

# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

---

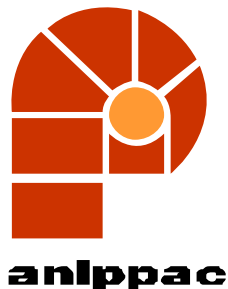
## EMPLEO DE FORMAS CUADRÁTICAS Y DEL CÍRCULO DE MOHR PARA CUANTIFICAR Y COMPRENDER LOS EFECTOS DE LA DISTRIBUCIÓN IRREGULAR DE RIGIDECES EN PLANTAS DE EDIFICIOS.

POR

MARIO PAPARONI M.  
UNIMET-UCAB CARACAS, VENEZUELA

### *Motivación:*

*Este Trabajo está destinado a presentar muy brevemente una serie de investigaciones teóricas sobre los efectos de las distribuciones irregulares en orientaciones y en valores de las rigideces de los pórticos (o muros) estructurales en plantas singulares de edificios. Estos trabajos se originaron en el deseo del autor de encontrar semejanzas entre la forma en que tratamos los problemas en la Resistencia de Materiales clásica al referirse a secciones de miembros y a cómo pudiésemos tratar como "secciones" de una viga en voladizo a las estructuras de edificaciones. Las expresiones encontradas son de ayuda para predimensionar y también para revivir la vieja escuela estructural del siglo XIX que utilizaba las elipses de elasticidad de Culmann (una cónica proyectiva) para analizar estructuras.*



# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

---

*Como corolario de lo anterior, y también como razonamiento intuitivo, el círculo de Mohr debía aparecer en algún lugar, dado que éste no es más que un método gráfico para encontrar los autovalores y autovectores (ejes y direcciones principales de las elipses que resultan). Era también lógico el esperar que hubiese algún tipo de semejanzas matemáticas entre las formas de Manejar Momentos de Inercia y Productos de Inercia Seccionales en Miembros Rectilíneos y las formas de hacerlo con una planta de un Edificio, o con el Edificio entero, ya que éste es un simple voladizo que actúa como viga compleja (de Flexión, de Cortante y Homogénea).*

**Los resultados utilizables obtenidos hasta ahora han sido los siguientes:**

**1) Centro de Rigidez y Direcciones Principales, Círculo de Mohr:** se presenta una formulación general que permite encontrar los centros de rigidez y las direcciones principales de plantas de edificios en las cuales los "pórticos" pueden tener orientaciones y rigideces cualesquiera. Esta Formulación contiene implícitamente todos los términos necesarios para definir un Círculo de Mohr de rigideces de Planta con las formulaciones que determinan las direcciones y las rigideces principales. También las "Funciones de Energía" obtenidas nos permiten visualizar las posibles inestabilidades torsionales de una planta "irregular"

## 2) Comencemos con la Torsión, indefectiblemente ligada a las traslaciones:

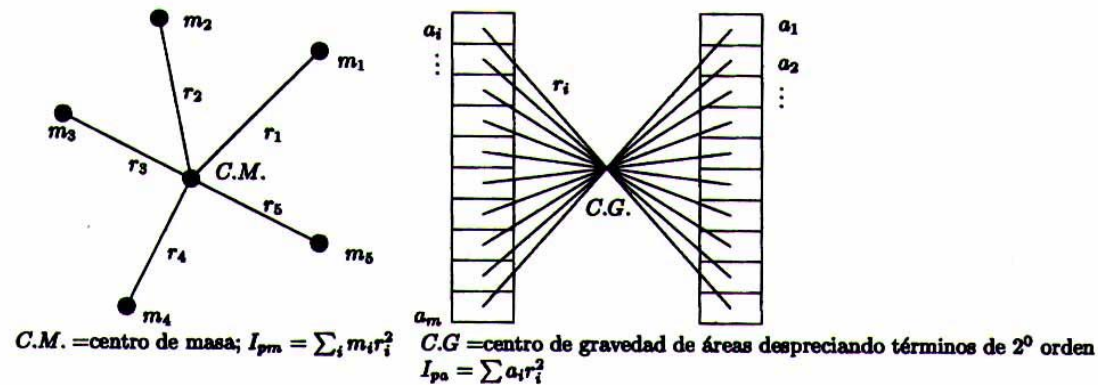
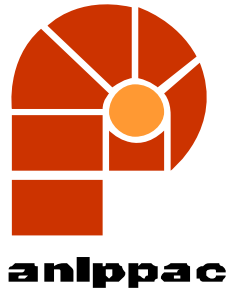


Figura 1:

Esta Figura representa el Concepto de Momento de Inercia Polar de Masas, de la Mecánica y un Momento de Inercia Polar Áreas, tal como lo manejamos en la Resistencia de Materiales



# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

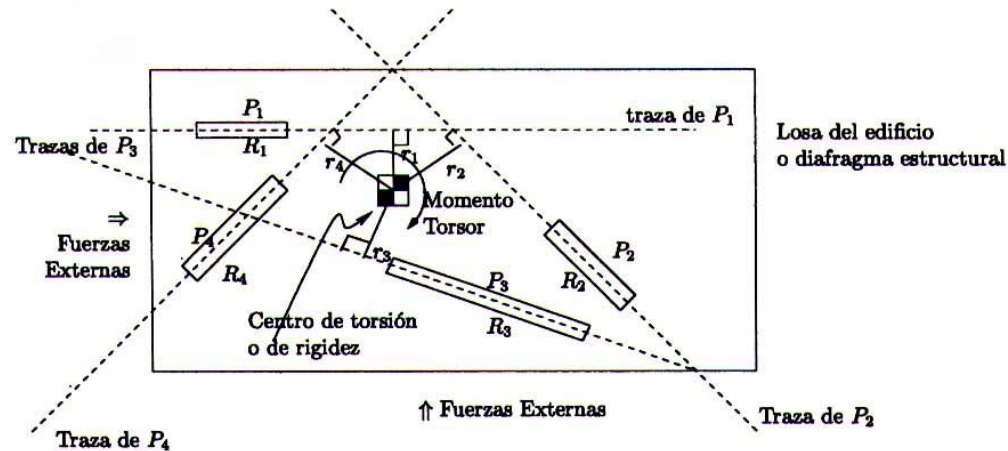
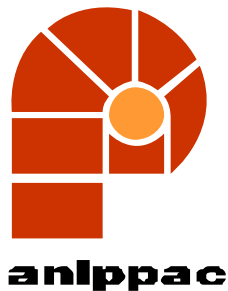


Figura 2:

## MOMENTO DE INERCIA POLAR DE LINEAS DE RIGIDEZ:

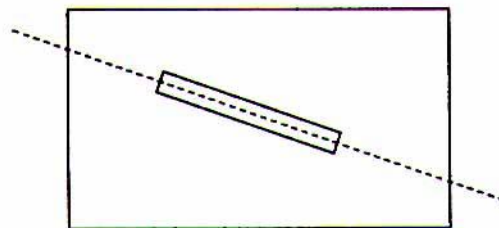
Esta figura representa el Concepto de Momento de Inercia Polar de un grupo de Trazas de Pórticos alrededor de su centro de Rigidez. El centro de Rigidez ha de situarse en aquel punto del plano que minimice ese Momento de Inercia Polar, por el Principio de Energía Mínima o Teorema de Castigliano. Cada Traza posee su propia Rigidez, puramente Lineal.



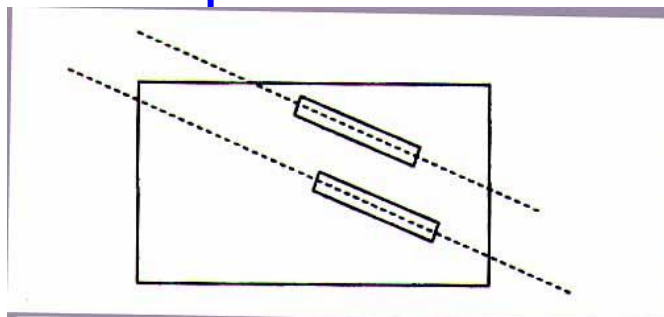
# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

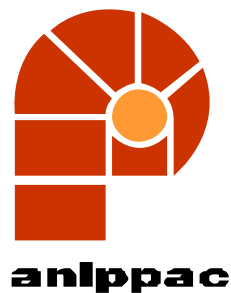
## VEAMOS AHORA LOS CASOS REALES POSIBLES, EN ORDEN COMPLEJIDAD:



**Un Pórtico singular, Estructura Incapaz de Tomar torsión e incapaz de tomar fuerzas horizontales que no estén en el plano del único Pórtico. Momento Polar Nulo.**

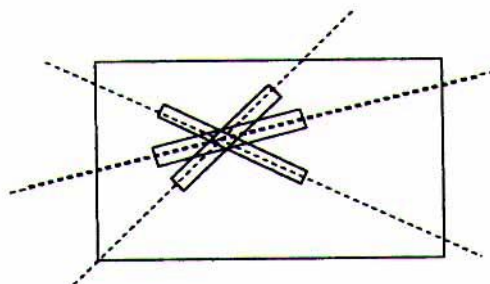


**Dos o más pórticos Paralelos; Planta incapaz de tener un centro de rigidez definido, e incapaz de tomar fuerzas horizontales en cualquier dirección, sólo posee una única línea de rigidez resultante. Momento de Inercia Polar indefinido.**

