

INGENIERÍA CIVIL

COLUMNDESIGN

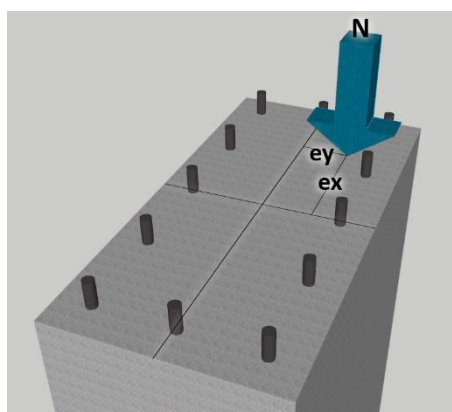
LINEA DE INVESTIGACION: ESTRUCTURAS
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL.

Patricio Xavier Palacios Benavides

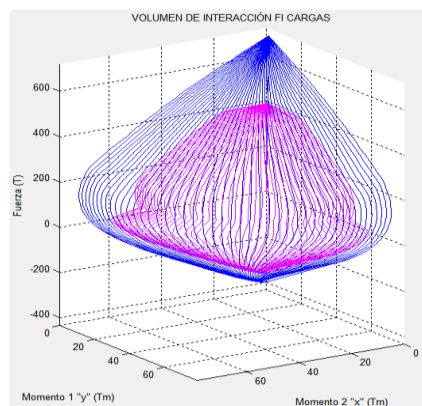
OBJETIVO

Es necesario priorizar las capacidades nominales del elemento para el diseño estructural, con el fin de lograr el comportamiento adecuado en las situaciones más desfavorables. Este mismo diseño, obliga a analizar todos los compartimientos posibles y fenómenos físicos que se desarrollan en el elemento vertical; se establece entonces, que todo tipo de columnas pueden estar sujetas a la acción de cargas axiales actuantes con una excentricidad presente en los dos ejes principales de la sección. El diseño de la columna requiere el cálculo del volumen de interacción de falla, este está expresado en función de una carga axial y los componentes de los momentos resistentes en los sentidos ortogonales a los ejes principales de la sección.

Se puede observar en la **figura 1a** el fenómeno físico antes mencionado, constatándose que las excentricidades presentes respecto a ambos ejes principales de la sección, son las responsables de provocar momentos en dichas direcciones; conjuntamente se observa en la **figura 1b** un ejemplo del volumen de interacción provocado por la aplicación de una carga axial que no coincide con ninguno de los ejes principales del elemento estudiado.



(a)



(b)

Figura 1a. Carga axial con excentricidad respecto a los dos ejes.

Figura 1b. Volumen de interacción de columna.

PROGRAMA DE APLICACIÓN

El diseño de una sección de una columna de hormigón armado, está sujeto al volumen de interacción de falla antes mencionado; el procedimiento para obtener dicho volumen es dependiente de una gran cantidad de ecuaciones que obedecen al equilibrio entre esfuerzos de tensión y de compresión, que se desarrollan dentro del área transversal de la columna con las

diferentes variaciones de profundidades del bloque de compresión de hormigón; este proceso permite una gran ventaja con la programación de secuencias lógicas donde se desarrollan rutinas en las que un gran volumen de cálculos pueden ser realizados de forma casi inmediata, por tal motivo nace la iniciativa de desarrollar un programa que permita la obtención de la superficie de falla necesaria para el diseño de este tipo de columnas.

Por la gran facilidad y comodidad de codificación que ofrece el paquete computacional MATLAB 2010a, es el programa escogido para realizar las secuencias lógicas necesarias, impartiendo una interfaz gráfica al usuario que permita la comprensión total de resultados y facilite el uso del programa para obtener el diseño esperado del elemento vertical.

Con el software realizado, se espera obtener datos estructurales de importancia para el diseño del elemento, además del volumen de interacción de falla, se puede ingresar los datos de fuerza axial y componentes de momentos presentes en la columna en el diseño final, provenientes de una cuantificación de cargas, donde se constatará si la sección adoptada es aceptable para su construcción, ya que este punto de fuerzas actuantes, debe estar dentro de la zona permisible del volumen de interacción construido; caso contrario, será necesario recurrir a la modificación de la sección en cuanto a dimensionamiento o refuerzo de acero se refiere, con el criterio técnico necesario para realizar dichos cambios; luego se procede a la verificación de que esta nueva sección si cumpla los requerimientos actuantes y se encuentre en el interior del volumen permisible.

