

# **Convención de Otoño ACI 2010**

**Pittsburgh, PA**

**24-28 de Octubre, 2010**

## **DOCUMENTO de ARGENTINA**

**Desarrollado por INTI-CIRSOC**

**Ing. Daniel Ortega**  
**INTI-CIRSOC**

**Ing. Victorio Hernández Balat**  
**Quasdam Ingeniería**

# COMENTARIOS AL ACI DESIGN HANDBOOK SP-17(09)

## CAPÍTULOS 1 y 3

### RESUMEN

Con en el presente trabajo el INTI-CIRSOC, que es la institución oficial a cargo de los Reglamentos nacionales de seguridad estructural en la Argentina, quiere hacer un aporte al mejoramiento de los ejemplos contenidos en el Capítulo 3 de la SP-17(09) referido al diseño de columnas cortas y un breve comentario al Capítulo 1 referido a Diseño por flexión.

En los ejemplos que contiene este capítulo se han detectado errores y cuestiones de criterio que creemos deberían ser superados a través de una errata y, posiblemente, de nuevas publicaciones.

### INTRODUCCIÓN

El ACI SP-17(09) es importante para el CIRSOC porque:

1. El CIRSOC 201-05 es un Reglamento estructural de hormigón basado en el ACI 318-05
2. Hay 2 fuentes internacionalmente reconocidas que han desarrollado ejemplos basados en el ACI 318:
  - ACI Design Handbook SP-17
  - PCA Notes on ACI 318
3. El CIRSOC 201-05 es un Reglamento con unidades métricas (SI)
4. El CIRSOC alienta el desarrollo de ejemplos de aplicación, sólidos y confiables, basados en el ACI 318
5. Hay solo una fuente internacionalmente reconocida que desarrolló ejemplos basados en el ACI 318-M:
  - ACI Design Handbook SP-17(09)M

En el prólogo del SP-17(09)<sup>1</sup> se reconoce la necesidad de realizar nuevas ayudas de cálculo para flexión debido a la introducción, a partir del ACI 318-02, de valores variables para el factor de reducción de resistencia " $\phi$ ". Efectivamente, estas ayudas de cálculo han sido modernizadas e incorporadas en el Capítulo 1.

Sin embargo, no ha ocurrido lo mismo con las ayudas relativas a flexión compuesta recta y eso ha traído consecuencias negativas para el desarrollo de los ejemplos del Capítulo 3.

La necesidad de actualizar estas ayudas ya había sido puntualizada por el CIRSOC al ACI Committee 314 en la Convención de Otoño de 2008 llevada a cabo en la ciudad de St Louis. En esa oportunidad se sugirió el desarrollo de diagramas como el mostrado en la Figura 1. Posteriormente este mismo criterio ha sido adoptado en la última versión del texto de Wight y MacGregor<sup>2</sup> donde se incluyen diagramas que incorporan este concepto. Un ejemplo puede verse en la Figura 2 extraída de la Referencia 2. Tal como puede verse en la Figura 3, la última versión del SP-17(09) mantiene lamentablemente los antiguos diagramas en términos de esfuerzos nominales sin limitación explícita del esfuerzo máximo de compresión lo que ha dado lugar a algunos errores en la resolución de los ejemplos y pueden inducir errores en los usuarios.