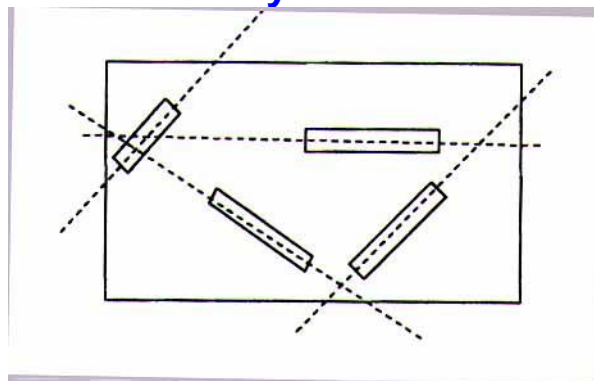


# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

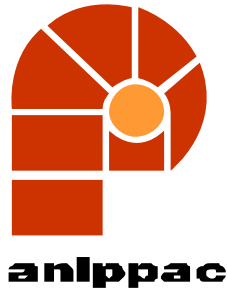
2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006



**Pórticos Concurrentes en un punto; Planta Capaz de Tomar fuerzas en cualquier dirección, No resiste Torsión. No Hay ni centro de Torsión ni Momento Polar**

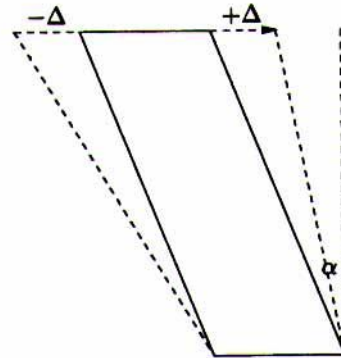


**Al menos tres pórticos con trazas no coplanares ni concurrentes; planta capaz de resistir fuerzas horizontales en cualquier dirección y también Torsión. Momento Polar o nulo. Centro de Torsión Definido.**



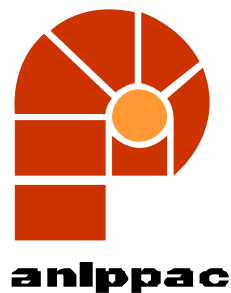
# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006



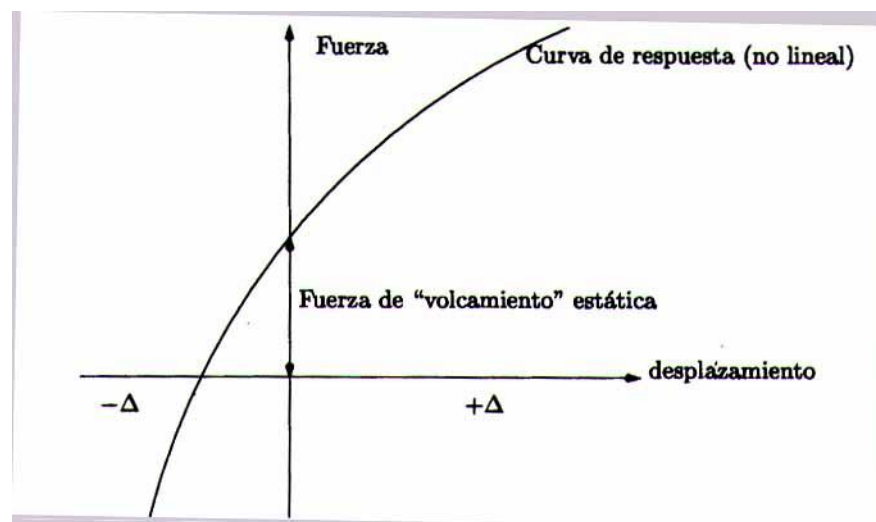
**Posibilidad de existencia de una "Rigidez Negativa" efectiva; cuando existan edificios no verticales con inclinaciones pronunciadas. Una "Rigidez Negativa" es un ingrediente de Inestabilidad Gravitatoria.**

*Este concepto lo podemos considerar también como una situación límite hacia la cual puede "irse" una estructura si se deforma excesivamente, p. ej. por excesiva deriva sísmica o eólica. Esta situación daría lugar a cambios en las elipses y elipsoides (cónicas o cuádricas) muy oblongos para dar un paso hacia cónicas o cuádricas abiertas, como veremos en otras figuras.*

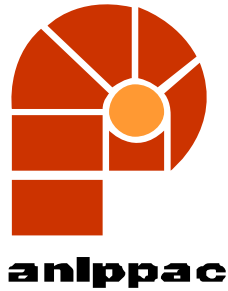


# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006



**Esta figura puede servir de ejemplo de cómo la no linealidad de respuesta de una estructura, o de una parte de ella, puede dar lugar a cambios notables en las conductas lineales que solemos atribuir a las estructuras en nuestros análisis**



# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

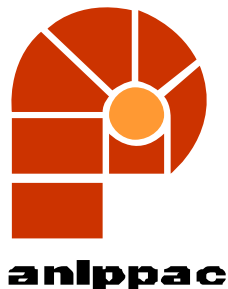
2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

## 2) Plantas "Regladas" vs Secciones "Areales" vs.'Masas puntuales'

Existe una diferencia sustancial entre las secciones homogéneas de un miembro, formadas por elementos de área, como ocurre en la Resistencia de Materiales y las "secciones regladas" formadas por las trazas que los sistemas resistentes de una planta definen sobre el plano de cada planta.

A pesar de esas diferencias, aparece un sustrato metodológico común que permite conectar estas dos visiones que se suelen considerar como muy diversas entre sí. Este es justamente el problema cuyos detalles dejaremos para el artículo " Un Tratamiento Matemático de la Rigidez Torsional de una Planta de Edificio con pórticos en Direcciones Arbitrarias". Sólo aclaremos algunos conceptos y formulaciones tomados de él.

- Cada Traza de pórtico queda definida, en un sistema arbitrario (escogible por el usuario) de coordenadas por las ecuaciones de sus Trazas (líneas rectas), de la forma:  $aix + biy + ci = 0$ ; luego trazamos normales a dichas rectas desde un punto, variando las coordenadas de ese punto podremos un mínimo de la función "Momento de Inercia Polar de Rigideces Lineales", ubicaremos la posición del Centro de Rigidez de ese conjunto de trazas. (Castigliano).



# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

Para ello definiremos los siguientes parámetros, que se aplican a una planta dada:

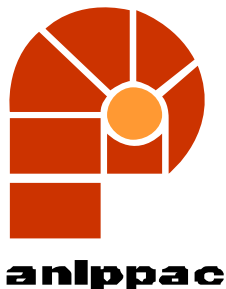
•  $A_{11}$  y  $A_{22}$  (rigideces) son las análogas de los Momentos de Inercia

$$A_{11} = \sum_1^n \frac{R_i a_i^2}{a_i^2 + b_i^2} \quad A_{22} = \sum_1^n \frac{R_i b_i^2}{a_i^2 + b_i^2} \quad A_{12} = A_{21} = \sum_1^N \frac{R_i a_i b_i}{a_i^2 + b_i^2} \quad P_1 = -\sum_1^N \frac{R_i a_i c_i}{a_i^2 + b_i^2} \quad P_2 = -\sum_1^N \frac{R_i b_i c_i}{a_i^2 + b_i^2}$$

•  $A_{12} = A_{21}$  es el análogo de un Producto de Inercia. Los términos  $P_1$  y  $P_2$  son también análogos de un Producto de Inercia. Todo esto formalmente hablando.

Las Coordenadas del Centro de rigidez resultan ser las siguientes:

$$x_o = \frac{P_1 A_{22} - P_2 A_{12}}{A_{11} A_{22} - A_{12}^2} \quad y_o = \frac{P_2 A_{11} - P_1 A_{12}}{A_{11} A_{22} - A_{12}^2}$$



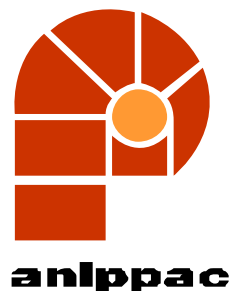
# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

Todas estas fórmulas son simplificables si adoptamos coordenadas PEDALES, de ese modo los términos distintos de R se convierten en senos cuadrados, cosenos cuadrados y seno\*coseno) no deseo entrar en esto, que convierte todo en un Círculo de Mohr clásico para no enredarnos en estos detalles. Curiosamente, estos mismos términos trigonométricos aparecen en las matrices de rigidez de miembros. Las Coordenadas Pedales se construyen con la normal del origen a una recta (magnitud) y con el ángulo que dicha normal forma con el eje x. Al ponerlo en esta forma aparecen expresiones trigonométricas que figuran en la matriz de rigidez de un miembro al ordenarla y orientarla. Continuando con las expresiones mostradas, ellas permiten hallar la fórmula que nos da las Direcciones principales

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctan \left[ \frac{2A_{12}}{A_{11} - A_{22}} \right]$$

Las expresiones Anteriores tienen la misma forma que las del Círculo de Mohr de la Resistencia de Materiales.



# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

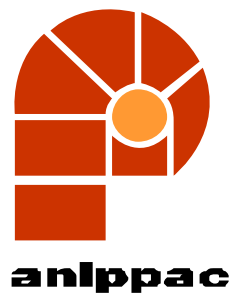
2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

La Función de Energía (Castigliano) se obtiene suponiendo que el centro de rigidez pueda desplazarse en un plano. La función que se obtiene es de la forma siguiente:

$$\Phi(x, y) = \sum R_i [r_i(x, y)]^2; -\infty < x, y < +\infty$$

Donde  $R_i$  son las rigideces de cada traza,  $r_i$  son las longitudes de las normales que van de cada centro a cada traza. Estos valores pueden semejarse a un Momento de Inercia Polar de Rigideces, el mínimo de esa función es el centro "natural" de rigideces, por el teorema de Castigliano.

