

CONSIDERACIONES SOBRE LOS REQUISITOS DE ANCLAJE Y DESARROLLO
DE BARRAS DE REFUERZO SEGUN EL REGLAMENTO DE LAS CONSTRUCCIO
NES PARA EL DISTRITO FEDERAL.

Tema de Examen sin Créditos Académicos para optar
por el grado de Maestro en Ingeniería,

Ing. Luis Osvaldo Saillant Objfo

División de Estudios de Posgrado

Facultad de Ingeniería
Estructuras

Universidad Nacional Autónoma de México

MEXICO, D.F. 1984

Tesis



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

8 de Junio de 1984

ING. NEFTALI RODRIGUEZ CUEVAS
División de Estudios de Posgrado
de la Facultad de Ingeniería
(U. N. A. M.)

Como tema de tesina para que sea desarrollado por el alumno LUIS OSVALDO SAILLANT OBJIO como requisito parcial para acreditar los estudios de Maestría, propongo el siguiente:

"Consideraciones sobre los requisitos de anclaje y desarrollo de barras de refuerzo según el Reglamento de las Construcciones para el Distrito Federal"

El trabajo debe tocar los siguientes aspectos:

1. Aspectos básicos del anclaje y desarrollo de barras
2. Estudios y recomendaciones recientes
3. Comentarios sobre las recomendaciones actuales de las NTC para concreto
4. Sugerencias sobre modificaciones convenientes en la versión actual de las NTC.
5. Ejemplos ilustrativos de las modificaciones sugeridas

Como plazo para el desarrollo propongo 15 días hábiles.

Las siguientes referencias pueden ser útiles para el desarrollo del trabajo:

- Comité ACI 408. "Bond Stress - The State of the Art". Journal of the American Concrete Institute, Detroit, noviembre 1966.
- Orangun, C.D., J.O. Jirsa y J.E. Breen. "A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices". Journal of the American Concrete Institute Detroit, Marzo, 1977.
- Minor, J. y J. O. Jirsa. "Behavior of Bent Bar Anchorages". Journal of the American Concrete Institute. Detroit, Abril 1975.
- Jirsa, J.O., L.A. Lutz y P. Gergely. "Rationale for Suggested Development, Splice, and Standard Hook Provisions for Deformed Bars in Tension". Concrete International, julio, 1979.



DEPFI

T. UNAM

1 9 8 4

SAI

...2

- Comité ACI 408. "Suggested Development, Splice, and Standard Hook Provisions for Deformed Bars in Tension". Concrete Internacional. Detroit, julio, 1979.
- Marques, J.L. y J.O. Jirsa. "A Study of Hooked Bar Anchorages in Beam-Column Joints". Journal of the American Concrete Institute. Detroit, mayo 19 5.
- Pinc, R.L., M.D. Watkins y J.O. Jirsa. Strength of Hooked Bar Anchorages in Beam Column Joints, CESRL Report No. 77.3. Austin University of Texas, noviembre 1977.

Atentamente

ING. FRANCISCO ROBLES F. V.

*Este tema se entregará
el día 22 de junio a
cada uno de los sinodales*

Rozent

DEDICATORIA

A mi Madre Estela

A mi Padre Claudio

A mis Hermanos Carlos y Marco

A mi companero Manuel Pina

I N D I C E

	Pag.
Introduccion	
Aspectos Básicos	1
Efecto de Inversiones de Carga en Estructuras de Concreto Reforzado	5
Estudios y Recomendaciones Recientes.....	6
Efecto de las corrugaciones.....	9
Aceros de Alta Resistencia.....	10
Barras con Refuerzo Transversal.....	11
Anclaje de Barras con Gancho.....	14
Efectos de Pasadores en el Doblez.....	17
Comentario sobre recomendaciones actuales de las normas técnicas complementarias para concreto.....	18
Comentario sobre Ganchos.....	20
Sugerencias sobre modificaciones convenientes en la versión actual de las normas técnicas complementarias.....	22
Conclusiones técnicas concernientes al grupo de trabajo "Steel Properties".....	24
Conclusión.....	25

Referencias.....	27
------------------	----

APENDICES

Apendice A. Sugerencias de especificaciones para longitud de desarrollo, traslapes y ganchos estandar para barras corrugadas sujeta a tensión. (Ref. 3).....	30
Apendice B. Programa utilizado para el cálculo de las longitudes de desarrollo.....	37
Apendice C. Tablas.....	41
Apendice D. Gráficas.....	47
Apendice E. Ejemplos.....	53

INTRODUCCION

La adherencia desempeña un papel de principal importancia en el diseño de miembros de concreto reforzado, ya que debido a ésta, se desarrollan en cada sección de un elemento estructural las fuerzas internas necesarias que equilibran las sollicitaciones externas, y constituyen la base de los modelos de comportamiento de elementos de este material.

Investigaciones recientes sobre adherencia y anclaje, han aclarado el comportamiento del fenómeno, de manera tal que es necesario revisar las disposiciones normativas al respecto.

Este trabajo tiene como objetivo, comparar las actuales recomendaciones de las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, en lo que respecta a adherencia y anclaje, con los estudios referidos en el párrafo anterior, en las que se establece el actual estado del arte sobre este tema.

1.- ASPECTOS BASICOS

El esfuerzo de adherencia es el esfuerzo cortante unitario que actúa paralelo a la barra y en la frontera de esta con el concreto.

1.1.- Adherencia por desarrollo

Estudiemus la viga en voladizo de la Fig. 1 que se encuentra sometida a la acción de una carga w por unidad de longitud.

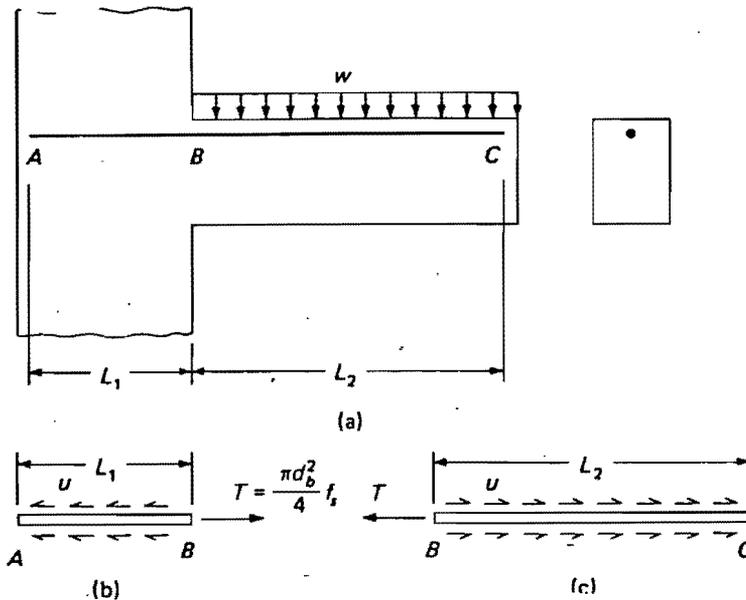


Figura 1

La fuerza de tensión que se desarrolla en B es, $T = f_s \cdot (\pi db / 4)$, y debe transmitirse al concreto en la longitud AB por medio de esfuerzos de adherencia, de manera que del equilibrio de fuerzas se tiene:

$$\mu \pi (db)L_1 = f_s \frac{\pi (db)^2}{4} \quad (1)$$

Al despejar tenemos:

$$\mu = \frac{f_s db}{4 L_1} \quad (2)$$

$$\text{La longitud de desarrollo } L_1 = \frac{f_s db}{4\mu} \quad (3)$$

Cuando se utiliza el método de resistencia para el diseño se requiere el desarrollo del esfuerzo de fluencia en el acero $f_s = f_y$, y también el cortante unitario por adherencia en el instante en el que la falla por extracción es inminente, o sea $\mu = \mu_u$. Así, las expresiones (1) y (2), toman la forma:

$$\mu_u = \frac{f_y (db)}{4 L_1} \quad \text{y} \quad L_1 = \frac{f_y (db)}{4 \mu_u}$$

1.2.- Adherencia por Flexión

Estudieemos un elemento sujeto a una variación de momento flexionante importante:

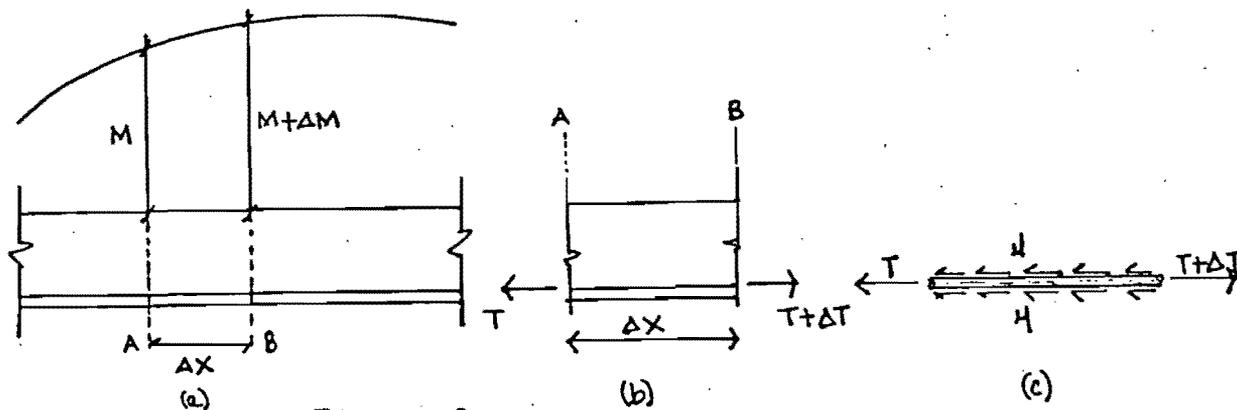


Figura 2

$$T = M/Z \quad \text{y} \quad T + \Delta T = (M + \Delta M)/Z \quad \Delta T = \Delta M/Z \quad (4)$$

Del diagrama de cuerpo libre de la Fig. 2 (c)

$$\mu (\sum S) \Delta X = \Delta T$$

De donde:

$$\mu = \frac{\Delta T}{(\sum S) \Delta X}$$

Sustituyendo la ΔT dada en la ecuación (4)

$$\mu = \Delta M / \Delta X \left(\frac{1}{(\sum S) Z} \right)$$

Tomando límites cuando $\Delta X \rightarrow 0$

$$\mu = \underbrace{(dm/dx) \left[\frac{1}{(\sum S) Z} \right]}_{(dm/dx) \left[\frac{1}{(ZS) Z} \right]} = v / (Z S) Z \quad (5)$$

V = Fuerza cortante

Z = Brazo de momento

S = Suma de los perímetros

Sin embargo, las ecuaciones desarrolladas para la evaluación del esfuerzo de adherencia por flexión no son precisas por los siguientes aspectos:

1.- Cuando los momentos flexionantes en el concreto son bajos, el concreto a tensión no se agrieta; por lo que se sobrestiman los esfuerzos de adherencia por flexión, ya que el concreto posee cierta capacidad para soportar tensiones.

2.- La ecuación (5), $\mu = V/(\sum S)Z$, indica que en las secciones donde actúan altos niveles de momentos flectores hay bajos esfuerzos de adherencia por flexión; sin embargo, en una grieta por flexión el acero de refuerzo queda sometido a toda la fuerza de tensión, Fig. 3; pero en las zonas adyacentes a la grieta los esfuerzos por adherencia son altos.

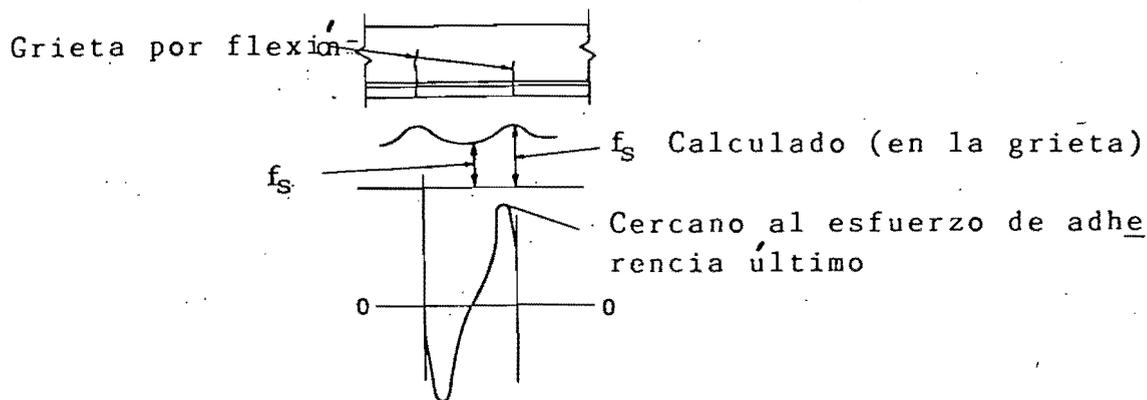


Figura 3. Esfuerzo de adherencia probable entre las grietas cuando el cortante en la viga es cero.

En conclusión, el esfuerzo de adherencia por flexión representa sólo un esfuerzo nominal y no muestra correctamente el comportamiento. El concepto de adherencia por desarrollo es más representativo en los problemas de adherencia en elementos reales, ya que se contempla el comportamiento general incluyendo las concentraciones de esfuerzos de adherencia causadas por el agrietamiento.

La naturaleza de la resistencia por adherencia.-

La resistencia por adherencia es la suma de la fricción, adhesión y, principalmente, del apoyo del concreto sobre las corrugaciones del acero de refuerzo.

La falla por adherencia en barras de refuerzo corrugadas embebidas en concreto de peso normal, es generalmente una falla por fisuración en el concreto como se muestra en la Fig. 3.1,

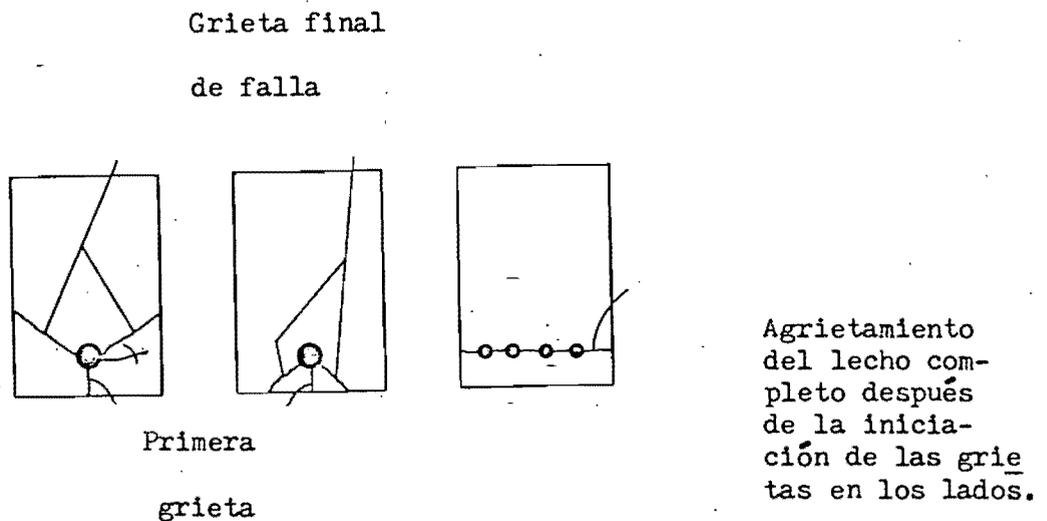


Fig. 3.1. Grietas de falla y modos de falla últimos.

