

# INFLUENCIA DE LOS ESTRIBOS EN LA LONGITUD DE TRASLAPO DE BARRAS PARA HORMIGON

Fernando YAÑEZ U.\*

Ernesto GOMEZ G.\*

Jorge THOMAS S.\*\*

## RESUMEN

*Los empalmes de barras de acero tienen una gran importancia en elementos de hormigón armado de grandes dimensiones sometidos a tracción, como son los casos de muros sismorresistentes, muros de contención, etc. Su comportamiento depende de muchos factores.*

*En el presente trabajo se ha estudiado la influencia de los siguientes: a) espaciamiento de estribos, b) la longitud de traslapo, y c) la historia de la carga. Los resultados muestran que la longitud de traslapo es el parámetro significativo; los otros dos, en cambio, no tienen mayor relevancia. En relación con la longitud de traslapo, las normas ACI 318-77, DIN 1045 y CEB-76 establecen valores diferentes entre ellas. Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que las disposiciones del código ACI 318-77 están más de acuerdo con los valores experimentales.*

## INTRODUCCION

Uno de los detalles constructivos más utilizados, debido a la limitación de longitud de las barras de refuerzo, es el empalme traslapado o traslapo. Aunque comparativamente es muy simple, su materialización presenta algunas desventajas en cuanto a transmisión de tensiones por el hecho de tener una doble armadura. Y por ser los extremos fuentes de discontinuidad se produce siempre

---

\* Investigadores de IDIEM, Universidad de Chile.

\*\* Ingeniero Civil, Universidad de Chile.

la falla en dichos extremos. Esto último ha hecho que las normas estipulen la necesidad de no concentrar muchos traslapos en una misma sección, y de no colocarlos en zonas de máxima tensión. No obstante, en la práctica hay situaciones en las cuales los traslapos en zonas de tracción máxima son ineludibles, como por ejemplo en muros de edificios o pilares, los que debido a efectos sísmicos pueden quedar sometidos a tracción.

Por otro lado, las normas comúnmente utilizadas en Chile, como son la ACI 318-77, la CEB-76 y la DIN 1045-78, muestran una diferencia apreciable de valores para una misma situación. En efecto, considerando un muro de un edificio armado a flexión con barras de  $\phi$  22 de acero A63-42H, y con hormigón de resistencia cúbica de  $300 \text{ kg/cm}^2$  ( $255 \text{ kg/cm}^2$  en probeta cilíndrica), los traslapos dados por las distintas normas serían los siguientes:

#### ACI 318-77

Longitud de anclaje:  $l_d = 60.0 \text{ cm}$ . Si consideramos el caso extremo del 100% del área de refuerzo traslapada, resultaría una longitud de traslapo,  $l_s = 1.7 l_d = 102 \text{ cm}$  (47 diámetros).

#### CEB-76

Para  $\phi$  22 y  $f'_c = 255 \text{ kg/cm}^2$  la tensión de adherencia límite es igual a  $\mu = 28.4 \text{ kg/cm}^2$ , lo que se traduce en una longitud de anclaje  $l_d = 70.7 \text{ cm}$ .

Para el caso extremo resulta una longitud de traslapo,  $l_s = 2.0 l_d = 142 \text{ cm}$  (65 diámetros).

#### DIN 1045-78

Para  $\phi$  22 y  $f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$  la tensión de adherencia admisible es igual a  $\mu_{adm} = 20 \text{ kg/cm}^2$  y la longitud de anclaje es igual a  $l_d = 66 \text{ cm}$ .

Para el caso extremo resulta una longitud de traslapo,  $l_s = 2.2 l_d = 146 \text{ cm}$  (67 diámetros).

Como se aprecia hay una diferencia de aproximadamente un 40 por ciento entre las normas CEB y DIN con respecto a la ACI, para el caso del muro señalado.

Es notable el hecho que frente a la misma situación se registre una diferencia significativa. Ello puede atribuirse a una distinta apreciación de la influencia de las variables involucradas, que son las siguientes: longitud del traslapo, resistencia del hormigón, diámetro y calidad de las barras, presencia de armadura transversal, separación lateral de barras traslapadas, espesor de recubrimiento y, finalmente, historia de las cargas.

De las variables anteriores, las investigaciones indican como importantes, a) el espaciamiento de estribos, b) la longitud del traslapo y c) la historia de la carga

Entonces, por un lado se conocen las variables que tienen influencia en la resistencia de un traslapo, y por el otro, se aprecia una diferencia de exigencias entre las normas europeas y la norma ACI. Por ello, esta investigación tiene el propósito de evaluar la importancia de las citadas variables, al mismo

tiempo que determinar la norma más de acuerdo con el comportamiento real.

Con el objeto de no introducir una nueva variable como el esfuerzo de corte, y de establecer el comportamiento en la situación más desfavorable de tensiones, el traslazo fue ubicado en la zona de momento máximo de cada espécimen. Se escogieron dimensiones que representan en forma aproximada el comportamiento de las vigas utilizadas en la práctica.

