

Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica

ENERO / JUNIO 1991 VOLUMEN 1 Nº 1



INGENIERIA

Revista Semestral de la Universidad de Costa Rica

Volumen I Enero-Junio 1991 Número 1

DIRECTOR

Rodolfo Herrera J.

CONSEJO EDITORIAL

Armando Castro A. (editor)
Víctor Hugo Chacón P.
Gerardo Chacón V.
Miguel Dobles U.
Ronald Jiménez Ch.
Ismael Mazón G.
Domingo Riggioni C.

CORRESPONDENCIA Y SUSCRIPCIONES

Editorial de la Universidad de Costa Rica
Apartado Postal 75
2060 Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
San José, Costa Rica.

CANJES

Universidad de Costa Rica
Sistema de Bibliotecas, Documentación e Información
Unidad de Selección y Adquisiciones-CANJE
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
San José, Costa Rica

Suscripción anual:

Costa Rica: ₡500,00
Otros países: US \$20.00

Número suelto:

Costa Rica: ₡250,00
Otros países: US \$10.00





Impreso en la
Oficina de Publicaciones
de la Universidad de Costa Rica

Edición aprobada por la Comisión Editorial de la Universidad de Costa Rica
1991 EDITORIAL DE LA UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Todos los derechos reservados conforme a la ley

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

San José, Costa Rica

Edición Técnica: *Guillermo Loría M.*
Fernando Durán A.

Revisión Filológica: *María Teresa Bolaños*

Montaje Gráfico: *Adalberto Ramírez*

620.005

1-46i

Ingeniería / Universidad de Costa Rica. --

Vol. 1, no. 1 (ene./jun. 1991) -- San José, C. R. : Editorial de la Universidad de Costa Rica, 1991 -- (Oficina de Publicaciones de la Universidad de Costa Rica)

v. : il.

Semestral.

1. Ingeniería -- Publicaciones periódicas.

CCC/BUCR-250



EMPALMES Y ANCLAJES DE VARILLAS DE REFUERZO EN ELEMENTOS DE CONCRETO

Ing. Roy Acuña Prado, M.Sc. *

Resumen

Se presenta un análisis de las recomendaciones que dan los códigos que se utilizan en Costa Rica en relación con el cálculo de longitudes de empalmes y de anclajes del refuerzo del concreto.

Se realiza una comparación de las recomendaciones de los códigos y se realiza un análisis sobre la importancia de los factores que determinan las longitudes citadas.

Se plantean los problemas de cumplir la totalidad de las recomendaciones, y las contradicciones que se pueden generar al aplicarlas directamente.

Summary

An analysis is presented of the recommendations given in the codes used in Costa Rica for the calculation of the lengths of splices and anchorages of concrete reinforcement.

A comparison of the codes recommendations is made and an analysis of the importance of the factors which determine the mentioned lengths.

It is posed the problems of fulfill the recommendations totally and the contradictions that can be generated by their application.

1. INTRODUCCION

Durante los últimos años, las normas de diseño que se relacionan con el cálculo de la longitud de los empalmes y de los anclajes de las varillas de refuerzo en elementos de concreto, han sufrido modificaciones importantes.

Estos cambios se han producido tanto en el Código Sísmico de Costa Rica (CSCR)^[1] como en el Reglamento de las Construcciones de Concreto Reforzado (ACI)^[2], los cuales no son coincidentes.

Es usual, en la práctica profesional de nuestro país, que en los planos no se incluyan indicaciones claras sobre este tema, y que las especificaciones recomendaciones que no se adaptan a los códigos citados.

Esta situación provoca que en la práctica de la construcción se realicen detalles inadecuados que representan un peligro potencial, y podrían provocar fallas frágiles o daños estructurales serios cuando se presenten cargas que lleven a los elementos estructurales hasta su resistencia máxima.

2. CONCEPTOS BASICOS SOBRE ADHERENCIA Y LONGITUD DE DESARROLLO

La existencia de una buena adherencia es una condición indispensable para que actúen en conjunto dos materiales con características tan diferentes como el concreto y el acero de refuerzo.

La principal fuente de adherencia son las corrugaciones de las varillas de acero, que permiten que la fuerza de tracción de la varilla se transmita al concreto a través del apoyo directo del concreto en las corrugaciones.

En la figura 1 se observa la reacción que se produce, causando una tendencia a la expansión lateral en todas direcciones, que provoca falla en tracción del concreto.

