

ESTRATEGIAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE ESTRUCTURAS IRREGULARES EN PLANTA

Emma Acosta*; Alí Carmona*; Mario Paparoni**

(*)UCAB; () UNIMET,UCAB,UCV.**

INTRODUCCIÓN Y PROPÓSITO

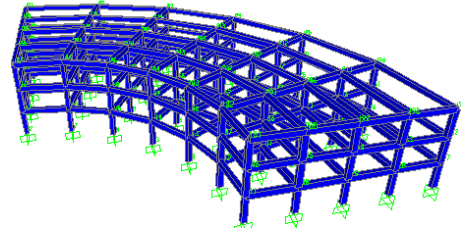
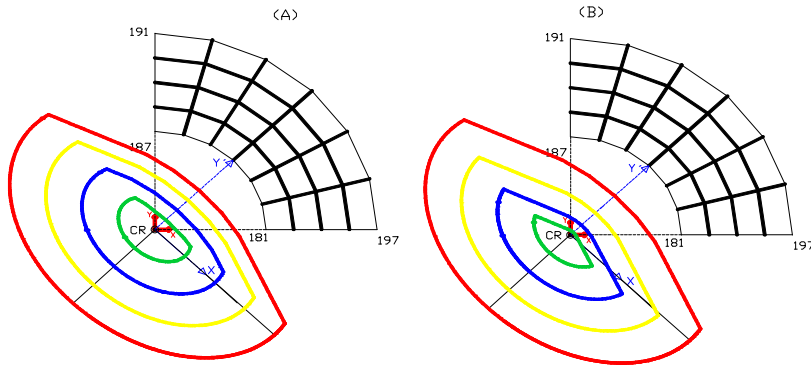
Hoy en día gracias a la tecnología, el análisis estructural se puede realizar de manera más rápida, lo que anima a arquitectos e ingenieros aventurarse en el desarrollo de estructuras fuera de lo común, sin embargo los programas especializados en el área estructural que existen actualmente no estudian a profundidad el tema de la torsión de una estructura, de modo que muchos de esos diseños son innecesariamente vulnerables ante sollicitaciones sísmicas. Partiendo de algunos trabajos especiales de grado y de otras investigaciones, se desarrolló una metodología basada en el análisis estático-gráfico de Culmann enfocado especialmente en la elipse de elasticidad, con la cual se pueden evaluar los efectos torsionales sobre distintas zonas de la planta. Esta información es de gran utilidad para el desarrollo de optimizaciones que ayuden en el proceso de toma de decisiones, en la etapa previa al proyecto de una edificación. Al aplicar el método a un grupo de plantas, tanto regulares como irregulares, se demostró que el problema de la torsión está muy relacionado con la configuración de los pórticos que conforman la estructura y que la influencia que tiene la forma de la planta en los problemas de torsión es menor, por lo tanto la irregularidad de la planta no constituye un gran obstáculo, siempre y cuando el ingeniero proyectista tenga la potestad de hacer las modificaciones que sean necesarias.

METODOLOGÍA

A partir de la elipse de Culmann y sus polaridades se construye un núcleo torsional por medio del cual puede obtenerse información sobre las zonas de la planta más afectadas por la torsión, el resultado es una figura en la cual hay curvas de nivel, y a cada una de esas curvas le corresponde un factor de amplificación torsional, en el origen de la figura este factor es 1 y va en aumento a medida que nos alejamos de este punto. Vale la pena acotar que este punto coincide con el centro de rigidez de la planta. Por otro lado, para el caso en que los pórticos estén muy alejados de dicho núcleo, las curvas pueden extrapolarse. A continuación se presenta un ejemplo en el cual se muestra como mejora el comportamiento a torsión de una planta al modificar su estructuración interna y dejando exactamente igual la forma de la planta.