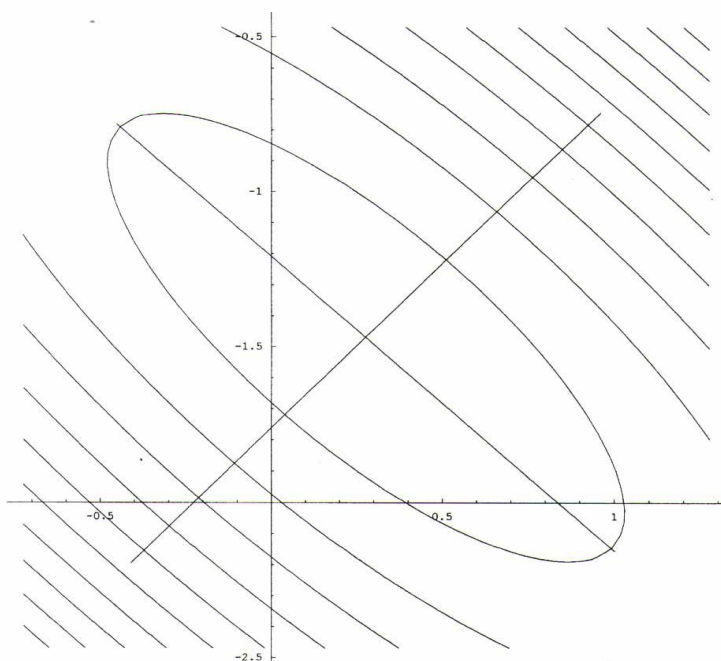
Esta función tiene la misma forma que los "pozos de energía" que utilizamos en Ciencia de Materiales cuando estudiamos los enlaces atómicos. El Centro de rigidez natural ocupa el fondo de ese pozo, si las pendientes del pozo son grandes, la situación más estable posible (mínimo de energía).



# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

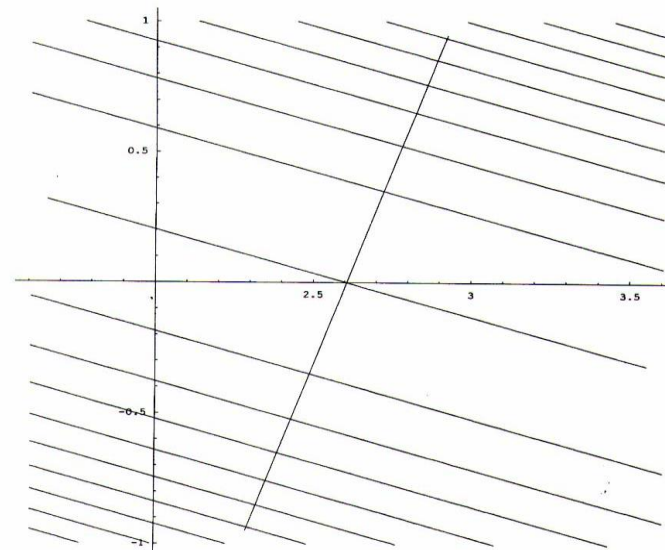
2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

Fig. 1: Curvas de Nivel de un Paraboloides Elíptico. Situación Estable

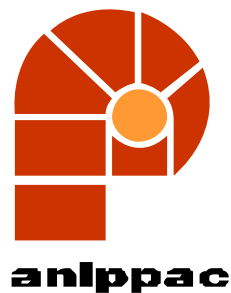


**Fig.1) PARABOLOIDE ELÍPTICO**  
Situación estable

Fig. 2: Curvas de Nivel de un Cilindro Parabólico. Situación Inestable



**Fig.2) CILINDRO PARABÓLICO**  
Situación Inestable



# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

---

Figura 3: Curvas de Nivel de un Paraboloides Hiperbólico. Situación Inestable

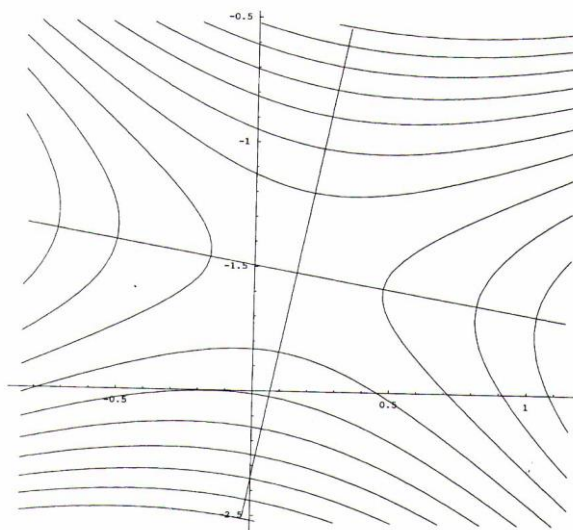
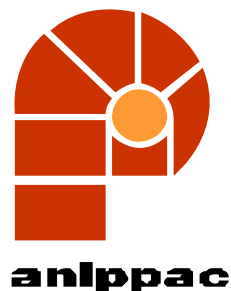


Fig. 3) PARABOLOIDE HIPERBÓLICO (Silla de Montar) Situación Inestable



# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

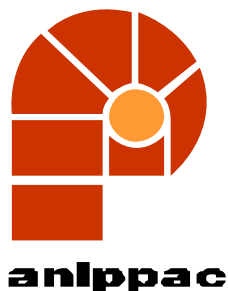
2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

## ESTAS SON LAS TRES ÚNICAS SITUACIONES FÍSICAMENTE POSIBLES

### Comentarios:

- En la Figura 1 hay dos sistemas resistentes ortogonales con rigideces totales diferentes y positivas ambas. El "fondo de pozo es puntual" (PARABOLOIDE ELÍPTICO)
- En la figura 2 hay un solo sistema resistente (trazas paralelas), el "fondo de pozo es lineal". El Centro de Rigidez no es estable. (CILINDRO PARABÓLICO)
- En la Figura 3 se han supuesto "rigideces negativas" no hay "fondo de pozo", hay dos rectas que son horizontales. (PARABOLOIDE HIPERBÓLICO)

*El Primer caso es el "normal", si en lugar de un paraboloide elíptico hay un paraboloide de revolución, tendremos el ideal, una estructura isotrópica.*



# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

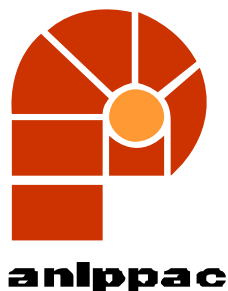
2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

*El Segundo caso lo tenemos en edificios en los cuales un sistema resistente está formado por pórticos o Muros estructurales y en el otro es un sistema lábil, por ejemplo una simple losa de conexión entre los pórticos o muros transversales. Desgraciadamente esto se hace con mucha frecuencia en construcciones industrializadas vaciadas en sitio con encofrados deslizantes*

*El tercer caso correspondería a un edificio con uno de los sistemas resistentes inclinado, con un momento de volcamiento de origen gravitatorio constantemente aplicado, , existen edificios de este tipo ya construidos en varios lugares del mundo.*

**3) Podemos utilizar el círculo de Mohr con propiedades "análogas" a los Momentos de Inercia y productos de inercia de la Resistencia de Materiales para cuantificar y visualizar las ""bondades" o "méritos" de una determinada distribución de líneas resistentes en una planta.**

*Es fácil, admitiendo las semejanzas formales entre lo encontrado en las páginas anteriores que podemos formar el círculo de Mohr admitiendo que  $A_{11}$  y  $A_{22}$  son las rigideces máximas o mínimas según los ejes originalmente escogidos para los cálculos (dos puntos del círculo de Mohr) y que  $A_{12} = A_{21}$  son un "Producto de Inercia" para esos mismos ejes. (Radio del círculo*



# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

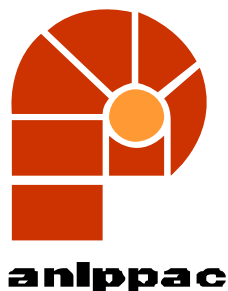
de Mohr). Obviamente  $1/2(A_{11} + A_{22})$  dá la coordenada  $x_0$  del Centro del Círculo de Mohr de cada planta. Esta geometría es la que obtenemos al comenzar con el sistema de coordenadas y ejes coordinados inicial con los cuales iniciamos el cálculo. (como en Resistencia de Materiales)

Cuando utilizamos ejes principales, uno de los dos,  $A_{11}$  o  $A_{22}$ , es el "momento de inercia mínimo" y el otro es el "momento de inercia máximo", en este caso el término cruzado  $A_{12} = A_{21} = 0$ , es un "producto de inercia nulo". En resistencia de materiales tendríamos una sección muy esbelta. (una tabla muy delgada puesta de canto). Sabemos que esta viga tiende a ser inestable. Si pensamos entonces en lo que sabemos hacer con las secciones de vigas, sabremos cómo operar con el círculo de Mohr caso por caso, en edificios:

i) **Isotropía**, el círculo se convierte en un punto; **EDIFICIO ISOTRÓPICO**, con dos sistemas resistentes iguales entre sí (o equivalentes entre sí). Hay cuatro situaciones tipificables:

ii) **Ortotropía**, el círculo de Mohr no llega a ser tangente con el eje vertical; **EDIFICIO USUAL** con dos sistemas resistentes no muy diversos.