Debe notarse que la fuerza máxima de adherencia por unidad de longitud no depende del área de contacto entre los materiales, pues no ocurre la falla por rozamiento.

Los principales factores que determinan la resistencia de la adherencia para varillas en tracción son:

- resistencia del concreto en tracción
- recubrimiento

* Escuela de Ingeniería Civil
Universidad de Costa Rica

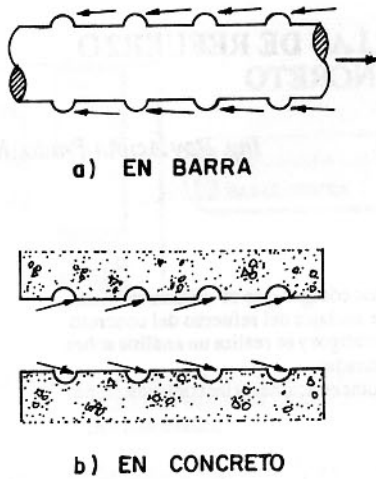


FIGURA 1. Fuerzas entre la barra y el concreto.

- confinamiento
- ubicación y separación de las varillas de refuerzo

Cuando se trata de varillas en compresión la adherencia es más efectiva, debido a que las varillas tienen apoyo por punta en el concreto, y el concreto, al estar en compresión, no presenta fisuramientos.

La longitud de desarrollo es la distancia mínima necesaria para transmitir por adherencia la fuerza que soporta el acero. Cuando se diseñan elementos por el método de resistencia, se supone el esfuerzo de cedencia f_y para las secciones críticas, de manera que desde esa sección hasta otra donde el esfuerzo sea nulo, debe existir una distancia mayor que la longitud de desarrollo, en la cual se transmitirá la fuerza total de la varilla ($A_s \cdot f_y$) al concreto.

La longitud de desarrollo depende de las condiciones del concreto y de las condiciones de colocación de las varillas. Algunos de los factores más importantes son:

1. Tipo de concreto: la resistencia a la tracción del concreto es uno de los parámetros más importantes, pues la falla por adherencia es por falla del concreto en tracción. En el caso de concreto ligero, la adherencia disminuye debido a que su resistencia a la tracción es menor.

2. Recubrimiento: las fisuras debidas a la expansión lateral del concreto tardan más en aparecer si aumenta el recubrimiento.
3. Confinamiento: la expansión lateral del concreto se ve limitada por la presencia de aros que confinen adecuadamente o de elementos estructurales (vigas o columnas perpendiculares) en los anclajes.
4. Separación entre varillas: la formación de grietas está determinada por la relación de las distancias de separación entre varillas y de recubrimiento.
5. Ubicación de las varillas: cuando las varillas son de lecho superior (existe una altura mayor que 30 cm desde el fondo de la viga) hay pérdida de adherencia por asentamiento del concreto y por existir menor densidad del concreto en la parte superior de la viga.

3. NORMAS DEL CSCR Y DEL ACI

3.1 Aspectos Generales

Existen algunos puntos de coincidencia entre las normas de diseño citadas, principalmente en los aspectos generales, aunque difieren significativamente en el cálculo de los valores recomendados para longitud de empalmes y anclajes.

Ambos códigos coinciden en que, para elementos en flexión, se deben colocar aros de confinamiento en toda la longitud de traslape de barras de refuerzo longitudinal, siendo el espaciamiento máximo de los aros igual a $d/4$ (o 10 cm según el ACI). No se podrá hacer traslapes en:

- a) Los núcleos de unión.
- b) Dentro de una distancia $2d$ de los extremos del elemento.
- c) En sitios donde el análisis indique posibilidad de cedencia del acero debido a desplazamientos laterales inelásticos del sistema resistente.

Para elementos en flexocompresión, el ACI permite traslapes únicamente en la mitad central de la longitud del elemento. El CSCR es más liberal en muchos casos, pues permite traslapes en una longitud medida a partir de cada nudo, mayor que:

- a) Una sexta parte de la altura libre del elemento.

- b) La dimensión máxima de su sección transversal.
- c) 45 cm.

Según el CSCR, en las zonas donde se permiten los traslapes, en columnas, muros y vigas, el traslape de refuerzo longitudinal deberá hacerse en forma alternada. En ningún caso se podrá traslapar más del 50 % del refuerzo en la longitud de traslape, y la distancia entre traslapes alternos deberá ser mayor que 30 veces el diámetro de la barra de refuerzo.