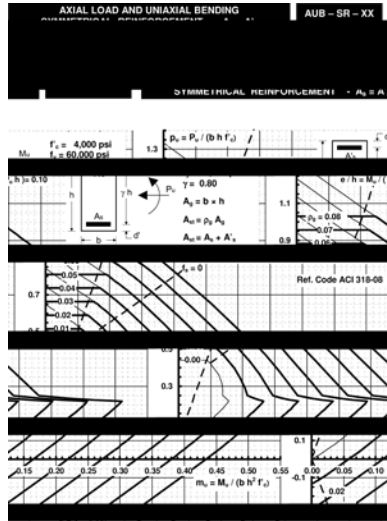


Figura 1

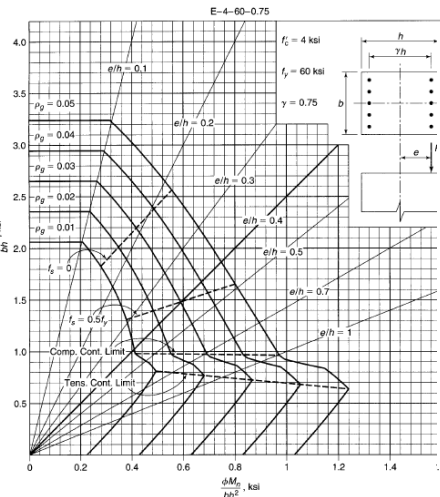


Figura 2

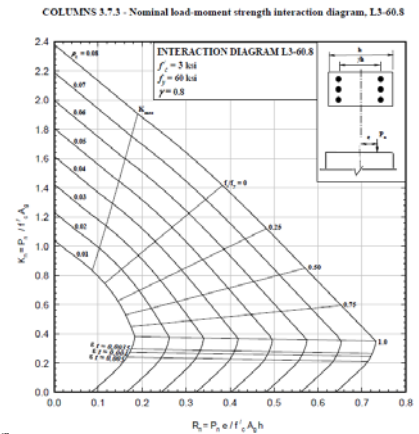
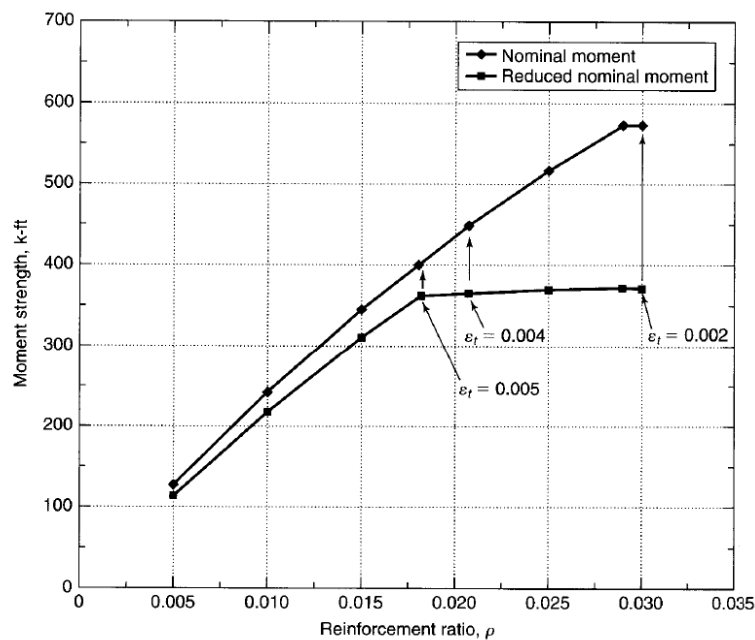


Figura 3

En el Capítulo 1, para flexión con bajos niveles de compresión, el SP-17(09) ha adoptado el límite para  $e/h$  de 0.004, de acuerdo con el ACI 318 artículo 10.3.5. en nuestra presentación en Saint Louis hemos sugerido que este límite debía ser modificado a 0.005. Wight and MacGregor<sup>2</sup> (2009) arribaron a la misma conclusión (ver siguiente figura).