iii) **Niltropía**, Un sólo sistema resistente, el Círculo de Mohr es Tangente al eje vertical; **EDIFICIO TIPO PALOMAR (Pigeon Hole)** Muros en una sola dirección + Losas sin vigas



# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

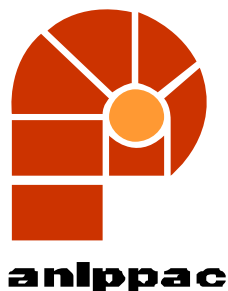
2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

**iv) Ezquizotropía: Rigideces Negativas, el Círculo de Mohr corta en dos puntos al eje vertical. Respuesta no lineal inestable. EDIFICIOS QUE "DESAFÍAN LA GRAVEDAD"(Moda en aumento)**

**4) MOSTRAR que los lugares geométricos de las respuestas ante los innumerables casos de carga prescritos por las normas modernas para realizar los diseños de secciones geométricos son elipses inclinadas en el espacio  $Pz; Mx; My$ , si consideramos "sismos rotantes" (una forma de ver las combinaciones modernas de sismos bidireccionales correlacionados). El diseño de secciones se convierte entonces en un problema de intersección de un plano con un volumen, y en su manejo analítico. **APLICANDO ESTAS IDEAS LA CANTIDAD DE INFORMACIÓN QUE DEBEMOS MANEJAR SE REDUCE DRÁSTICAMENTE.****

**Esta parte de la presentación se basará en el "Trabajo Especial de Grado" de Daniela Chacón, cuya versión Glosada fué presentada al 13wcee.**

**ESTE TRABAJO DEMOSTRÓ, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE UN PROYECTO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO REAL. PAUTADO DE ACUERDO A LAS NUEVAS NORMAS COVENIN QUE SUPONEN QUE EXISTE CORRELACIÓN ESTADÍSTICA ENTRE DOS SOLICITACIONES SÍSMICAS ORTOGONALES.**



# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

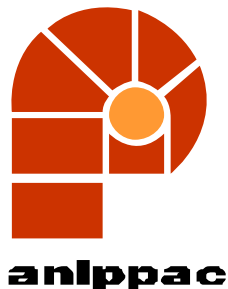
**ESTO, EN LA PRÁCTICA, ES EQUIVALENTE A LA APLICACIÓN DE UN SISMO ROTANTE CUYO RADIO VECTOR TRAZA UNA ELIPSE (O UNA CIRCUNFERENCIA), EN CADA PLANTA.**

**SI ENTONCES APLICAMOS AL DISEÑO DE UNA COLUMNA LOS 130 CASOS DE CARGA QUE SE GENERAN AL COMBINAR ENTRE SÍ TODAS LAS DIVERSAS CARGAS VERTICALES Y HORIZONTALES, ENCONTRAREMOS QUE EL LUGAR GEOMÉTRICO DE TODOS LOS ESFUERZOS (MEMBER FORCES) RESULTANTES: AXIALES, MOMENTOS EN X, MOMENTOS EN Y, QUE TIENEN EN EL ESPACIO LOS VALORES  $P, M_x, M_y$ , ES UNA ELIPSE INCLINADA EN ESE ESPACIO.**

**LOS OCHO RESULTADOS DE LAS OCHO DIRECCIONES QUE RESULTAN DE LAS COMBINACIONES DE FUERZAS SÍSMICAS ( $\pm 100\% \pm 30\%$ ) ESTÁN EN ESA ELIPSE.**

**ESA ELIPSE PUEDE DETERMINARSE, REDUNDANTEMENTE, CON SÓLO CINCO DE LOS OCHO PUNTOS. (BASTAN CUATRO). LOS 4 ó 5 PUNTOS ESCOGIDOS NO PUEDEN SER COLINEALES.**

**AL PROYECTAR TODOS LOS RESULTADOS ESPACIALES EN EL PLANO DE MOMENTOS  $M_x, M_y$ , VEMOS QUE UNA MISMA ELIPSE DE MOMENTOS SE REPITE SISTEMÁTICAMENTE, "DESLIZÁNDOSE" PARALELAMENTE A SÍ MISMA PARA TODAS LAS COMBINACIONES EXIGIDAS, SI LA TORSIÓN SÍSMICA ENTRA COMO**



# **ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.**

2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

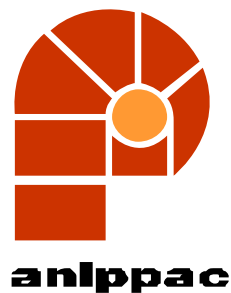
---

**MOMENTO PURO Y NO COMO UNA CARGA POR UNA DISTANCIA FIJA. LAS CARGAS VERTICALES GENERAN VECTORES COAXIALES, SEGÚN CADA FACTORIZACIÓN**

**ESTO DEMUESTRA QUE NOS HEMOS LLENADO DE INFORMACIÓN REDUNDANTE AL EMPLEAR EL "MÉTODO DE LOS ESCOPETAZOS" EN LUGAR DE PENSAR UN POCO SI ESOS RESULTADOS SON CORRELACIONABLES Y REPRESENTABLES POR FUNCIONES. SÓLO MOSTRAREMOS ALGUNOS EJEMPLOS. ESTE HECHO, QUE SEGÚN LO QUE SABEMOS, NO HA SIDO AÚN UTILIZADO PARA ALIVIAR DE ÁLCULOS INÚTILES NUESTROS PROGRAMAS DE DISEÑO.**

**ESTAS SON SÓLO ALGUNAS DE LAS FORMAS CUADRÁTICAS (EN ESTE CASO ELIPSES) QUE APARECEN EN EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL. ELLAS SE REMONTAN A LA VIEJA ELIPSE DE ELASTICIDAD DE KARL CULMANN, POSTULADA EN EL ÚLTIMO CUARTO DEL SIGLO XIX Y HOY TIRADA AL BASURERO DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL.**

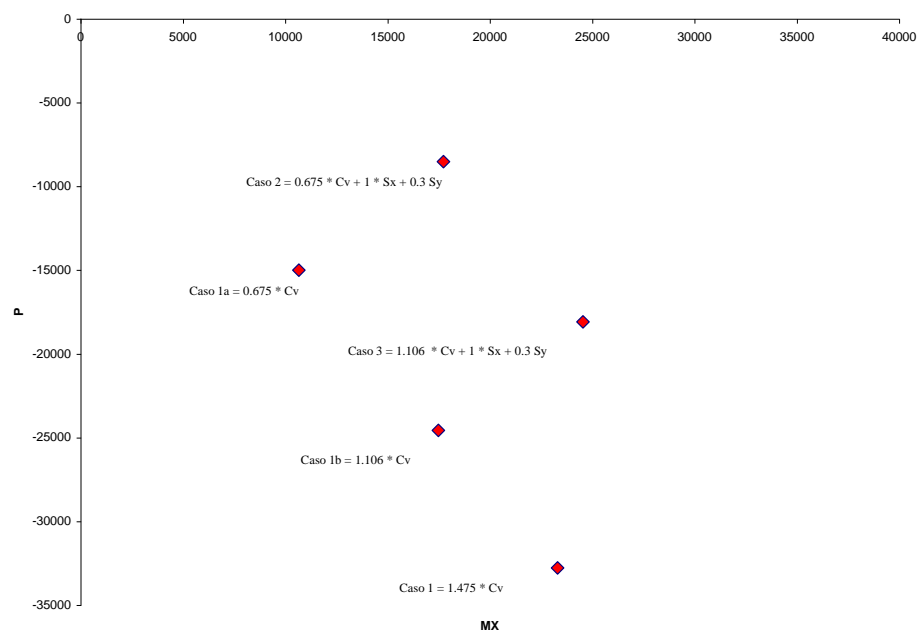
**CIERTAMENTE PODEMOS SIMPLIFICAR U ORDENAR NUESTRAS VISIONES DE LOS RESULTADOS DE UN ANÁLISIS ESTRUCTURAL, SI DECIDIMOS USARLAS. EL TRABAJO REALIZA UN ANÁLISIS DE LOS NUEVE (9) CAUSALES DE RESPUESTAS GLOBALES APARENTEMENTE ANÓMALAS EN UNA ESTRUCTURA, EI TRABAJO MENCIONADO ESTÁ DISPONIBLE PARA LOS ASISTENTES A ESTE ENCUENTRO.**



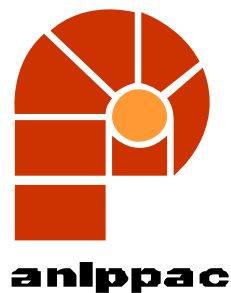
# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

