaccion derecha.

$RBT = 3897.01$  kg RB = reaccion en ambos extremos del manto.

Gráfica de la Parabola Principal "B" y sus reacciones respectivas, con pendientes respectivas



$yA := 17.90, 16.11.. - 17.90$  Parametro de la parabola principal "A"

$pA := -30.227$  Rango en X de la parabola principal "A"

$zI = 5.37$  Altura del extremo izquierdo de la frontera de la PPA

$zD := 5.37$  Altura del extremo derecho de la frontera de la PPA

$yI := -17.90.. - 40$  Rango en Y izquierdo de la reaccion de la parabola principal "A"

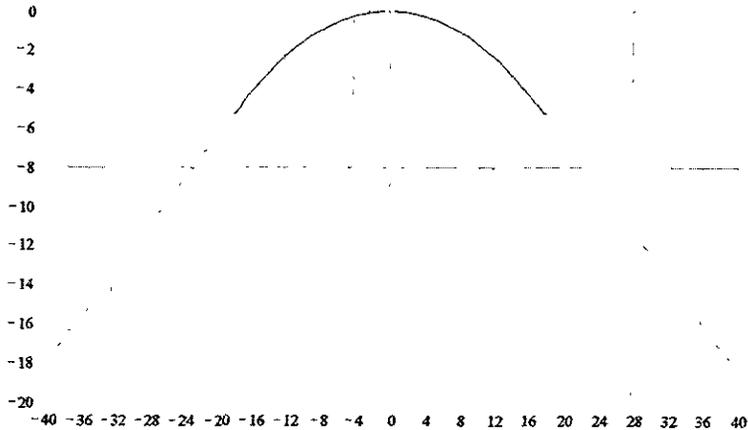
$yD := 17.90.. 40$  Rango en Y derecho de la reaccion de la parabola principal "A"

$M1 = \frac{-17.90}{pA}$  Pendiente de la reaccion izquierda.

$M2 = \frac{17.90}{pA}$  Pendiente de la reaccion derecha.

$RAT = 4515.467$  kg RA = reaccion en ambos extremos del manto.

Gráfica de la Parabola Principal "A" y sus reacciones respectivas, con pendientes respectivas



Se realizará el cálculo de esfuerzos que obran sobre la Parábola principal "B" de la superficie anticlasítica, para estos fines vamos a utilizar el coeficiente mas alto que predomino en el manto que es CP = -1.00, cabe resaltar que el signo negativo unicamente indica succión.

<b>Cargas</b>	<b>Geometria de la parabola Principal "B".</b>
wB = 1.00 Kg peso de lona "wB"	xB = 13.40. - 23.80 CP = 1.00 CP = coeficiente de presión
wcB = 2.50 kg peso por cables "wcB"	pB = 41.046

$$X1B = 13.40 \quad X2B = -23.80 \quad pB = 41.046$$

X1 = es la coordenada en x positiva y x2 = la cordenada en x negativa, cordenadas finales extremas

$$sB = \int_{X2B}^{X1B} \sqrt{\left[1 + \left(\frac{x}{pB}\right)^2\right]} dx \quad sB = \text{a longitud de la parabola principal "B".}$$

$$sB = 38.708 \quad m$$

LB = 23.80 m longitud en x del manto. ZB = 6.90 m que es la altura del manto

WB = 3.50 Kg/m<sup>2</sup> peso del manto por carga gravitacional.

WvB = CP·80 kg/m<sup>2</sup> carga por viento.

Calculo del esfuerzo horizontal H

Calculo del esfuerzo Vertical V

$$HB = \frac{[(WB + WvB) \cdot sB^2]}{(8 \cdot ZB)}$$

$$VB = \frac{[(WB + WvB) \cdot sB]}{2}$$

$$HB = 2266.429 \quad kg$$

$$VB = 1616.047 \quad kg$$

Calculo de la resultante auxiliandonos del metodo pitagorico RB

$$RB = \sqrt{(HB^2 + VB^2)} \quad RB = 2783.578 \quad Kg$$

Se realizará el cálculo de esfuerzos que obran sobre la Parábola principal "A" de la superficie anticlasítica, para estos fines vamos a utilizar el coeficiente mas alto que predomino en el manto que es CP = -1.00, cabe resaltar que el signo negativo unicamnete indica succión.

<b>Cargas</b>	<b>Geometria de la parabola Principal "B"</b>	CP = 1.00
wA = 1.00 Kg peso de lona "wA"	yA = 17.90, 16.11... - 17.90	CP = coeficiente de presión
wcA = 2.50 kg peso por cables "wcA"	pA = -30.227	

$$Y1A = 17.90 \quad Y2A = -17.90 \quad pA = -30.227$$

Y1 = es la coordenada en Y positiva y Y2 = la cordenada en Y negativa, cordenadas finales extremas

$$sA = \int_{Y2A}^{Y1A} \sqrt{\left[1 + \left(\frac{x}{pA}\right)^2\right]} dx \quad sA = 37.794 \quad m$$

LA = 13.40 m longitud en y del manto. ZA = 5.30 m que es la altura del manto

WA = 3.50 Kg/m<sup>2</sup> peso del manto por carga gravitacional.

WvA := CP·80 kg/m<sup>2</sup> carga por viento.

Calculo del esfuerzo horizontal H

Calculo del esfuerzo Vertical V

$$HA = \frac{[(WA + WvA) \cdot sA^2]}{(8 \cdot ZA)}$$

$$VA := \frac{((WA + WvA) \cdot sA)}{2}$$

HA = 2813.003 kg

VA = 1577.907 kg

Calculo de la resultante auxiliandonos del metodo pitagorico RA

$$RA = \sqrt{(HA^2 + VA^2)} \quad RA = 3225.334 \quad \text{kg}$$

Resumiendo tenemos dos resultados, RA y RB, estos resultados significan la tracción con la que el manto trabajara en sus fronteras mas fatigadas utilizando un coeficiente de succión de 1.00 con una velocidad de viento de 80 km/hr., este coeficiente se tomo ya que es el mayor coeficiente por el que el manto se vera afectado.

RA = 3225.334 kg de tracción

RB = 2783.578 kg de tracción

Ahora esta carga excede el esfuerzo de trabajo del manto en tracción, la Iona Shelter Rite modelo WTARP #8, por lo que se decide que deberá de contener un cable de acero entre cada costura del manto, esta costura en promedio estara a cada 1.40 m, si obtenemos su area tributarea, está sera de 0.70 de cada uno de los lados, al ser la mas fatigada la parabola central se considerará 0.70 x 2 = 1.40 m. Por lo que se debera afectar las cantidades resultantes RA y RB por 1.40.

RAT = RA · 1.40

RBT = RB · 1.40

RAT = 4515.467 kg de tracción

RBT = 3897.01 kg de tracción

Cálculo del cable y/o tensor de acero que se ubicara entre cada costura del manto de la superficie anticlastica.

Datos del tensor de acero:

Fy = 4200 kg / cm<sup>2</sup>

Fr = 0.90 Fr = factor de reducción.

