

**TUBERIAS Y CONDUCTOS AHOGADOS
EN EL CONCRETO.
CONSIDERACIONES SOBRE SU RESISTENCIA**

Luis A. Abbott Z., MS*

Resumen:

Las tuberías ahogadas en el hormigón producen un cambio de resistencia en el esqueleto de soporte de las edificaciones, respecto de lo diseñado. En el presente trabajo se exponen los conceptos técnicos que se deben analizar en la inclusión de tuberías, se calcula el cambio de resistencia que producen los huecos de los tubos y las penalidades. Se consideran los casos de resistencia de columnas con tuberías alojadas cargadas axialmente y excéntricamente.

Palabras Claves:

Tuberías ahogadas, cambios de resistencia, diseño de armaduras.

* Profesor del Area de Ingeniería Civil del INTEC.

INTRODUCCION.

Siempre ha sido de preocupación para los ingenieros, constructores y estructuralistas, la incorporación de tubos para las instalaciones sanitarias, eléctricas, etc. en los elementos losas, vigas y columnas que forman el esqueleto de soporte de las edificaciones. Esta preocupación se concentra principalmente en lo que concierne al cambio de resistencia que proporciona el hecho que se está desplazando un área de concreto que originalmente fue considerada en el análisis y diseño de las armaduras.

Dicha inquietud conduce al proyectista a considerar las reglamentaciones empíricas que cita el capítulo seis (6) del reglamento de las construcciones (ACI). Además de encontramos que la mayoría de los textos de hormigón no incluyen en su contenido temas relacionados con lo que este trabajo investiga, por lo que resulta un poco difícil encontrar estudios teóricos referidos a tuberías ahogadas en hormigón.

Por lo dicho en el párrafo anterior y por la poca importancia que los profesores de universidades le dan al respecto es difícil encontrar en nuestro medio planos constructivos que indiquen especificaciones de colocación y fabricación de las tuberías que serán ahogadas en el concreto. Esta situación podría tomarse muy peligrosa para la resistencia de los elementos de concreto, especialmente cuando tenemos casos que están fuera del alcance de las normas.

Pretendemos en este trabajo crear en los profesionales ligados al área de las edificaciones y obras civiles los criterios técnicos que se deben tomar en cuenta en la inclusión y colocación de las tuberías, así como también mostrar el cambio de resistencia que introducen los huecos de tubos, indicando específicamente las penalidades cuando estamos fuera de los reglamentos normativos.

NOTACION.

Ag: Área transversal bruta del elemento
Ah: Área ocupado por el conducto.

As: Area del acero inferior.
 A's: Area de acero superior.
 Ast: Area del acero total= $A's + A_s$.
 At: Area transformada de la sección para fase I o II
 a: Peralte del bloque rectangular equivalente esfuerzos definido según ACI.
 b: Base de la sección transversal.
 C: Distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el eje neutro.
 Cc: Componentes de fuerzas del concreto.
 Ch: Componentes de fuerzas equivalentes del conducto.
 Cs: Componente de fuerzas del acero a compresión.
 d: Altura útil de la sección.
 d': Recubrimiento medido desde fibra extrema en compresión al baricentro del refuerzo.
 Ec: Módulo de elasticidad del concreto
 Es: Módulo de elasticidad del acero.
 fc: Esfuerzo calculado en la fibra extrema a compresión del concreto con cargas de servicio.
 f'c: Resistencia especificada a la compresión del concreto según lo indica el ACI.
 fs: Esfuerzo calculado en acero inferior.
 f's: Esfuerzo calculado en acero superior.
 fy: Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo no presforzado.
 h: Peralte total del elemento.
 Ix: Momento de inercia alrededor eje baricéntrico transformado o del eje agrietado.
 Mn: Resistencia calculada a la flexión del elemento
 Nn: Resistencia calculada axial del elemento.
 Nnmax: Resistencia axial maxima de una columna.
 n: Relación modular de elasticidad.
 m: Distancia vertical entre el eje baricéntrico bruto al eje baricéntrico transformado.
 Ts: Componente de fuerzas del acero inferior.
 rh: Recubrimiento del conducto medido desde la fibra extrema del concreto.