Figura 1

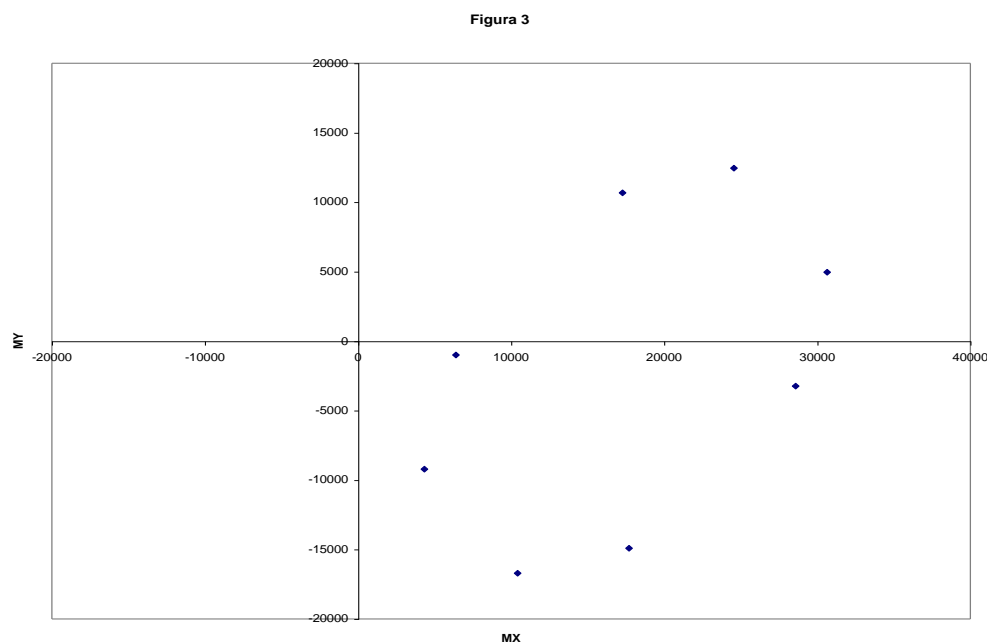


Esta figura muestra sólo los casos de Carga Vertical Pura. Los puntos están alineados a lo largo de líneas rectas.

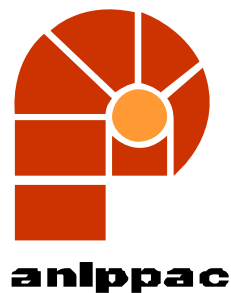


# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006



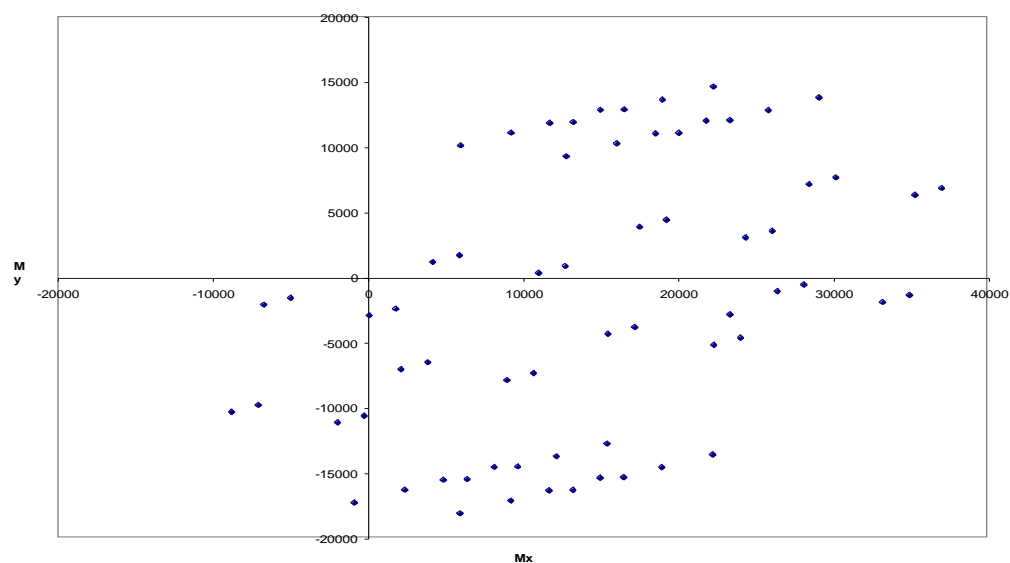
Esta figura representa los resultados de un solo caso de carga con las ocho direcciones de cargas sísmicas normativas (COVENIN).



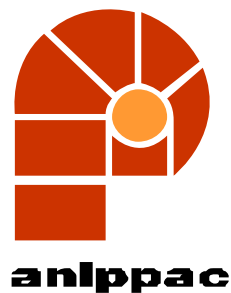
# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

Figura 2

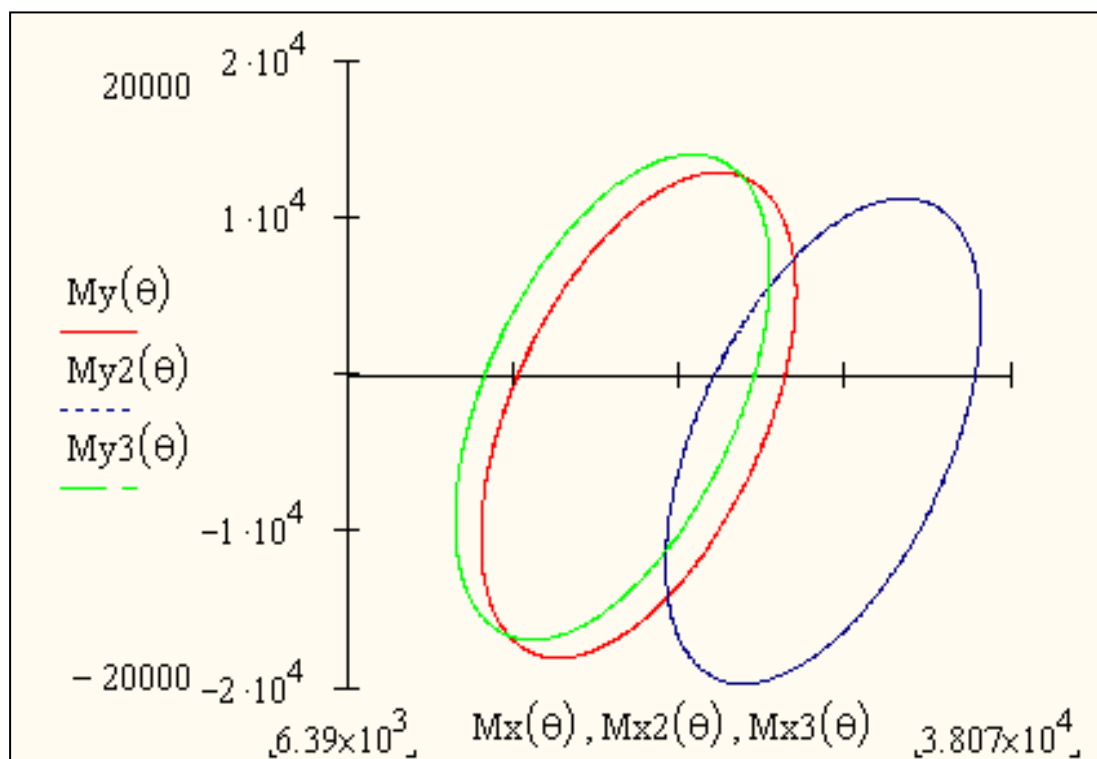


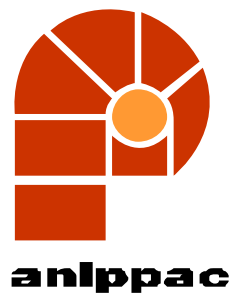
**Esta es la nube de puntos que resulta al aplicar todas las combinaciones de casos de carga normativos, como se ve, no es fácil observar patrones individuales.**



# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006



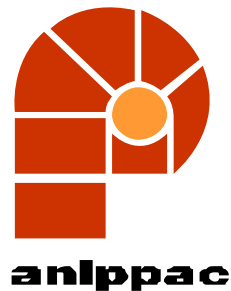


# **ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.**

2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

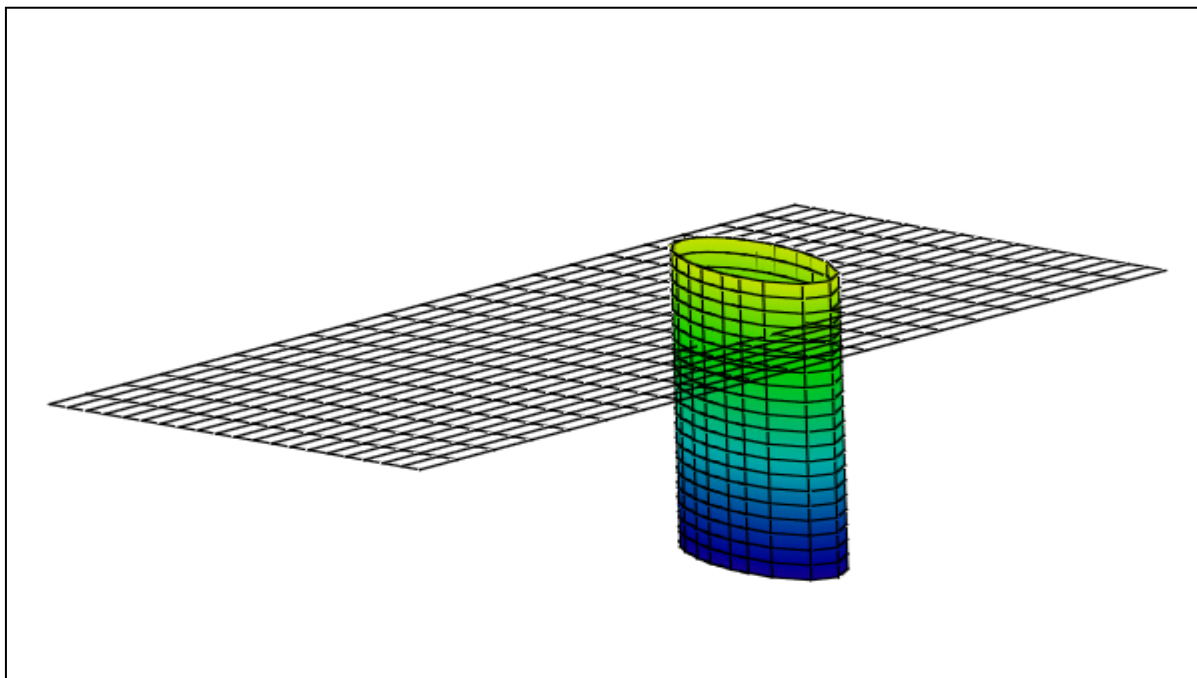
---

**Esta figura contiene tres elipses, obtenidas del ajuste de ecuaciones de una sola elipse a la vez sobre una nube de puntos, resultando así elipses deslizadas**