Estas fisuras son producidas por las reacciones de las corrugaciones sobre el concreto (Figura 4).

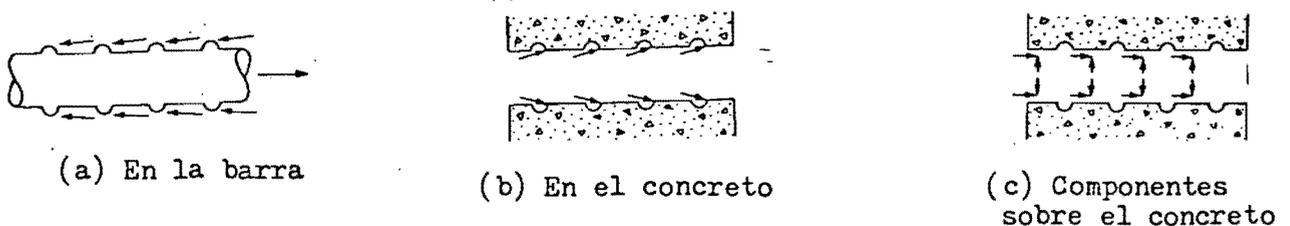


Fig. 4. Fuerzas entre la barra y el concreto.

Otro aspecto que afecta a la resistencia por adherencia es la posición de las barras en el colado, pues, en la parte inferior de la barra de lechos superiores existe la tendencia de que bolsas pequeñas de aire se acomoden y además haya sedimentación del agregado. Se forma pues, una capa suave y esponjosa de concreto debajo de las corrugaciones. El resultado es que cuando la barra se somete a fuerzas de tensión, las corrugaciones se apoyan sobre estas zonas, pulverizándolas. El resultado final es una mayor tendencia al deslizamiento.

EFFECTO DE INVERSIONES DE CARGA EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO.

Estudios hechos por WIWATHANATEPA, POPOV y BERTERO, (REF 11), muestran la importancia que tiene la pérdida de adherencia en la rigidez, ductilidad y resistencia de estructuras de concreto reforzado. Dicho estudio se basó en un modelo de una conexión viga-columna, de un entrepiso bajo de un edificio de 20 niveles.

Severos deterioros en la rigidez fueron provocados por la pérdida de la adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo de las vigas dentro de la junta, notándose siempre un mayor deslizamiento a lo largo del refuerzo inferior de las vigas. Parece ser, que altos niveles de carga axial tienden a disminuir la capacidad del concreto a contribuir con el mecanismo de anclaje, y junto con las grietas producidas por la inversión de cargas se anula esta capacidad, siendo los refuerzos, superior e inferior, los responsables de resistir los momentos en la junta.

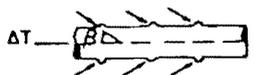
Como las longitudes de las conexiones son relativamente pequeñas, los efectos no favorables anteriormente descritos hacen que las condiciones de adherencia del acero longitudinal de las trabes sean críticas.

Los estudios hechos en las referencias (1), (2), (3) y (4), consideran cargas estáticas, por lo que se sugiere un estudio especial cuando se esten diseñando conecciones de estructuras de concreto reforzado en zonas sísmicas.

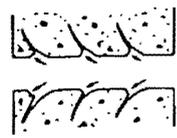
ESTUDIOS Y RECOMENDACIONES RECIENTES

Hipótesis de falla para barras corrugadas embebidas

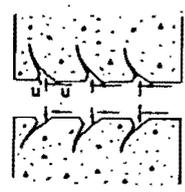
Se ha determinado que la transferencia de esfuerzos de una barra corrugada al concreto que la rodea se debe principalmente a la trabazón mecánica de las corrugaciones en el concreto circundante. La fuerza resultante ejercida por las corrugaciones sobre el concreto se encuentran inclinadas en ángulo β con respecto al eje de la barra. La componente radial de dicha fuerza origina el rompimiento del concreto en el instante de la falla.



Fuerza de adherencia sobre la barra



Reacciones sobre el concreto



Componentes sobre el concreto



Componentes radiales y tangenciales

Fuerzas entre barra corrugada y concreto.

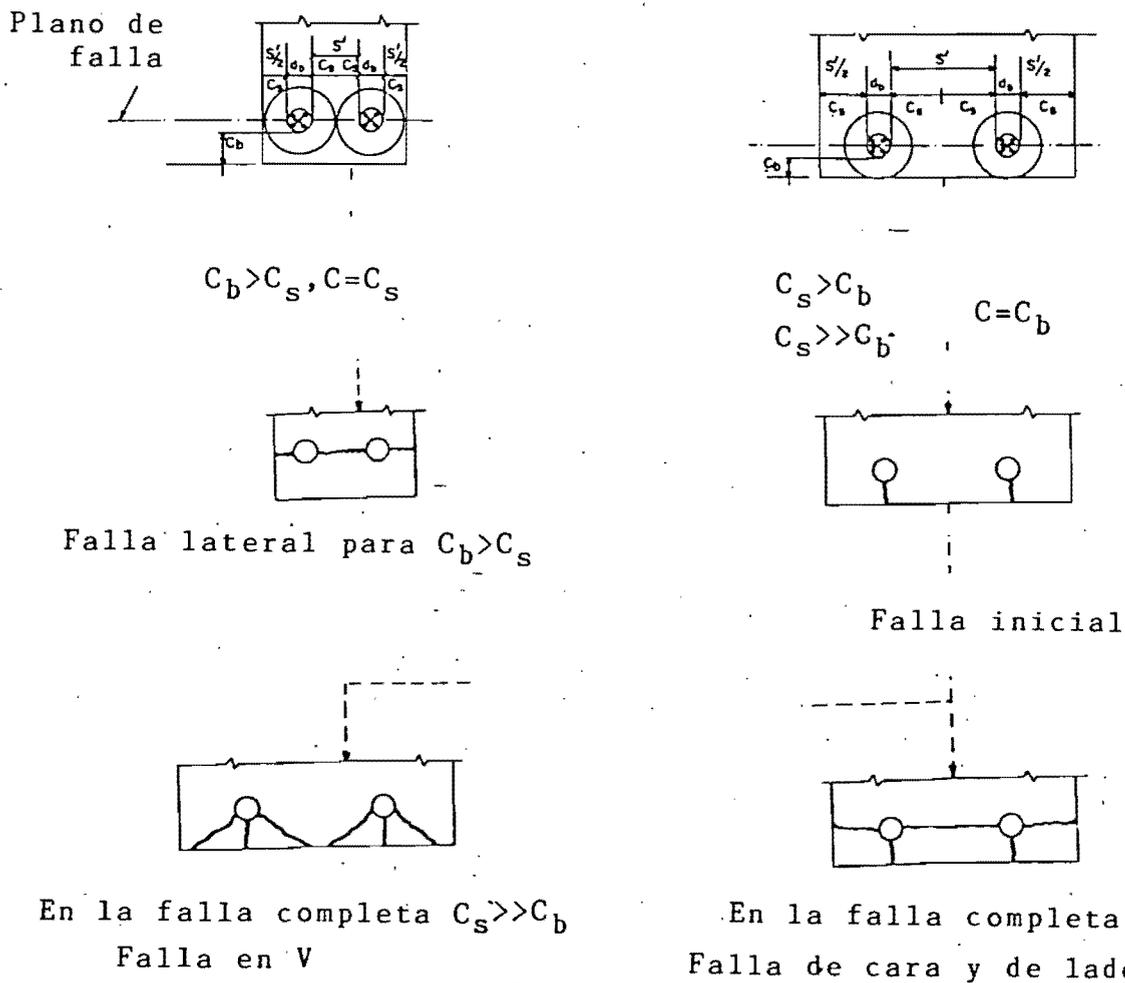
Si llamamos μ a la componente del esfuerzo paralela al eje de la barra, entonces la componente radial de esfuerzos de adherencia es $\mu (\text{tg } \beta)$. El esfuerzo radial puede ser considerado como la presión de agua actuando sobre un cilindro de paredes delgadas con un diámetro interno igual al diámetro de la barra, y un espesor C, el menor de: (1) el recubrimiento libre

de la base del elemento (Cb), ó (2) la mitad del espaciamiento libre C_s entre dos barras adyacentes. La capacidad del cilindro hipotético depende de la resistencia a tensión del concreto, y las restricciones que puedan haber como el confinamiento que pueda proveer el acero transversal.

TIPOS DE FALLA EN EL CONCRETO

Las fallas que pueden presentarse, dependen de las dimensiones relativas de C_b y C_s . Cuando $C_b > C_s$, se desarrolla una grieta horizontal en el plano del lecho de la barra, y dicha falla es llamada: "Falla por separación lateral". Cuando $C_s > C_b$, se presenta una "Falla por separación lateral y de cara", con una grieta longitudinal a través del recubrimiento de la parte inferior seguido por una separación (fisura), en el plano de la barra. Si $C_s \gg C_b$, se forma una falla en V constituida por unas grietas inclinadas y una longitudinal.

Figura 6



Cuando hay dos o más barras colocadas una al lado de la otra, es decir, barras que se encuentran en el mismo lecho, se presenta una interacción en los cilindros de concreto hipotéticos, formándose un anillo ovalado. Los patrones de fallas son similares a aquellos correspondientes a barras solas.

Analíticamente no se ha estudiado el estado de esfuerzos en el cilindro de concreto teniendo la sección transversal en forma de anillo ovalado, ya que se presentan distribuciones de esfuerzos de adherencia no uniformes, además, hay incertidumbre en el valor del ángulo β . Algunos experimentos se han realizado para la determinación del ángulo β , y han arrojado como resultado que dicho ángulo varía de 45° a 80° , dependiendo del espaciamiento y forma de las corrugaciones.

EFFECTO DE LAS CORRUGACIONES.

Investigaciones hechas por Soretz y Hölzen (Ref. 12), muestran que para diferentes alturas de las corrugaciones, una reducción en esta parece ser que produce cierta ventaja, ya que el peligro de grietas longitudinales en estructuras de concreto, cuando las barras fallan por resbalamiento, es reducido.

En cuanto a la influencia de la inclinación de las corrugaciones con respecto a las características de adherencia, se mostró que dentro del alcance que tuvieron los ensayos, inclinaciones de 45 a 90 mejoran solo ligeramente las condiciones de adherencia, sin embargo la ductilidad en los dobles decremента, mientras que la influencia del "área de la costilla":

$$fr = \frac{K \cdot Fr \cdot \text{Sen}}{\tau \cdot de \cdot Cs} + \frac{i \cdot a_1}{j \cdot de} \quad \text{donde:}$$

Fr = Área de la sección longitudinal de una corrugación.

= Inclinación de la corrugación con respecto al eje de la barra.

de = Diámetro nominal de la barra.

a_1 = Altura longitudinal de una costilla

j.de = Paso del dobléz de barras torcidas.

K = Número de serie de la corrugación.

i = Número de costillas longitudinales.

C_s = Distancia entre corrugaciones

es tres veces más importante que la inclinación de las corrugaciones.

Variaciones de la sección transversal de las corrugaciones no mostraron mucha influencia en las características de adherencia, sin embargo, el incremento de altura en esta, si conllevó a cambios apreciables en ductilidad para los dobleces.

ACEROS DE ALTA RESISTENCIA

Con el objeto de conocer el comportamiento de barras de refuerzo sometidas a esfuerzo de adherencia, C. Mendoza (Ref. 13), estudió la eficiencia del corrugado de las barras TOR-40 y TOR-60. Los resultados indicaron que independientemente de la resistencia del concreto y de la etapa de carga, para barras de 1.27 cm ($\frac{1}{2}$ ") de diámetro los esfuerzos de adherencia alcanzados por las barras TOR ($f_y = 5,412 \text{ Kg/cm}$), son superiores en un 26% a los alcanzados con el otro tipo de barra (HYLSA). Lo que significa que, para barras de 1.27 cm ($\frac{1}{2}$ ") de diámetro el corrugado de las barras TOR es más eficiente. Sin embargo, para barras de 2.54 cm (1") de diámetro, el comportamiento se invierte, siendo más eficiente el corrugado de las barras HYLSA. Es decir, para diámetros pequeños, estas barras de alta resistencia tienen buen comportamiento, pero es cuestionable el extrapolar con barras de diámetros como lo propone la REF 3 (1.1.3.1) con el factor $f_y/4,200$.

BARRAS SIN REFUERZO TRANSVERSAL

Como el valor del ángulo β es muy sensible a las diferentes suposiciones que se hagan, se ha hecho un enfoque empírico basado en pruebas de laboratorio.

Según las pruebas de laboratorio realizadas, el esfuerzo de adherencia ($\mu = (db \cdot fs) / 4ls$), depende de la resistencia a tensión del concreto, del recubrimiento C, del diámetro db de la barra y de la longitud de traslape.

Según la referencia 1, se obtuvo de un análisis de regresión la siguiente ecuación:

$$\mu_{cal.} / \sqrt{f'c} = 1.2 + (3. C/db) + 50 (db/ls) \quad (6)$$

$$\mu_{cal} / \sqrt{f'c} = 0.32 + 0.8 C/db + 13.27 db/ls \quad \dots \dots \dots (S.M.)$$

Como puede verse, de la ecuación (6) el esfuerzo de adherencia aumenta al incrementarse la relación recubrimiento al diámetro de la barra. Es importante mencionar, que la mayoría de los datos en que se basó la elaboración de la ecuación (6), fueron para relaciones de $C/db \leq 2.5$. Para propósitos de diseño cuando $C/db > 2.5$ en la ecuación (6) se tomara, $C/db = 2.5$.

INFLUENCIA DEL REFUERZO TRANSVERSAL

Se mostro' claramente que en especímenes con refuerzo transversal había incremento en la ductilidad del anclaje por adherencia. El área del refuerzo transversal fue definida como se muestra en la Fig. 7.