- x: Distancia desde fibra extrema a compresión al eje neutro en el diagrama de esfuerzos del estado II.
- Y_c: Ordenada de la componente del concreto (C_c) referido al centroide plástico.
- Y_h: Ordenada de la componente del conducto (C_h) referido al centroide plástico.
- Y_s: Ordenada de la componente del acero inferior (T_s) referido al centroide plástico.
- Y'_s: Ordenada de la componente del acero superior (C_s) referido al centroide plástico.
- Y₁, Y₂: Ordenadas baricéntricas del área de concreto transformada (Estado I) referido a la base superior e inferior respectivamente.
- ε_c: Deformación de la fibra extrema a compresión.
- ε_s: Deformación del refuerzo inferior.
- ε'_s: Deformación en el refuerzo superior.
- Ø: Factor de reducción de resistencia.
- Ø_h: Diámetro del conducto.
- ph: Porcentaje de hueco de la sección.
- ρ: Porcentaje de acero inferior de la sección.
- ρ': Porcentaje de acero superior de la sección.

RESISTENCIA DE COLUMNAS CON TUBERIAS AHOGADAS CARGADA AXIALMENTE.

Consideremos una columna con un área bruta transversal A_g , de ancho b y un peralte total h , que está armado con un área total de acero de $A_{st} = A'_s + A_s$, y además consta de un hueco para la colocación de una tubería en el mismo centroide plástico, tal como muestra la figura 1.

Se puede obtener la capacidad máxima de carga axial para la columna sumando la contribución del concreto, y la contribución del acero y aliviando esta sumatoria con la componente equivalente del hueco.

Recordando siempre que la carga axial pura produce una com-

presión uniforme en toda la sección transversal; por consecuencia, el esfuerzo y la deformación en la falla serán uniformes en toda la sección transversal, como se indica en la figura citada.

$$P_n = C_s + T_s + C_c - C_h$$

donde $C_s = A'_s \cdot f_y$

$$T_s = A_s \cdot f_y$$

$$A_g = b \cdot h$$

$$C_h = 0.85 \cdot f'_c \cdot A_h$$

$$C_c = 0.85 \cdot f'_c \cdot A_g$$

Sustituyendo dichas cantidades en P_n y asumiendo el factor de reducción normativo y los factores de reducción por excentricidad, tenemos:

$$P_{nmax} = 0.8 \cdot \phi \cdot [0.85 \cdot f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y - 0.85 \cdot f'_c \cdot A_h]$$

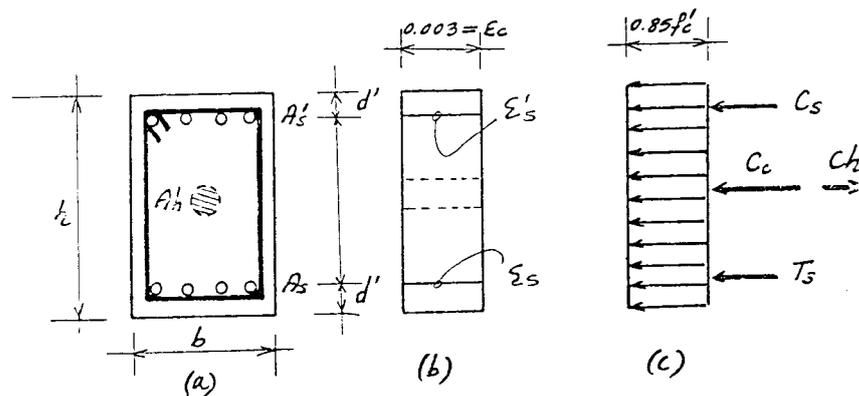


Figura 1: a) Sección Transversal; b) Deformación del Concreto; c) Fuerzas concreto y acero

RESISTENCIA DE COLUMNAS CON TUBERIA AHOGADAS CARGADAS EXCENTRICAMENTE CARGAS AXIAL MAS FLEXION

Se cumplen los mismos principios y conceptos relativos a la distribución de deformación y bloque rectangular equivalente de esfuerzos

que se aplicó en las vigas y las columnas sin tuberías ahogadas en el concreto.