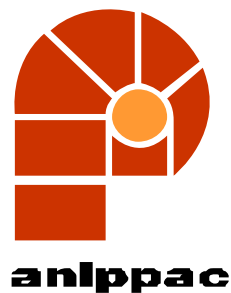


# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

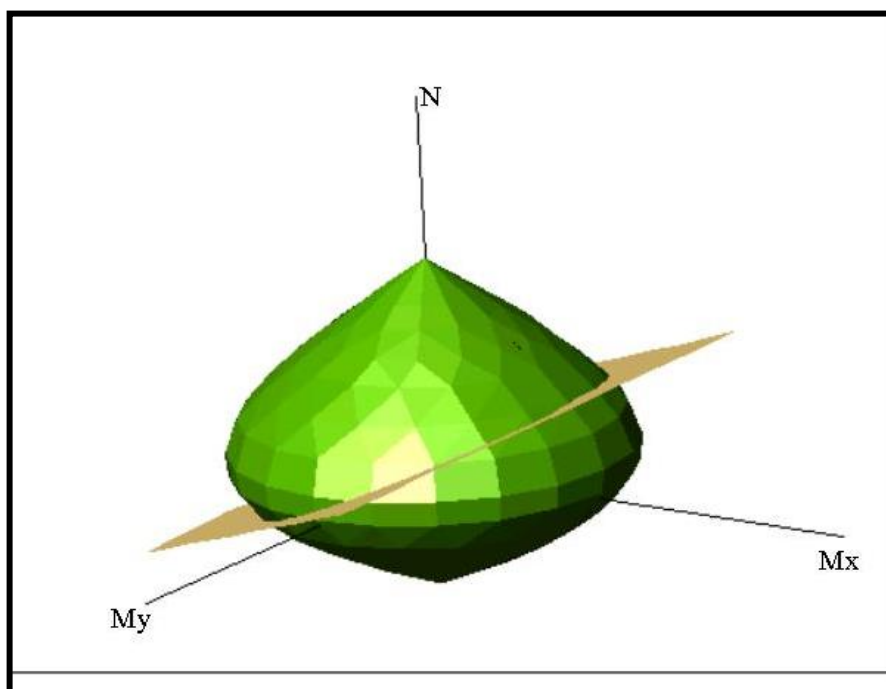


Esta figura representa la intersección de un cilindro elíptico que representa los momentos con el plano que contiene las posiciones de los valores de las Axiales. La Elipse en el espacio que resulta contiene los valores que usamos para diseñar.

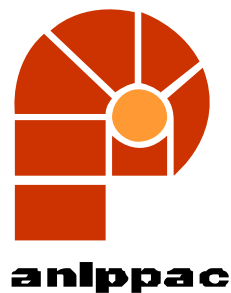


# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

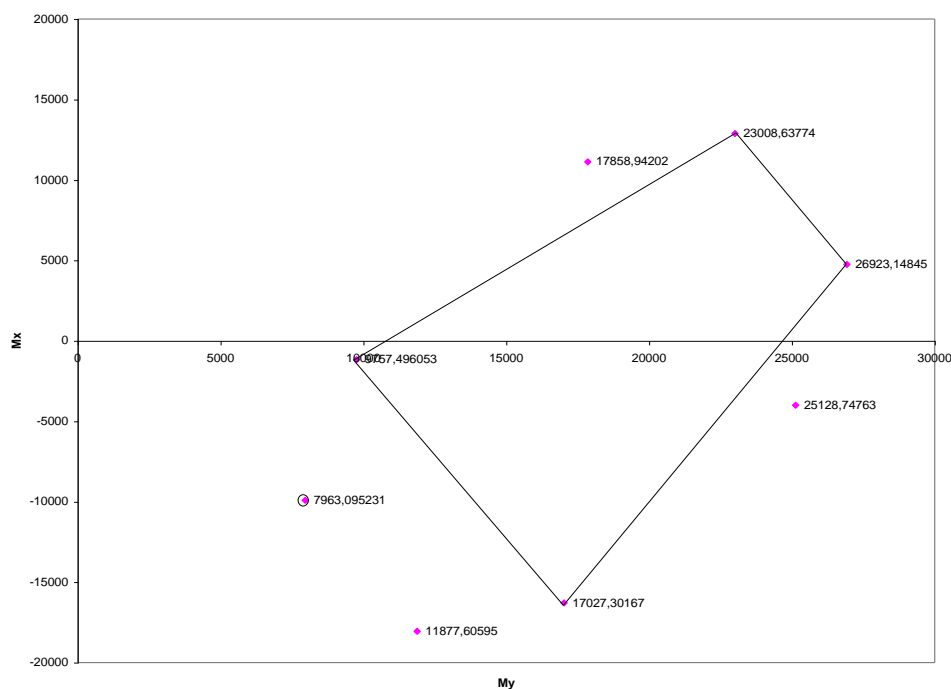


**Esta figura resume totalmente el problema de diseñar una sección, ella representa la intersección del plano que contiene la elipse espacial con un volumen de interacción**

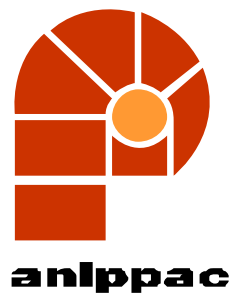


# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

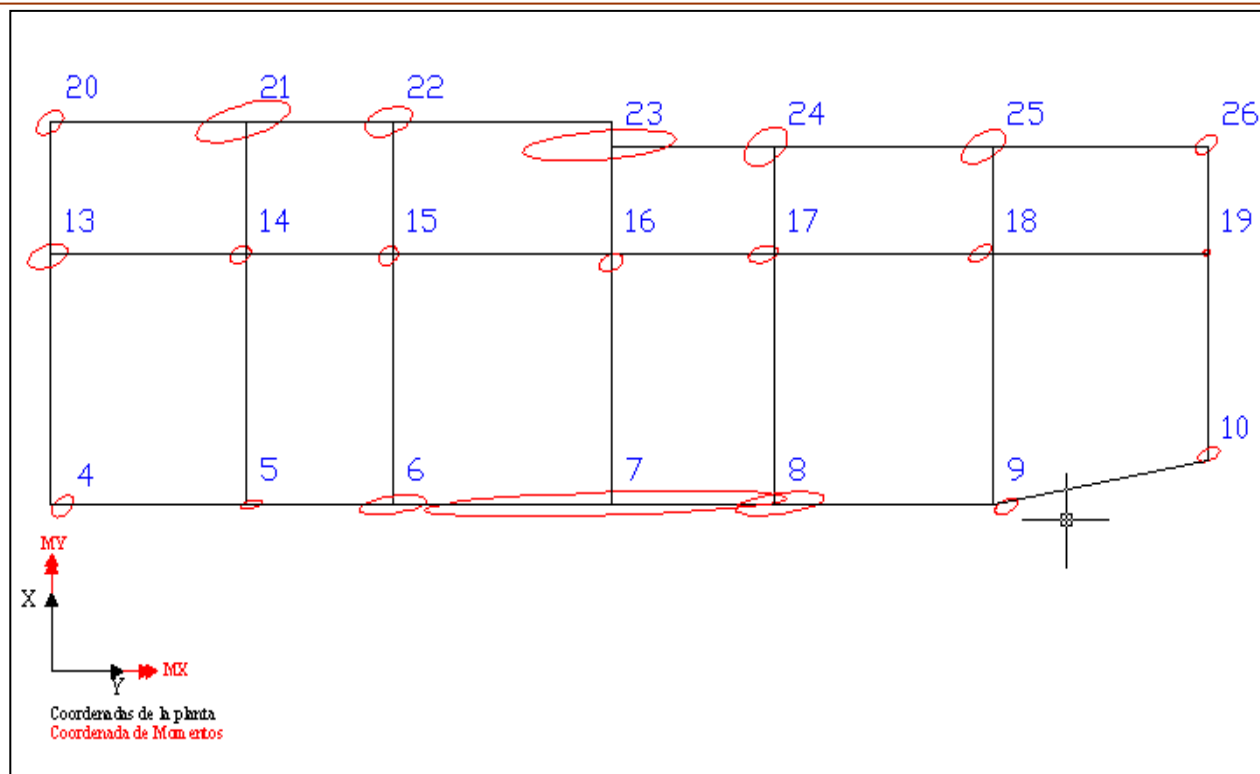


**Esta figura muestra cómo se pueden escoger cuatro puntos no alineados para determinar la ecuación de la elipse deslizante.**