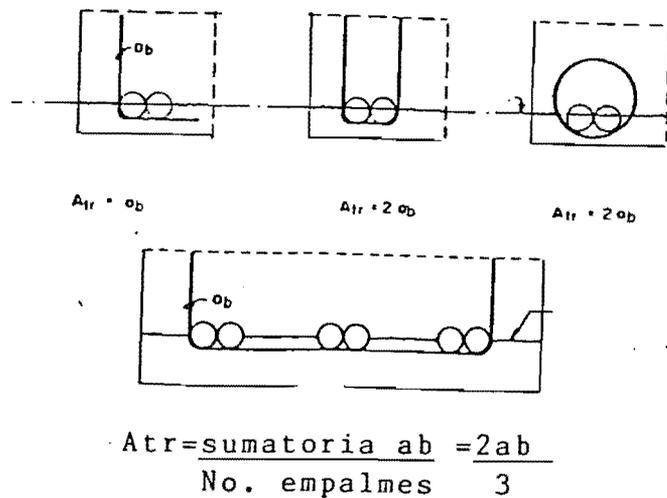


Figura 7. Refuerzo transversal: definiciones.

En la determinación de influencia de refuerzo transversal, el parámetro principal fue $(A_{tr} \cdot f_{yt} / s \cdot db)$. Pues $A_{tr} \cdot f_{yt}$ es la fuerza de restricción que se desarrolla y cuya efectividad es inversamente proporcional al espaciamiento del refuerzo transversal y al diámetro de las barras longitudinales. Como se esperaba, mientras mayor era la restricción transversal con respecto al diámetro de las barras encerradas mayor era el esfuerzo por adherencia con respecto al que se generaba en pruebas sin refuerzo transversal. Sin embargo, existía un límite a partir del cual el incremento de refuerzo transversal ya no era efectivo. Designando a M_{tr} como el refuerzo de adherencia adicional que se genera al proveer refuerzo transversal, se encontró, por medio de regresión lineal de los datos de los ensayos, que:

$$\mu'_{tr} / \sqrt{f'c} = (1/500) (A_{tr} \cdot f_{yt} / s \cdot db) \leq 3 \quad *$$
 (7)

Sumando los esfuerzos dados por las ecuaciones 6 y 7 :

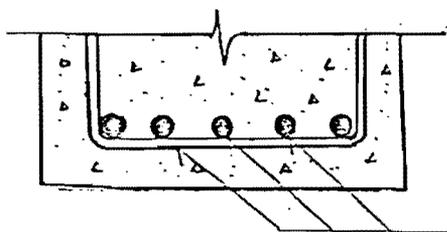
$$\mu'_{cal} = \mu'_{cal} + \mu'_{tr}$$

$$\mu'_{cal} = 1.2 + \frac{3C}{db} + \frac{50 db}{1s} + \frac{A_{tr} \cdot f_{yt}}{500 \cdot s \cdot db} \sqrt{f'c} \quad (8)$$

$$* \frac{M_{tr}}{\sqrt{f'c}} = \frac{1}{133} \left(\frac{A_{tr} \times f_{yt}}{s \cdot db} \right) \leq 0.8$$

NOTA: Las ecuaciones anteriores se encuentran en sistema inglés.

Aunque la ecuación (8) mostró excelente correlación con los resultados de los experimentos, no muestra la ineffectividad del refuerzo transversal al incrementar el esfuerzo por adherencia en barras que se encuentran en el interior del espacio limitado por las dos barras en contacto con los estribos (Ver fig. 8).



Barras con poca restricción.

OTRAS VARIABLES DE IMPORTANCIA

Como fue mencionado antes, la posición de las barras de refuerzo en el colado es de suma importancia, pues se sugiere disminuir la resistencia del anclaje, de 70 a 75% de las barras superiores. Se llaman barras superiores a aquellas que tienen más de 30 cm de concreto por debajo de ellas.

ANCLAJE DE BARRAS CON GANCHOS

Algunas veces no se dispone de suficiente espacio para alojar la longitud de desarrollo requerida, y el problema se soluciona en ocasiones por medio de dobleces llamados ganchos estandar. Estos ganchos estandar reúnen una serie de características geométricas, y con estos se efectúan la mayoría de los ensayos, con el objetivo de obtener resultados normalizados.

Análisis de un elemento de barra curvo.

En la figura 9 se muestran las fuerzas que actúan en un elemento de barra curvo y el movimiento resultante de dichas fuerzas.

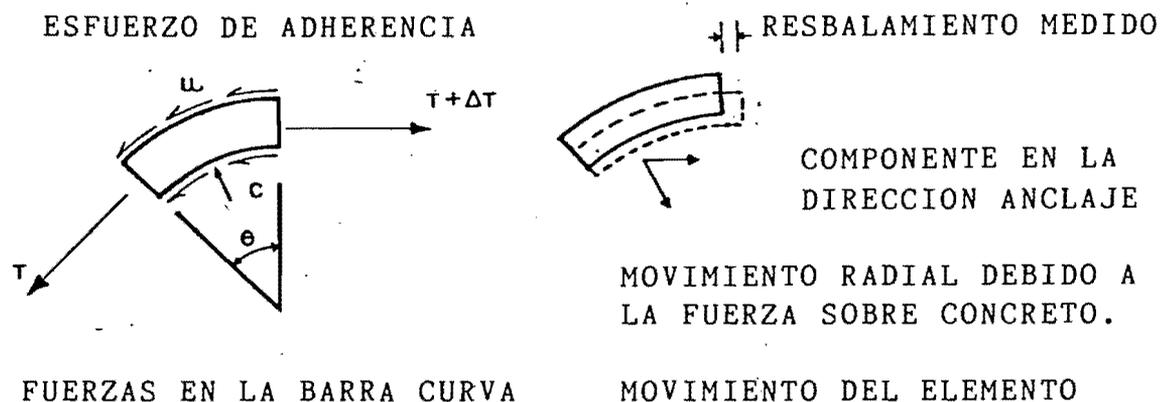


Figura 9. Análisis de un elemento de barra curvo.

En un elemento de barra curvo, existe un movimiento radial debido a las fuerzas de compresión que se desarrollan en el radio interno de la curvatura. La componente de la deformación radial en la dirección de la carga produce un resbalamiento adicional del que se produciría en una barra con igual longitud de desarrollo. En términos generales, la tendencia del concreto es de adherirse a la barra en las zonas de altos esfuerzos de compresión. Según muestran las barras ensayadas, el concreto se mantiene adherido por causa de las deformaciones sólo en el interior de la curvatura y en la parte exterior de la sección recta. Sin embargo, en barras rectas ensayadas se ha observado que el concreto queda adherido en toda el área superficial de la barra deformada. Estas observaciones indican que una barra con curvatura tiende a separarse del concreto en la

parte exterior de la misma y en la parte inferior de la porción donde se inicia la curvatura, transfiriéndose niveles mínimos de esfuerzos en estas regiones. En la figura 10 se muestra un estimado de distribuciones de esfuerzos.

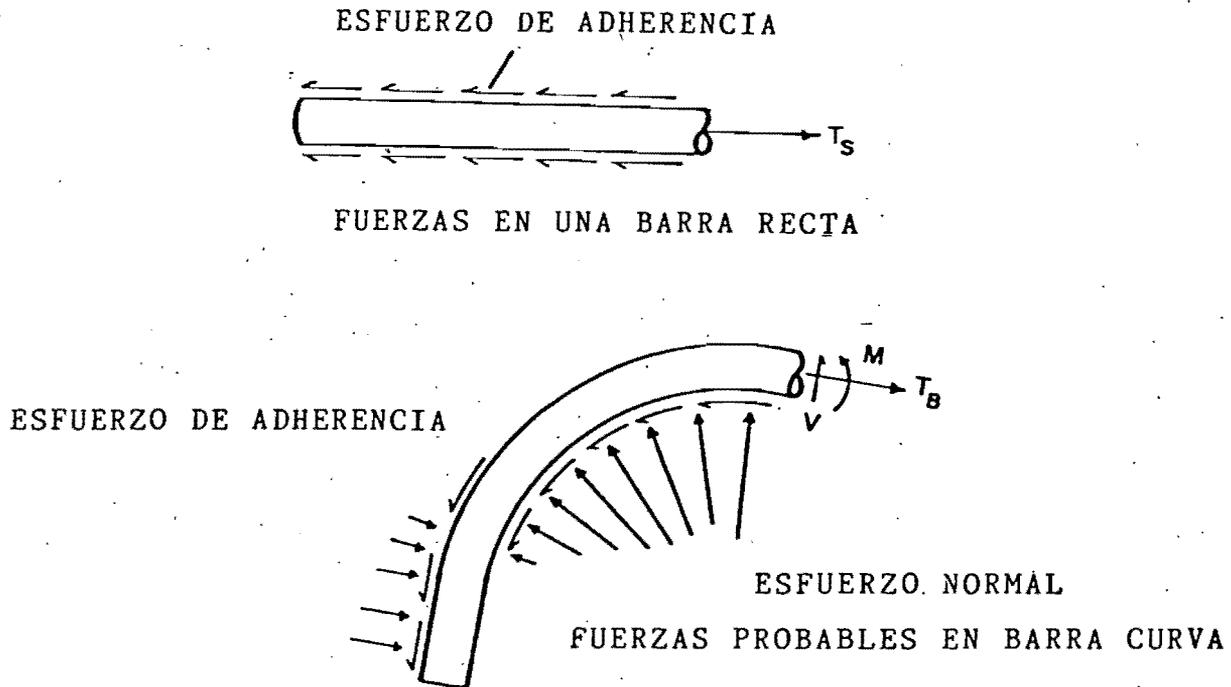


Figura 10. Esfuerzos probables en barras.

Estudios recientes (2) de fallas de barras con ganchos muestran que el fisuramiento del recubrimiento al plano del gancho es la causa principal de la falla y que las fisuras se originan en el interior del gancho donde se encuentran localizadas concentraciones de esfuerzos muy altos.

Otros aspectos importantes que revelan las investigaciones de las referencias 4 y 5 son:

- 1.- Para igual relación de longitud de desarrollo a diámetro de barra, a medida que se disminuye la relación de radio de curvatura a diámetro de la barra, mayor es el deslizamiento dado en la barra.
- 2.- En un anclaje compuesto por una sección recta y un gancho, la mayor parte del deslizamiento ocurre en la sección curva del gancho.
- 3.- Se prefieren ganchos a 90° que ganchos a 180° y que los radios de

curvatura sean tan grandes como prácticamente se puedan, de manera que se reduzca el deslizamiento, y se mantenga la rigidez del anclaje, comparada con la de una barra recta.

4.- No se consideran efectivas las longitudes adicionales al final de un gancho estandar como longitud de desarrollo.

En la referencia 2 se propone la siguiente ecuación:

$$L \cdot db = 255 \text{ db} / \phi \cdot \sqrt{f'c} \quad (c)$$

NOTA: LA ECUACION (c) ESTA EN SISTEMA METRICO.

Para el cálculo de la longitud de desarrollo básica para barras de refuerzo de acero con fluencia de $4,200 \text{ Kg/cm}^2$, nótese que esta ecuación es una función del diámetro de la barra, el cual gobierna la magnitud de los esfuerzos de compresión que se generan dentro del gancho. También se incluyen en esta referencia, ajustes que reflejan la resistencia al fisuramiento que provee el refuerzo transversal.

Según Marques y Jirsa, REF, 5, proponen que ganchos estandar anclados en una junta (conexión), pueden desarrollar un esfuerzo de tensión de:

$$f_h = 700 (1 - 0.3 \text{ db}) \psi f'c \quad (\text{sistema inglés})$$

pero no mayor que f_y

El valor de ψ puede tomarse como 1.4 si: (a) la barra es #11 o menor, (b) la parte principal recta embebida entre el gancho estandar y la sección crítica es menor que cuatro veces el diámetro de la barra ó idem, (c) el recubrimiento lateral del concreto normal al plano del gancho no es menor que 6.5 cm, y (d) el recubrimiento en la parte final del gancho no es menor que 5 cm.

El valor ψ puede tomarse como 1.8 si la junta está confinada por estribos cerrados a un espaciamiento de $3db$ o menor, y además cumple con los requisitos para $\psi = 1.4$.

Sin embargo, este valor de $\psi = 1.8$, puede ser cuestionable por varias razones: 1) Si se trata de concreto ligero, habría no sólo que cuestionar el factor ψ , sino toda la ecuación propuesta para f_h ; 2) Como mencionamos antes, en zonas sísmicas el estado de esfuerzos en una junta de niveles inferiores de edificios en donde los efectos sísmicos sean de importancia, es complejo, y aunque haya buen confinamiento, hay pérdidas importantes de adherencia, que conllevan a deterioro de la rigidez de la junta y de la estructura.

EFFECTOS DE PASADORES EN EL DOBLEZ

El efecto de pasadores en el doblez puede considerarse como un anclaje mecánico, pero se necesitan más investigaciones al respecto para establecer cuantitativamente la contribución. Si un anclaje mecánico no es capaz de desarrollar la resistencia requerida de diseño, deberá proveerse longitud de desarrollo adicional entre el anclaje y la sección crítica.

COMENTARIO SOBRE LAS RECOMENDACIONES ACTUALES DE LAS NORMAS
TECNICAS COMPLEMENTARIAS PARA CONCRETO.

Los requisitos de anclaje de las NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS, establecen en la sección 3.1, que la fuerza de tensión o compresión que actúa en el acero de refuerzo en toda sección se debe desarrollar a cada lado de la sección considerada en una longitud suficiente de barra o por medio de algún dispositivo mecánico de anclaje. Es decir, el criterio en el que se basan las NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS, es un criterio de un estado límite de resistencia.

Se define también en el cuerpo de dichas normas, que la longitud de desarrollo, L_d , es aquella capaz de anclar una barra, de manera que sometida a tensión, ésta es capaz de desarrollar su esfuerzo de fluencia. Esta longitud de desarrollo está definida matemáticamente como el producto de una longitud llamada longitud de desarrollo básica (L_{db}) y el aplicable de una serie de factores definidos en la tabla 3.1, pagina 49 de dicho reglamento .

Matemáticamente, la longitud de desarrollo básica tiene la siguiente expresión:

$$L_{db} = 0.06 \frac{as f_y}{\sqrt{f'c}} > 0.006 db f_y$$

Donde:

db = es el diámetro de la barra, en cm.

as = área de la sección transversal de la barra en cm^2 .

f_y = esfuerzo de fluencia del acero en Kg/cm^2 .

$f'c$ = resistencia cilíndrica especificada del concreto en Kg/cm^2 .

Como hemos visto, el reglamento establece una ecuación en la que los únicos parámetros que intervienen son la resistencia a tensión del concreto e indirectamente en forma de área, el diámetro de la barra. Es entonces

evidente que parámetros de importancia vital, como lo son el recubrimiento y el espaciado entre las barras, no se toman en cuenta, ni el efecto del confinamiento.

Según las recomendaciones de las NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS, la longitud de desarrollo puede ser recta o tener dobleces. Sin embargo, hemos visto que en elementos curvos existen movimientos radiales, que generan un aplastamiento en el interior de la curva, y cuya consecuencia es un resbalamiento en esta zona.

COMENTARIOS SOBRE LOS GANCHOS.

Especial atención debe ponérsele a las especificaciones de las normas técnicas complementarias sobre ganchos, ya que es relativamente común en uniones viga-columna no poder disponer de espacio suficiente para alojar toda la longitud de desarrollo requerida.