En esta investigación<sup>1</sup> se ha utilizado una longitud de traslazo máxima de 40 diámetros, basándonos en investigaciones recopiladas por Orangun y colaboradores<sup>2</sup>, que indican que longitudes de traslazo mayores no producen ganancia en resistencias. Actualmente se está desarrollando una segunda etapa de investigación la que contempla traslazos desde 30 hasta 100 diámetros, cuyos resultados serán dados a conocer próximamente.

### CARACTERISTICAS DE LAS PROBETAS

#### Geometría

Se diseñaron dos series iguales de 12 vigas cada una. Todas las vigas con las mismas dimensiones: 270 cm de largo, con una sección de 20 x 30 cm.

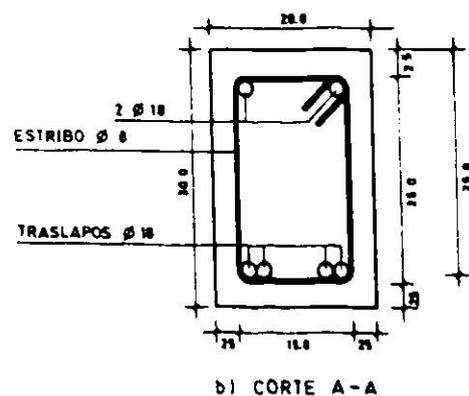
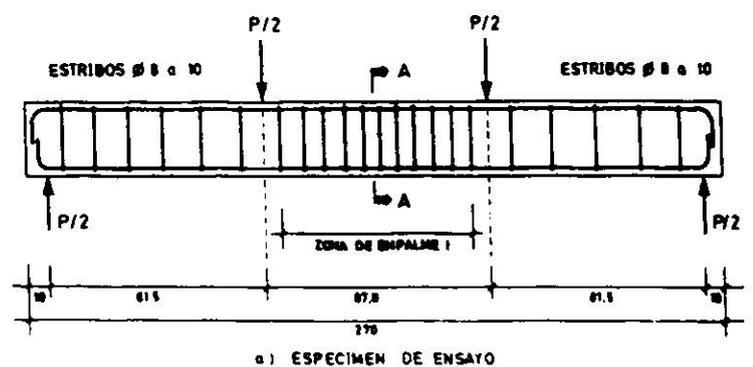
En cada serie, la armadura de tracción contenía cuatro tipos de traslazo y tres espaciamientos de estribos diferentes; además se diseñó una viga con armadura continua y de las mismas dimensiones. Las longitudes de traslazo estudiadas fueron 24, 30, 54 y 74 cm (13, 20, 30 y 41 diámetros) y los espaciamientos de estribos estudiados fueron 10, 15 y 20 cm.

#### Materiales

Se utilizó para todas las vigas un hormigón de resistencia característica igual a 350 kg/cm<sup>2</sup>, en probetas cilíndricas, y acero A63-42H para la armadura longitudinal y A44-28H para la armadura transversal.

#### Armaduras

En la Fig. 1 se muestra la armadura de las probetas. La armadura longitudinal superior era continua y la inferior traslapada, ambas de acero CAP A63-42H, con un límite de fluencia experimental de 4800 kg/cm<sup>2</sup>. El refuerzo transversal consiste en estribos cerrados de acero CAP A44-28H, con un límite de fluencia de 2900 kg/cm<sup>2</sup>



1. LONGITUD DE TRASLAPO: S1(24), S2(30), S3(54), S4(74)  
 ESPACIAMIENTO DE ESTRIBOS: 1(10), 2(15), 3(20) EN ZONA DE EMPALME

Fig. 1. Dimensiones de espécimen de ensayo.

El refuerzo longitudinal estaba constituido por 4  $\phi$  18 y el esfuerzo transversal estaba conformado por estribos  $\phi$  8 con espaciamento variable en la zona de empalme (10, 15 o 20 cm) y separados a 10 cm en las zonas restantes.

### Características mecánicas

La capacidad de la viga con armadura continua se calculó mediante las fórmulas de la norma ACI 318-77, siendo  $M_u = 5.83$  t-m, o bien, la carga última  $P_u = 14.3$  t.

Cada espécimen fue armado al corte con un espaciamento de estribos de 10 cm, que aunque está exagerado, de acuerdo con las exigencias del ACI, asegura que no se produzca una falla indeseable.

## ENSAYOS

### Cargas y deformaciones

En la Fig. 2 se muestra una probeta durante el ensayo. La máquina hidráulica (1), Lossenhausen, de 500 toneladas de capacidad suministra la carga a la viga, montada a su vez en el carro móvil (2). Con la vigueta (3) se transforma la carga centrada en dos cargas ubicadas aproximadamente en los tercios de la viga, con lo cual la zona central tiene corte nulo y máximo momento.