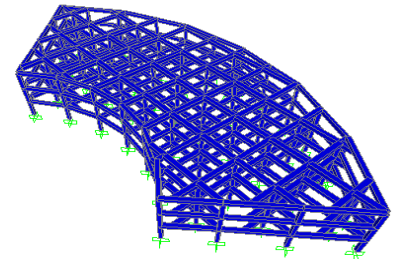
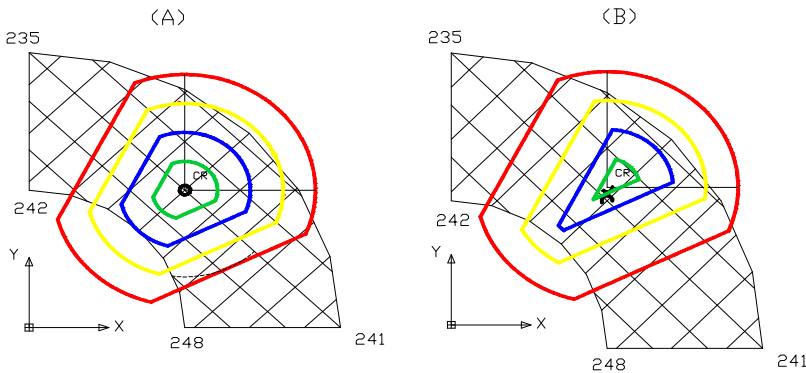
EJEMPLO PARADIGMÁTICO

1) Cuarto de corona circular con pórticos radiales



	Núcleo Torsional						Pórticos fuera del núcleo
(A)	Factor de amplificación	1	1,25	1,5	1,75	2	> 2
(B)	Cambio relativo del cociente I_p/r_i	$\frac{0,50 I_p}{\rho}$	$\frac{0,63 I_p}{\rho}$	$\frac{0,75 I_p}{\rho}$	$\frac{0,88 I_p}{\rho}$	$\frac{I_p}{\rho}$	

1) Cuarto de corona circular con pórticos radiales y tangenciales



	Núcleo Torsional						Pórticos fuera del núcleo
(A)	Factor de amplificación	1	1,25	1,5	1,75	2	> 2
(B)	Cambio relativo del cociente I_p/r_i	$\frac{0,50 I_p}{\rho}$	$\frac{0,63 I_p}{\rho}$	$\frac{0,75 I_p}{\rho}$	$\frac{0,88 I_p}{\rho}$	$\frac{I_p}{\rho}$	

El núcleo (A) muestra los niveles torsionales derivables directamente de la elipse de Culmann. El núcleo (B) aporta información sobre el cambio relativo del cociente I_p/R_i , mostrando así los efectos que se producen a nivel torsional de acuerdo con la variabilidad de las rigideces de los pórticos que conforman una planta.

PROCEDIMIENTO OPERATIVO

La ubicación del centro de rigidez de las diferentes plantas estudiadas se obtuvo por medio del programa SAP2000, aplicando un momento cualquiera sobre la planta se obtuvieron los desplazamientos de cada nodo, con estos desplazamientos se puede calcular manualmente por medios geométricos la ubicación del centro de rigidez de la planta; luego en este punto se aplicó una fuerza constante que se fue rotando progresivamente a razón de 45 grados cada vez, obteniendo con los desplazamientos de este centro de rigidez 8 puntos que pertenecen a la elipse de deflexiones, a partir de la cual se construye la elipse de rigidez, dividiendo la fuerza aplicada entre el valor absoluto de los semiejes que constituyen la elipse de deflexiones. Luego, al dividir el valor del momento de inercia polar entre los valores correspondientes de la elipse de rigidez, se obtienen los semiejes que conforman la elipse de radios de giro al cuadrado, a partir de la cual se obtiene la elipse de Culmann. Los semiejes principales bastan para definir las elipses sucesivas.

Admitimos que cada piso diafragmado posee su propia elipse y que los centros de esas elipses coinciden con el centro de rigidez. A pesar de que el tema central del estudio aquí presentado se enfoca principalmente en plantas irregulares, en las fases iniciales de la investigación se utilizaron plantas regulares, con el fin de validar el método empleado ya que en estructuras de una planta regular se conoce de antemano la ubicación del centro de rigidez así como también las elipses que se generen a partir de estas configuraciones.