En el artículo 3.8, cuando el reglamento se refiere a dobleces, especifica sólo geometría reglamentaria, y que se proporcione en todo doblez ó cambio de dirección, acero transversal capaz de equilibrar la resultante de las tensiones o compresiones desarrolladas en las barras a menos que "el concreto" sea capaz de ello.

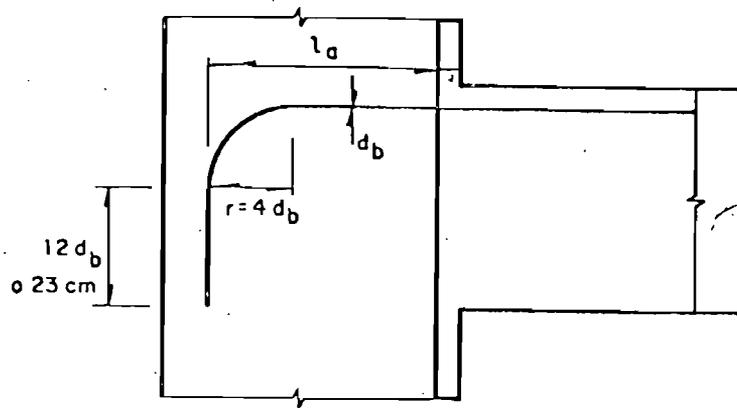
En el ejemplo 1 se determina la longitud de desarrollo aplicando las normas técnicas complementarias, y la parte correspondiente a ganchos de la REF. 3, que fue la única que se incorporó a las normas ACI-318-83.

Se aprecia que a menos que se aumente el ancho de la columna a 50 cm, ó que se disminuya el diámetro de las barras del lecho superior, no se considera efectivo el gancho según la REF. 3.

Estas consideraciones sobre ganchos constituyen las principales incorporaciones sobre anclaje en el ACI-318-83, ya que separan las recomendaciones de anclaje de barras rectas con gancho.

No se hace distinción entre ganchos superiores y ganchos inferiores como se hace en barras rectas, y no se consideran efectivos en compresión.

Dispositivos especiales para uniones viga-columna se incorporan en el Manual De Diseño Sísmico de Edificios de acuerdo con el reglamento de construcciones para el Distrito Federal (Ref. 15). Púes establece que en todo caso, el refuerzo longitudinal que deba terminarse en una unión viga-columna, se prolongará hasta la cara lejana de la columna y tendrá un doblez a 90 seguido de un tramo recto con las características mostradas en la figura 11.



$$l_a \geq \begin{cases} \frac{0.06 f_y d_b}{\sqrt{f'_c}} \\ 20 \text{ cm} \\ 8 d_b \end{cases}$$

Fig 11

SUGERENCIAS SOBRE MODIFICACIONES CONVENIENTES EN LA VERSION
ACTUAL DE LAS NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS.

Basado en los ejemplos aquí expuestos y en las gráficas de diámetro de barras versus longitud de desarrollo, el método propuesto en la Ref. 3, es más racional ya que toma en cuenta el efecto del recubrimiento, espaciamiento entre barras y un tratamiento especial por separado para los ganchos.

Uno de los parámetros que podría mejorar el comportamiento del anclaje, es el establecer recubrimientos más grandes. Con este objetivo se graficaron las ecuaciones del método propuesto por la Ref. 3, y el de las NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS.

Para el caso en que se fijaron los siguientes parámetros:

$$f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_y = 4,200 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S = db$$

$$RL = db$$

$$RT = db$$

estribos #3

que son los recubrimientos mínimos que permite las NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS, se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla #1.

Para tener una base de comparación, el promedio de los porcentajes de cambio de Ldb_1 con respecto a Ldb_3 y de Ldb_2 con respecto a Ldb_3 (Nótese que las comparaciones están siendo hechas siempre con respecto a las de las NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS), son:

$$\text{PROMEDIO DE \%CB } 1/3 = -66\% \text{ DESVIACION ESTANDAR} = 8.3$$

$$\text{PROMEDIO DE \%CB } 2/3 = -32\% \text{ DESVIACION ESTANDAR} = 16.6$$

Ahora, aumentando los recubrimientos libres a 5 cm, y la separación entre barras a 5cm, tenemos la tabla #2 de apéndice C.

Como se nota en los porcentajes de cambio, aumentos en el recubrimiento y en la separación entre barras, ha conducido a que las longitudes de desarrollo de las barras se reduzcan notablemente.

Estableciendo los promedios:

PROMEDIO DE %CB 1/3 = -41

DESVIACION ESTANDAR = 14

PROMEDIO DE %CB 2/3 = -15.2

DESVIACION ESTANDAR = 16.7

En cuanto a ganchos, la referencia 5 provee recomendaciones para zonas sísmicas, pero sin embargo podría ser beneficioso el revisar las disposiciones para dobleces, ya que aparentemente lucen deficientes en uniones viga-columna.

CONCLUSIONES TECNICAS CONCERNIENTES AL
GRUPO DE TRABAJO "STEEL PROPERTIES".

Comparando las barras corrugadas de diámetros de: 20, 25, 32 y 40 mm. ensayadas con los métodos BT y POT en cuatro instituciones diferentes con resistencia de concreto, se concluye que la influencia del diámetro de la barra, así como la resistencia del concreto no fue totalmente aclarada.

El grupo de trabajo mencionado antes llega a la conclusión de que se necesitan investigaciones extensas para aclarar las causas de los agrietamientos que se observaron en las pruebas de adherencia.

Como todas las investigaciones fueron hechas con base en "el área relativa de costilla", fr, se cuestiona la precisión de este valor característico. Aún más, será estudiado si para el control de producción es suficiente el observar algunos parámetros geométricos seleccionados, los cuales pueden ser fácilmente medibles.

Finalmente, se recomienda en estas conclusiones la elaboración de sugerencias para patrones de corrugaciones de las barras.

CONCLUSIONES

Después de estudiar el estado de esfuerzos a que se supone que se encuentran las barras embebidas en elementos de concreto estructural, ya sean rectas o curvas, se expondrán los aspectos más importantes que se encontraron a lo largo de todo el estudio:

1.- En cuanto a longitud de rectas de desarrollo.

Cuando se establecen los parámetros mínimos para recubrimiento, permitidos por las NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS, las longitudes de desarrollo obtenidas por las recomendaciones de estas mismas, difieren en un 56% para las barras del # 3 al # 8, y en un 34% para las barras del # 9 al # 11, con respecto a un promedio de %CB 1/3 y %CB 2/3. Es decir, longitudes de desarrollo entre Ldb_1 y Ldb_2 . Recuérdese que, Ldb_1 y Ldb_2 son las longitudes de desarrollo básicas dadas por las recomendaciones recientemente hechas, y que toman en cuenta parámetros de vital importancia como lo son; EL RECUBRIMIENTO, LA SEPARACION ENTRE BARRAS, y EL CONFINAMIENTO PROVISTO POR EL REFUERZO TRANSVERSAL. Cuando para el mismo f'_c y f_y se variaron los recubrimientos y separaciones libres entre barras a 5 cms., las diferencias fueron de un 30% para barras del # 3 al # 8 y de un 22% para las barras del # 9 al # 11, con respecto a un promedio %CB 1/3 y %CB 2/3. Los porcentajes anteriores se abaten, a medida de que aumenta la resistencia a la compresión del concreto.

2.- En cuanto a las longitudes curvas de desarrollo.

De semejante magnitud es la importancia de la diferencia de longitudes de desarrollo, ya que las NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS, no hacen diferencia en lo que se refiere a longitudes de desarrollo rectas y curvas, y como se estudió anteriormente el comportamiento es totalmente diferente, desarrollándose en barras curvas menos adherencia, y por lo tanto un an-

claje más pobre.

3.- En cuanto a la consistencia del método propuesto por las
NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS.

En términos generales, el REGLAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL, se basa en factores de carga y resistencia, y no propone ningún factor de reducción (FR), para la resistencia provista por un anclaje. Sería recomendable que se mantenga coherencia a lo largo del reglamento en este aspecto.

4.- En cuanto a concretos ligeros.

En las referencias estudiadas, se proponen factores de modificación para las longitudes de desarrollo, sin embargo estos factores no están justificados ni analítica ni experimentalmente. Se necesitan más estudios para clarificar el comportamiento de elementos de concreto ligero.

5.- En cuanto a materiales mexicanos.

Además de la investigación hecha por C. Mendoza (Ref. 13), es recomendable establecer un programa de investigación experimental, para así obtener ecuaciones más ajustadas al comportamiento de elementos de concreto reforzado, e incluir estudios sobre concreto ligero, y su comportamiento al someterse tanto a cargas estáticas como a cargas alternadas, hechos con materiales (cemento y agregados) mexicanos. Consiguiendo así, datos confiables que proporcionarían la base de futuros cambios racionales al Reglamento del Distrito Federal, en este aspecto tan importante.

REFERENCIAS

- Ref. 1 -Orangun, C. D., J. O. Jirsa y J. E. Breen. "A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices". Journal of The American Concrete Institute. Detroit, Marzo 1977.
- Ref. 2 -Jirsa, J. O., L. A. Lutz y P. Gergely. "Rationale for Suggested Development, Splice, and Standard Hook Provisions for Deformed Bars in Tension". Concrete International, Julio, 1979.
- Ref. 3 -Comité ACI 408. "Suggested Development, Splice, and Standard Hook Provisions for Deformed Bars in Tension". Concrete International. Detroit, Julio, 1979.
- Ref. 4 -Minor, J. y J. O. Jirsa. "Behavior of Bent Bar Anchorages". Journal of The American Concrete Institute. Detroit, Abril, 1975, pp 141 - 149.
- Ref. 5 -Marques, J. L. y J. O. Jirsa. "A Study of Hooked Bar Anchorages in Beam Column Joints". Journal of The American Concrete Institute. Detroit, Mayo, 1975, pp 198 - 209.
- Ref. 6 -Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, publicación No 401, Instituto de Ingeniería, UNAM, Julio, 1977.
- Ref. 7 -González Cuevas, O. M., Robles, F., Casillas G. de L., J., Díaz de Cossio, R. Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado. Limusa, México, 1974.
- Ref. 8 -Wang, Chu-Kia y Salmon, C. G. Reinforced Concrete Design. 3era ed., Harpers & Row Publishers, New York, 1979.
- Ref. 9 -Park, R. y Paulay, T. Estructuras de Concreto Reforzado. 2da ed., Limusa, México, 1980.

- Ref. 10 -Comentary on Building Code Requirements for Reinforced Concrete. American Concrete Institute. Detroit, 1983.
- Ref. 11 -Wiwathanatepa, S.; Popov, Egor P. and Bertero, Vitermo V. "Seismic Behaviour of the Reinforced Concrete Interior Beam-Column Subassemblages", Earthquake Engineering, Turkish National Research Center, Report No UCB/EERC-79/14, June 1979.
- Ref. 12 -Soretz, S., y H. Hölzenbein. "Influence of Rib Dimensions of Reinforcing Bars on Bond and Bendability". Journal of The American Concrete Institute. Enero 1979, pp 111 - 125.
- Ref. 13 -Mendoza, C. "Eficiencia del Corrugado de Dos Marcas de Barras de Refuerzo". Instituto de Ingeniería. UNAM, Noviembre, 1974.
- Ref. 14 -"Reinforcing Steel-Bond Anchorages" State of the Art. Report 1973. CEB Comision II. Translation Buletin. CEB No 104. Noviembre, 1974.
- Ref. 15 -Manual de Diseño Sísmico de Edificios de acuerdo con el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. Instituto de Ingeniería, UNAM. Publicación D-18, Septiembre 1983.

APENDICES

APENDICE A

SUGERENCIAS DE ESPECIFICACIONES PARA LONGITUD DE DESARROLLO, TRASLAPES Y GANCHOS ESTANDAR PARA BARRAS CORRUGADAS SUJETAS A TENSION.

(REF. 3).

REFERENCIA 3

SUGERENCIAS DE ESPECIFICACIONES PARA LONGITUD DE DESARROLLO, TRASLAPES Y GANCHOS ESTANDAR PARA BARRAS CORRUGADAS SUJETAS A TENSION.

1.1.- LONGITUD DE DESARROLLO DE BARRAS EN TENSION.

1.1.1.- La longitud de desarrollo L_d , en cm., de una barra corrugada en tensión deberá ser calculada como el producto de la longitud básica de desarrollo, L_{db} , de la sección 1.1.2. y el o los factores de modificación aplicables de la ecuación 1.1.3., pero L_d no deberá ser menor que 30 cm.

1.1.2.- La longitud básica de desarrollo, L_{db} , para acero de 4200 Kg/cm² deberá ser calculada por medio de la sección 1.1.2.1. si las limitaciones son satisfechas. De otra manera, o si se desea tener en cuenta el refuerzo transversal deberá hacerse uso de la sección 1.1.2.2.

1.1.2.1.- La longitud básica de desarrollo para cualquiera de las barras de un lecho en donde el recubrimiento libre de las barras no es menor que 5 cm., y la distancia centro a centro entre las barras no sea menor que 12 cm. deberá ser tomada como:

$$L_{db} = (23 db) / \phi$$

(A1) Para barras No.6 y menores, y para f'_c igual o mayor que 220 Kg/cm²

$$L_{db} = (230 Ab) / \phi \sqrt{f'_c}$$

(A2) Para número 7 y mayores.

1.1.2.2.- La longitud básica de desarrollo deberá tomarse como:

$$Ldb = (1460 \cdot Ab) / \phi K \sqrt{f'c} \quad (B)$$

Donde K, es una función del recubrimiento y Ktr (definido en la notación) no deberá ser tomado mayor de 3 db. El factor de refuerzo transversal Ktr no deberá ser tomado mayor que db, y deberá ser tomado en cuenta que por lo menos tres barras transversales deberán ser provistas en la longitud Ld. El refuerzo transversal provisto para cortante, flexión, ó temperatura puede ser incluido en K, siempre y cuando estén afuera de la barra en desarrollo.

1.1.3.- La longitud de desarrollo básica deberá multiplicarse por el ó los factores que sean aplicables:

1.1.3.1.- Refuerzo cuya fluencia sea diferente de $\frac{fy}{4200}$ *
4200 Kg/cm².

1.1.3.2.- Barras de refuerzo en las que se encuentran más de 30 cm. de concreto por debajo de ellas 1.3

1.1.3.3.- Agregado de peso ligero que reemplaza a parte o todo el agregado. 1.25

1.1.3.4.- Exceso de refuerzo por flexión en un miembro (no sujeto a solicitaciones sísmicas). Asr/Asp

*Ver comentario sobre aceros de alta resistencia.