Cálculo del area que debera de tener el tensor para la parabola principal "A"

$$aPPA = \frac{RAT}{(Fy \cdot Fr)}$$

aPPA = 1.195 cm<sup>2</sup>

Como observamos con un OS redondo solido liso de 1/2" con un area de 1.26 cm<sup>2</sup> es suficiente para absorber los esfuerzos de tracción que trabajan sobre la Parabola Principal "A"

Se realizará el cálculo de esfuerzos que obran sobre la Parábola principal "B" de la superficie anticlastic, para estos fines vamos a utilizar el coeficiente mas alto que predomino en el manto por NTCDV que es CP = -0.88, cabe resaltar que el signo negativo unicamente indica succión.

<b>Cargas</b>	<b>Geometria de la parabola Principal "B".</b>
wIB = 1.00 Kg peso de lona "wIB"	xB = 13.40... - 23.80 CP = 0.88 CP = coeficiente de presión
wcB = 2.50 kg peso por cables "wcB"	pB = 41.046

$$X1B = 13.40 \quad X2B = -23.80 \quad pB = 41.046$$

X1 = es la coordenada en x positiva y x2 = la cordenada en x negativa, cordenadas finales extremas

$$sB = \int_{X2B}^{X1B} \sqrt{1 + \left(\frac{x}{pB}\right)^2} dx \quad sB = a \text{ longitud de la parabola principal "B".}$$

$$sB = 38.708 \quad m$$

LB = 23.80 m longitud en x del manto. ZB = 6.90 m que es la altura del manto

WB = 3.50 Kg/m<sup>2</sup> peso del manto por carga gravitacional.

WvB = CP·80 kg/m<sup>2</sup> carga por viento.

Calculo del esfuerzo horizontal H

Calculo del esfuerzo Vertical V

$$HB = \frac{((WB + WvB) \cdot sB^2)}{(8 \cdot ZB)}$$

$$VB = \frac{((WB + WvB) \cdot sB)}{2}$$

$$HB = 2005.858 \quad kg$$

$$VB = 1430.25 \quad kg$$

Calculo de la resultante auxiliandonos del metodo pitagorico RB

$$RB = \sqrt{(HB^2 + VB^2)} \quad RB = 2463.55 \quad Kg$$

Se realizara el cálculo de esfuerzos que obran sobre la Parábola principal "A" de la superficie anticlastic, para estos fines vamos a utilizar el coeficiente mas alto que predomino en el manto que es CP = -0.88, cabe resaltar que el signo negativo unicamnete indica succión.

<b>Cargas</b>	<b>Geometria de la parabola Principal "B" CP = 0.88</b>
wIA = 1.00 Kg peso de lona "wIA"	yA = 17.90, 16.11... - 17.90 CP = coeficiente de presión
wcA = 2.50 kg peso por cables "wcA"	pA = -30.227

$$Y1A = 17.90 \quad Y2A = -17.90 \quad pA = -30.227$$

Y1 = es la coordenada en Y positiva y Y2 = la cordenada en Y negativa, cordenadas finales extremas

$$sA = \int_{Y2A}^{Y1A} \sqrt{1 + \left(\frac{x}{pA}\right)^2} dx \quad sA = 37.794 \quad m$$

Cálculo del area que debera de tener el tensor para la parabola principal "B"

$$a_{PPB} = \frac{RBF}{(F_y \cdot Fr)}$$

$$a_{PPB} = 1.031 \quad \text{cm}^2$$

Como observamos con un OS redondo solido liso de 1/2" con un area de 1.26 cm<sup>2</sup>es suficiente para absorber los esfuerzos de tracción que trabajan sobre la Parabola Principal "B"

LA = 13.40 m longitud en y del manto. ZA := 5.30 m que es la altura del manto

WA = 3.50 Kg/m<sup>2</sup> peso del manto por carga gravitacional.

WvA = CP-80 kg/m<sup>2</sup> carga por viento.

Calculo del esfuerzo horizontal H

Calculo del esfuerzo Vertical V

$$HA = \frac{[(WA + WvA) \cdot sA^2]}{(8 \cdot ZA)}$$

$$VA = \frac{((WA + WvA) \cdot sA)}{2}$$

HA = 2489.592 kg

VA = 1396.495 kg

Calculo de la resultante auxiliandonos del metodo pitagorico RA

$$RA = \sqrt{(HA^2 + VA^2)} \quad RA = 2854.517 \quad \text{kg}$$

Resumiendo tenemos dos resultados, RA y RB, estos resultados significan la tracción con la que el manto trabajara en sus fronteras mas fatigadas utilizando un coeficiente de succión de 0.88 con una velocidad de viento de 80 km/hr., este coeficiente se tomo ya que es el mayor coeficiente por el que el manto se vera afectado.

RA = 2854.517 kg de tracción

RB = 2463.55 kg de tracción

Ahora esta carga excede el esfuerzo de trabajo del manto en tracción, la lona Shelter Rite modelo WTARP #8, por lo que se decide que deberá de contener un cable de acero entre cada costura del manto, esta costura en promedio estara a cada 1.40 m, si obtenemos su area tributarea, está sera de 0.70 m de cada uno de los lados, al ser la mas fatigada la parabola central se considerará 0.70 x 2 = 1.40 m. Por lo que se debiera afectar las cantidades resultantes RA y RB por 1.40.

RAT = RA 1.40

RBT = RB 1.40

RAT = 3996.324 kg de tracción

RBT = 3448.97 kg de tracción

Calculo del cable y/o tensor de acero que se ubicara entre cada costura del manto de la superficie anticlastica.

Datos del tensor de acero:

Fy = 4200 kg / cm<sup>2</sup>

Fr = 0.90 Fr = factor de reducción.

Calculo del area que debiera de tener el tensor para la parabola principal "A"

$$aPPA = \frac{RAT}{(Fy \cdot Fr)}$$

aPPA = 1.057 cm<sup>2</sup>

Como observamos con un OS redondo solido liso de 1/2" con un area de 1.26 cm<sup>2</sup> es suficiente para absorber los esfuerzos de tracción que trabajan sobre la Parabola Principal "A"

**Cálculo del area que debera de tener el tensor para la parabola principal "B"**

$$a_{PPB} = \frac{RBT}{(Fy \cdot Fr)}$$

$$a_{PPB} = 0.912 \quad \text{cm}^2$$

Como observamos con un OS redondo solido liso de 7/16" con un area de 0.97 cm<sup>2</sup> es suficiente para absorber los esfuerzos de tracción que trabajan sobre la Parabola Principal "B"

## Resumen de los resultados de los análisis y diseño del manto en la PPA.

	Método Propuesto	Resultados del Túnel de Viento	NTCDV
<b>Reacciones</b>			
Horizontales	2,813.003 kg	2,813.003 kg	2,489.59 kg
Verticales	1,577.907 kg	1,577.907 kg	1,396.49 kg
Resultante	3,225.334 Kg.	3,225.334 Kg.	2,854.51 Kg.
<b>Esfuerzo en cable de relinga.</b>			
Resultante	3,225.334 Kg.	3,225.334 Kg.	2,854.51 Kg.
Diámetro de acero.	OS 1/2"	OS 1/2"	OS 1/2"
<b>Esfuerzo en lona</b>			
Actuante	23.03 kg/cm	23.03 kg/cm	20.30 kg/cm
Resistente	500.00 kg/cm	500.00 kg/cm	500.00 kg/cm