3.2 Traslapes

El código ACI ha modificado recientemente el cálculo de la longitud de desarrollo y de los empalmes.

La longitud de desarrollo se calcula como una longitud de desarrollo básica multiplicada por una serie de factores que dependen de las condiciones específicas de las barras; algunas de estas condiciones se comentaron en el capítulo 2.

La propuesta del nuevo código ACI 318-89 presenta una innovación en cuanto a la importancia que se da a la separación entre las varillas, lo cual no ocurría anteriormente, y que provoca que este parámetro sea de los más importantes al determinar los factores de modificación de la longitud de desarrollo.

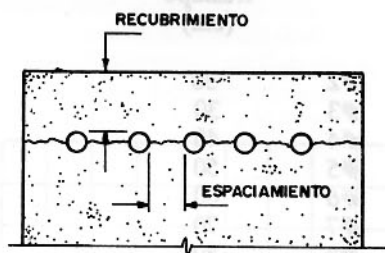
También se incluyen factores que dependen del recubrimiento, lo cual no se consideraba en el código ACI 318-83, y se disminuye la influencia de la ubicación de las barras en lecho superior.

Las nuevas recomendaciones toman en cuenta que cuando se mantienen el recubrimiento y la separación de barras en los valores mínimos, puede ocurrir una fractura del concreto, por lo que se recomienda mejorar el confinamiento.

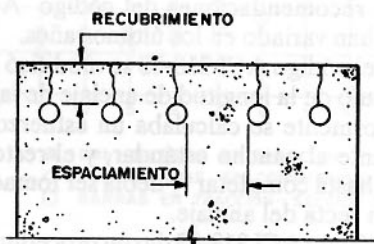
Cuando las barras están muy cercanas, la tendencia es de agrietamiento de barra a barra, y si el recubrimiento es pequeño, las grietas tienden a formarse a través del recubrimiento (figura 2).

Para los casos de barras muy cercanas y con poco recubrimiento, el nuevo código incrementa la longitud de desarrollo.

Los traslapes se calculan como el producto de la longitud de desarrollo por un factor mayor o igual a 1, dependiendo del refuerzo de la barra y del porcentaje de acero traslapado en la sección. A mayor esfuerzo y mayor cantidad de barras traslapadas, corresponde un factor mayor.



a) RECUBRIMIENTO MAYOR QUE EL ESPACIAMIENTO



b) RECUBRIMIENTO MENOR QUE EL ESPACIAMIENTO

FIGURA 2. Agrietamiento del concreto.

El código ACI 318-83 incluye tres tipos de traslapes, que en el nuevo código ACI 318-89 se reducen a dos tipos. La longitud de traslape es igual a la longitud de desarrollo, si $f_s < 1/2 f_y$ y se cumple con no traslapar más del 50 % del área en la misma sección. Para todos los otros casos se incrementa un 30 % la longitud del traslape.

El Código Sísmico de Costa Rica (CSCR 1986) no presenta indicaciones en relación con el cálculo de longitud de desarrollo ni de longitud de traslapes.

La versión del CSCR del año 1974 incluyó la tabla No.1 para determinar las longitudes de traslapes.

Como puede apreciarse, la tabla anterior no toma en cuenta la influencia de los parámetros que afectan la resistencia de la adherencia. Desgraciadamente, el silencio del nuevo código ha provocado que se siga utilizando la tabla anterior, muy fácil de recordar, pero peligrosa en muchos casos.

Barra	Longitud de traslape (cm)
#2	30
#3	30
#4	40
#5	50
#6	60
#7	70
#8	80

#2	30
#3	30
#4	40
#5	50
#6	60
#7	70
#8	80

TABLA 1.

3.3 Longitud de anclaje

Las recomendaciones del código ACI y del CSCR han variado en los últimos años.

En el código ACI 318-83 se modificó la forma de cálculo de la longitud de anclaje de las barras. Anteriormente se calculaba un esfuerzo correspondiente al gancho estándar, y el resto del esfuerzo hasta completar f_y debía ser tomado por la sección recta del anclaje.

El código ACI 318-83 dio un procedimiento de cálculo directo de la longitud de anclaje, que depende del recubrimiento, confinamiento y propiedades de los materiales. Para zonas sísmicas el cálculo se hace también directamente, pero se incluye la posibilidad de que las barras sean rectas (factor de 2.5 si está en lecho inferior y 3.5 si está en lecho superior).