1.2.- TRASLAPES DE BARRAS CORRUGADAS EN TENSION

1.2.1.- La mínima longitud para traslapes de barras en tensión deberá ser tomada igual que la longitud de desarrollo de la sección 1.1. Sólo las barras más pequeñas que la No. 11 e inclusive pueden traslaparse. El valor C_s refleja el efecto del traslape del empalme sólo en una sección dada donde se encuentra el refuerzo. Traslapes mayores que $L_d/2$ de otro empalme no se tomarán en cuenta en el cálculo de C_s .

1.3.- LONGITUD DE DESARROLLO DE PAQUETES DE BARRAS EN TENSION

1.3.1.- La longitud de desarrollo de cada barra individual de un paquete de barras sujetos a tensión, deberá ser calculada como si fuera la de una barra individual aumentada en un 20% para un paquete de 3 barras, y en 33% para un paquete de 4 barras.

1.3.2.- La longitud de desarrollo y de traslape de un paquete de barras se deberá calcular usando las secciones 1.1 y 1.2, con un A_b resultante de la suma de las áreas de un paquete como si fuera una sola barra con su centroide como el centroide del paquete y d_b tomado como $\sqrt{\sum A_b}$. Los paquetes no deberán traslaparse si d_b es mayor que 3.8 cm.

1.4.- GANCHOS STANDARD SUJETOS A TENSION

- 1.4.1.- La longitud de desarrollo L_{dh} de una barra corrugada en tensión que termina en un gancho estandar, se deberá calcular como el producto de la longitud básica de desarrollo para ganchos L_{dh} de la sección 1.4.2 y el aplicable de o de los factores de la sección 1.4.3., pero L_{dh} no deberá ser tomado menor que 8 db o 15 cm., el que sea mayor.
- 1.4.2.- La longitud básica de desarrollo para barras con gancho de acero de refuerzo 4,200 Kg/cm² deberá ser calculada por:

$$L_{dh} = \frac{255 \text{ db}}{\phi \sqrt{f'c}} \quad (C)$$

- 1.4.3.- La longitud de desarrollo básica deberá multiplicarse por el o los factores que sean aplicables:

1.4.3.1.- Refuerzo cuya fluencia sea diferente de 4200Kg/cm² fy/4200

1.4.3.2.- Confinamiento

1.4.3.2.1.- Para barras No. 11 o más pequeñas con el recubrimiento normal al plano del gancho de no menos de 6.5 cm y un recubrimiento en el extremo de un gancho de 90° no menor de 5 cm.

0.7

- 1.4.3.2.2.- Cuando existe confi
namiento adicional por
medio de estribos cerra
dos ó ganchos en un es-
paciamiento de no menos
de 3db o menos 0.8
- 1.4.3.3.- Cuando se reemplaza par-
te ó todo el agregado -
con agregado ligero 1.25
- 1.4.3.4.- Cuando en miembros a
flexión se excede el re-
fuerzo del requerido $Asr/\overset{\wedge}{Asp}$

NOTACION.

- Ab = Area de la barra en cm^2 .
- Asp = Area provista de refuerzo en cm^2 .
- Asr = Area requerida de refuerzo por flexión en cm^2 .
- Atr = Area de refuerzo transversal que atravieza un plano de
falla;
- Paralelo al lecho de las barras para Cc, ó
 - Area de refuerzo transversal total dividida
por n para Cs.
- Cc = Espesor del recubrimiento medido desde la fibra ex-
trema a compresión al centro de la barra, en cm.
- Cs = La menor de: la distancia del recubrimiento al cen-
tro de la barra, medida a lo largo del plano del
lecho de las barras, ó la mitad de la distancia cen-
tro a centro de las barras de un lecho en cm. Para
traslapes Cs debe ser la menor de la distancia en-
tre el recubrimiento lateral al centro de la barra
extrema, ó la mitad del espaciamiento libre entre
barras del mismo lecho, mas la mitad del diámetro de
la barra.
- db = Diámetro del refuerzo principal en cm.
- dbe = Diámetro equivalente de un paquete de barras.
- f'c = Resistencia a compresión especificada del concreto.
- fs = Esfuerzo en el acero en kg/cm^2 .

f_y = Resistencia a fluencia especificada en barras ancladas, en kg/cm^2 .

f_{yt} = resistencia a fluencia especificada del refuerzo transversal en kg/cm^2

K = El menor de (a) $C_c + K_{tr}$ ó (b) $C_s + K_{tr}$.

K_{tr} = Índice del refuerzo transversal provisto a lo largo de la barra anclada, $K_{tr} = \frac{A_{tr} \cdot f_{yt}}{106 \cdot S}$, en cm.

la constante tiene unidades en kg/cm^2

L_d = Longitud de desarrollo en cm.

L_{db} = Longitud de desarrollo básica en una barra recta, en cm.

L_{dh} = Longitud de desarrollo de barras con gancho, en cm, incluyendo la parte recta embebida entre la sección crítica y el punto de tangencia del gancho, - dobles radial y un diámetro de la barra.

L_{hb} = Longitud de desarrollo básica de una barra con gancho, en cm.

n = Número de barras en un lecho.

S = Espaciamiento máximo centro a centro del refuerzo transversal en la longitud L_d , en cm.

ϕ = Factor de reducción de capacidad para longitudes de desarrollo y traslapes. $\phi = 0.8$

APENDICE B

PROGRAMA UTILIZADO PARA EL CALCULO DE LAS LONGITUDES DE
DESARROLLO.

NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS

Según los requisitos complementarios sobre anclaje, la longitud de desarrollo básica (Ldb), está matemáticamente expresada como:

$$Ldb = 0.06 \frac{a_s \cdot fy}{\sqrt{f'c}} \gg 0.006 db \cdot fy$$

$$\gg 30 \text{ cm}$$

Para acero con fluencia de 4,200 Kg/cm²

$$Ldb = 198 \frac{db}{\sqrt{f'c}} \gg 25.2 db$$

$$\gg 30 \text{ cm}$$

PARA FINES DEL TRABAJO SERA Ldb3

RECOMENDACIONES RECIENTES (REF. 3)

$$Ldb = \frac{1460 A_b}{\phi K \sqrt{f'c}} = 1,433.4 \frac{db}{K \sqrt{f'c}} \gg 30 \text{ cm}$$

K es el menor de:

a) Cc + Ktr	}	≤	3 db
b) Cs + Ktr			

$Ktr = \frac{Atr \cdot fyt}{106 \cdot S} \leq db$	}	Ktr = 0 --- No contribución del refuerzo transversal
		Ktr = db -- Máxima contribución del refuerzo transversal

PARA FINES DEL TRABAJO Ldb1 ES CUANDO Ktr=0 &
Ldb2 ES CUANDO Ktr=db

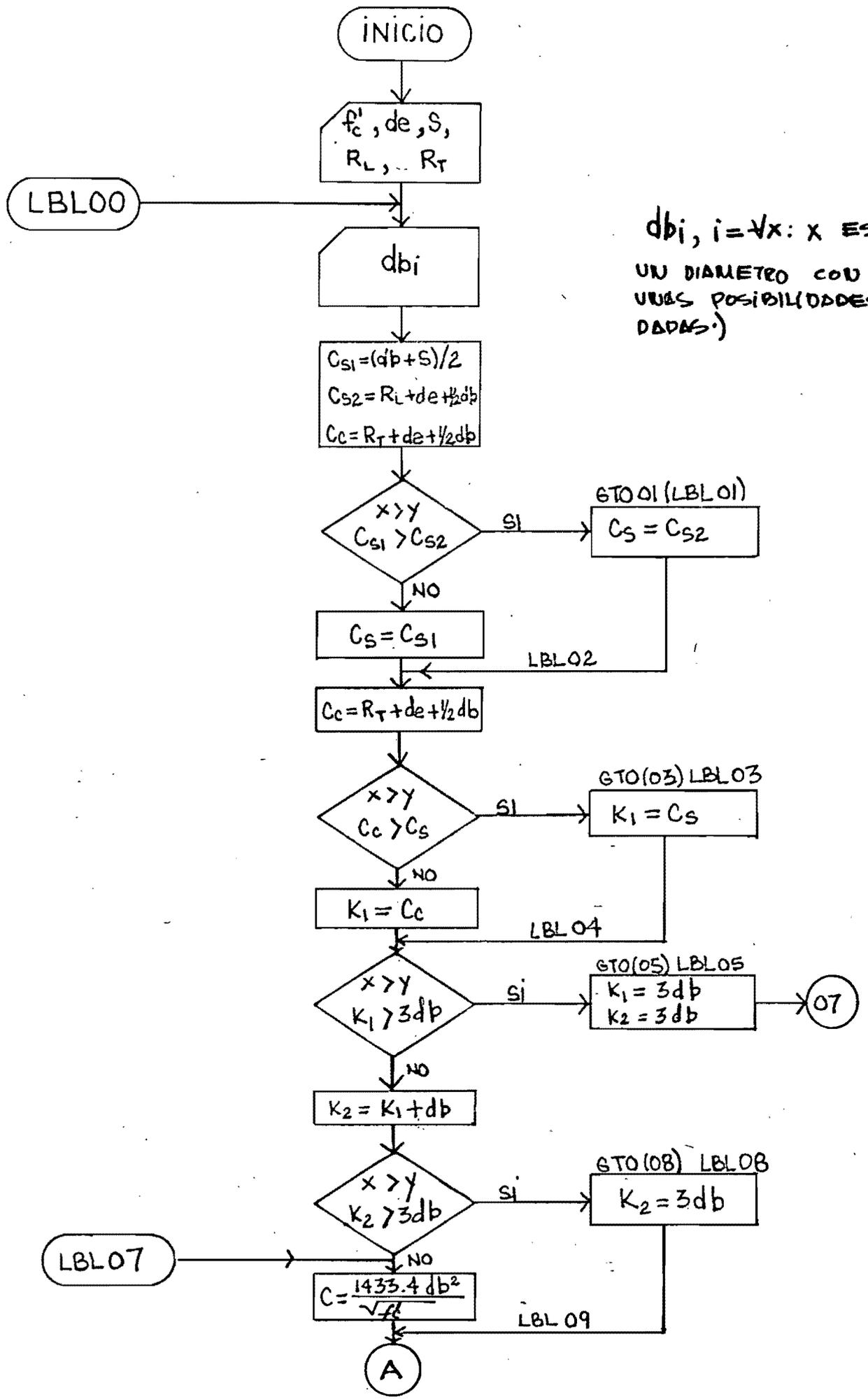
Para Ktr = 0:

K es el menor de:

a) Cc = Rt + de + 1/2 db
b) Cs = Al menor de:
(1) Cs = (db + S)/2
(2) Cs = RL + de + 1/2 db

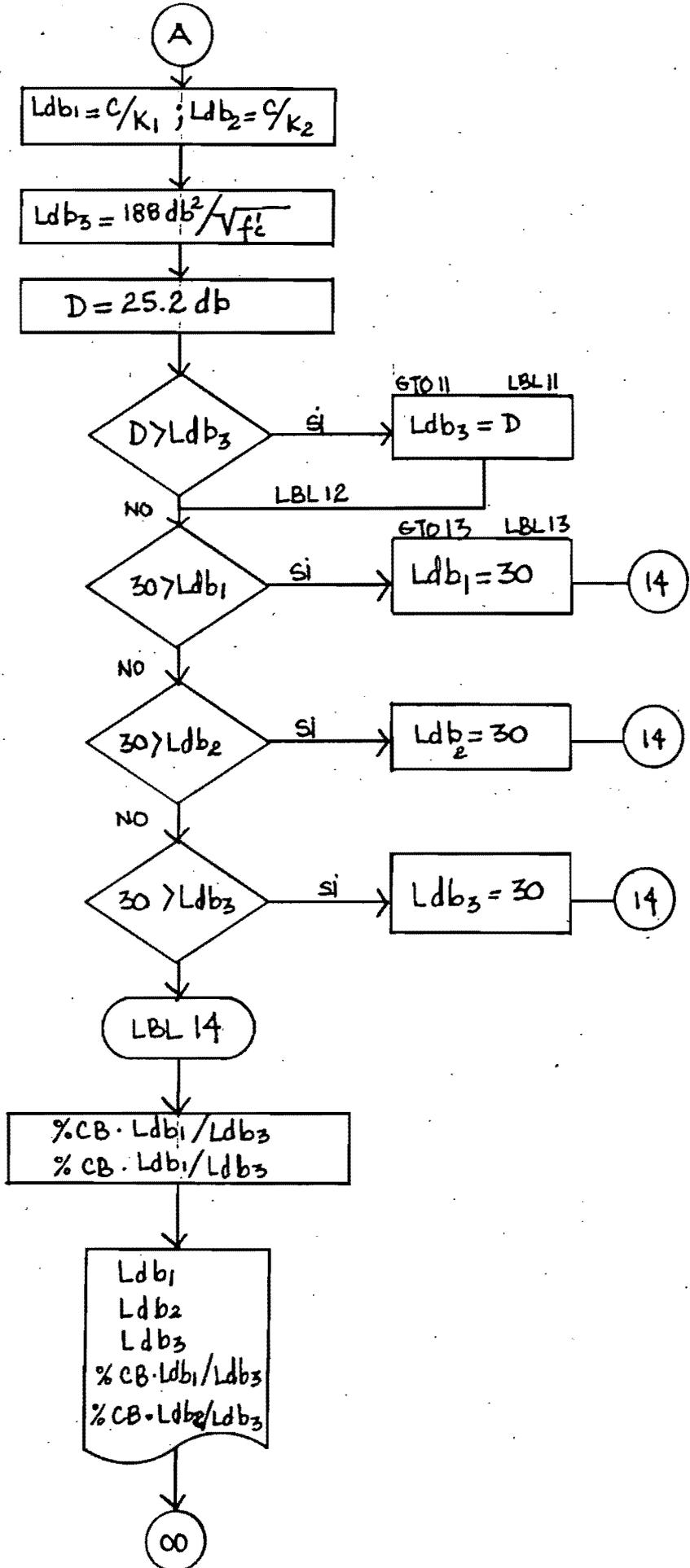
definición:

- db =
- de =
- Rt =
- RL =
- ✓ S =



dbi, i = 1, 2, 3 ES UN DIAMETRO CON UNAS POSIBILIDADES DADAS.