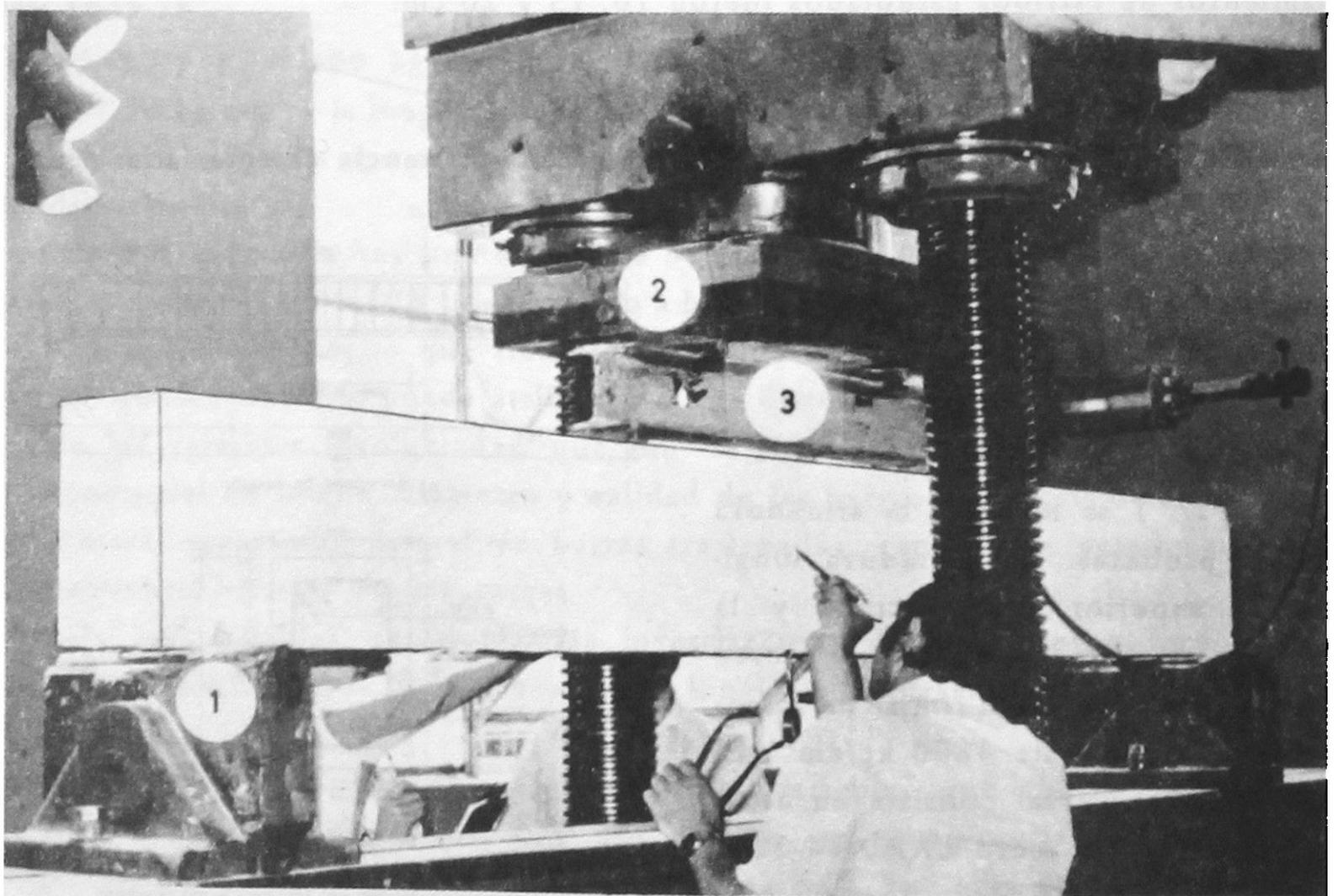


Fig. 2. Dispositivos para carga monotónica.

La carga se aplicó en intervalos normalmente de una tonelada. Durante cada intervalo de carga se midió la flecha al centro mediante el extensómetro mecánico (4), se marcaron las grietas, y se midieron las deformaciones de la armadura longitudinal traslapada.

### Instrumentación

La flecha al centro se midió con un extensómetro mecánico; las deformaciones de las barras, en la zona de traslapo, se registraron con extensómetros eléctricos (strain-gages). Los strain gages, que estaban adheridos a una de las barras que conformaba el traslapo, estaban colocados en los tercios del traslapo, para longitudes de traslapo de 24 y 36 cm (13 y 20 diámetros); y en los cuartos, para longitudes de traslapo de 54 y 74 cm (30 y 41 diámetro), como se indica en las Figs. 5 y 6.

## RESULTADOS

En la Tabla I se muestran los resultados obtenidos para las vigas ensayadas bajo carga monotónica. Al comparar las cargas últimas de las vigas con traslapo respecto a la viga sin traslapo se puede apreciar el aumento de resistencia al incrementar la longitud de traslapo. Con 13 diámetros de traslapo se alcanza un 40 por ciento de la resistencia de la viga sin traslapo, en cambio un traslapo de 41 diámetro alcanza un 90% de dicha resistencia.