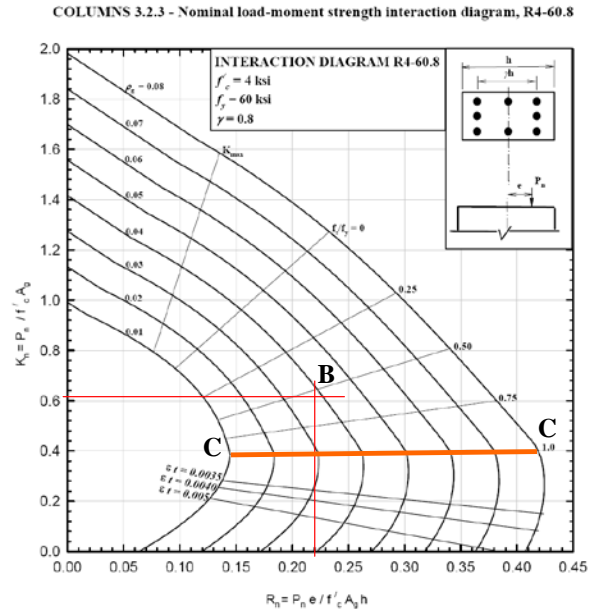
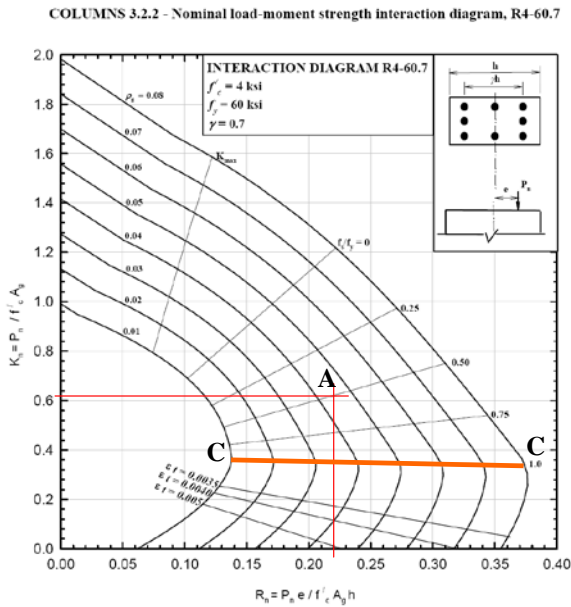
*Esta figura pertenece a Wight and MacGregor<sup>2</sup>, claramente muestra que para  $e_t$  menores que 0.004 la adición de mas armadura de tracción hace que la solución no sea económica.*

Esto no es un error en el Capítulo 1 pero utilizando un límite de 0.005 las secciones serán un poco más económicas, un poco más dúctiles y un poco menos congestionadas.

## EJEMPLO 1

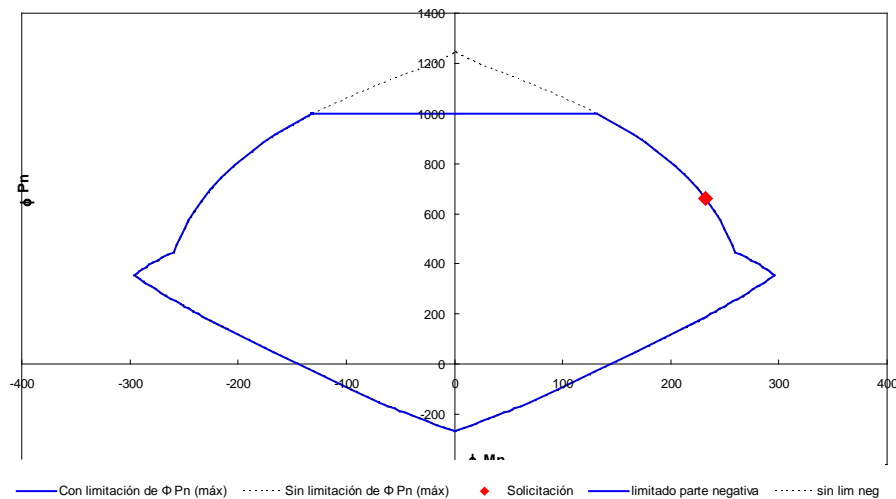
Este ejemplo está referido a columnas con estribos convencionales.

Para el cálculo se supuso  $\phi = 0.70$ , es decir, que la columna se encuentra en la zona de transición. Para el cálculo se utilizaron los diagramas COLUMNS 3.2.2 y 3.2.3 que se han reproducido en las Figuras 4 y 5.