Debemos notar que la localización del hueco, distinto al caso céntrico, se ubicó lo mas lejano del centroide plástico, para así tener los resultados menos favorables en el cálculo analítico.

Observando la figura No 2 , se pueden expresar las ecuaciones de equilibrio axial y de momento como sigue:

$$\begin{aligned}
 P_n &= C_s + C_c - T_s \\
 M_n &= C_s * Y'_s + C_c * Y_h + T_s * Y_s \\
 \text{donde } C_s &= A'_s * f'_s \\
 T_s &= A_s * f_s \\
 C_h &= 0.85 * f'_c * A_h \quad \sin(rh + \emptyset h/2) < a \\
 C_c &= 0.85 * f'_c * a * b \quad a \leq h \\
 \alpha &= \beta_1 * c
 \end{aligned}$$

Geoméricamente podemos definir:

$$\begin{aligned}
 Y_s &= Y'_s = (d - d')/2 = d - h/2 \\
 Y_c &= h/2 - a/2 \\
 Y_h &= h/2 - rh
 \end{aligned}$$

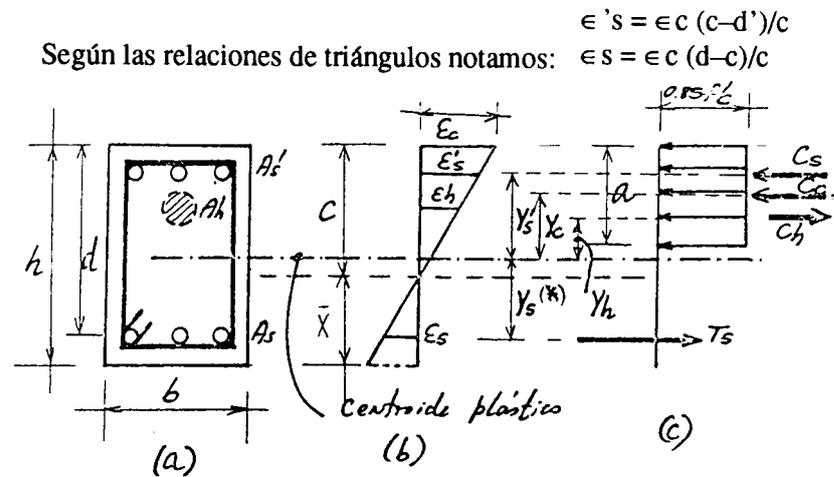


Figura 2: a) Sección Transversal; b) Deformación del Concreto y Acero; c) Fuerzas Concreto y Acero.

Luego los esfuerzos son como sigue:

$$f_s = \epsilon_s * E_s \leq f_y$$

$$f'_s = \epsilon'_s * E_s \leq f_y$$

Sustituyendo lo anterior en las ecuaciones de equilibrio llegamos:

$$N_n = 0.85 * f'_c (a * b - A_h) + A'_s * f'_s - A_s * f_s$$

$$M_n = 0.85 * f'_s [a * b (h/2 - a/2) - A_h (h/2 - r_h)] + (d - h/2) A'_s * f'_s + (d - h/2) A_s * f_s$$

Recordando que para fines de diseño estas ecuaciones deben ser afectadas por el factor de reducción de resistencia y específicamente la ecuación de equilibrio axial debe ser limitada a la carga axial máxima.

ANALISIS ELASTICO DE SECCIONES CON TUBERIAS AHOGADAS CARGADAS EXCENTRICAMENTE (PEQUEÑA EXCENTRICIDAD)

Para poder evaluar las solicitaciones de secciones con tuberías ahogadas debemos seguir los mismos pasos desarrollados en los cursos de Resistencia de Materiales. O sea transformar la sección real en una sección equivalente de hormigón solamente, a través de la relación de módulos de ambos materiales y luego aplicar la ecuación de escurdria.