TABLA I

CARGA ULTIMA DE PROBETAS ENSAYADAS CON CARGA MONOTONICA

Viga	Espaciamiento* de estribos (cm)	Longitud de traslapo (cm)	Flecha máxima (mm)	Carga última (t)	$P_u/P_o^{**}$
S1-1	10	24	5.7	8.0	0.38
S1-2	15	24	4.9	8.0	0.38
S1-3	20	24	5.4	8.9	0.42
S2-1	10	36	7.0	11.0	0.52
S2-2	15	36	6.2	11.0	0.52
S2-3	20	36	7.6	12.0	0.57
S3-1	10	54	10.5	14.4	0.69
S3-2	15	54	7.9	14.0	0.67
S3-3	20	54	9.5	14.9	0.71
S4-1	10	74	16.0	19.4	0.92
S4-2	15	74	13.5	18.4	0.88
S4-3	20	74	19.5	19.4	0.92
Sin empalme	10	—	22.0	21.0	1.00

\* Zona de empalme

\*\*  $P_u$ : Carga última del espécimen;  $P_o$ : Carga última del espécimen sin traslapo.

La importancia del aumento de la longitud de traslape en la obtención de una mayor resistencia y deformación, lo cual se traduce en fallas menos violentas, se grafica en la Fig. 3.

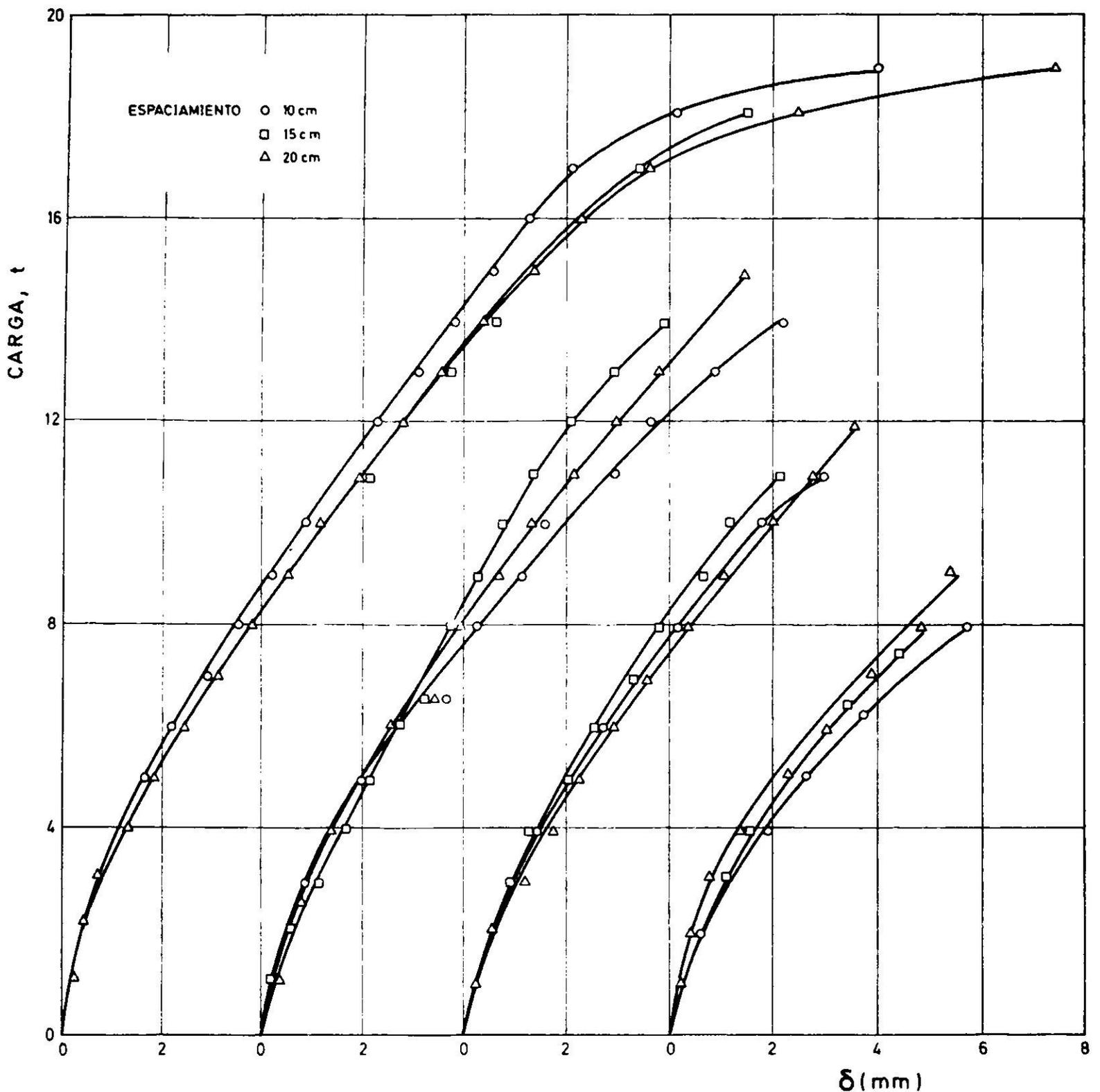


Fig. 3. Curvas carga-flecha.