Tal como puede observarse, los puntos “A” y “B” se encuentran por encima de las rectas “C-C” que representan la deformación  $\epsilon_t = 0.002$ , es decir, que correspondería haber utilizado  $\phi = 0.65$  dejando a la solución del lado de la inseguridad. Este error no se hubiera cometido si los gráficos ya tuvieran incorporados los correspondientes valores de “ $\phi$ ”. De todas formas el problema se podría haber resuelto correctamente iterando, en este caso, una sola vez. El error cometido al calcular las armaduras se encuentra aproximadamente en un 12% del lado de la inseguridad.

En la Figura 6 se muestra un diagrama producido por el programa gratuito de dimensionamiento y verificación CIRSOC-FLEX que fuera presentado al ACI Committee 314 en la Convención de New Orleans en 2009.



## EJEMPLO 2

Este ejemplo está referido a columnas con estribos convencionales.

Para el cálculo se supuso que  $\phi = 0.70$ , es decir, que la columna se encuentra en la zona de transición.

Se repite la situación del ejemplo anterior. Correspondería haber utilizado  $\phi = 0.65$ . En este caso el error porcentual es menor pero el problema conceptual existe.

También existe un error numérico en el ejercicio. En la Figura 7 se reproduce el sector de la página 65 en el que se encuentra el citado error.

B) Compute $K_n = \frac{P_n}{f'_c A_g}$	$\frac{943}{(4)(384)}$	$\frac{943}{(4)(416)}$	$\frac{943}{(4)(448)}$
	= 0.61	= 0.57	= 0.53
C) Compute $R_n = \frac{M_n}{f'_c A_g h}$	$\frac{3986}{(4)(384)(16)}$	$\frac{3986}{(4)(416)(16)}$	$\frac{3986}{(4)(448)(16)}$
	= 0.16	<del>= 0.14</del>	= 0.14

Figura 7

0.15

## EJEMPLO 3

Este ejemplo está referido a una columna cuadrada con su núcleo circular zunchado. Si bien se repite el procedimiento de ejemplos anteriores en este caso las solicitaciones conducen a  $\phi = 0.70$  y el resultado es correcto. Existen diferencias en cuanto a la lectura de los valores en los diagramas pero eso es común en este tipo de procedimientos y se encuentran dentro de valores aceptables.

## EJEMPLO 4

Se trata de un ejemplo de una columna cuadrada con igual armadura en sus cuatro caras sometida a flexión compuesta oblicua.

El procedimiento utilizado consiste en transformar la flexión oblicua en flexión recta haciendo una suma vectorial de los momentos actuantes y, al final, incrementar arbitrariamente la armadura obtenida en un 15%. Para las solicitaciones adoptadas el procedimiento no conduce a un error muy grande pero no parece prudente utilizarlo en un manual del ACI sin aclarar que no se trata de un procedimiento de validez general. Nuevamente se adopta aquí un valor de “ $\phi$ ” sin

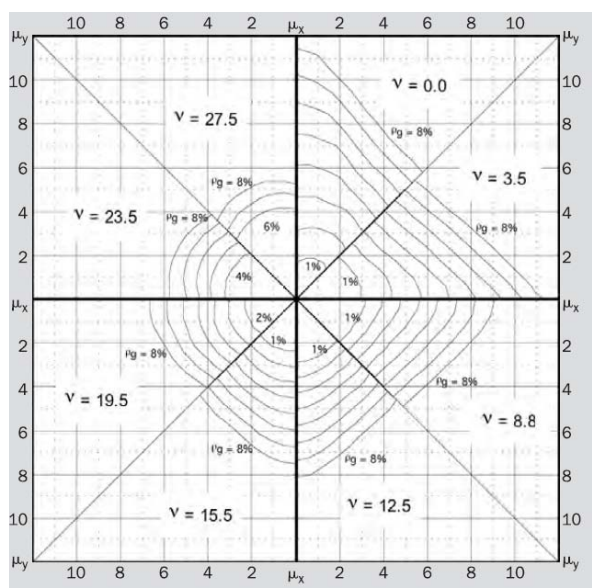


Figura 8

luego verificarlo. En este caso la verificación hubiera sido necesaria dado que las solicitaciones conducen a la zona de “ $\phi$ ” variable.