A partir de la elipse de Culmann y con la ayuda de la geometría proyectiva, se realizó la construcción del núcleo torsional para cada configuración de planta. El núcleo torsional está determinado por las excentricidades máximas que tomemos como aceptables, excluyendo los casos de retrocesos torsionales de los pórticos. Entonces todos los pórticos internos al núcleo estarán sometidos a un factor de amplificación menor o igual a dos y todos los que estén fuera de él tendrán un factor de amplificación mayor que dos. Se toma dos como valor límite para el factor de amplificación del núcleo de acuerdo con lo planteado por el profesor Papanoni al comienzo de sus investigaciones, cuando afirmaba que no era lógico utilizar un factor de amplificación mayor que 2 ya que esto significaría que tendríamos unas fuerzas torsionales mayores que las traslacionales en un pórtico, pues los pórticos simétricos al que consideramos en vez de avanzar retrocedería, y por el hecho de retroceder representaría una carga extra sobre los demás pórticos, ya no sólo no contrasta las acciones externas, sino que exaspera anormalmente las respuestas traslacionales de los demás pórticos. La torsión realmente lo que hace es quitar carga de un pórtico y agregársela a otro y esto es natural ya que es un momento. (Los pórticos situados del lado de la fuerza se desplazan excesivamente y sus simétricos si existen retroceden).

Con respecto al centro de rigidez, los resultados obtenidos con las plantas regulares (sección cuadrada y rectangular) muestran que la ubicación de los centros de rigidez obtenidos coinciden exactamente con lo esperado, lo cual valida el método de obtención de dicho centro para otras configuraciones. De lo anterior se deduce que cuando hay concurrencia de pórticos el centro de rigidez tiende a estar fuera de la estructura, lo cual es perjudicial para su comportamiento torsional, razón por la cual debe evitarse la concurrencia de pórticos. A continuación se presenta una serie de recomendaciones, producto del estudio y análisis, realizado en el trabajo.

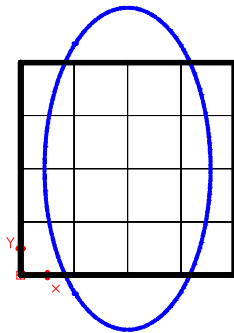
RECOMENDACIONES

- 1) **CONVERGENCIA** de pórticos es malo
- 2) *Concentración de rigideces internamente es malo*
- 3) *Mayores rigideces periféricas es Bueno*
- 4) *La conducta de las ELES se puede entender si las vemos como cuadrados o rectángulos a los cuales le vemos "mordiéndose pedazos" mientras más se muerda peor son.*
- 5) *La importancia de las juntas, aunque no se hicieron modelos, es deducible que si descomponemos una mala planta en pedazos buenos, se arregla.*
- 6) *Este Trabajo no es sólo una lista de cosas malas, sino también ofrece las maneras de hacerlas bien.*
- 7) *La elipse de Cullman, por sí sola en relación a la planta es un excelente indicador de la conducta flexional y torsional de un edificio, mientras más grande, mejor, Mientras más se parezca a una circunferencia, mejor.*
- 8) *Los métodos geométricos aún son utilizables, pues se **VEN** las situaciones.*
- 9) *La Elipse de Culman languideció al aparecer las computadoras, y, en realidad sólo se usó con rigideces flexionales, pues las otras no se podían manejar fácilmente con los métodos que existieron hasta la mitad del siglo XX. (Sólo el método de los trabajos virtuales podía usar todas las rigideces o deformabilidades, pero era muy muy tedioso en su aplicación).*

TENDENCIAS OBSERVADAS

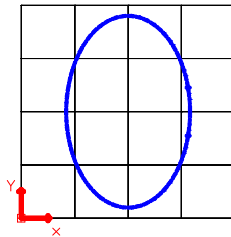
De las simulaciones, en las cuales se hicieron variaciones en las rigideces de los pórticos internos y externos, se pueden diferenciar tres grandes grupos en los que se observa la tendencia que se explica a continuación:

ELIPSE AMPLIADA



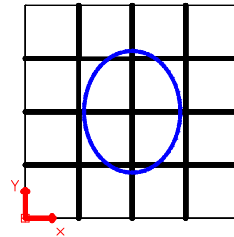
Pórticos periféricos más fuertes que los internos.