Las Figs. 4, 5 y 6 muestran la diferencia de deformación registrada en un traslape corto (13 diámetros) y en uno largo (41 diámetros). La Fig. 6 refleja además que cerca de la falla la deformación se estabiliza en las cercanías del comienzo del traslape (G1), en cambio se acentúa alcanzando rápidamente la fluencia para el extremo del traslape (G4).

Las Figs. 7, 8 y 9 muestran la distribución de tensiones a lo largo del traslape. Para una primera etapa de carga (30-40% de  $P_u$ ) se aprecia una zona horizontal, que indica que hasta aquel nivel de carga la zona central actúa como si la armadura fuera continua. Posteriores niveles de carga eliminan la horizontalidad, obteniéndose en la falla una distribución triangular de tensiones. Se

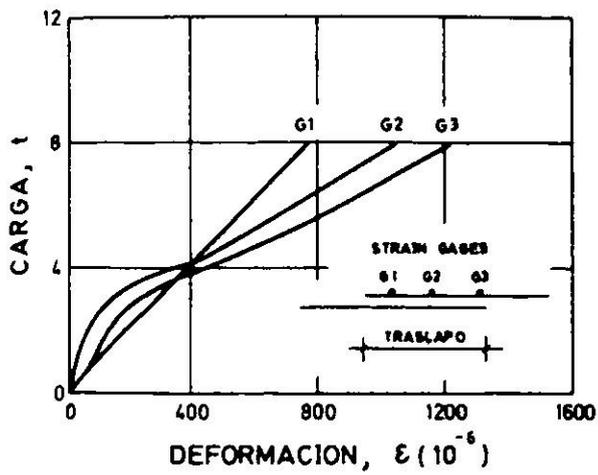


Fig. 4. Carga vs deformación a lo largo del empalme. Viga s1-1:  $l_s = 24$  cm  
 $s = 10$  cm

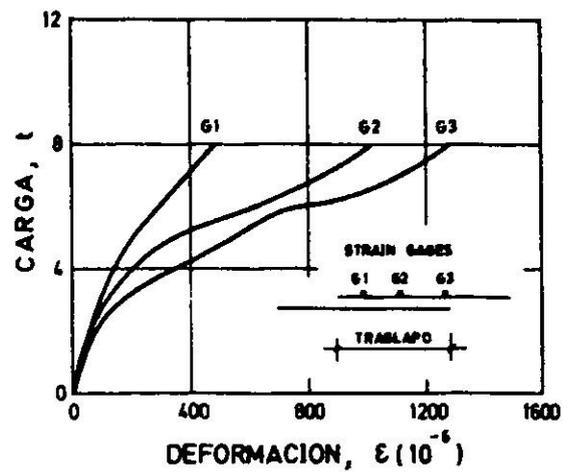


Fig. 5. Carga vs deformación a lo largo del empalme. Viga s1-2:  $l_s = 24$  cm  
 $s = 15$  cm