## Resumen de los resultados de los análisis y diseño del manto en la PPB.

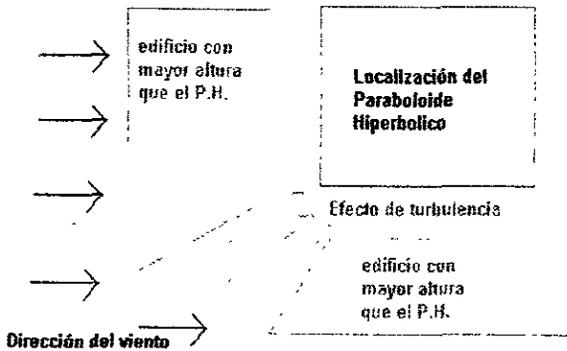
	Método Propuesto	Resultados del Túnel de Viento	NTCDV
<b>Reacciones</b>			
Horizontales	2,266.429 kg	2,266.429 kg	2,005.85 kg.
Verticales	1,616.047 kg	1,616.047 kg	1,430.25 kg.
Resultante	2,783.578 Kg.	2,783.578 Kg.	2,463.55 Kg.
<b>Esfuerzo en cable de relinga.</b>			
Resultante	2,783.578 Kg.	2,783.578 Kg.	2,463.55 Kg.
Diámetro de acero.	OS 1/2"	OS 1/2"	OS 7/16"
<b>Esfuerzo en lona</b>			
Actuante	19.88 kg/cm	19.88 kg/cm	17.59 kg/cm
Resistente	500.00 kg/cm	500.00 kg/cm	500.00 kg/cm

## 6.5.- Recomendaciones.

1.- La determinación de la forma arquitectónica de la superficie será un punto importante para conocer la forma de trabajo y comportamiento del manto.

1.A.- Cuando en el manto las dos parábolas principales en ninguna parte de su desarrollo se tienen tangentes con una inclinación mayor de  $44^\circ$  respecto a la dirección del viento, podemos decir que este solamente trabajara a succión.

1.B.- Si una de las dos y/o las dos parábolas principales tiene en su desarrollo tangentes mayores de  $45^\circ$ , sabemos que el manto tendrá esfuerzos de succión en algunas partes y en otros esfuerzos de empuje.



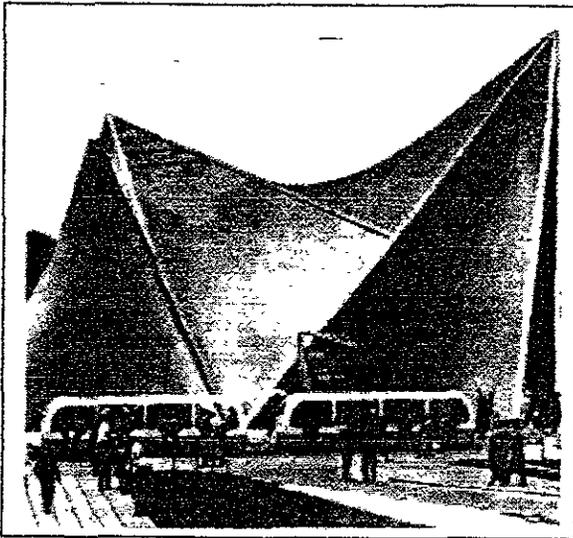
2.- El análisis se debe de realizar lo más cercano a la realidad, ya que por la posición urbana en que se ubique el manto podrá tener zonas donde se puedan crear zonas de vórtice, efectos de ráfaga o turbulencia en contra de la superficie.

3.- El manto presenta mayor esfuerzo de succión cuando el viento corre paralelamente a los ejes del P.H., por lo que se deberá de tener especial atención cuando se cubra esta condición.

4.- Estos resultados son aplicables a superficies semejantes ya que el viento origina efectos comparables con los del modelo en estudio cuando sopla en la misma dirección ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $130^\circ$ ).

5.- Para el Análisis de viento de cualquier estructura ligera es conveniente despreciar la carga gravitacional, así como, la carga viva ya que este tipo de cargas beneficia la estabilidad aerodinámica de la superficie.

6.- La superficie puede estar compuesta de varios paraboloides hiperbólicos, con distintas inclinaciones, en estos casos es necesario realizar pruebas en el túnel de viento.



Pabellón Philips, Exposición Universal de Bruselas 1958. Le Corbusier.

## CONCLUSIONES.

El objeto de la investigación es fundamentar un análisis de viento práctico, para superficies ligeras de forma geométrica poco usual y con características propias que las hacen particularmente sensibles a los efectos del viento como es el caso de paraboloides hiperbólicos, lonarías y cascarones.

El método propuesto está limitado a superficies como son los tipos Paraboloide Hiperbólico, y que estén compuestas en su superficie de un solo elemento, así como, que el modelo se encontraba cerrado en su perímetro ya que se consideraron muros lo suficientemente resistentes como para absorber esos esfuerzos en estos elementos estructurales, las reacciones, esfuerzo en cable de relinga y el esfuerzo en la lona, fueron analizadas sin considerar el tipo de apoyo, esto con la finalidad de que estos esfuerzos se puedan comparar por el lector en una cimentación, o en lo alto de un edificio histórico para cubrir un gran patio, o inclusive que lo coloquen en un puerto marítimo donde los vientos son mucho más veloces y constantes todo el año.

En cuanto a la seguridad estructural podemos observar que el Paraboloide Hiperbólico analizado por el método propuesto, las reacciones y resultantes obtenidas están igual de protegidos y/o equiparables a los resultados del túnel de viento, esto lo podemos traducir que los coeficientes de presión críticos y de diseño por el método propuesto son iguales a los coeficientes críticos y de diseño de los resultados del túnel de viento.

Podemos observar que la seguridad estructural es un 11.00 % mayor que si se realizara el análisis como lo indica el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, a través de las Normas Técnicas Complementarias de Diseño por viento, sin que con esto contraiga un resultado excesivo para las dimensiones y secciones de los materiales que deberán soportar estos esfuerzos que transmite el manto.

En cuanto a la calidad de los materiales estructurales con los cuales se podría construir el manto por medio del método propuesto son equiparables con los materiales a utilizar por medio de los resultados del túnel de viento, ya que para ambos se requiere para la Parábola Principal "A" un cable de relinga a base de un OS<sup>1</sup> con un diámetro de 1/2" con un esfuerzo a la fluencia del acero de  $F_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ , para la Parábola Principal "B" se requiere por ambos métodos un cable de relinga a base de un OS con un diámetro de 1/2" con un esfuerzo de fluencia del acero de  $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ .

Entre el método propuesto y el método que recomiendan las normas técnicas complementarias de diseño por viento si existe una diferencia de materiales, por ambos métodos para la construcción del cable de relinga para la Parábola Principal "A" se requiere de un OS con un diámetro de 1/2" con un esfuerzo de fluencia del acero de  $F_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ , sin embargo para el cable de relinga para la Parábola Principal "B" se requiere un OS con diámetro de 1/2" por el método propuesto, y por el método que recomienda las Normas Técnicas Complementarias de Diseño por Viento se requiere un OS con diámetro de 7/16" como observamos es 1/16" mas pequeño.

El tiempo es una variable importante, para poder analizar el manto por el método propuesto, basta con conocer cada uno de los puntos o coordenadas y empezar a derivar la ecuación del Paraboloide Hiperbólico conforme a la altura<sup>2</sup>, si son por ejemplo 85 coordenadas, como fue el caso de este manto, el tiempo es de 15 hrs. de trabajo, y obtenemos las izo líneas de presión.

Si analizamos el Paraboloide Hiperbólico por medio de estudios de laboratorio de Túnel de Viento se requiere de 2 maquetas, el tiempo para realizarlas se estima de la sig. forma, una es con la superficie rígida y elementos sustentantes flexibles y la segunda es con superficie flexible y elementos sustentantes rígidos, este tiempo estriba en 40 hrs. las pruebas del túnel de viento dependiendo del laboratorio se pueden tardar hasta 15 días hábiles para entregar los resultados y visualizaciones.

Las Normas Técnicas Complementarias de Diseño por Viento, empleando su método, se requiere aproximadamente de 6 hrs. de trabajo para analizar el manto. sin embargo los resultados empleados por el método propuesto se podrán utilizar como base, para conocer, de manera satisfactoria aproximada y calcular los esfuerzos a los que será sometido el manto por los efectos del viento. Para el diseñador de cubiertas colgantes le permite proyectar directamente y conocer los efectos del viento sobre la superficie.

El costo es indudablemente un aspecto importante, y trascendente, si evaluamos el tiempo para realizar el análisis del manto, el más costoso es indudablemente el Túnel de Viento, ya que las pruebas cuestan \$ 20,000.00 aproximadamente, ahora el resultado en comparación con el método propuesto, en cuanto a cargas y reacciones fueron las mismas, y los materiales a utilizar también fueron los mismos, esto es que para construirlo se requiere de un mismo costo por el método propuesto y por los resultados del túnel de viento.

---

<sup>1</sup> Designación IMCA

<sup>2</sup> Coordenada "Z"

Si comparamos el Método Propuesto con las recomendaciones de las Normas Técnicas Complementarias de Diseño por Viento, el costo es similar entre ambos métodos, sin embargo para construir el manto existe una pequeña diferencia en cuanto a la cantidad de los materiales, esto se refleja que en un costo global los resultados de las NTCDV, muestran resultados con fronteras del orden de los \$ 110.16<sup>3</sup> por cada cable de relinga, si en este ejercicio se utilizaron 5 piezas entonces la diferencia de costo son alrededor de \$ 550.80 pesos, por lo que es totalmente despreciable.

En cuanto al manto cabe mencionar, que los tres cubren perfectamente el esfuerzo requerido al esfuerzo soportado, por lo tanto por ninguno de los tres métodos se fatiga el manto y queda este aun muy sobrado, por lo que los tres tendrán las mismas características del manto por lo que el costo es el mismo para los tres métodos.

El estudio permite por medios netamente geométricos llegar a conclusiones cuantitativas de una seguridad estructural protegida contra efectos del viento y nos permite tener una idea clara de las condiciones de presión que ejercen sobre la superestructura, cabe mencionar que la información así como su interpretación de sus resultados y la posibilidad de aplicarlos a grandes superficies quedara sujeta a la responsabilidad del estructurista, se podrá tomar la resolución por si existieran dudas, en analizarlo en el túnel de viento.

El análisis no contempla la existencia de ningún obstáculo que lo protegiera o empeorara en contra o a favor del viento, así como, se dispuso el modelo sobre una superficie lisa, así mismo, las paredes de borde se consideraron lo suficientemente rígidas a fin de que la superficie sufriera deformaciones por los efectos del viento, al no considerar que el viento podría pasar por el interior del modelo (modelo abierto) los efectos de succión y empuje no se sumarían a los efectos de presión exteriores.

Las condiciones del viento que se tomaron fueron las ideales, esto es que, el viento real no es constante en su dirección ni en su velocidad ya que varia constantemente de dirección y en consecuencia provoca ráfagas.

Otro objetivo que se alcanza es que las superficies anticlasticas deben concebirse como sistema, esto es, un conjunto de subsistemas que se combinan ordenadamente para cumplir con una función determinada, realizar construcciones seguras y útiles para el ser humano.

---

<sup>3</sup> Provedor Ferre - Barniedo (Abril de 2000)

El proyecto definitivo se logra después de que todos los especialistas han realizado los ajustes y correcciones necesarias sobre la superficie, pero no podrá estar completo hasta que el diseñador, arquitecto e ingeniero hayan comprendido los efectos externos que concurren a la superficie.

El proceso de la investigación lleva a un resultado con gran acercamiento a la realidad, y de esta forma conocer los puntos en donde la superficie tendrá diferentes efectos a causa de la velocidad y dirección del viento, esto es que la forma y firme posición de la cubierta sobre los puntos de apoyo quedaran determinadas por su propio peso así como, los bordes de la cubierta.

Sin embargo se debe de tener la prudencia necesaria para diseñar la cimentación ya que esta por lo regular deberá de absorber todos los momentos provocados por el Paraboloide hiperbólico que serán transmitidos por los bordes a esta cimentación.

Una cubierta demasiado ligera puede ser totalmente levantada por el efecto de succión del viento, cuando este presente ráfagas de velocidades muy altas, esto es que el viento puede invertir su curvatura, siempre y cuando la succión y/o el empuje sea mayor que el peso propio de la estructura y los bordes no se hallen debidamente protegidos contra los máximos esfuerzos de presión ocasionados por el viento.

Una cubierta para que se pueda determinar como estructura ligera, cascaron o velaría debe de cubrir mínimo los siguientes requisitos.

- Deberá de tener forma curva simple o doble.
- El espesor de la cáscara debe de ser mínimo con relación a la superficie.
- Se debe de contar con materiales resistentes a la tracción y a la compresión.
- Bordes continuando con la curvatura y a la misma alineación del margen de la cáscara.