ELIPSE BÁSICA



Pórticos muy semejantes entre sí. Rigidez difusa uniforme

ELIPSE ENCOGIDA

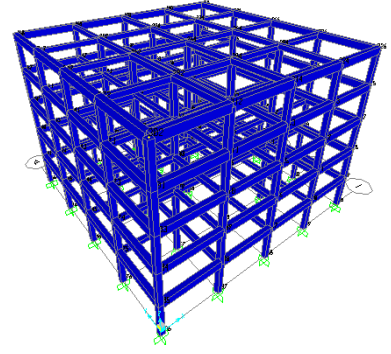
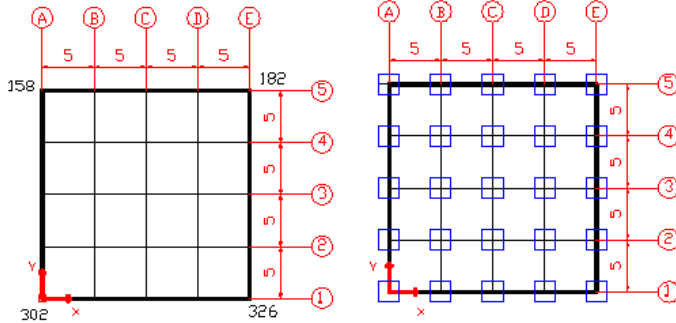


Pórticos internos más fuertes que los periféricos.

De modo que la irregularidad de una planta no dependerá de la forma que está presente, sino más bien de la estructuración que a esta se le asigne.

EJEMPLO DE PLANTAS REGULARES (casos óptimos)

A continuación se presenta un ejemplo de una planta regular, con el fin de mostrar que los resultados son congruentes con los esperados en una planta de este tipo, y por ser una configuración sencilla ilustrar muy el funcionamiento del método.



PLANTA	NODOS DE PISOS					
	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5	
 20x20	161	160	159	157	158	
	185	184	183	181	182	
	305	304	303	301	302	
	329	328	327	325	326	

• **CENTRO DE RIGIDEZ**

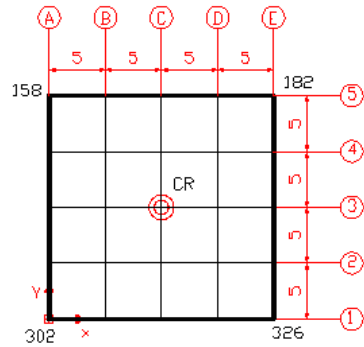
Puntos de aplicación y magnitud de la fuerza de la Planta

Nodos	Fuerza (Kgf)	dirección
302	10000000	x
182	-10000000	x

Desplazamientos de los nodos de la Planta

NODOS	DESPLAZAMIENTOS	
	Eje X(m)	Eje Y(m)
158	-0,403	-0,403
182	-0,403	0,403
302	0,403	-0,403
326	0,403	0,403

- COORDENADAS DEL CENTRO DE RIGIDEZ (CR)