El CSCR también ha sufrido cambios. La versión 1984 indicaba equivocadamente, que la longitud de anclaje se mide desde el inicio del doblez de 90° hasta el final de la barra, y se calcula según la tabla que se indicó en el párrafo 3.2.

En la actualidad, el CSCR prácticamente repite lo indicado por el ACI en el capítulo de normas para zonas sísmicas, aunque la presentación de la fórmula incluye el parámetro ϕ . Debe tomarse en cuenta que el cálculo obtenido por estas recomendaciones considera que existe un adecuado confinamiento de las varillas que serán ancladas y debe verificarse que esta situación ocurra realmente.

4. EVALUACION DE LA INFLUENCIA DE LOS FACTORES QUE AFECTAN LA LONGITUD DE LOS EMPALMES

Con base en las recomendaciones del código ACI 318-89 se prepararon los gráficos siguientes, para presentar de manera más clara la importan-

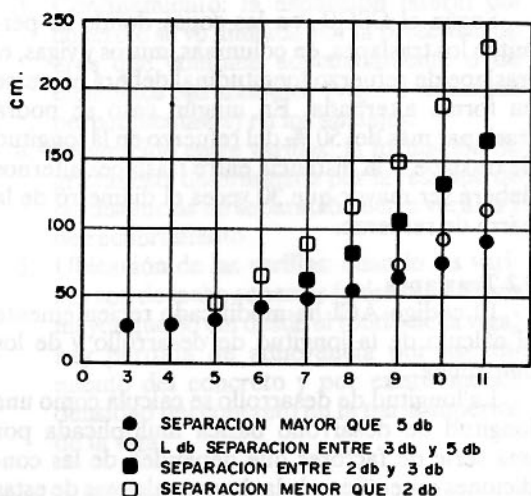


FIGURA 3. Longitud de desarrollo (cm) para barras con diferente separación $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$, $f_y = 2800 \text{ Kg/cm}^2$.

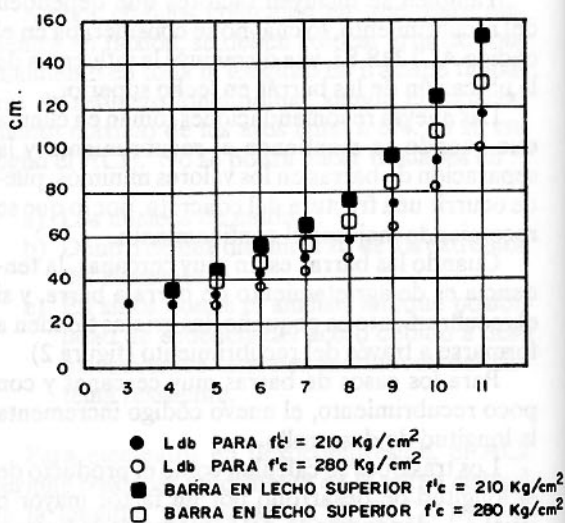


FIGURA 4. Longitud de desarrollo (cm) para barras en diferente tipo de concreto y ubicación $f_y = 2800 \text{ Kg/cm}^2$.

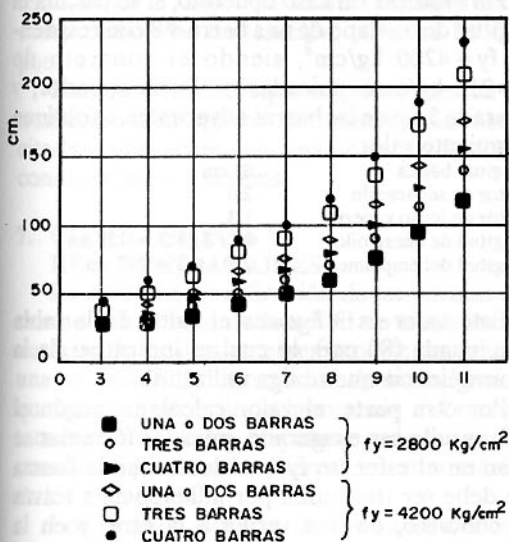


FIGURA 5. Longitud de desarrollo (cm) para barras en paquete con diferente tipo de resistencia de acero.

cia de los parámetros más importantes que definen la longitud de los empalmes.

La figura 3 muestra la longitud de los traslapes para las varillas de refuerzo #2 a #11, dependiendo de la separación de las barras. En el caso de varillas que forman paquetes, se debe considerar el diámetro equivalente, de acuerdo al área total de las varillas. En todos los casos se considera la separación libre entre las barras.