FILOSOFÍA DE DISEÑO

El proceso de elaboración del software requiere consideraciones geométricas de la sección y prevención con procesos numéricos que puedan ocasionar errores en el cálculo, conjuntamente con el uso adecuado de las normativas exigidas en los códigos de construcción de hormigón; por lo tanto el diseño que se ocupa en el programa obedece a la filosofía de diseño mencionada en el ACI 318S-11 y en los diferentes textos de cálculo de hormigón armado, donde se hace mención a las siguientes suposiciones, las cuales son válidas para todos los fenómenos físicos desarrollados dentro del análisis lineal:

- El diseño por resistencia de elementos sometidos a flexión y cargas axiales debe basarse en las hipótesis dadas en 10.2.2 a 10.2.7, y debe satisfacer las condiciones de equilibrio y de compatibilidad de deformaciones. (ACI 318S-11, 10.2.1)

- Las deformaciones unitarias en el refuerzo y en el concreto deben suponerse directamente proporcionales a la distancia desde el eje neutro. (ACI 318S-11, 10.2.2) Es decir, las secciones transversales se mantienen planas antes y después de la deformación.
- La máxima deformación unitaria utilizable en la fibra extrema sometida a compresión del concreto se supone igual a 0.003. (ACI 318S-11, 10.2.3)
- El esfuerzo en el refuerzo cuando sea menor que f_y debe tomarse como E_s veces la deformación unitaria del acero. Para deformaciones unitarias mayores que las correspondientes a f_y , el esfuerzo se considera independiente de la deformación unitaria e igual a f_y . (ACI 318S-11, 10.2.4)

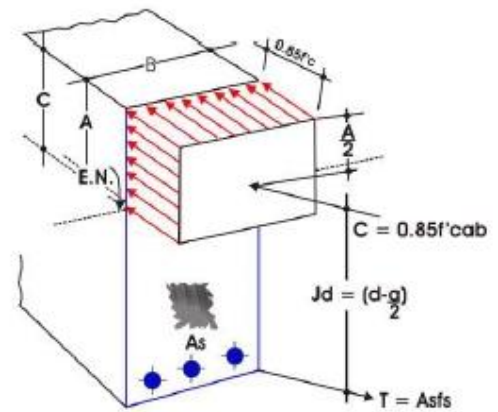
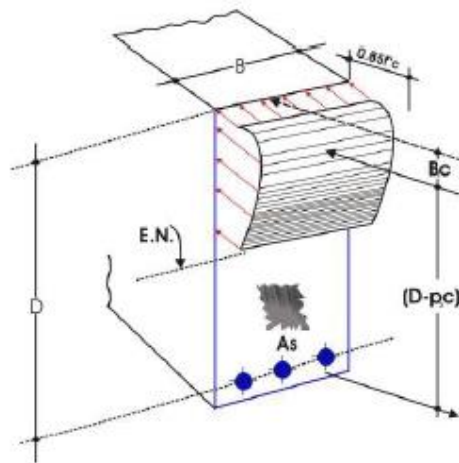
f_y = Fluencia del acero.

E_s = Módulo de elasticidad.

- La resistencia a la tracción del concreto no debe considerarse en los cálculos de elementos de concreto reforzado sometidos a flexión y a carga axial. (ACI 318S-11, 10.2.5)
- La relación entre la distribución de los esfuerzos de compresión en el concreto y la deformación unitaria del concreto se debe suponer rectangular, trapezoidal, parabólica o de cualquier otra forma que de origen a una predicción de la resistencia que coincida con los resultados de ensayos representativos. (ACI 318S-11, 10.2.6)

Método de Charles S. Whitney

- Supone una distribución uniforme de esfuerzos de compresión de intensidad de $0.85 \cdot f'_c$, actuando sobre un área rectangular limitada por los bordes de la sección y una recta paralela al eje neutro, localizada a una distancia $a = \beta \cdot c$ de la fibra de máxima deformación en compresión.



- Se cumple la ley de Hooke, donde se presentan esfuerzos y deformaciones en el rango elástico; estas se presentarán en la relación entre la distribución de los esfuerzos de compresión en el concreto y la deformación unitaria del concreto, donde se supone rectangular.
- Se suponen deformaciones pequeñas dentro de la sección de hormigón, elementos muy cortos donde no existen problemas de esbeltez
- Se supondrán conocidas la geometría del elemento, incluyendo la cantidad y distribución del acero de refuerzo, la calidad del concreto definida su resistencia nominal y la calidad del acero, definida su resistencia nominal.