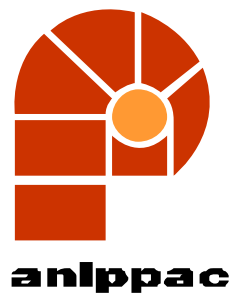


# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

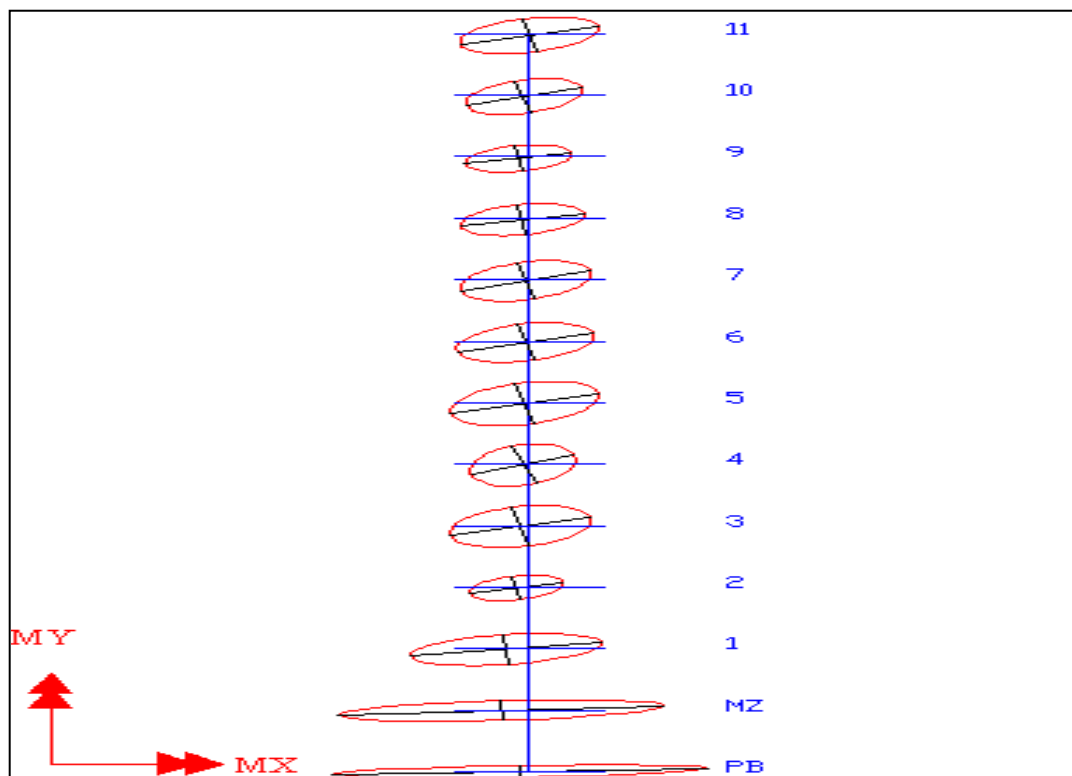


**Elipses de Momentos en la Planta baja del Edificio, nótese los cambios de orientación.**

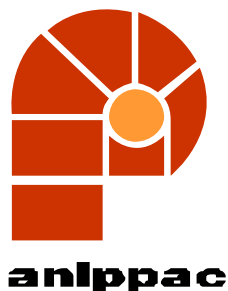


# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006



Elipses que corresponden a todas las secciones inferiores de una columna.



# **ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.**

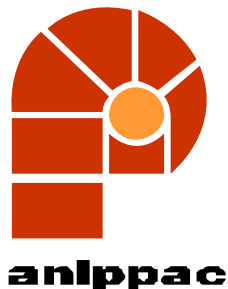
2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

---

**5) Para generalizar la conclusión anterior a las estructuraciones espaciales, realizamos cuatro Trabajos Especiales de Grado, basándonos en el Trabajo inicial de Daniela Chacón, ellos fueron los TEG de /1/ Gleem Miralles (UCAB); /2/ Pedro Jiménez (UNIMET); /3/ Adriana González (UCAB) y /4/ Antonio Osteicoechea (UCAB).**

**En esos Trabajos se analizaron Modelos sucesivos de Estructuras muy sencillas, en algunos casos repitiendo algunos que ya Daniela había usado. Esos Modelos fueron sucesivamente modificados para hacerlos cada vez más complejos y variados.**

**En los trabajos /1/ y /3/ se utilizó el programa SAP2000™, en los Trabajos /2/ y /4/ en cambio se basaron en realizar manualmente las operaciones usuales del Análisis Matricial para poder seguir la pista de las expresiones que se van produciendo en forma simbólica. Los cálculos matriciales normales y los libros de Análisis Matricial usuales no dejan trazas visibles de las cambiantes estructuras simbólicas que sucesivamente aparecen en las Matrices al operar sobre ellas.**



# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

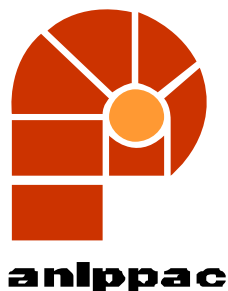
2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

De esta forma tanto Jiménez como Osteicoechea lograron identificar las formas cuadráticas (Conicoides) que aparecen en ciertas matrices en los análisis matriciales espaciales. Ya sabíamos que en el caso de estructuras planas esas formas cuadráticas son Cónicas, y en especial Elipses.

La Teoría de la Elipse de Elasticidad de Culmann decía más o menos lo siguiente, usando el lenguaje de la Geometría Proyectiva:

“La sección terminal libre de una estructura sujeta a Fuerzas y Momentos Seccionales en cualquier dirección, rota alrededor de un punto que es el antipolo de la recta que determina la posición y la dirección de la fuerza aplicada. La Polaridad se refiere a una elipse que llamamos “Elipse de Elasticidad”

Para Culmann : ( Fuerzas seccionales =Esfuerzos [Schnittkraft en Alemán] )  
Para Culmann: un Momento era una fuerza tendiente a cero colocada a una distancia infinita).



# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

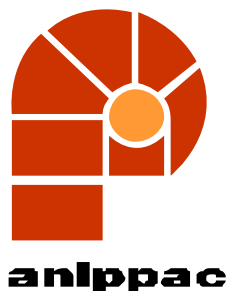
2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

**Desgraciadamente la Geometría Proyectiva se fosilizó (alcanzó su completitud) en 1917 y desapareció de los Pensamientos de Ingeniería europeos hacia 1950, no habiendo nunca sido utilizada por los Textos de Enseñanza de origen norteamericano, por lo tanto todo este lenguaje de Polaridades, Polos, Antipolos, Rectas Polares, Cónicas Proyectivas y demás cosas, hoy día nadie lo entiende.**

**En el Fondo es algo muy Sencillo. Se Trata del estudio de los Diámetros conjugados de una Elipse, o hablando en lenguaje moderno, las leyes de la Perspectiva, Un verdadero “Código da Vinci” en lenguaje actual**

**Cuáles fueron los resultados de estos trabajos:**

**1) Si las solicitaciones aplicadas a la Estructura son Funcionalmente independientes, es decir que la torsión no dependa de la Traslación a través de una excentricidad geoméricamente fija, todas las combinaciones de carga exigidas por el código forman una sola Elipse Deslizante para cada Sección de Diseño.**



# **ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.**

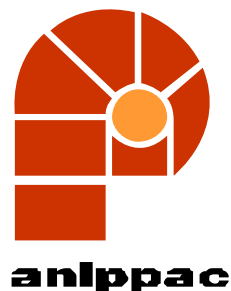
2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

---

**2) Hay Elipses de Torsión, las cuales pueden acotar las “excentricidades límites” de una determinada planta de Edificios. Estas “Elipses Torsionales son una manera de visualizar la influencia de la Torsión y de la Orientación de los ejes Principales en el Diseño Estructural.**

**3) El Círculo de Mohr Permite el manejo de los Parámetros que pueden cuantificar la irregularidad de una planta estructural. (Rigideces y orientaciones de los pórticos)**

**4) Hay Configuraciones estructurales sumamente desfavorables desde el punto de vista torsional, en especial cuando se utilicen pórticos oblicuos pórticos concurrentes a un punto.**



# **ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.**

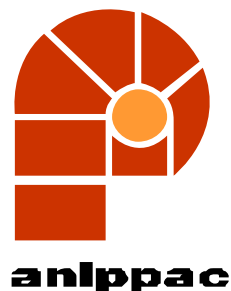
2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

---

**5) TODA MATRIZ DE RIGIDEZ CONTIENE LAS EXPRESIONES ALGEBRAICAS DE UNA CONICOIDE. SI ESA MATRIZ CORRESPONDE A UNA SITUACIÓN ESTABLE, ESA CONICOIDE ES UN ELIPSOIDE.**

**6) CUANDO ESE ELIPSOIDE ES EXCESIVAMENTE APLASTADO U OBLONGO, ESA ESTRUCTURACIÓN TIENDE A SER INESTABLE. HAY QUE RECORDAR QUE LA FRONTERA NUMÉRICA ENTRE UN ELIPSOIDE (FIGURA CERRADA) Y UN PARABOLOIDE (FIGURA ABIERTA) ES MUY SUTIL.**