De esta investigación pueden continuar las siguientes líneas de investigación:

- ✓ Superficies formadas por 2 o mas Paraboloides Hiperbólicos y sus efectos ante el viento.
- ✓ Lonarias formadas por uno o mas Paraboloides Hiperbólicos y sus efectos de viento sobre edificios de piedra o historicos. (Palacio Nacional y/o Palacio de Minería)
- ✓ Lonarias para cubrir grandes claros en edificios de alto riesgo (cubrir el Estadio Azteca caso concreto)
- ✓ Lonarias formadas por Paraboloides Hiperbólicos para cubrir grandes claros. (cubrir piramides y pinturas, caso concreto Tajin)

**Índice General de Bibliografía Básica  
para la Investigación  
Análisis de Viento  
en la Concepción y Diseño Arquitectónico  
de  
Superficies Anticiclásticas.**

- 1.- Departamento del Distrito Federal.  
"Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento".  
Ed. Talleres Gráficos de la Nación.  
1994 México.
- 2.- Otto, Frei. "Cubiertas Colgantes".  
Ed. Labor.  
1982
- 3.- Ambrose, James & Dimitry Vergun.  
"Design for Lateral Forces".  
Ed. University of Southern California.  
1992 Los Ángeles, California.  
Chapter Three.  
Wind Effects on Buildings.
- 4.- Hang, Eberhard.  
"Redes a Priori".  
Ed. UNAM  
Laboratorio de estructuras laminares.  
Instituto de investigaciones Arquitectónicas.
- 5.- Comisión Federal de Electricidad.  
"Manual de Diseño por Viento".  
Editado por el Instituto de Investigaciones Eléctricas.
- 6.- Dr. Roberto Melí Piralla.  
Diseño Estructural.  
Ed. Limusa, Noriega Editores.  
1998, México.
- 7.- Ing. Botas Espinosa, Guillermo.  
"Mecánica de Suelos y Cimentaciones".  
Publicación Instituto de Ingeniería UNAM.
- 8.- Joedicke, Jurgén.  
Estructuras en Voladizo y cubiertas.  
Publicación Instituto de Ingeniería UNAM.
- 11.- Comentarios a las normas técnicas complementarias de diseño por viento.  
Instituto de Ingeniería.  
Publicación Instituto de Ingeniería UNAM.
- 12.- Mtro. en Ing. Guillermo Utreras Lariva.  
Análisis de un sistema de cubierta formado por cables.  
Tesis, Instituto de Ingeniería.  
1997, México.

## Glosario de Abreviaturas

A	Zona de barlovento tabla 2 (Factores de presión NTCDV).
B	Zona Central tabla 2 (Factores de presión NTCDV).
C	Zona de sotavento tabla 2 (Factores de presión NTCDV)
CFE	Comisión Federal de Electricidad.
Cp	Coefficiente de presión.
Cpe	Coefficiente de presión exterior.
Cz	Coefficiente de altura en la que se toma el viento.
D.F.	Distrito Federal.
Fa	Factor de exposición.
Fc	Factor de tamaño.
Frz	Factor de rugosidad y altura.
Ft	Factor topográfico.
G	Factor de corrección por temperatura y presión barométrica.
K	Constante de presión.
NTCDV	Normas Técnicas Complementarias de Diseño por Viento.
Pe	Presión Exterior.
PH y/o P.H.	Paraboloide Hiperbólico.
PPA	Parábola Principal "A".
PPB	Parábola Principal "B".
Vd	Velocidad de diseño.
Vr	Velocidad regional.
G	Factor de corrección por temperatura, altura y presión.
j	Presión barométrica.
p	Presión que ejerce el viento sobre una superficie, ya sea succión y/o empuje.
po	Presión de diseño.
qz	Presión dinámica de la base.
t	Temperatura.

## Corolarios.

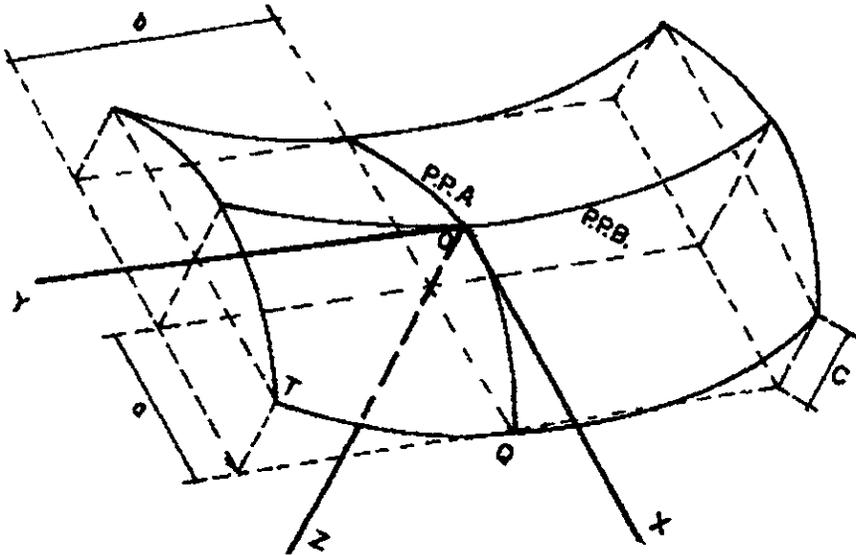
### A.- Superficie de translación.

Esta superficie se genera por la translación de una parábola principal A (PPA) la cual conservándose en su desplazamiento constantemente paralela así misma, se mueve a lo largo de otra parábola principal B (PPB) de concavidad opuesta de tal manera que el eje de la primera se halla siempre en el plano de la segunda.

De la figura siguiente el punto  $O$  y el eje  $Z$  vértice y eje común de las dos parábolas en su posición inicial, son, respectivamente, el vértice y el eje del paraboloides.

Las tangentes a las parábolas PPA y PPB en el punto  $O$ , y el eje  $Z$  construyen un sistema de ejes coordenadas ortogonales, que utilizaremos como sistema de referencia en la deducción de la ecuación del paraboloides, considerando como superficie de translación.

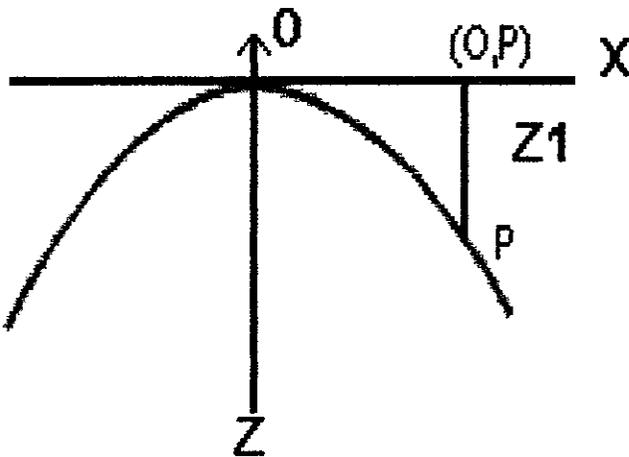
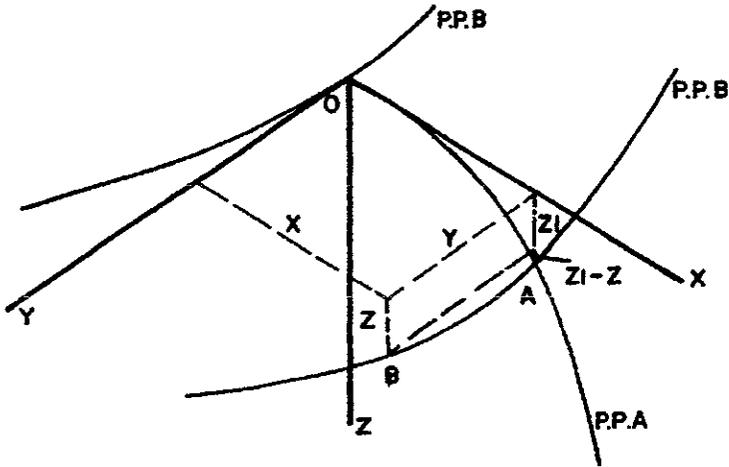
Los planos  $XZ$  y  $YZ$  son los planos principales y las parábolas en ellos contenidos son llamadas parábolas principales.