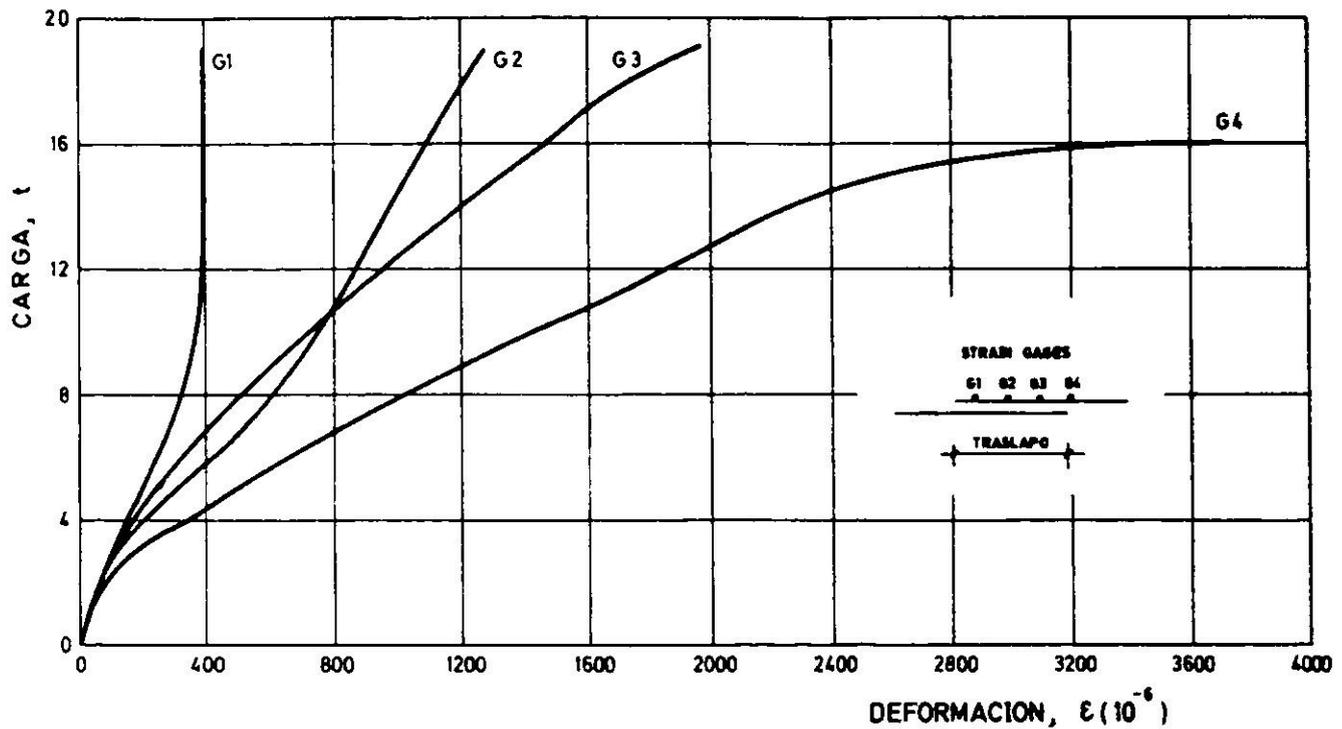


Fig. 6. Carga vs deformación a lo largo del empalme. Viga s4-3:  $l_s = 74$  cm  
 $s = 20$  cm

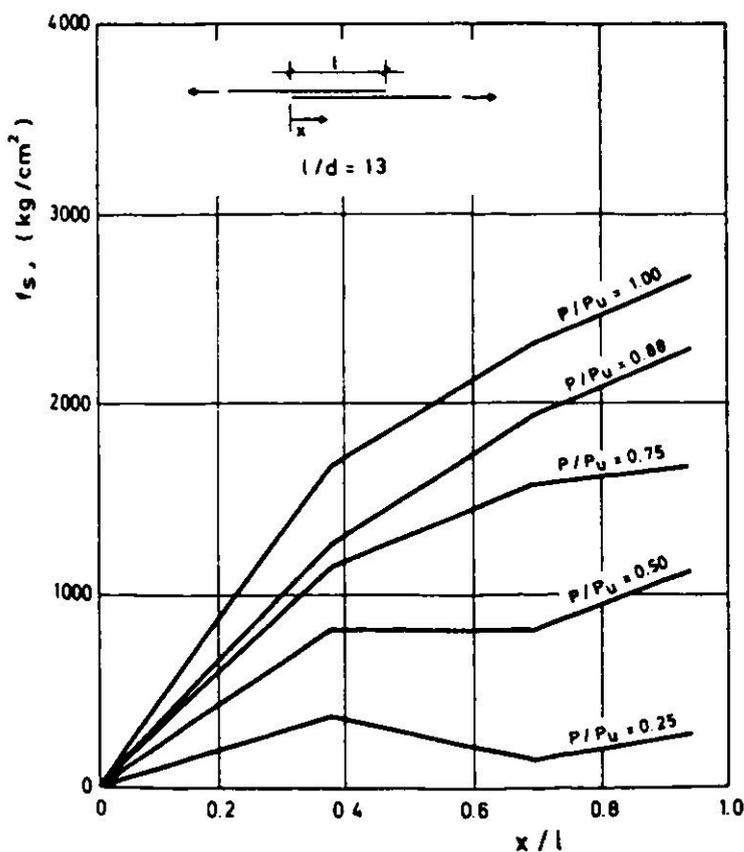


Fig. 7. Tensiones del acero en zona de traslape. Viga s1-1.