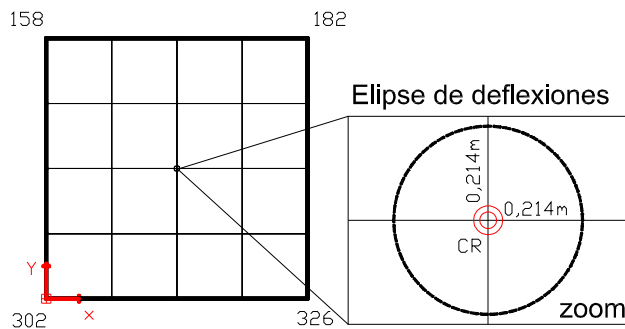


CENTRO DE RIGIDEZ	
X	Y
10	10

• ELIPSE DE DEFLEXIONES

Desplazamientos del centro de rigidez de la Planta

Magnitud de fuerza (Kgf)	10000000	Punto de aplicación CR		
Dirección	Magnitud de Fuerza	Desplazamientos (C rigidez)		
Fuerza (°)	X(Kgf)	Y(Kgf)	X(m)	Y(m)
0	10000000,000	0,000	0,214	0,000
45	7071067,812	7071067,812	0,151	0,151
90	0,000	10000000,000	0,000	0,214
135	-7071067,812	7071067,812	-0,151	0,151
180	-10000000,000	0,000	-0,214	0,000
225	-7071067,812	-7071067,812	-0,151	-0,151
270	0,000	-10000000,000	0,000	-0,214
315	7071067,812	-7071067,812	0,151	-0,151



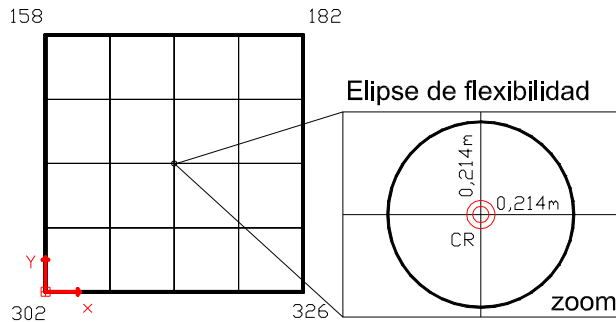
Semieje de la elipse de deflexiones de la Planta