A



APENDICE C

TABLAS

TABLA 1

$$f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$$

$$fy = 4,200 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S = db$$

$$RL = db$$

$$RT = db$$

# BARRA	Ldb ₁	Ldb ₂	Ldb ₃	%CB 1/3	%CB 2/3
3	96.5	48.3	30	-68.9	-37.9
4	128.7	64.4	32	-75.1	-50.3
5	160.9	80.5	40	-75.1	-50.3
6	193.1	96.5	50.8	-73.7	-47.4
7	225.3	112.6	69.2	-69.3	-38.6
8	257.4	128.7	90.3	-64.9	-29.8
9	289.6	144.8	114.3	-60.5	-21.1
10	321.8	160.9	141.1	-56.1	-12.3
11	354	177	170.8	-51.8	-3.5

TABLA 2

$f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$

$f_y = 4,200 \text{ Kg/cm}^2$

$S = 5 \text{ cm}$

$RL = 5 \text{ cm}$

$RT = 5 \text{ cm}$

# BARRA	Ldb ₁	Ldb ₂	Ldb ₃	%CB 1/3	%CB 2/3
3	32	32	30	-6	-6
4	52	43	32	-38	-26
5	78	54	40	-49	-24
6	107	69	51	-52	-27
7	139	86	69	-50	-19
8	173	104	90	-48	-13
9	211	122	114	-32	-6
10	250	141	141	-44	0
11	291	160	171	-41	7

TABLA 3

$$f'c = 300 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_y = 4,200 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S = 5 \text{ cm}$$

$$RL = 5 \text{ cm}$$

$$RT = 5 \text{ cm}$$

# BARRA	Ldb ₁	Ldb ₂	Ldb ₃	%CB 1/3	%CB 2/3
3	30	30	30	0	0
4	43	35	32	-25	-9
5	63	44	40	-37	-9
6	87	57	48	-45	-16
7	113	70	57	-50	-19
8	142	85	74	-48	-13
9	172	100	93	-46	-6
10	204	115	115	-44	0
11	238	130	139	-41	7

TABLA 4

$f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$

$f_y = 4,200 \text{ Kg/cm}^2$

$S = 5 \text{ cm}$

$RL = 5 \text{ cm}$

$RT = 5 \text{ cm}$

# BARRA	Ldb ₁	Ldb ₂	Ldb ₃	%CB 1/3	%CB 2/3
3	30	30	30	0	0
4	39	31	32	-19	-32
5	59	41	40	-32	-2
6	81	53	48	-40	-9
7	105	65	56	-47	-14
8	131	78	68	-48	-13
9	159	92	86	-46	-6.3
10	189	106	107	-44	0
11	220	121	129	-41	7

TABLA 5

$$f'c = 400 \text{ Kg/cm}^2$$

$$fy = 4,200 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S = 5 \text{ cm}$$

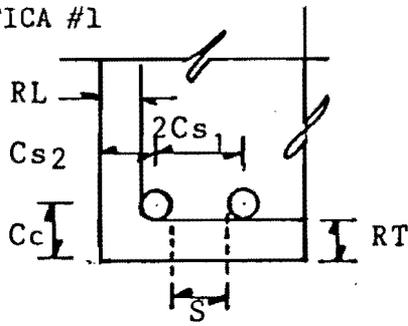
$$RL = 5 \text{ cm}$$

$$RT = 5 \text{ cm}$$

# BARRA	Ldb ₁	Ldb ₂	Ldb ₃	%CB 1/3	%CB 2/3
3	30	30	30	0	0
4	37	30	32	-13	7
5	55	38	40	-27	5
6	75	49	48	-36	-1
7	98	61	56	-41	-8
8	123	73	64	-48	-13
9	149	87	81	-46	-6
10	177	100	100	-44	0
11	206	113	121	-41	7

APENDICE D

GRAFICAS



PARAMETROS TOMADOS EN CUENTA

$f'c = 200 \text{ Kg/cm}$

Estribos #3

$S = db$

$RL = db$ mínimos permitidos

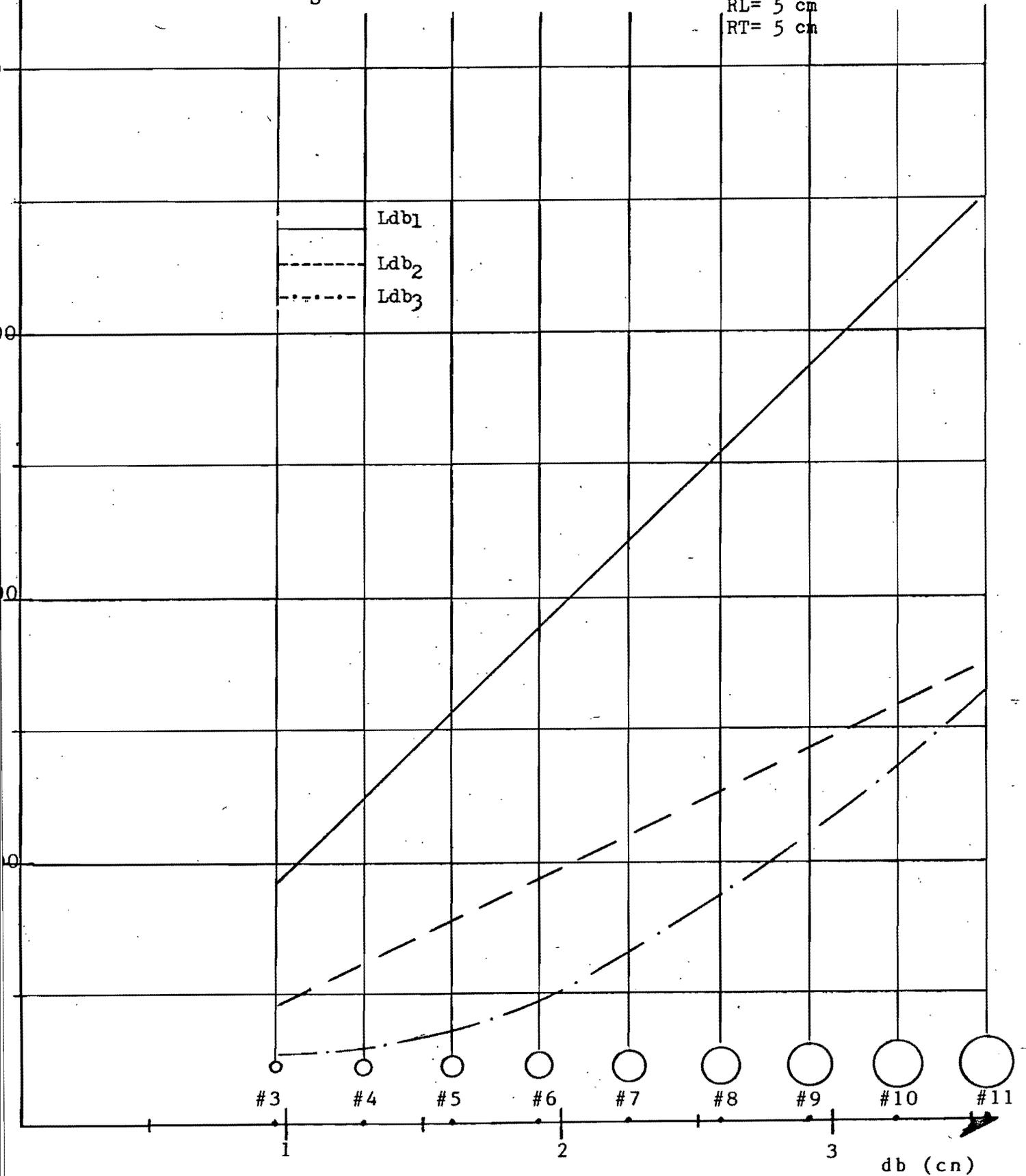
$RT = db$ por el reglamento

Se obtienen las mismas curvas para:

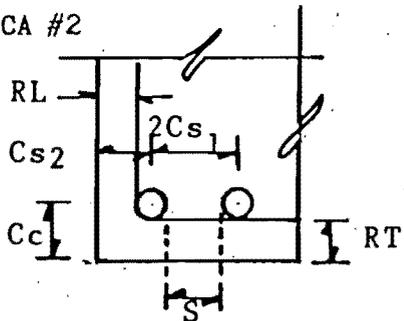
$S = db$

$RL = 5 \text{ cm}$

$RT = 5 \text{ cm}$



GRAFICA #2



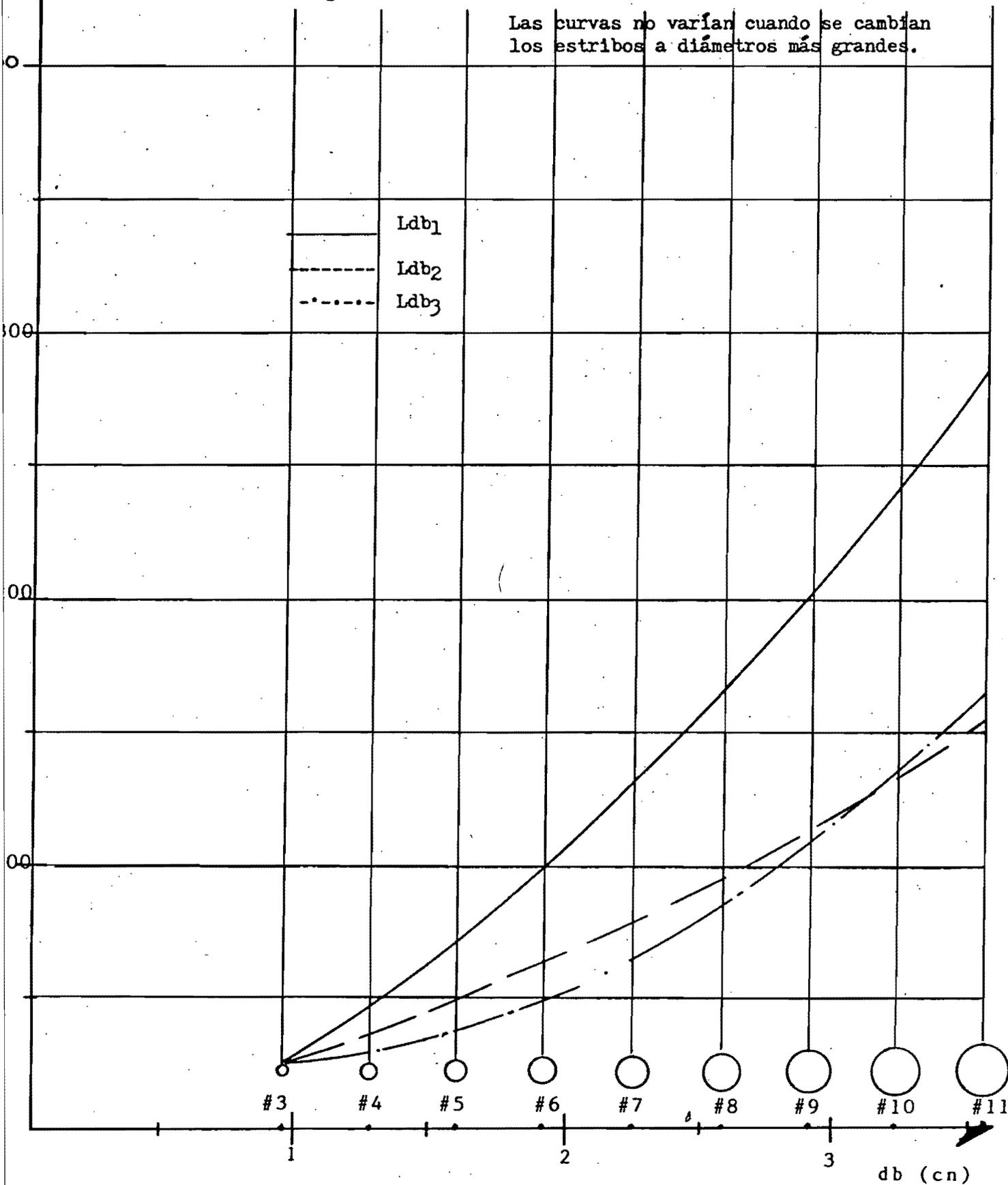
PARAMETROS TOMADOS EN CUENTA

$f'c = 200 \text{ Kg/cm}$
Estribos #3 y #4

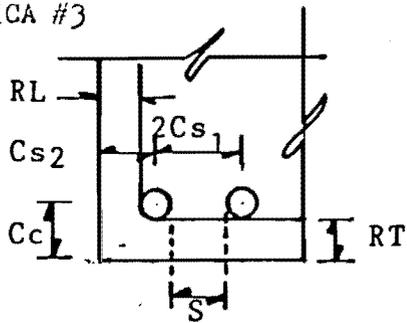
$S = 5 \text{ cm}$
 $RL = 5 \text{ cm}$
 $RT = 5 \text{ cm}$



Las curvas no varían cuando se cambian los estribos a diámetros más grandes.



GRAFICA #3

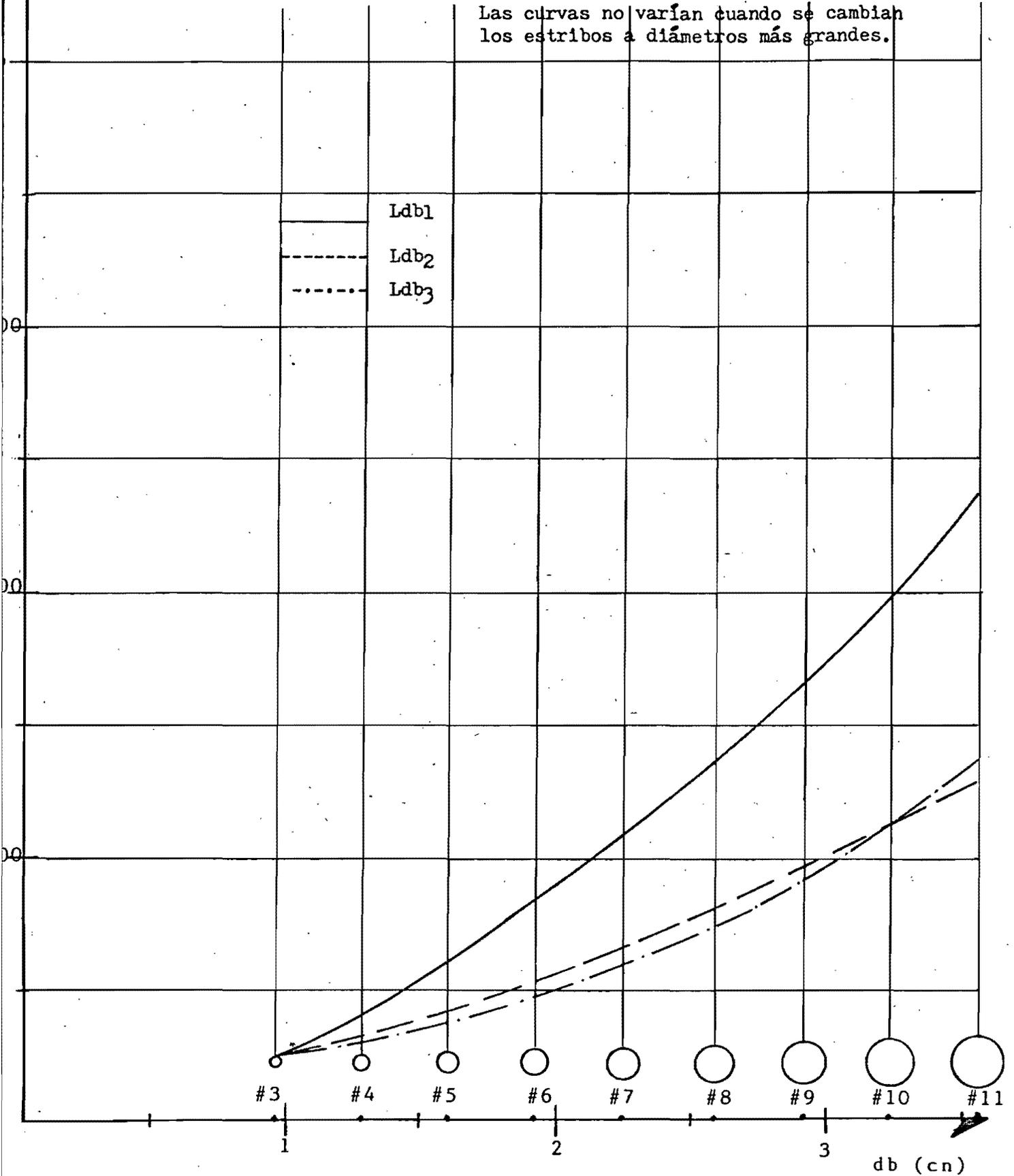


PARAMETROS TOMADOS EN CUENTA

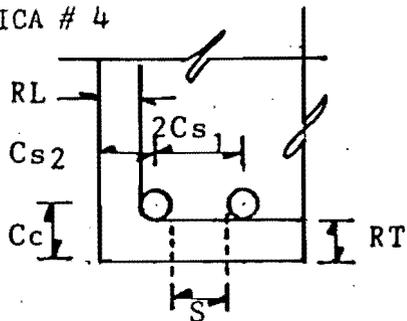
$f'c = 300 \text{ Kg/cm}$
Estribos #3 y #4

$S = 5 \text{ cm}$
 $RL = 5 \text{ cm}$
 $RT = 5 \text{ cm}$

Las curvas no varían cuando se cambian los estribos a diámetros más grandes.