Ver figura No 3.

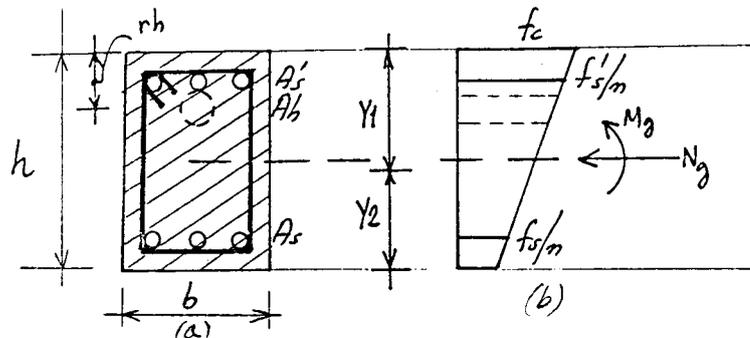


Figura 3: a) Sección Transversal; b) Diagrama de Solicitación (Fase I)

Area de hormigón transformada

$$A_t = b \cdot h + (n - 1) \cdot (A_s + A' s) - A_h$$

Tomando momento estático de primer orden en la base inferior, obtenemos la ubicación de los ejes baricéntricos:

$$Y_2 \cdot A_t = b \cdot h^2 / 2 + (n - 1) \cdot A_s \cdot d' + (n - 1) \cdot A' s \cdot d - A_h \cdot (h - r_h)$$

Tomando momento estático de segundo orden (inercia) alrededor del eje baricéntrico:

$$I_x = [b \cdot h^3 / 12 + b \cdot h \cdot m^2] + (n - 1) \cdot A_s \cdot (Y_2 - d')^2 + (n - 1) \cdot A' s \cdot (Y_1 - d')^2 - A_h \cdot (Y_1 - r_h)^2$$

Finalmente aplicando la ecuación de escurdría determinamos las sollicitaciones en los materiales:

$$f_c = N / A_t + M \cdot Y_1 / I_x$$

$$f' s = [N / A_t + M \cdot (Y_1 - d') / I_x] n$$

$$f_c = N / A_t - M \cdot Y_2 / I_x$$

ANALISIS ELASTICO DE SECCIONES CON TUBERIAS AHOGADAS CARGADAS EXCENRICAMENTE (GRAN EXCENRICIDAD)

El algoritmo desarrollado para el caso de pequeña excentricidad debe ser modificado para incorporar el desalajo del hormigón agrietado. Ver figura No. 4

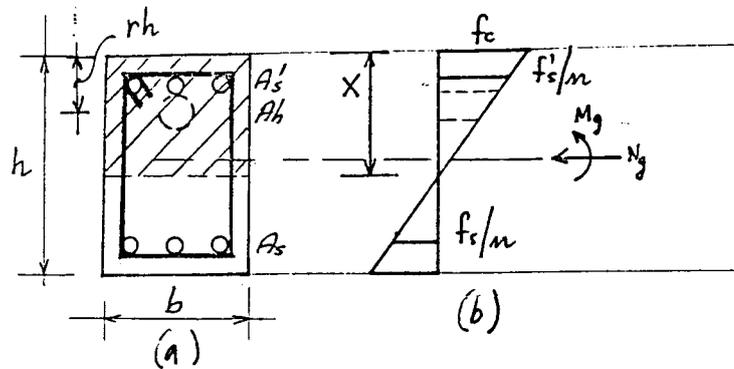


Figura 4: a) Sección Transversal; b) Diagrama de sollicitación (Fase II).