La ecuación de la superficie se deduce al considerar que el punto B (X, Y, Z) pertenecen a una parábola principal B (PPB) y el punto A (X, 0, Z1) a una parábola principal A (PPA).

A (X, 0, Z1)

B (X, Y, Z)



Sean  $P_a/2$  y  $P_b/2$  los  
parametros de PPA y  
PPB.  
 $V(0,0)$

Concava en la direccion  
positiva de Z

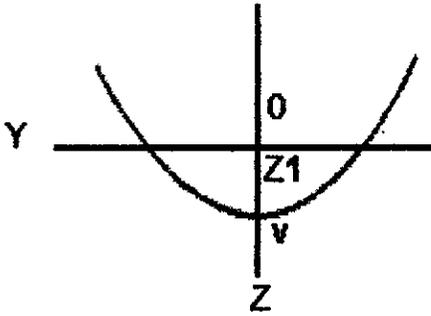
$$X^2 = 2 \cdot P_1 \cdot Z_0$$

Para el punto A (x, 0, Z1)

$$X^2 = 2 \cdot P_1 \cdot Z_1$$

Despejando Z1

$$Z_1 = \frac{X^2}{2 \cdot P_1}$$



$V(0, Z_0)$   
 Concava en el sentido negativo de Z.

$$(Y - Y_0)^2 := -2 \cdot P \cdot (Z - Z_1) \quad \square$$

$$Y_0 := 0 \quad Z_0 := 0 \quad P := P_2 \quad \square$$

Sustituyendo.

$$Y^2 := -2 \cdot P_2 \cdot (Z - Z_1) \quad \square$$

$$Y^2 := 2 \cdot P_2 \cdot (Z_1 - Z) \quad \square$$

De la parábola anterior se había despejado  $Z_1$

$$Z_1 := \frac{X^2}{2 \cdot P_1} \quad \square$$

Sustituyendo  $Z_1$  en la expresión anterior.

$$Y^2 := 2 \cdot P_2 \cdot \left( \frac{X^2}{2 \cdot P_1} - Z \right) \quad \square$$

$$Y^2 := \frac{(2 \cdot P_2 \cdot X)^2}{2 \cdot P_1} - (2 \cdot P_2 \cdot Z) \quad \square$$

$$Y^2 - \frac{2 \cdot P_2 \cdot X^2}{2 \cdot P_1} = -2 \cdot P_2 \cdot Z \quad \square$$

$$\frac{Y^2}{-2 \cdot P_2} - \frac{2 \cdot P_2 \cdot X^2}{2 \cdot P_1} \cdot \frac{1}{-2 \cdot P_1} = Z \quad \square$$

$$\frac{-Y^2}{2 \cdot P_2} + \frac{X^2}{2 \cdot P_1} = Z \quad \square$$

$$Z := \frac{X^2}{2 \cdot P_1} - \frac{Y^2}{2 \cdot P_2} \quad \square$$

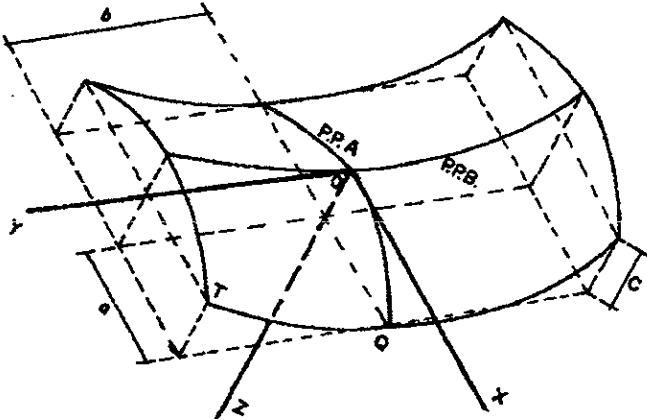
Esta última expresión es la ecuación del Paraboloides Hiperbólico a partir de los parámetros de sus parábolas.

Ecuación del Paraboloides hiperbólico en términos de sus parámetros a, b, c.

Es deseable establecer una relación entre los parámetros que describen las parábolas y los propios parámetros a, b, c, del paraboloides hiperbólico.

Sea la parábola principal A (plano XZ)

$$x^2 = 2 \cdot p_1 \cdot z$$



Podemos observar que dicha parábola pasa por el punto Q (a, 0, c); por lo tanto.

$a^2 = 2 \cdot p_1 \cdot c$ ; desarrollando

$$2 \cdot p_1 = \frac{a^2}{c}$$

$$p_1 = \frac{a^2}{2 \cdot c}$$

o bien

sea la parábola externa B que tiene su vértice en Q (a, 0, c)

$$(y - y_0)^2 = -2 \cdot p_2 \cdot (z - z_0) \cdot a$$

$$y_0 = 0$$

$$z_0 = 0$$

$$y^2 = -2 \cdot p_2 \cdot (z - c) \cdot a$$

Esta parábola pasa por el punto T (a, b, 0)

$$b^2 = -2 \cdot p_2 \cdot (0 - c) \Rightarrow$$

$$b^2 = 2 \cdot p_2 \cdot c \Rightarrow$$

$$2 \cdot p_2 = \frac{b^2}{c} \Rightarrow$$

$$p_2 = \frac{b^2}{2 \cdot c} \Rightarrow$$

o bien

resumiendo los resultados anteriores.

$$Z = \frac{1}{2 \cdot p_1} \cdot x^2 - \frac{1}{2 \cdot p_2} \cdot y^2 \Rightarrow$$

donde

$$2 \cdot p_1 = \frac{a^2}{c} \Rightarrow$$

$$\frac{1}{2 \cdot p_1} = \frac{c}{a^2} \Rightarrow$$

o bien

$$2 \cdot p_2 = \frac{b^2}{c} \Rightarrow$$

$$\frac{1}{2 \cdot p_2} = \frac{c}{b^2} \Rightarrow$$

o bien

Sustituyendo en el paraboloides hiperbólico.

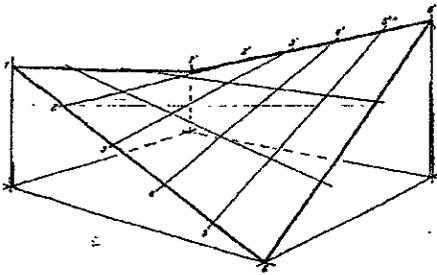
$$Z = \frac{c}{a^2} \cdot x^2 - \frac{c}{b^2} \cdot y^2 \Rightarrow$$

$$Z = c \cdot \left( \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} \right) \Rightarrow$$

$$\frac{Z}{c} = \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} \Rightarrow$$

Esta última expresión es la ecuación canónica del paraboloides hiperbólico.