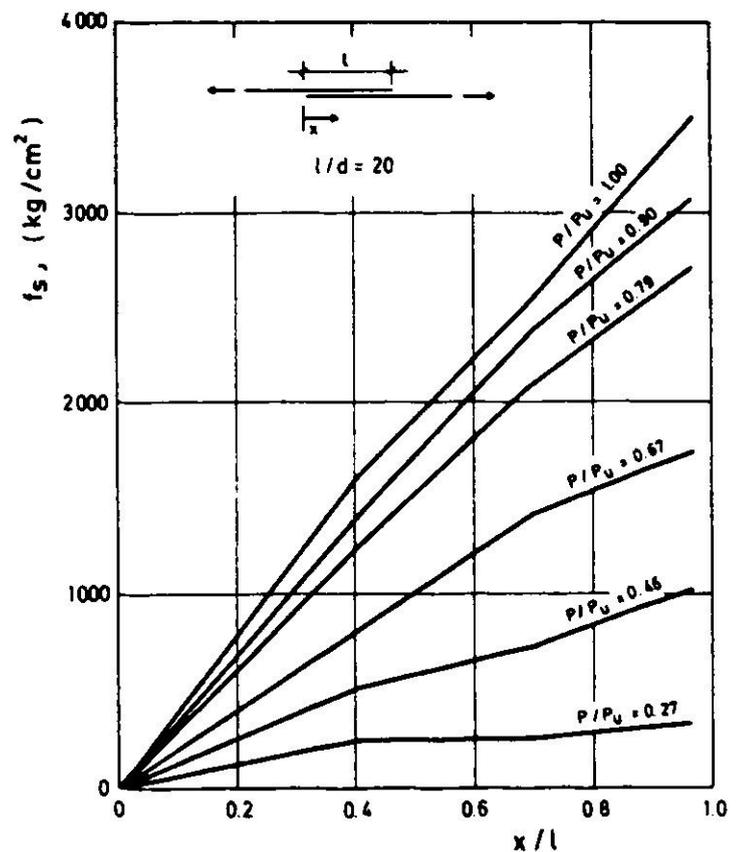


Fig. 8. Tensiones del acero en zona de traslape. Viga s2-1.

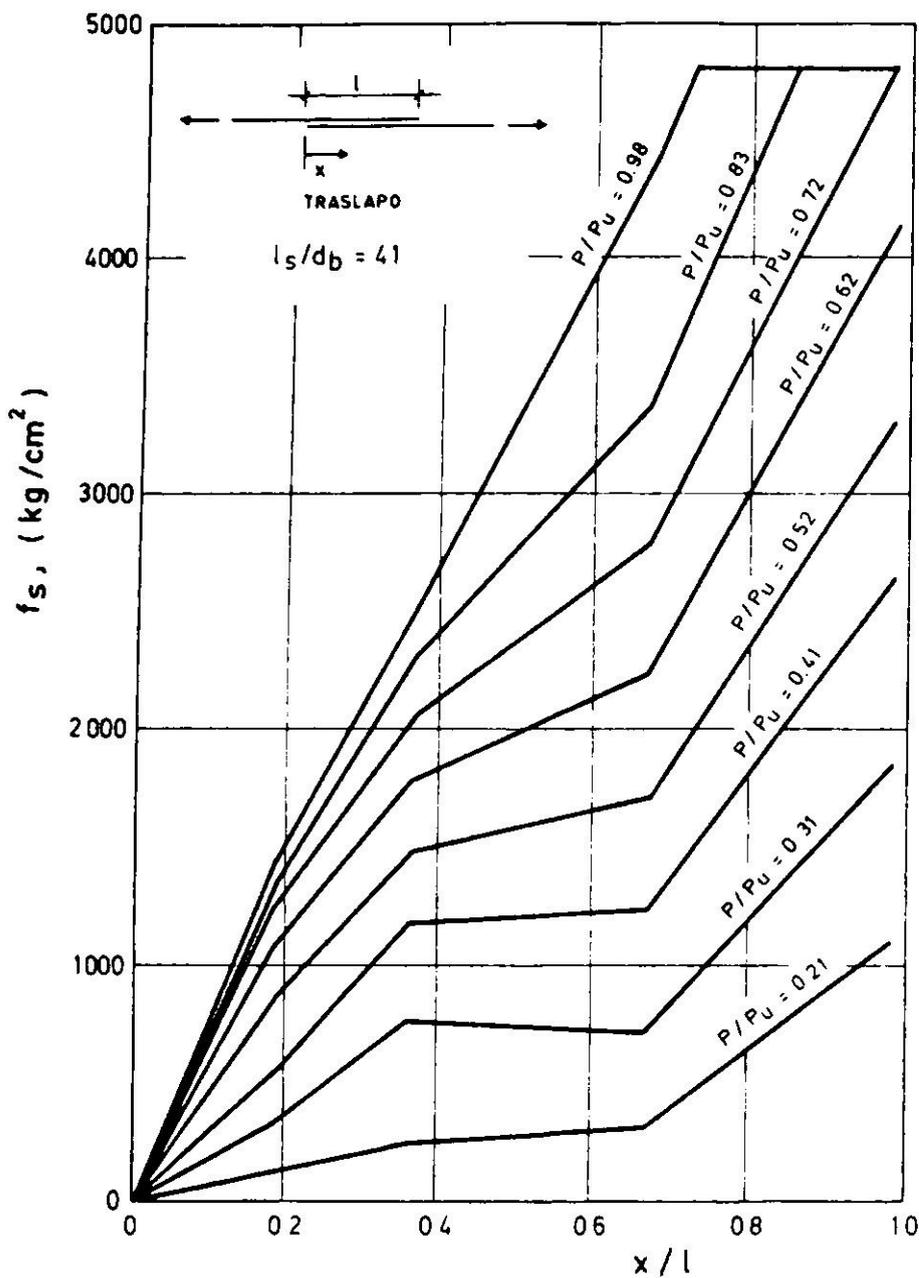


Fig. 9. Tensiones del acero en zona de traslapo. Viga s4-1.

aprecia también que sólo el traslapo de 41 diámetros alcanza la fluencia, a un nivel cercano al 80 por ciento de la carga última; y niveles posteriores de carga producen una extensión de la zona en fluencia.