Las condiciones que incluye el ACI abarcan otras situaciones del recubrimiento y confinamiento junto con la separación libre de las barras, que no se están considerando aquí con el fin de simplificar la presentación gráfica de resultados, pero deben ser consideradas en los casos reales.

El código ACI impone algunas condiciones de valores mínimos para la longitud de desarrollo después de aplicar los factores que dependen de la separación de las barras, y en cualquier caso el valor no debe ser menor que 30 cm. Los gráficos que se presentan tienen incorporadas estas limitaciones.

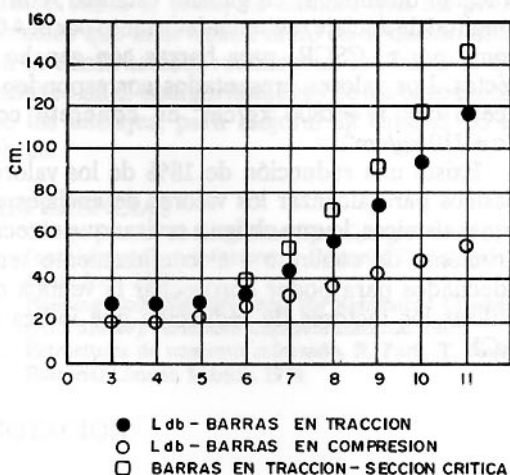


FIGURA 6. Longitud de desarrollo (cm) para barras con diferente tipo de esfuerzo

La figura 4 representa el efecto de la calidad del concreto y de la condición de barras ubicadas en el lecho superior, con un factor de modificación de la longitud de desarrollo igual a 1.3.

La influencia de la resistencia del acero se presenta en la figura 5, en la cual se incluye también la comparación de longitud de desarrollo cuando se utilizan paquetes de tres y de cuatro barras.

Se hace la indicación de que los factores de modificación presentados no son los únicos, y que puede ser necesario aplicar varios de ellos en un caso particular.

Aunque los códigos indican que no se permiten traslapes en zonas críticas, esta condición es difícil de cumplir en algunos casos y, si ocurre esta situación, se recomienda utilizar el cálculo de la longitud de traslapo utilizando un esfuerzo igual a 125% de f_y [3]. Esta situación se ilustra en la figura 6, junto con las longitudes de desarrollo básicas en tracción y en compresión.

5. EVALUACION DE LA INFLUENCIA DE LOS FACTORES QUE AFECTAN LA LONGITUD DE ANCLAJE

En la figura 7 se comparan los valores de la longitud de desarrollo básica para varillas en tracción terminadas en gancho estándar, con la longitud de anclaje recomendada tanto por el ACI como por el CSCR, para barras con gancho o rectas. Los valores presentados corresponden a acero con $f_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$ en concreto con $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Existe una reducción de 18% de los valores básicos para alcanzar los valores de anclajes en zonas sísmicas, lo que obliga a revisar que el recubrimiento de concreto y el confinamiento sean adecuados para poder aprovechar la ventaja de utilizar los factores de reducción que indica el ACI.

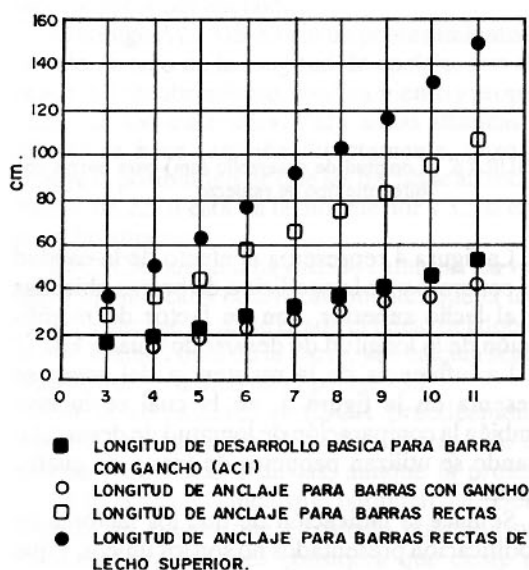


FIGURA 7. Longitud de anclaje de barras en zonas sísmicas.