Eje		Magnitud
		δ (m)
D'11	Y	0,214
D'22	X	0,214

- ELIPSE DE FLEXIBILIDAD**

Fórmulas: Blandura $B_{11} = \frac{\delta_y}{F}$ $B_{22} = \frac{\delta_x}{F}$

Semieje de la elipse de flexibilidad de la Planta

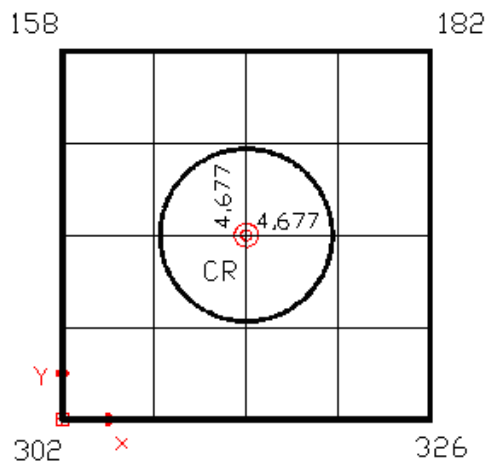


Eje		δ/F	Magnitud $\times 10^7$ (m)
B'11	Y	2,14E-08	0,214
B'22	X	2,14E-08	0,214

- ELIPSE DE RIGIDEZ**

Fórmulas: $A_{11} = \frac{F}{\delta_y}$ $A_{22} = \frac{F}{\delta_x}$

Semieje de la elipse de rigidez de la Planta



Eje		F/δ	Magnitud $\times 10^7$ (m)
A'11	Y	46772685	4,677
A'22	X	46772685	4,677

Elipse de rigidez de la planta

- **ELIPSE DE RADIOS DE GIRO AL CUADRADO**

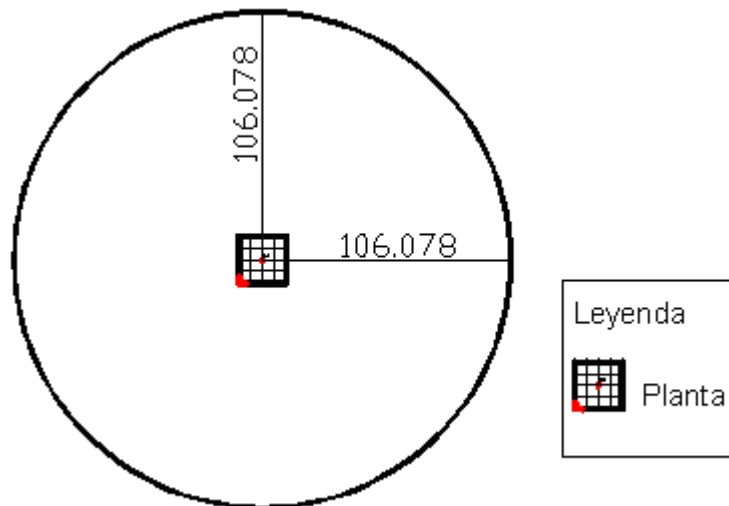
Fórmulas: $I_p = \frac{M \cdot y_0}{\delta x}$ $M = F \cdot Ly$

$$\rho_{11}^2 = \frac{I_p}{A_{11}} \quad \rho_{22}^2 = \frac{I_p}{A_{22}}$$

Datos para el cálculo de IP y de ρ_{ii}^2 de la Planta

	Y (m)		X (m)
FUERZA	-10000000	FUERZA	-10000000
LONGITUD Y	20	LONGITUD Y	20
Yo	10	Yo	10
δx	-0,4031	δx	0,4031
Ip	4961548003	Ip	-4961548003
A11	46772684,8	A22	46772684,75
ρ_{11}^2	106,078	ρ_{22}^2	-106,078

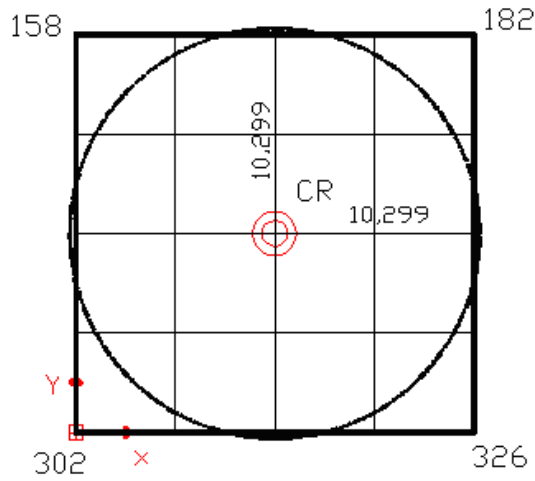
Transposición de la elipse de Radios de giro al cuadrado (giro de 90°)



Elipse de radio de giro al cuadrado de la planta

• **ELIPSE DE CULMANN**

Fórmulas: $\rho_{11}^2 = \frac{Ip}{A_{11}}$ $\rho_{22}^2 = \frac{Ip}{A_{22}}$



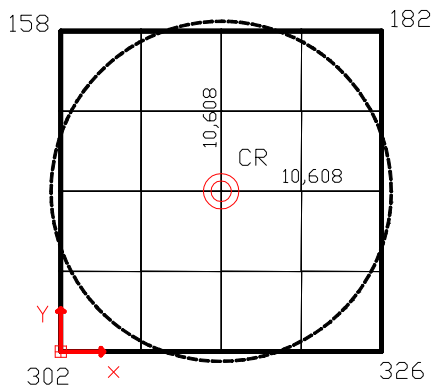
Eje		Magnitud
		δ (m)
$\rho'11$	Y	10,299
$\rho'22$	X	10,299

Semieje de la elipse de Culmann de la Planta

Transposición de la elipse de Culmann (giro de 90°)