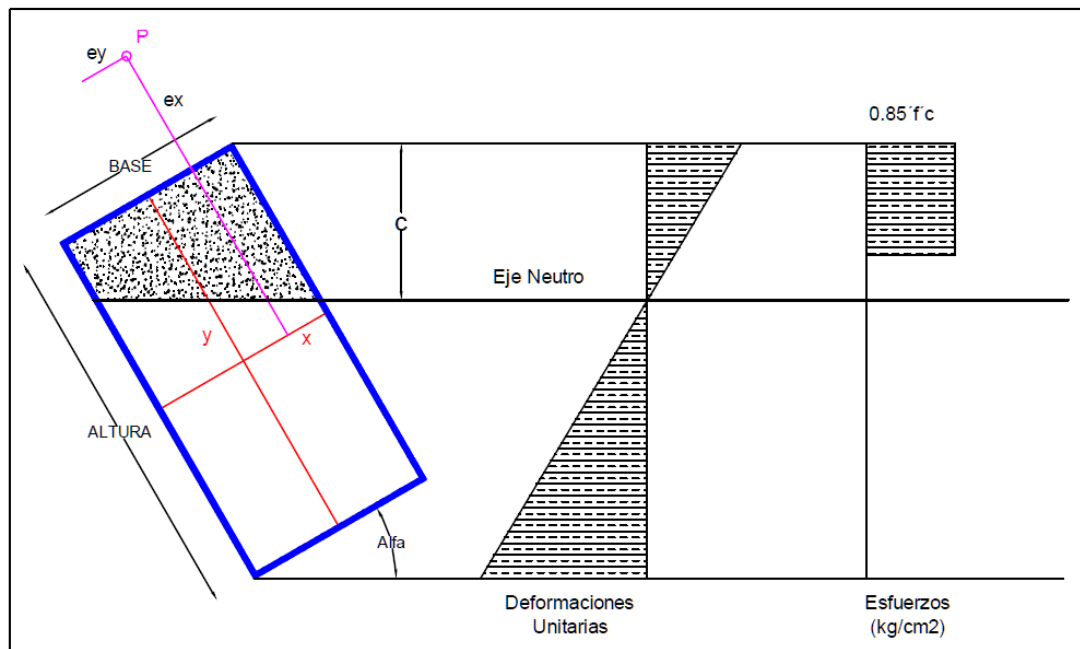
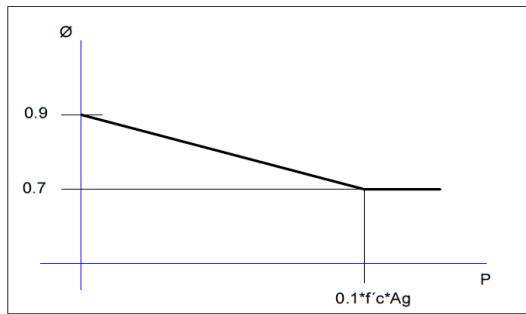


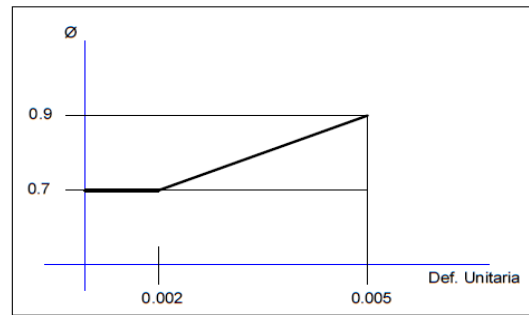
Figura 2. Modelo de rotación de la sección para obtención de volumen de interacción.

Estas suposiciones permiten realizar los cálculos necesarios para la sección ingresada, donde el proceso obliga a un incremento secuencial del ángulo ALFA determinado en el *figura 2*, dando diferentes profundidades del bloque de compresión de hormigón, estas serán tomadas desde el extremo más alto de la sección hasta el extremo más bajo (caracterizaciones geométricas); estas profundidades del bloque de compresión de hormigón tienen un esfuerzo resultante aproximado a un rectángulo de $0,85 \cdot f'_c$ (Whitney), las mismas que determinarán las capacidades axiales y componentes de momentos en ambos sentidos respecto a los ejes principales de la sección, mediante el equilibrio de fuerzas interiores producidas en el área transversal de la columna. La obtención de dichas magnitudes, permite la elaboración de una superficie de falla de la columna con dimensiones previas, para así verificar si es apta para la construcción.