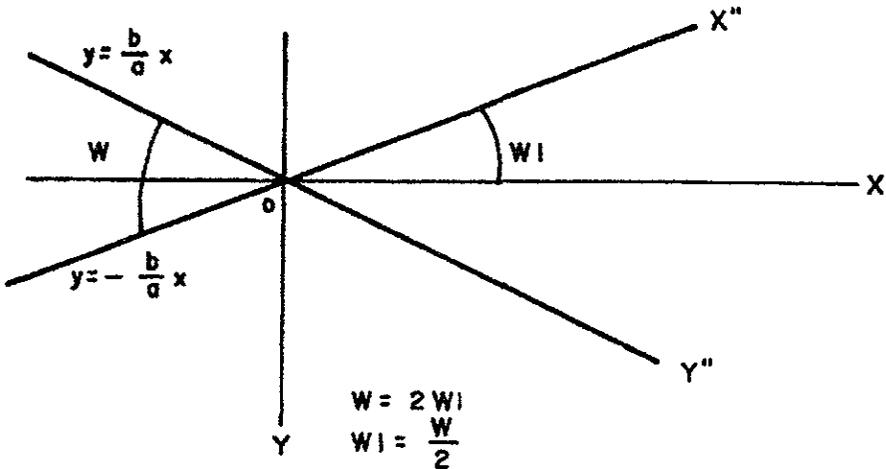
**B .- Superficie reglada.**



El Paraboloido Hiperbólico puede considerarse engendrado por una recta  $\lambda$  tal que apoyandose sobre otras dos rectas cualesquiera  $\nu_3, \nu_{-3}$  se mantienen en su movimiento constantemente paralela al plano director XOZ; o viceversa, por una recta  $\nu$  que, apoyándose sobre otras dos rectas cualesquiera  $\lambda_3, \lambda_{-3}$ , se mantiene constantemente paralela al plano director YOZ.

Ecuación del paraboloido hiperbólico referida a las generatrices que pasan por sus vértices y al eje (Superficie Reglada).

Ecuaciones de las generatrices.



En la ecuación del paraboloido Hiperbólico.  
sea  $Z=0$

$$\frac{Z}{c} = \frac{X^2}{a^2} - \frac{Y^2}{b^2}$$

Obtenemos.

$$\frac{X^2}{a^2} - \frac{Y^2}{b^2} = 0$$

La anterior expresión corresponde a un par de rectas.

$$\left(\frac{X}{a} + \frac{Y}{b}\right) \cdot \left(\frac{X}{a} - \frac{Y}{b}\right) := 0_{\alpha}$$

$$\left(\frac{X}{a} + \frac{Y}{b}\right) = 0_{\alpha}$$

$$\left(\frac{X}{a} - \frac{Y}{b}\right) := 0_{\alpha}$$

$$Y := -\frac{b}{a} \cdot X_{\alpha}$$

$$Y := \frac{-b}{a} \cdot X_{\alpha}$$

Recordando que  $dy/dx = \tan \alpha = m$   
 $\alpha = \text{ángulo de inclinación.}$

$$\frac{d}{dx} \left( \frac{b}{a} \cdot x \right) = \frac{b}{a}$$

$$\alpha := \frac{w}{2}$$

$$\tan\left(\frac{w}{2}\right) = \frac{b}{a}$$

Las ecuaciones de rotación son:

$$X = (x + y) \cdot \cos\left(\frac{w}{2}\right)_{\alpha}$$

$$Y := (y - x) \cdot \text{sen}\left(\frac{w}{2}\right)_{\alpha}$$

Sustituyendo en la ecuación del parabolode hiperbólico.

$$\frac{Z}{c} = \frac{(x + y)^2 \cdot \cos^2\left(\frac{w}{2}\right)}{a^2} - \frac{(y - x)^2 \cdot \text{sen}^2\left(\frac{w}{2}\right)}{b^2} \alpha$$

desarrollando.

$$\frac{Z}{c} := \frac{1}{a} \left[ x^2 \cdot \cos\left(\frac{w}{2}\right) + 2 \cdot x \cdot y \cdot \cos^2\left(\frac{w}{2}\right) + y^2 \cdot \cos^2\left(\frac{w}{2}\right) \right] - \frac{1}{b} \left[ y^2 \cdot \sin^2\left(\frac{w}{2}\right) + \left[ -2 \cdot x \cdot y \cdot \sin^2\left(\frac{w}{2}\right) + x^2 \cdot \sin^2\left(\frac{w}{2}\right) \right] \right] a$$

$$\frac{Z}{c} = \frac{x^2}{a^2} \cdot \cos^2\left(\frac{w}{2}\right) + \frac{2 \cdot x \cdot y}{a^2} \cdot \cos^2\left(\frac{w}{2}\right) + \frac{y^2}{a^2} \cdot \cos^2\left(\frac{w}{2}\right) - \frac{y^2}{b^2} \cdot \sin^2\left(\frac{w}{2}\right) + \left[ \frac{-2 \cdot x \cdot y}{b^2} \cdot \sin^2\left(\frac{w}{2}\right) + \frac{x^2}{b^2} \cdot \sin^2\left(\frac{w}{2}\right) \right] a$$

Ordenando de acuerdo a los términos de segundo grado.

$$\frac{Z}{c} := \frac{x^2}{a^2} \cdot \cos^2\left(\frac{w}{2}\right) - \frac{x^2}{b^2} \cdot \sin^2\left(\frac{w}{2}\right) + \frac{y^2}{a^2} \cdot \cos^2\left(\frac{w}{2}\right) - \frac{y^2}{b^2} \cdot \sin^2\left(\frac{w}{2}\right) + \sin^2\left(\frac{w}{2}\right) \cdot \frac{y}{a} \cdot \cos^2\left(\frac{w}{2}\right) + \frac{1 \cdot x \cdot y}{b^2} \cdot \sin^2\left(\frac{w}{2}\right) a$$

Teniendo en cuenta que  $\tan w/2 = b/a$ ; se prueba que el primer paréntesis es igual a cero; es decir.

$$\tan\left(\frac{w}{2}\right) = \frac{b}{a}$$

Entonces:

$$\frac{\cos^2\left(\frac{w}{2}\right)}{a^2} - \frac{\sin^2\left(\frac{w}{2}\right)}{b^2} = 0 a$$

$$\cos\left(\frac{w}{2}\right) = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}} a$$

$$\cos^2\left(\frac{w}{2}\right) = \frac{a^2}{a^2 + b^2} a$$

$$\sin\left(\frac{w}{2}\right) = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}} a$$

$$\sin^2\left(\frac{w}{2}\right) = \frac{b^2}{a^2 + b^2} a$$

$$\frac{\cos^2\left(\frac{w}{2}\right)}{a^2} - \frac{\sin^2\left(\frac{w}{2}\right)}{b^2} = \frac{1}{a^2} \cdot \left( \frac{a^2}{a^2 + b^2} \right) - \frac{1}{b^2} \cdot \left( \frac{b^2}{a^2 + b^2} \right) a$$

$$\frac{1}{a^2 + b^2} - \frac{1}{a^2 + b^2} = 0 a$$

Por lo tanto.:

$$\frac{Z}{c} = \left[ \frac{\cos^2\left(\frac{w}{2}\right)}{a^2} + \frac{\sin^2\left(\frac{w}{2}\right)}{b^2} \right] \cdot 2 \cdot x \cdot y a$$