No hay ejemplos que muestren el uso de procedimientos aceptados por el ACI 318.

Si a la misma sección se le aplican otras solicitaciones y se utiliza el mismo método se puede llegar a soluciones del lado inseguro absolutamente inaceptables. El ejemplo puede inducir a los usuarios a utilizarlo como válido para otros casos.

Es razonable cuestionar los procedimientos contenidos en el ACI 318 dado que no permiten dimensionar secciones, sólo permiten verificarlas, es decir, que hay que proceder por tanteos. El procedimiento es lento y laborioso.

Existen en la bibliografía procedimientos

adecuadamente validados para transformar la flexión compuesta oblicua en flexión compuesta recta (aunque han sido validados para esfuerzos nominales sin tener en consideración los efectos de los valores variables de “ $\phi$ ”).

Existen algunos gráficos del tipo “roseta” que permiten abordar en forma directa problemas de dimensionamiento<sup>4</sup>. La referencia citada es gratuita y puede obtenerse fácilmente en Internet.

La Figura 8 muestra un gráfico en “roseta” extraído de la Referencia (4). En él puede apreciarse que la hipótesis que se hace en el ejemplo al suponer que un corte horizontal es “elíptico” puede resultar muy errada y del lado inseguro dependiendo del nivel del esfuerzo axial actuante. Por ese motivo resulta muy peligroso poner un ejemplo de un método que no tiene validez general sin indicar sus limitaciones.

En la Figura 9 se muestra la solución del problema mediante el software CIRSOC-FLEX.

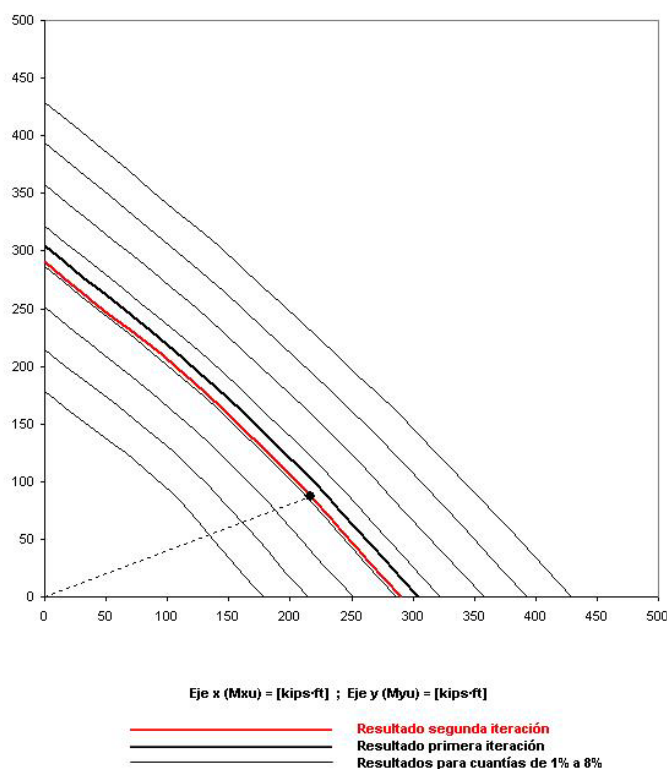


Figura 9

## EJEMPLO 5

Se trata de un ejemplo de una columna circular zunchada. En este caso, al no contar los gráficos del SP-17(09) con la limitación que el ACI 318 especifica para la resistencia axial, no se advirtió que el punto “A” se encuentra ubicado en la zona en que las curvas deben ser reemplazadas por rectas horizontales. En este caso el error, del lado de la inseguridad, es del orden del 18% dado que la interpolación debe hacerse entre las rectas horizontales y no entre las curvas.