**7) LA DEBILIDAD DE CIERTAS CONFIGURACIONES ESTRUCTURALES (EDIFICIOS CON SISTEMAS RESISTENTES DE RIGIDEZ MUY DIFERENTE, O CON SISTEMAS RESISTENTES NO ORTOGONALES, O CON PÓRTICOS MUY OBLICUOS, O CON RIGIDECES DE MIEMBROS MUY DIVERSAS SEGÚN SUS DOS DIRECCIONES PRINCIPALES SE EXPLICA CON FACILIDAD A TRAVÉS DE ESTOS CONCEPTOS.**



# **ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.**

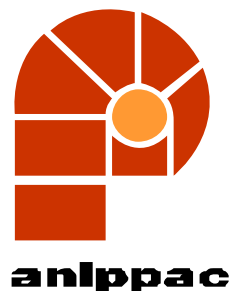
2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

---

**8) DEBEMOS CALCULAR Y DISEÑAR NUESTROS EDIFICIOS SEGÚN SUS DIRECCIONES PRINCIPALES. LOS EDIFICIOS MARCADAMENTE IRREGULARES TIENEN EJES PRINCIPALES DE PLANTAS CON ESAS DIRECCIONES MUY CAMBIANTES CON LA ALTURA.**

**9) LAS SOLICITACIONES MÁXIMAS DE LAS SECCIONES DE COLUMNARAMENTE SON LAS QUE ESTAMOS ACOSTUMBRADOS A IMAGINAR, TANTO EN MAGNITUD COMO EN ORIENTACIÓN.**

**10) LAS IRREGULARIDADES EN RIGIDEZ Y ORIENTACIÓN DE LOS SISTEMAS RESISTENTES DE UN EDIFICIO SON MUCHO MÁS INFLUYENTES EN SUS RESPUESTAS Y EN SUS “IRREGULARIDADES” (SOLICITACIONES ATÍPICAS) QUE LAS CONFIGURACIONES GEOMÉTRICAS DE SUS PLANTAS.**



# **ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.**

2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

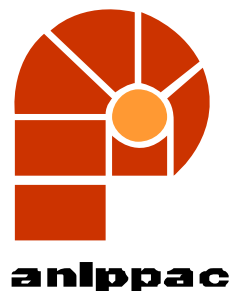
---

**11) DE HECHO, PUEDE HABER EDIFICIOS CON PLANTAS GEOMÉTRICAMENTE IRREGULARES QUE PUEDEN SER “REGULARES” EN SUS RESPUESTAS SISMICAS, SI LOS ESTRUCTURAMOS CORRECTAMENTE PARA ELLO.**

**12) LAS ESTRUCTURAS SON SISTEMAS, NO SON AGREGADOS DE MIEMBROS O SECCIONES.**

**13) LA INMENSA MAYORÍA DE LOS EDIFICIOS NO SE DISEÑA, EN EL SENTIDO QUE LE DARÍAMOS A LAS PALABRAS “OPTIMIZACIÓN SÍSMICA”, NOS LIMITAMOS A ANALIZARLOS Y A TOLERARLOS COMO QUEDEN.**

**14) LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS MATRICES ESPACIALES CONFIRMAN PLENAMENTE LA VALIDEZ DE ESTAS CONCLUSIONES PARA ESAS ESTRUCTURAS, QUEDANDO POR VER CÓMO ESTUDIAMOS SU ESTABILIDAD**



# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

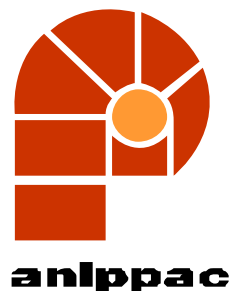
2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

## AHORA, LLEGUEMOS AL EPÍLOGO:

**¿Qué Podemos Hacer como Investigadores con estas cosas “exóticas” y quizá vistas como “Fuera de Lugar” para el Ingeniero Practicante?**

1) Abrir una puerta para el estudio de estructuras metastables, indiferentes o inestables a través del estudio de las formas cuadráticas (cónicas y conicoides) que puedan encontrarse en esas matrices nodales o globales.

2) Con un interés especial en estructuras prefabricadas de grandes paneles, o de muros estructurales de concreto o de mampostería, el presentar algunas relaciones configuracionales que son estáticamente necesarias para la viabilidad de sus diseños.



# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

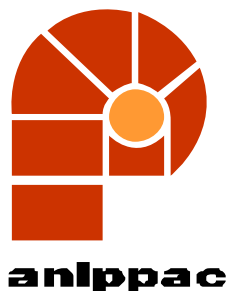
2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

---

3) O dicho de otra manera, que en las estructuras panelizadas, los coeficientes de trabajo admisibles a carga vertical no son de libre escogencia, sino que dependen de las capacidades a cortante de las juntas entre paneles (o entre vaciados

4) Llamemos la atención sobre los efectos indeseables que se presentan cuando introducimos líneas resistentes oblicuas dentro de una malla ortogonal de resistencias, como se puede ver en el artículo llevado al 13wcee.

5) Mostremos que las posiciones de los centros de Rigidez no pueden considerarse como invariantes de diseño cuando manejamos plantas con rigideces direccionales muy diversas. Puede demostrarse que existen distintos grados de estabilidad posicional de dichos centros. Ver el trabajo sobre Rigidez Torsional.



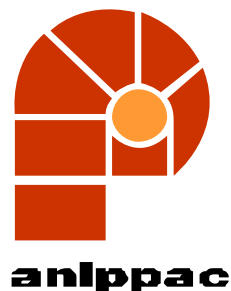
# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

---

6) Abogamos por el empleo de las direcciones principales de deformación de una estructura como sus verdaderas direcciones de diseño. Los requerimientos de las normas más recientes que exigen el equivalente de 8 direcciones sísmicas de análisis resuelven parcialmente este problema, aunque el origen de esos requerimientos no sea estructural sino la dependencia estadística entre aceleraciones sísmicas según dos direcciones ortogonales. Es un caso en que al resolver un problema por una causa resulta que resolvemos también problemas debidos a otras causas.

7) Justifiquemos la enseñanza de las Geometrías en los pensa de Ingeniería, como entrenamiento para visualizar los comportamientos estructurales, en especial las Geometrías Descriptiva y Analítica, que se tienden a abandonar hoy día.

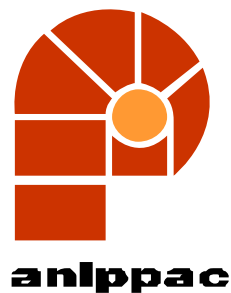


**ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES  
DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN,  
A.C.**

2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

---

**GRACIAS POR SU  
PACIENCIA Y POR NO  
DORMIRSE**



# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

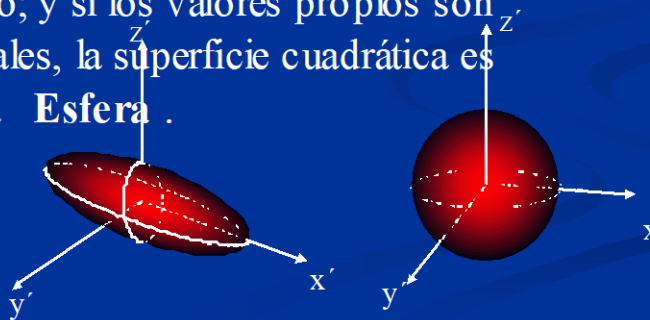
2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

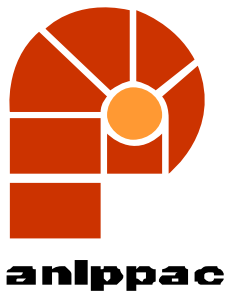
Así:

## ANÁLISIS DE LOS COEFICIENTES

• Si  $m > 0$ ,  $n > 0$  y  $p > 0$ , la ecuación representa la superficie cuadrática llamada **Elipsoide**, pudiendo ser de revolución

o no; y si los valores propios son iguales, la superficie cuadrática es una **Esfera**.



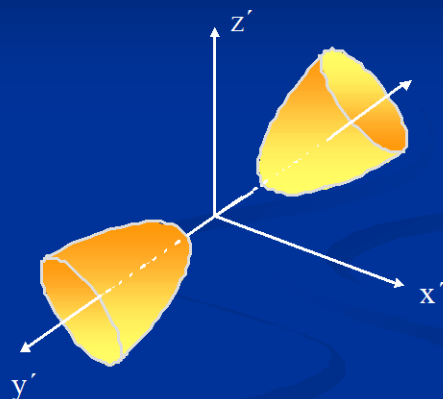


# ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PREFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN, A.C.

2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas  
1er. Congreso Internacional  
Veracruz México 11 al 13 de octubre 2006

## ANÁLISIS DE LOS COEFICIENTES

• Si  $m > 0$ ,  $n < 0$   
y  $p < 0$ , la  
ecuación  
representa la  
superficie  
cuadrática  
llamada  
**Hiperboloide**  
de dos hojas



## ANÁLISIS DE LOS COEFICIENTES

• Si  $m > 0$ ,  $n > 0$  y  $p < 0$ , la ecuación  
representa la  
superficie  
cuadrática llamada  
**Hiperboloide de**  
**una hoja** .