Area de hormigón transformada:

$$A_t = bx + (n-1) \cdot A's + n \cdot A_s - A_h$$

Tomando momento estático de primer orden alrededor del eje baricéntrico, obtenemos la profundidad del eje neutro:

$$bx(x)/2 + (n-1) \cdot A's \cdot (x - d')^2 + n \cdot A_s \cdot (d - x)^2 - A_h \cdot (x - rh)^2$$

Finalmente aplicando la ecuación de ecuadría determinamos las sollicitaciones en los materiales:

$$f_c = N / A_t + M \cdot x / I_x$$

$$f's = [N / A_t + M \cdot (x - d') / I_x] n$$

$$f_s = [N / A_t - M \cdot (d - x) / I_x] n$$

RECOMENDACIONES.

1. Es permisible la colocación de cualquier conducto en elementos de concreto sin ningún tratamiento especial, excepto en tubos construidos de aluminio en cuya inclusión se deben revestir adecuadamente. No se debe considerar que la tubería sustituye estructuralmente al concreto desplazado.

2. Los conductos y tuberías, junto con sus conexiones, ahogados en el concreto de vigas, losas, muros y columnas deben satisfacer lo siguiente:

- 2.1 $\emptyset M_n$ no puede variar significativamente
- 2.2 Cuantía máxima de hueco $\rho_{hmax} = 0.04$
- 2.3 D_{max} de conducto $\leq h / 3$
- 2.4 Separación (S_h) ≥ 3 veces $\emptyset h$

3. Toda tubería de presión deben probarse como una unidad antes del colado para así observar las fugas.

4. Las tuberías deben colocarse entre las capas del refuerzo y sin que el acero requiera cortes, dobleces o movimientos fuera de su colocación adecuada.

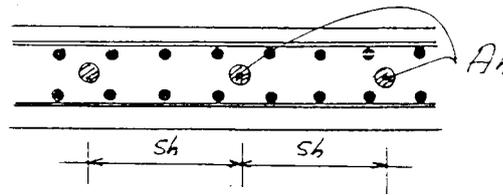


Figura 5

5. En columna es saludable hacer siempre coincidir el baricentro del conducto con el centroide plástico de la sección. Esta recomendación está motivada por dos razones:

- a) No se altera sustancialmente la resistencia a flexión
- b) La adherencia entre el concreto y la varilla no sufre

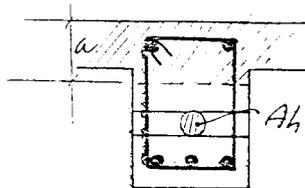


Figura 6

6. Cuando los conductos no se coloquen dentro de camadas de refuerzos se deben observar dos cosas:

- a) El recubrimiento de concreto para las tuberías debe ser:
2 cm: no estén expuestas al suelo o clima.
4 cm: estén expuestas al suelo o clima.
- b) Deberá colocarse una zona de refuerzo en la dirección normal a la tubería, con una cuantía por lo menos de 0.002 el área de la sección de concreto.

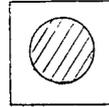


Figura 7

7. Las tuberías que pasen a través de losas, muros o vigas deberán colocarse en la zona de concreto que forma parte del refuerzo principal.

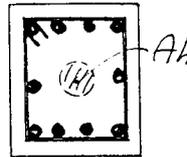


Figura 8

8. Cuando la cuantía de huecos supera el valor máximo permitido por las normas, se adicionan más armaduras de refuerzos para compensar el área de concreto desalojado. Esto se puede hacer con el algoritmo presentado en este trabajo. Si el aumento del conducto persiste entonces se debe hacer el análisis y diseño de una sección hueca según la

naturaleza del problema y descartar la solución de secciones con baja cuantía de hueco.

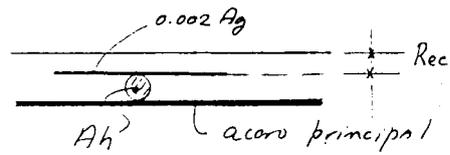


Figura 9

9. El diseño exterior en [cm] de conductos ahogados en hormigón se puede calcular a través de la siguiente expresión:

$$D_{ch} = (4 \cdot \rho \cdot h \cdot A_g / \pi)^{1/2}$$