GRAFICA # 4



PARAMETROS TOMADOS EN CUENTA

$f'c = 350 \text{ Kg/cm}$

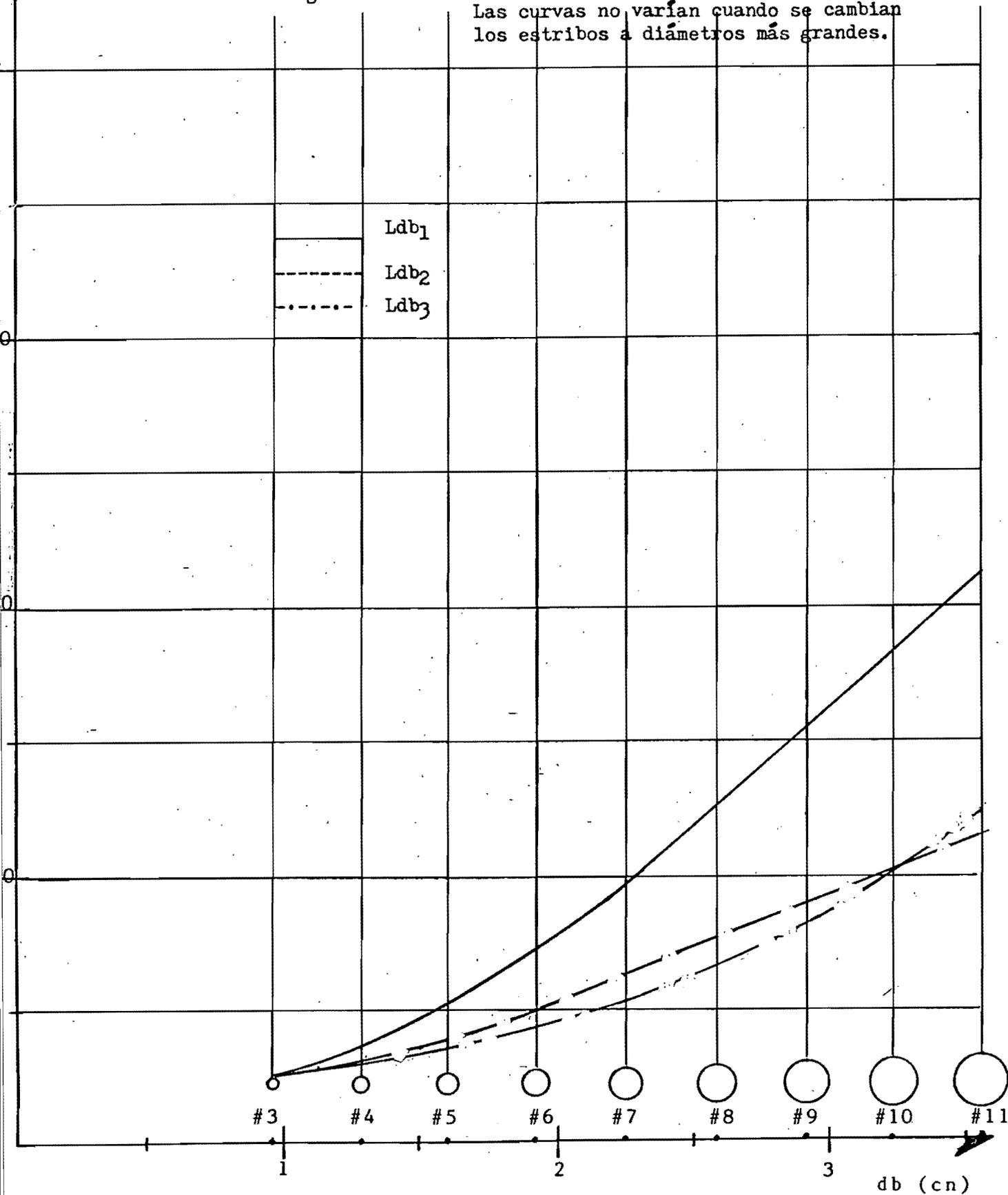
Estribos #4

$S = 5 \text{ cm}$

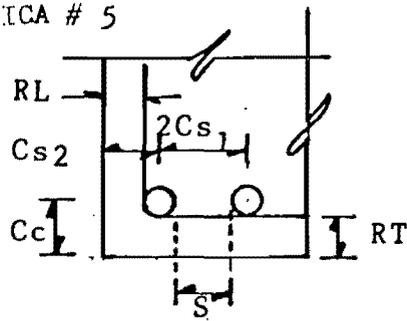
$RL = 5 \text{ cm}$

$RT = 5 \text{ cm}$

Las curvas no varían cuando se cambian los estribos a diámetros más grandes.



GRAFICA # 5



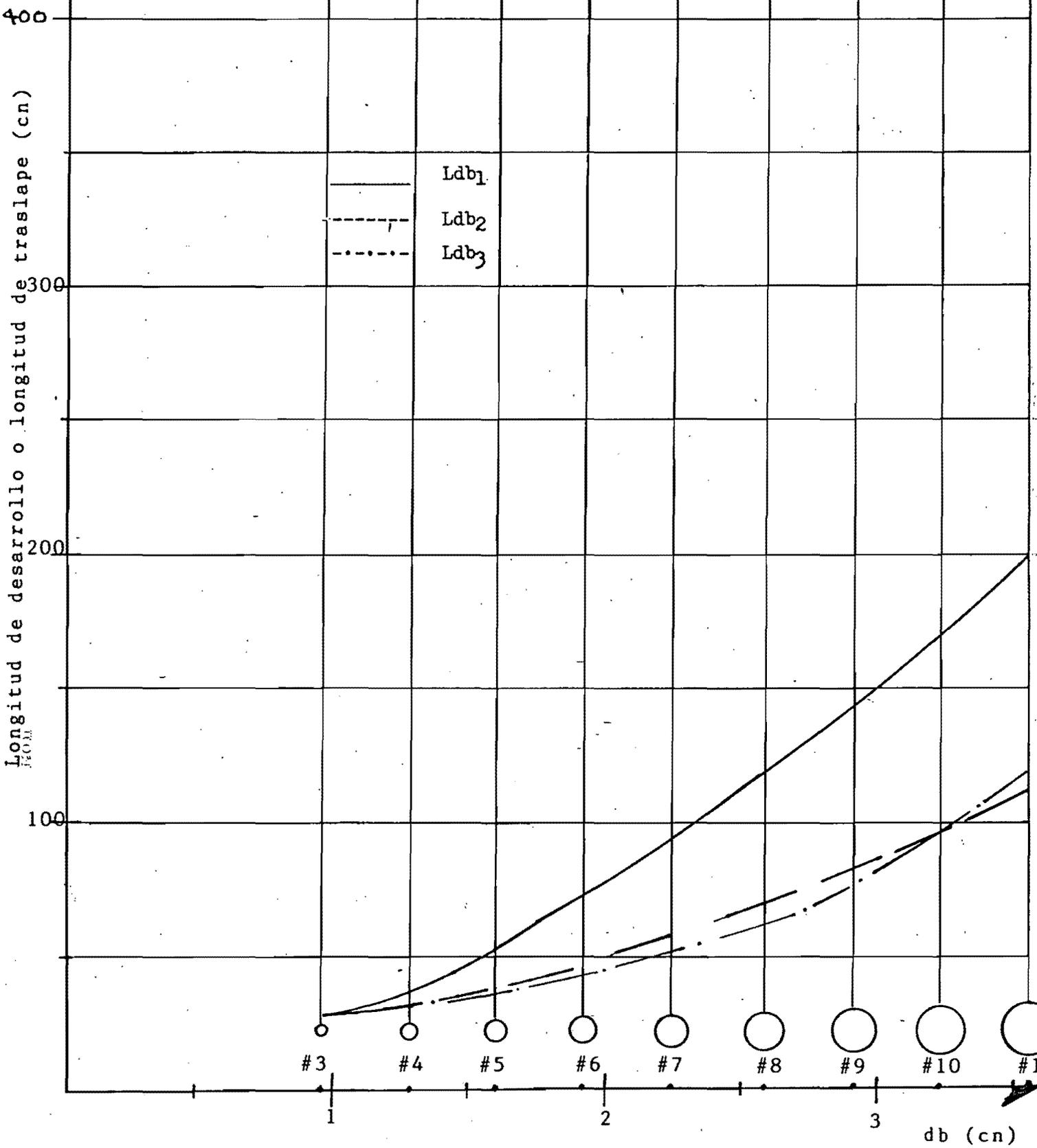
PARAMETROS TOMADOS EN CUENTA

$f'c = 400 \text{ Kg/cm}$
Estribos #4

$S = 5 \text{ cm}$
 $RL = 5 \text{ cm}$
 $RT = 5 \text{ cm}$

Las curvas no varían cuando se cambian los estribos a diámetros más grandes.

Longitud de desarrollo o longitud de traslape (cm)

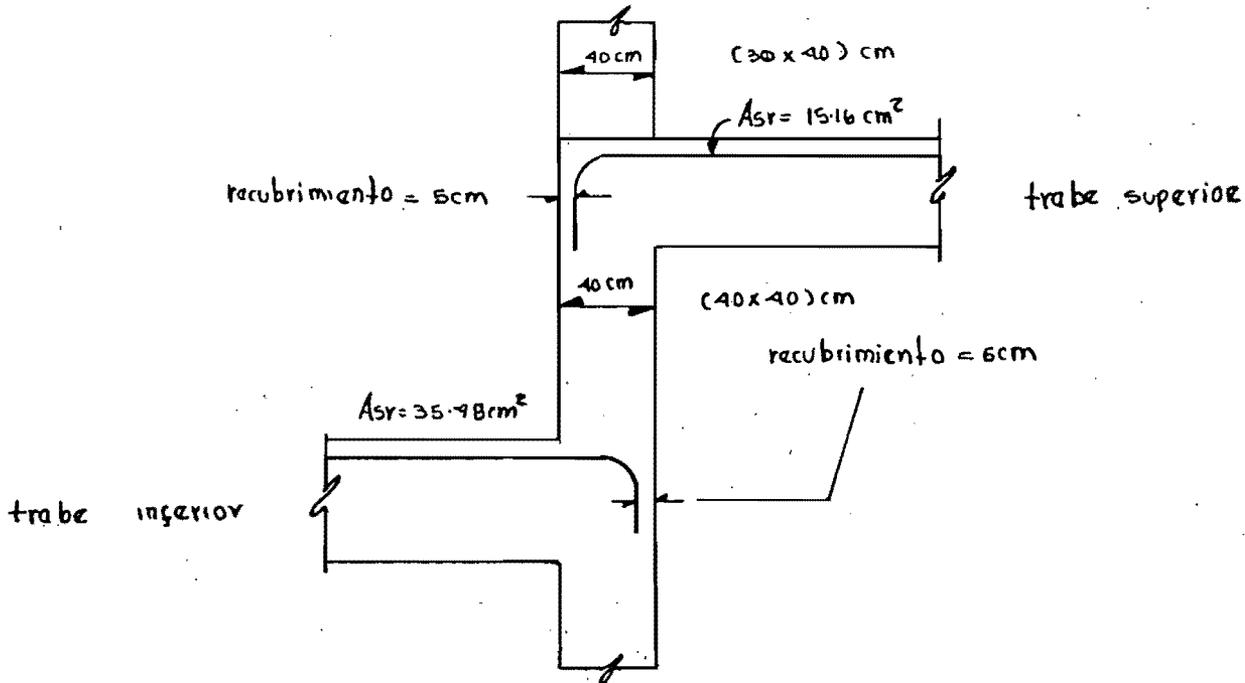


APENDICE E

EJEMPLOS

EJEMPLO 1

Calcular las longitudes de desarrollo de las barras de lazo superior de las dos traveses mostradas en la figura. Si el ancho de la columna no es suficiente, resolver el problema con ganchos.



$$f_y = 4,200 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f'_c = 200 \text{ Kg/cm}^2$$

Estribos #4 a) 25 cm (de = 127 cm, $A_e = 127 \text{ cm}^2$)

NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS DEL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL (NTC).

3.1 Anclaje

Se calculará la longitud de desarrollo a cada lado de la sección crítica (a cada lado del paño de la columna).