El volumen de interacción que resulta al efectuar los cálculos que permiten un equilibrio dentro de la sección, debe ser reducido mediante las expresiones que se encuentran en el código ACI 318S-11; estas minoraciones son dependientes de un factor de reducción ϕ el cual está en función de dos opciones; el primero es directamente proporcional a las cargas actuantes en la columna y el segundo, está en función de la deformación unitaria de la última fibra de acero en tensión. Las variaciones lineales necesarias para determinar este factor de reducción ϕ , se señala a continuación en la *figura 3*.



(a)



(b)

Figura 3a. Determinación de factores de reducción ϕ según cargas axiales.

Figura 3b. Determinación de factores de reducción ϕ según deformación unitaria.

OBTENCIÓN DEL VOLUMEN DE INTERACCIÓN

Una vez que se hayan realizado todos los cálculos numéricos que se citaron, es posible obtener el volumen de interacción, en este programa solo se ha producido la rotación de la sección en el primer cuadrante, ya que esta superficie de falla es simétrica en todos los cuadrantes. Se ha permitido la opción de ingresar un dato correspondiente de carga axial y componentes de momento en los ejes principales de la sección, para así comprobar si esta se encuentra dentro del volumen permisible, el cual obedece a las minoraciones de los diferentes factores de reducción. Se puede evidenciar un punto como ejemplo en la **figura 4**, el cual está dentro del volumen de interacción permisible.

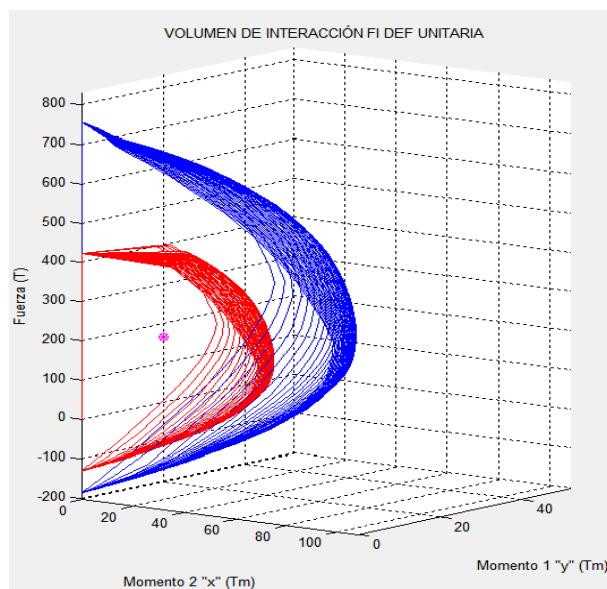


Figura 4. Volumen de interacción entregado por el programa.

BIBLIOGRAFÍA

- “Biaxial bending of concrete columns: an analytical solution, L. Cedolin, G. Cusatis, S. Eccheli”, M. Roveda, Politecnico di Milano, Italy, 2006.
- “Behavior of concrete columns under various confinement effects”, AHMED MOHSEN ABD EL FATTAH, B.S., Cairo University, 2000, M.S., Kansas State University, 2008.
- “Automatización del cálculo de diagramas de Interacción para el diseño en flexocompresión biaxial con verificación de la carga axial máxima de columnas de concreto armado”, Richard s. Calle García, Tesis para optar el título de Ingeniero civil, Universidad Nacional de Piura, 2014.
- “Biaxial bending in columns”, Prof. Abdelhamid Charif.
- “Design of Reinforced Concrete”, Jack McCormac-Russell H. Brown, ACI 318-11 Code Edition.
- “Diseño biaxial para columnas rectangulares”, Arcesio Ortiz Ballesteros, 2001.
- “Development of a computer program to design concrete columns for biaxial moments and normal force”, Valdimar Örn Helgason, Division of Structural Engineering Lunds Institute of Technology, Lund University, 2010
- “Flexocompresion en los elementos de Hormigón Armado”, Marcelo Romo Proaño, M.Sc., Escuela Politécnica del Ejercito.
- Aspectos fundamentales del concreto reforzado, Óscar M. González Cuevas-Francisco Robles Fernández-Villegas +, Profesores de la Universidad Autónoma Metropolitana.

LINKS DE VIDEOS EXPLICATIVOS DEL PROGRAMA COLUMNDESIGN

- <https://www.youtube.com/watch?v=1P1Qp5lC2g8>
- <https://www.youtube.com/watch?v=VhFXATGj5i4>