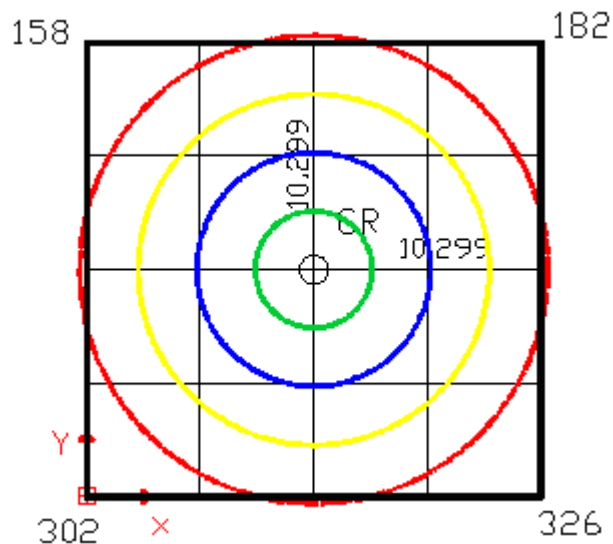
• **ELIPSE DE TORSIÓN**

Fórmulas: $\epsilon_{11} = \frac{\rho_{11}^2}{c_{\max}}$ $\epsilon_{22} = \frac{\rho_{22}^2}{c_{\max}}$



	Y		X
ρ_{11}^2	106,078	ρ_{22}^2	-106,078
Cmax	10	Cmax	10
ϵ_{11}	10,608	ϵ_{22}	-10,608

NÚCLEO TORSIONAL DE UNA PLANTA DE EDIFICIO DETERMINADA CON LA ELIPSE DE CULMANN Y SUS POLARIDADES



	Núcleo Torsional						Pórticos fuera del núcleo
(A)	Factor de amplificación	1	1,25	1,5	1,75	2	> 2
(B)	Cambio relativo del cociente I_p/r_i	$0,50 \frac{I_p}{p}$	$0,63 \frac{I_p}{p}$	$0,75 \frac{I_p}{p}$	$0,88 \frac{I_p}{p}$	$\frac{I_p}{p}$	

Núcleo Torsional de la planta

EPÍLOGO

El método utilizado demuestra ser una herramienta práctica y sencilla, pero a la vez de gran utilidad, que permite ayudar al ingeniero especializado en el área de análisis sísmico a tener una mayor comprensión sobre el comportamiento torsional en plantas de cualquier tipo. Otro objetivo importante es hacer visible a los arquitectos un problema estructural difícil de describir con palabras o números, ya que el lenguaje fundamental del arquitecto es la geometría y no el álgebra.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **PAPARONI, Mario (2007).** Apuntes Manuscritos.
- **PAPARONI, Mario (2008).** Apuntes Manuscritos.
- **LAWERENCE, Dennis J.(1972).** “A Catalog of Especial Planes Curves”, Editorial Dover. Dover Publications INC. New York.
- **PAPARONI M., y P. F. Hummelgens (2000).** “ Un tratamiento matemático de la rigidez torsional de una planta de edificio con pórticos en direcciones arbitrarias”. Revista de la Facultad de Ingeniería, Tekhné N° 4. Publicaciones UCAB.
- **PAPARONI, M. (1991).** “Dimensionamiento de Edificios Altos de Concreto Armado”. Sidetur, Libro
- **ARANDIA, A. Y MEDINA, C. (2007).** “Rigideces de plantas para edificios con pórticos ortogonales y no ortogonales; estudio de las interacciones entre las rigideces traslacionales y torsionales de una planta de edificio”. Trabajo Especial de Grado, Ingeniería Civil, Universidad Católica Andrés Bello.
- **ORTIZ, A. (2008).** “Volúmenes de Interacción para secciones diseñadas con Tensiones Admisibles. Aplicación: Estructuras de Acero”. Trabajo Especial de Grado, Ingeniería Civil, Universidad Metropolitana.
- **GONCALVES, E. (2008).** ”Flexo-Torsión en Edificios Monoplantares y sus Elipses de Elasticidad”. Trabajo Especial de Grado, Ingeniería Civil, Universidad Metropolitana.
- **CHACÓN, D. (2003).** “Solicitaciones en Columnas y Vigas en Edificios Sujetos a Fuerzas Sísmicas Bidireccionales Variables (Un intento para simplificar la Norma Sísmica)”, Trabajo Especial de Grado, Ingeniería Civil, Universidad Metropolitana.
- **LEHMAN, T. (1992).**” “Geometría analítica plana”, Editorial Limosa.

ESTE TRABAJO SE PRESENTA EN EL CONGRESO CONVESIS 2009, CARACAS