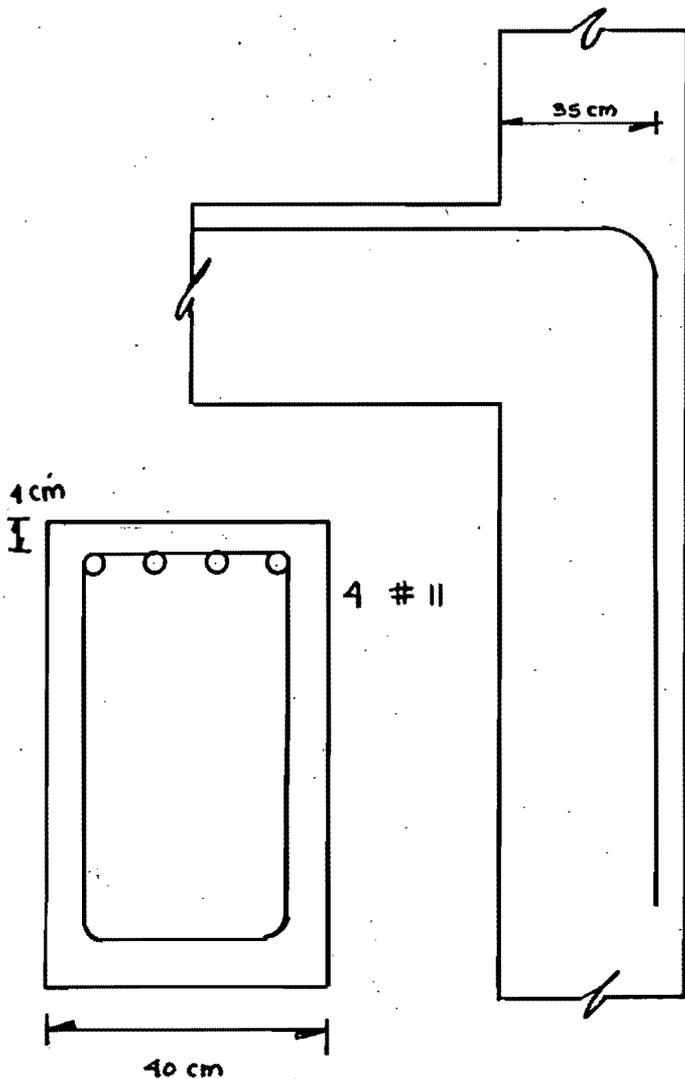
TRABE INFERIOR:

$$\text{barras } \# 11; A_s = 9.58 \text{ cm}^2, d_b = 3.49 \text{ cm}$$

$$L_{db} = \frac{0.06 A_s f_y}{\sqrt{f'_c}} = 171 \text{ cm}$$

$$0.006 d_b f_y = 88 \text{ cm (OK)}$$

DETALLE DEL ANCLAJE (NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS)



$$F_i = 1.4 \text{ (Lecho superior)}$$

$$L_d = 1.4 \times 171 = 239.40 \text{ cm}$$

$$L_d = 239.40 \text{ cm} \#$$

a ambos lados de la sección crítica.

192 cm

TRABE INFERIOR

RECOMENDACIONES RECIENTES (Ref. 3)

- Cálculo de los parámetros del recubrimiento.

$$C_c = REC + d_e + db/2 = 7 \text{ cm}$$

$$C_{s1} = [b - 2 REC - (db/2)] = 4.71 \text{ cm}$$

$$C_{s2} = REC + d_e + (db/2) = 8 \text{ cm}$$

$$C_s = 4.71 \text{ cm (el menor)}$$

$$L_{db} = \frac{1460 A_b}{\phi K \sqrt{f_c}}$$

K es el menor de:

- $C_c + K_{tr}$
- $C_s + K_{tr}$

donde $K_{tr} = \frac{A_{tr} \times f_{yt}}{106 \times S}$

$S = 25 \text{ cm}$

$A_{tr} = 2(1.27)/4 = 0.64 \text{ cm}$ para C_s ; $K_{tr} = \frac{0.64 \times 4,200}{106 \times 25} = 1.01 < db \text{ (OK)}$

$A_{tr} = 1.27$ Para C_c ; $K_{tr} = \frac{1.27 \times 4,200}{106 \times 25} = 2.01 < db$

∴ $C_c + K_{tr} = 7 + 2.01 = 9.01 \text{ cm}$
 $C_s + K_{tr} = 4.71 + 1.01 = 5.72 \text{ cm} \quad * \text{ Rige.}$

$$L_{db} = \frac{1460 \times 9.58}{0.8 \times 5.72 \sqrt{250}} = 193.31 \text{ cm}$$

Los factores de corrección aplicables son:

$F_1 = 1.3$ (barras del lecho superior)

$F_2 = A_{sr}/A_{sp} = 0.93$

$$L_d = 1.3 \times 0.93 \times 193.31 \text{ cm} = 231 \text{ cm}$$

$L_d = 234 \text{ cm} \quad *$

* Al lado izquierdo de la sección crítica. Al lado derecho se trata como gancho.

CÁLCULO DEL GANCHO.

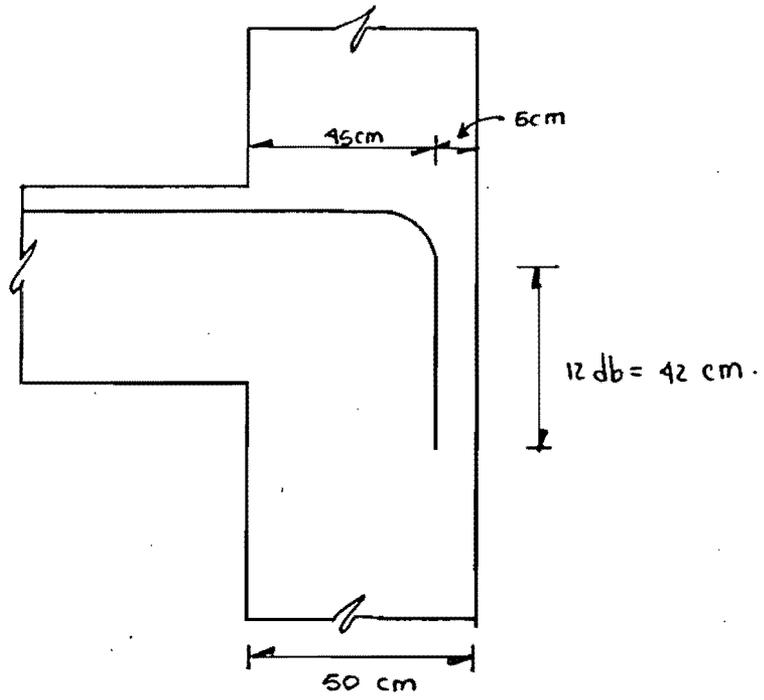
Longitud del gancho = $L_{hb} = \frac{255 \text{ db}}{\phi \sqrt{f'_c}} = \frac{255 \times (3.49)}{0.80 \sqrt{250}} = 70.4 \text{ cm}$

aplicando los factores de reducción 1.4.3.2.1 y 1.4.3.4

$$L_{dh} = 0.7 \times (35.44/30.32) \times 70.4 = 45.6 \text{ cm} > 35 \text{ cm disponibles.}$$

Se recomienda cambio de sección, ya que el gancho se considera efectivo cuando $L_{dh} = 46 \text{ cm}$.

Detaille



Ejemplo 2 (barras individuales)

Para la trabe mostrada, calcular la longitud de desarrollo de la sección de máximo momento (sección central).

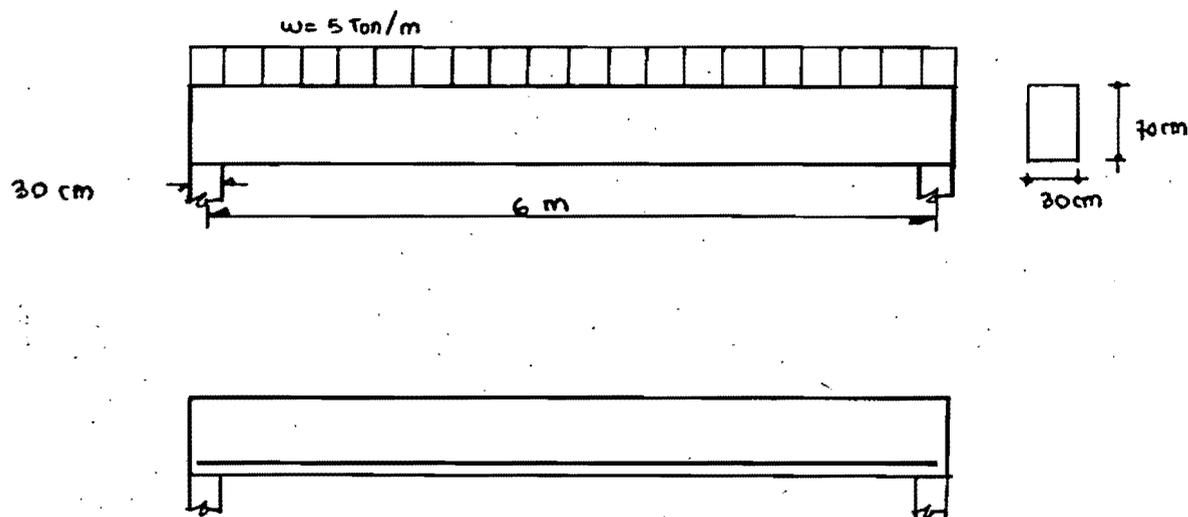
$$f_y = 41200 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_c = 200 \text{ Kg/cm}^2$$

$$w = 5 \text{ Ton/m}$$

$$L = 6 \text{ m}$$

En los apoyos la separación de los estribos es de 30 cm. ($d_c = 129 \text{ cm}$)



$$A_{sr} = 14.70 \text{ cm}^2$$

$$A_{sp} = 1 \cdot \# 7 \Rightarrow 15.52 \text{ cm}^2$$

NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS DEL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL.

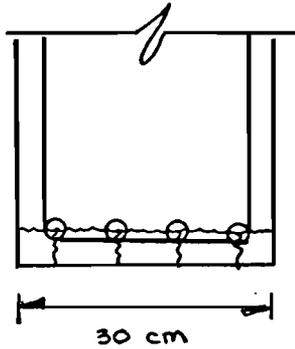
$$L_{db} = 69 \text{ cm}$$

La longitud de desarrollo básica $L_b = 69 \text{ cm}$. #

Según tabla 3 (NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS).

RECOMENDACIONES RECIENTES

$$L_{db} = \frac{1460 A_b}{\phi K \sqrt{f_c}}$$



barras #7 :

$$d_b = 222 \text{ cm}$$

$$A_s = 3.88 \text{ cm}^2$$

estribos #4

$$d_e = 127 \text{ cm}$$

$$A_s = 1.27 \text{ cm}^2$$

- Cálculo de los parámetros del recubrimiento:

$$C_c = 4.01 \text{ cm}$$

$$C_{s1} = 4.01 \text{ cm}$$

$$C_{s2} = \frac{30 - 10 - 2 \cdot 22}{3(2)} = 2.97 \text{ cm} \quad * \text{ RIGE } \text{ ó } C_s = 2.97 \text{ cm.}$$

a) Falla por la base $A_{tr} = 1.27 \text{ cm}^2 \Rightarrow K_{tr} = 1.08 \text{ cm} < d_b \Rightarrow K = 6.29 \text{ cm}$

b) Falla por el lecho $A_{tr} = 0.64 \text{ cm}^2 \Rightarrow K_{tr} = 0.85 \text{ cm} < d_b \Rightarrow K = 3.82 \text{ cm} *$

* Rige $K = 3.82 \text{ cm.}$

$$L_{db} = 131.1 \text{ cm}$$

$$L_d = (14.7/15.52) 131.1 = 124.15 \text{ cm}$$

$$\underline{L_d = 125 \text{ cm}}$$

Si no se toma en cuenta el refuerzo transversal

$$\underline{L_d = 160 \text{ cm}}$$

barra	caso 1 (ccm)	caso 2 (ccm)	caso 3 (ccm)	Yo de diferencia del caso 3 con respecto al	
				caso 1	caso 2
# 7	124.15	150.68	69	-44.58	-56.79

EJEMPLO 3. PAQUETES DE BARRA.

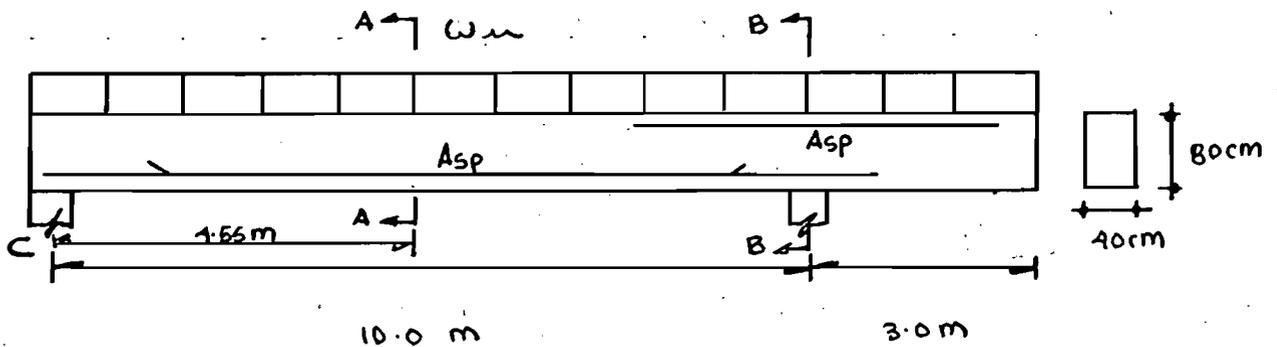
Cálculo de la longitud de desarrollo en la sección de momento máximo y EN LA SECCIÓN DEL APOYO de la siguiente estructura.

$$f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_c = 260 \text{ kg/cm}^2$$

$$w_u = 10 \text{ Ton/m}$$

Estribos #4 a 20cm en los apoyos y en la sección crítica.



Sección crítica A-A.

$$x = 4.55 \text{ m}$$

$$M_x = 103.5 \text{ m}$$

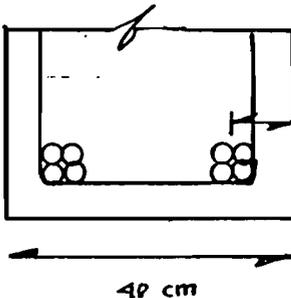
$$A_{sp} = 8 - \#8 = 40.56 \text{ cm}^2 \quad d_e = 1.27 \text{ cm} \quad d_b = 2.54 \text{ cm}$$

El AREA DE ACERO REQUERIDA, $A_{sr} = 38.38 \text{ cm}^2$, $A_{sr}/A_{sp} = 0.95$

$$\text{DIÁMETRO EQUIVALENTE } d_e = 3.19 \text{ cm}$$

$$d_e = \sqrt{\Sigma d_i}$$

RECOMENDACIONES RECIENTES (REF. 3)



$$e_{cm} + (d_e/2) = 6.59 \text{ cm}$$

$$K = 7.22 \sqrt{3 d_e}$$

$$L_{db} = 274 \text{ cm}$$

$$L_d = 0.05 \times 274; \quad L_d = 260.31 \text{ cm} \quad \text{considerando al refuerzo transversal}$$

$$L_d = 285.19 \text{ cm} \quad \text{sin considerar al refuerzo transversal.}$$

NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS

Ld = 149 cm.

PAQUETES DE BARRAS	CASO1 (cm)	CASO2 (cm)	CASO3 (cm)	% de DIFERENCIA DEL CASO3 CON RESPECTO AL	
				CASO1	CASO2
⊗ 4-#8	260.31	285.2	90	-65.43	68.44
⊗ 3-#8	262	279	83	-68.32	-70.25
∞ 2-#10	107	146	149	+39.25	+2.05