En la Figura 11 se muestra un gráfico extraído de la Referencia 2 en el que se observa el aspecto que deberían presentar los diagramas. Se aprecia también que la recta “ $e/h = 0.1$ ” no debe ser tomada como referencia para el trazado de las rectas horizontales.

**COLUMNS 3.15.2 - Nominal load-moment strength interaction diagram, C5-60.7**

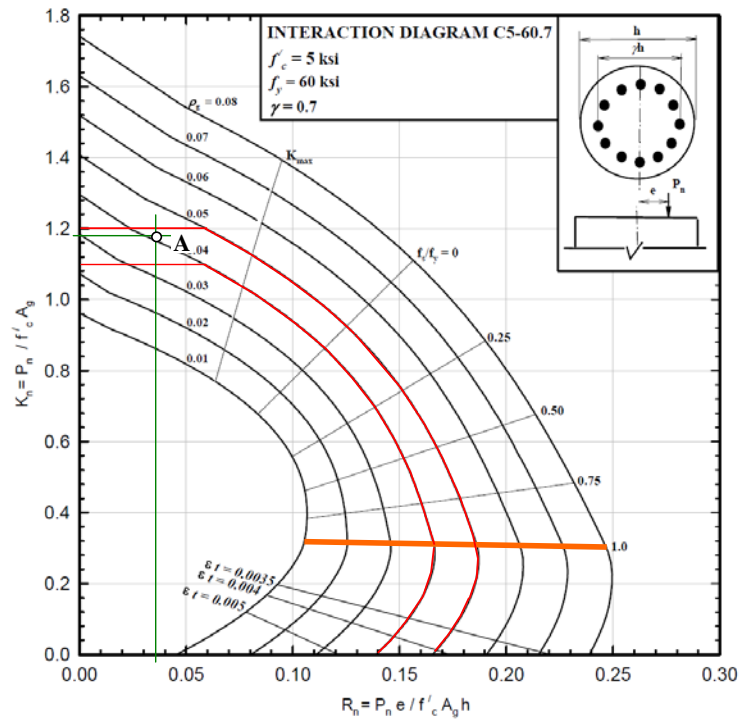


Figura 10

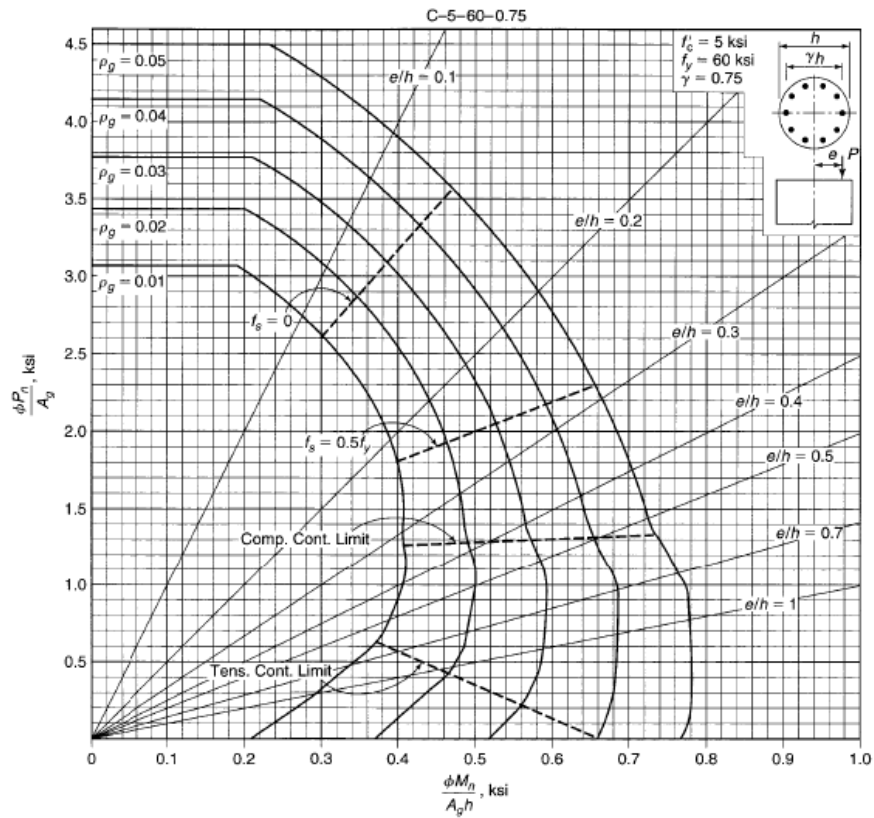


Figura 11



En este ejemplo hay también un error numérico que ya ha sido subsanado en una errata ya publicada.

## CONCLUSIONES

- 1.- La mayor parte de los errores que se observan en los ejemplos surgen del hecho de que el SP-17(09) no tiene ayudas de cálculo que incorporen los valores variables de " $\phi$ " y los límites de resistencia axial indicados por el ACI 318
- 2.- No deberían incluirse procedimientos que no sean de validez general y/o que no estén avalados por el ACI.
- 3.- Los procedimientos indicados en el ACI 318-08 para la verificación de secciones en flexión compuesta oblicua no fueron calibrados teniendo en consideración la influencia de " $\phi$ " variable. Las superficies resistentes que se obtienen para estas nuevas condiciones, aún para secciones simétricas, presentan geometrías muy complejas (Figura 12) y los planos de corte horizontales pueden no corresponder a valores constantes de " $\phi$ " lo que complica la generalización de las expresiones que se han venido utilizando históricamente.

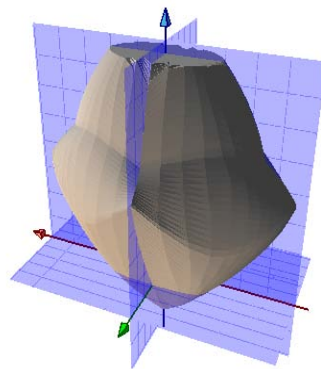


Figura 12