6. APLICACION DE LAS NORMAS

Es evidente, después de analizar los valores que se presentan en las figuras 3, 4, 5 y 6, y considerando que pueden existir varios factores que aumenten la longitud básica, que las longitudes de

los traslapes calculadas con las recomendaciones del ACI pueden superar ampliamente los valores de la tabla del CSCR 1974 que, aunque no está vigente, es muy frecuente que se utilicen directamente o como referencia.

Para indicar un caso concreto, si se calcula la longitud de traslape de una barra #8 con resistencia $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$, siendo el concreto de $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, ubicadas en lecho superior, y separada 5 cm de las barras adyacentes, se obtiene el siguiente valor:

longitud básica	88 cm
factor de separación	2.0
factor de lecho superior	1.3
longitud de desarrollo	$88 \times 2 \times 1.3 = 229 \text{ cm}$
longitud del empalme	$229 \times 1.3 = 297 \text{ cm}$

Este valor es 3.7 veces el valor de la tabla mencionada (80 cm), lo cual es indicativo de la inconveniencia que se siga utilizando.

Por otra parte, el valor calculado, según el ACI, resulta ser exagerado, pues las fórmulas se basan en el esfuerzo f_y que determina la fuerza que debe ser transmitida por adherencia a través del concreto, de una varilla a la otra, y en la realidad dicho esfuerzo no existe a lo largo del empalme, por su ubicación y su longitud.

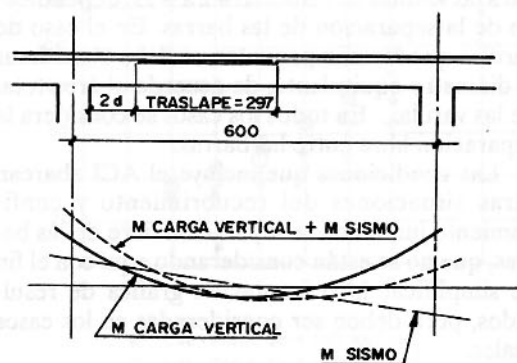


FIGURA 8. Ubicación del traslape.

En el caso de la viga de la figura 8, de 60cm de altura y con una luz libre de 5.5 m, el empalme se debe hacer a partir de una distancia de 110 cm (2d) desde la cara de la columna, y si se considera la longitud del empalme según el cálculo anterior, resulta que la mayor parte del empalme está en compresión y no en tracción, como se había supuesto.

Este caso muestra que se puede caer en contradicciones al aplicar textualmente las normas citadas, que acumulan una serie de factores y condiciones muy severas.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La continua modificación de las normas en el campo del cálculo de longitud de traslapes y de anclajes de varillas en elementos de concreto, es una evidencia de la cantidad de investigaciones que se realizan y de la ignorancia del comportamiento real de los empalmes y de los anclajes cuando se generan las fuerzas internas máximas en los elementos.

Los eventos sísmicos de los últimos años no han suministrado evidencia suficiente para obtener conclusiones valederas y, aparentemente, el ACI ha incrementado los valores con base en estudios de laboratorio que llevan a resultados difíciles de cumplir, en algunos casos. Será necesario la realización de nuevas investigaciones y procesar la información que se obtiene del comportamiento de las estructuras sometidas a sismos para mejorar las recomendaciones de diseño.

De la lectura de las normas y de los casos comparativos presentados, se puede concluir que es más conveniente agrupar las barras de refuerzo

a fin de lograr mayor separación, y colocar aros adicionales en la longitud del empalme, con el objeto de mejorar el confinamiento.

En cuanto a la práctica profesional de nuestro país, es muy importante que se genere una discusión sobre el tema, de manera que los profesionales que intervienen tanto en el diseño como en la construcción, reconozcan los factores que influyen en el comportamiento de los empalmes y de los anclajes, para mejorar la calidad de las obras.

REFERENCIAS

1. Código Sísmico de Costa Rica 1986. Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos. Editorial Tecnológica de Costa Rica. 1987.
2. Building Code Requirements for Reinforced Concrete. (ACI 318-89). American Concrete Institute. 1989.
3. Estructuras de concreto reforzado. R. Park, T. Paulay. Editorial Limusa. México. 1979.

NOTACION

As =	área de refuerzo en tracción
d =	distancia desde la fibra extrema de compresión hasta el centroide del refuerzo de tracción.
db =	diámetro nominal de la varilla.
f _c =	resistencia especificada del concreto a la compresión.
f _y =	resistencia a la cedencia del acero de refuerzo.
ld =	longitud de desarrollo.
ldb =	longitud de desarrollo básica.
φ =	factor de reducción de resistencia.