Usando los valores de:

$$\cos^2 \cdot \left(\frac{w}{2}\right) u \quad y \quad \sin^2 \cdot \left(\frac{w}{2}\right) u$$

$$\frac{Z}{c} := \left[ \frac{1}{a^2} \cdot \left(\frac{a^2}{a^2 + b^2}\right) + \frac{1}{b^2} \cdot \left(\frac{b^2}{a^2 + b^2}\right) \right] \cdot 2 \cdot x \cdot y u$$

$$\frac{Z}{c} := \left( \frac{1}{a^2 + b^2} + \frac{1}{a^2 + b^2} \right) \cdot 2 \cdot x \cdot y u$$

$$\frac{Z}{c} := \frac{2}{a^2 + b^2} \cdot 2 \cdot x \cdot y u$$

$$Z := \frac{4 \cdot c}{a^2 + b^2} \cdot x \cdot y u$$

Haciendo que K sea igual a:

$$k := \frac{4 \cdot c}{a^2 + b^2} u$$

$$z := k \cdot x \cdot y u$$

Ecuación del parabolode hiperbólico, considerado como una superficie reglada.

**Anexo.**  
**Tablas promedio de presión barométrica y temperatura.**

Vigencia 1996

Estado	Presión Barométrica. mm. de Hg.	Temperatura de Cálculo. °C
<b>AGUASCALIENTES</b>		
Aguascalientes	816	34
Elias Calles	802	33
Rincón de Romos	809	35
<b>BAJA CALIFORNIA</b>		
Ensenada	1012	34
La Paz	1011	36
Mexicali	1013	43
Tijuana	1010	35
<b>CAMPECHE</b>		
Campeche	1010	36
Ciudad del Carmen	1013	37
<b>COAHUILA</b>		
Concordia	893	37
Cuatro Ciénegas	931	40
La Flor del Jimulco	812	41
La Joya	891	42
Matamoros	891	34
Tierra Mojada	877	39
<b>COLIMA</b>		
Colima	958	36
Manzanillo	1013	35
<b>CHIAPAS</b>		
San Cristóbal de las Casas	922	29
Tapa chula	944	34
Tonala	1007	34
Tuxtla Gutiérrez	953	35
<b>CHIHUAHUA</b>		
Casas Grandes	855	43
Chihuahua	860	35
Ciudad Guerrero	989	41
Ciudad Juarez	889	37
Namiculpa	821	36
Ojinaga	920	45
<b>DISTRITO FEDERAL</b>		
Desierto de los Leones	697	28
Mexico - Central - Tacubaya	776	32
Mexico Chapultepec	780	30
Mexico Minería	779	29

Estado	Presión Barométrica. mm. de Hg.	Temperatura de Calculo. °C
<b>DURANGO</b>		
Ciudad Lerdo	889	36
Durango	814	33
Guadalupe Victoria	806	43
Guatimape, Canatlan	806	36
<b>GUANAJUATO.</b>		
Abasolo	827	36
Celaya	828	38
Ciudad Alvaro Obregon	817	33
Guanajuato	801	32
Irapuato	831	35
Leon	822	34
San Miguel de Allende	818	34
Salvatierra	827	35
<b>GUERRERO</b>		
Acapulco de Juarez	1013	33
Ciudad Bravo (Chilpancingo)	878	33
Iguala	932	39
Taxco	828	34
Tierra Colorada	980	38
<b>HIDALGO</b>		
Actopan	805	32
Huichapan	795	35
Ixmiquilpan	829	37
Pachuca	764	29
Tulancingo	787	32
Tizayuca	779	33
<b>JALISCO</b>		
Guadalajara	844	33
Lagos de Moreno	816	39
Puerto Vallarta	1013	36
<b>MEXICO</b>		
Netzahualcoyotl	778	32
Teotihuacan	777	31
Tecamac	748	29
Toluca	743	26
<b>MICHOACAN</b>		
Apatzingan	937	39
Morelia	812	30
Patzcuaro	791	34
San Diego	902	33
Zamora	840	35
Zitacuaro	798	32

Estado	Presión Barométrica. mm. de Hg.	Temperatura de Calculo. °C
<b>MORELOS</b>		
Cuautla	874	42
Cuernavaca	849	31
Puente de Ixtla	914	38
<b>NAYARIT</b>		
Isla Maria Madre	1013	35
Tepic	912	36
Tetiltlan	930	37
Tuxpan	1009	35
<b>NUEVO LEON</b>		
El milagro	1005	38
Las Enramadas	988	47
Monterrey	954	38
Villa de Santiago	963	40
<b>OAXACA</b>		
El Chico Nochistlan	860	35
Oaxaca	848	35
Puerto Angel	1008	35
Salina Cruz	1007	34
Tlaxiaco	804	32
<b>PUEBLA</b>		
Huauchinango	843	37
Huejotzingo	785	41
Puebla	790	29
Tehuacan	835	34
<b>QUERETARO</b>		
Queretaro	819	33
San Juan del Rio	800	33
Tolimán	852	34
<b>QUINTANA ROO</b>		
Cancun	1013	34
Cozumel	1013	33
Playa Obispo	1013	34
<b>SAN LUIS POTOSI</b>		
Agua Buena	974	41
Salinas	795	39
San Luis Potosi	816	34
Villa Guemero	1006	41
<b>SINALOA</b>		
Ahome	1009	42
Cosala	963	38
Cullacan	1007	37
Mazatlan	1004	31

Estado	Presión Barométrica. mm. de Hg.	Temperatura de Cálculo. °C
Panuco, Concordia	946	38
Topolobambo	1013	37
<b>SONORA</b>		
Ciudad Obregon	1009	43
Guaymas	1013	42
Nogales	885	37
San Luis Rio Colorado	1009	51
<b>TABASCO</b>		
Alvaro Obregon	1013	40
Villa Hermosa	1012	37
<b>TAMAULIPAS</b>		
Abasolo	1004	41
Ciudad Victoria	997	38
Matamoros	1012	36
Tampico	1011	36
<b>TLAXCALA</b>		
Apixaco	767	36
Tlaxcala	781	28
<b>VERACRUZ</b>		
Alvarado	1012	35
Venustiano Carranza	1000	40
Veracruz	1011	33
Zapotitlan	1013	35
<b>YUCATAN</b>		
Merida	1011	37
Progreso	1012	36
Valladolid	1011	37
<b>ZACATECAS</b>		
Fresnillo	781	36
Rio Grande	824	37
Zacatecas	784	28