- 4.- Para una nueva versión del SP-17 o para un manual específico pueden realizarse diagramas tipo "roseta" para solucionar problemas de flexión compuesta oblicua tales como los que se presentan en la publicación indicada como Referencia 4 o como los que el CIRSOC mostró en su presentación del año 2008.
- 5.- La versión métrica, SP-17(09)-M, incluye la conversión de todas las unidades al sistema SI. Los ejemplos y también los procedimientos son los mismos, por cuanto los comentarios efectuados hasta aquí siguen siendo válidos. El redondeo de algunas magnitudes, particularmente las dimensiones transversales de la sección y la resistencia de los materiales han generado el cambio de los valores de entrada a los diagramas, pero las mismas lecturas se han mantenido por lo que se han introducidos algunos otros errores de menor importancia.
- 6.- El programa gratuito CIRSOC-FLEX permite resolver la mayor parte de los problemas de flexión simple y compuesta más comunes en la práctica de la ingeniería.

## REFERENCIAS

1. Saatcioglu, M, ACI DESIGN HANDBOOK, SP-17(09), American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich, 2009, pp. 59-166
2. Wight, J.K. and MacGregor, J. G., Reinforced Concrete: Mechanics and Design, 5<sup>th</sup> Edition, Prentice- Hall, Upper Saddle River, N.J., 2009
3. Furlong R.W, Hsu C.T.T and Mirza S.A., "Analysis and Design of Concrete Columns for Biaxial Bending-Overview", ACI Structural Journal, May-June 2004, pp. 413-423
4. Larraín Vial A., Yáñez Uribe, F. and Verdugo Arnold Ch., "Manual de Cálculo de Hormigón Armado-Segunda Edición en Base al Código ACI 318-05", GERDAU AZA S.A., 2006