Las Figs. 10, correspondiente a un traslapo de 13 diámetros, y 11, correspondiente a un traslapo de 41 diámetros, muestran el estado final de las probetas después de haber alcanzado la falla. En la Fig. 10 se observan dos grandes grietas verticales, ubicadas en los extremos del traslapo, y grietas longitudinales en las caras laterales y en el fondo, pero confinadas a la zona de empalme. En la Fig. 11, dada la mayor extensión de la zona de empalme, se observan varias grietas verticales, pero sobresalen las grietas en los extremos del traslapo. Tam-

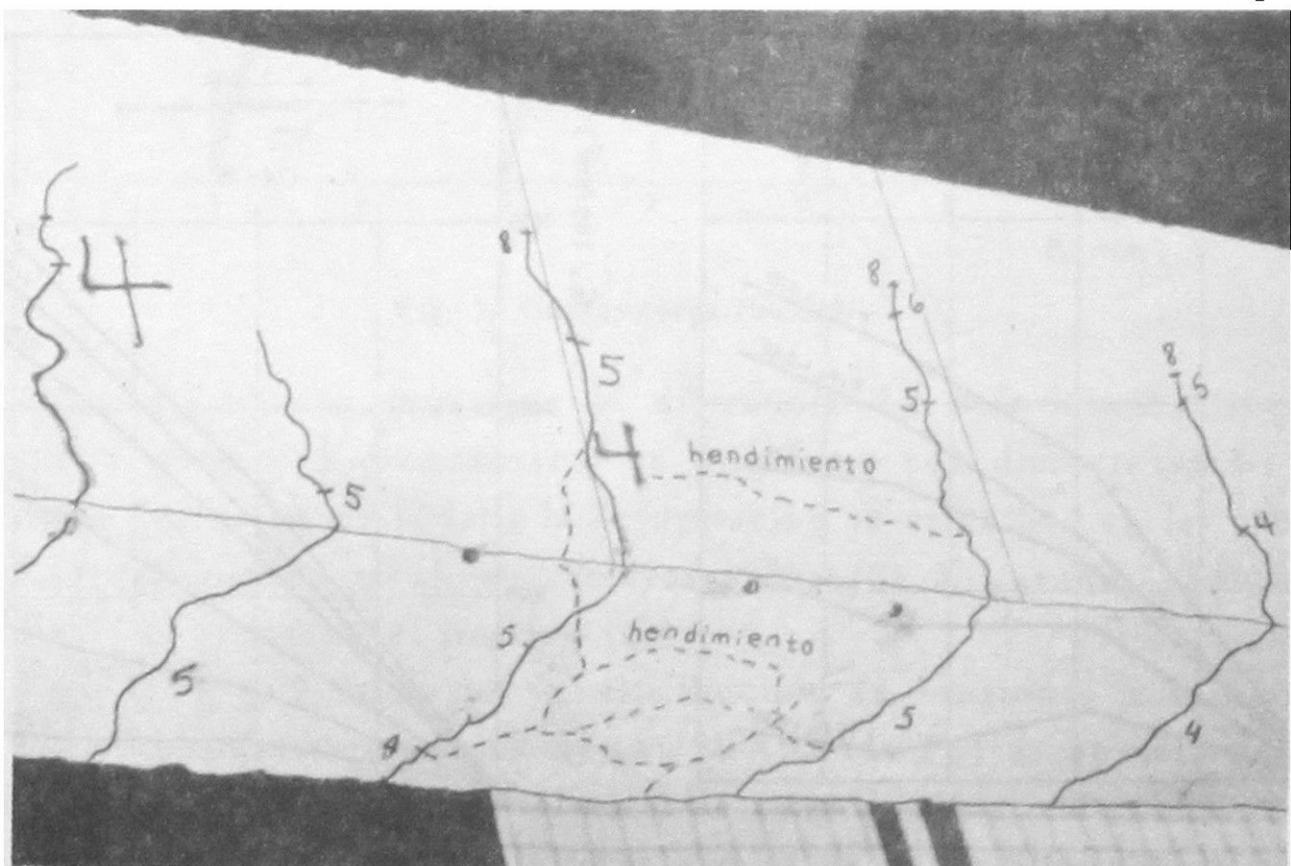


Fig. 10. Estado de agrietamiento final. Viga s1-3:  $l_s = 24$  cm  
 $s = 20$  cm

bién se observan grietas longitudinales en las zonas laterales y en el fondo; al igual que en el caso anterior, están confinadas a la zona de empalme. Todo lo anterior indica que los extremos del traslazo son tempranamente agrietados y que la falla se produce justamente en dichos extremos. Las grietas longitudinales se producen como consecuencia de la presión de los resaltes en el hormigón, debida al excesivo deslizamiento de las barras.

A manera de comparación se muestra en la Fig. 12 el agrietamiento de la probeta sin traslazo. Sólo se observan grietas verticales y grietas de corte; todas las grietas tienen un ancho menor que en el caso de traslazo.

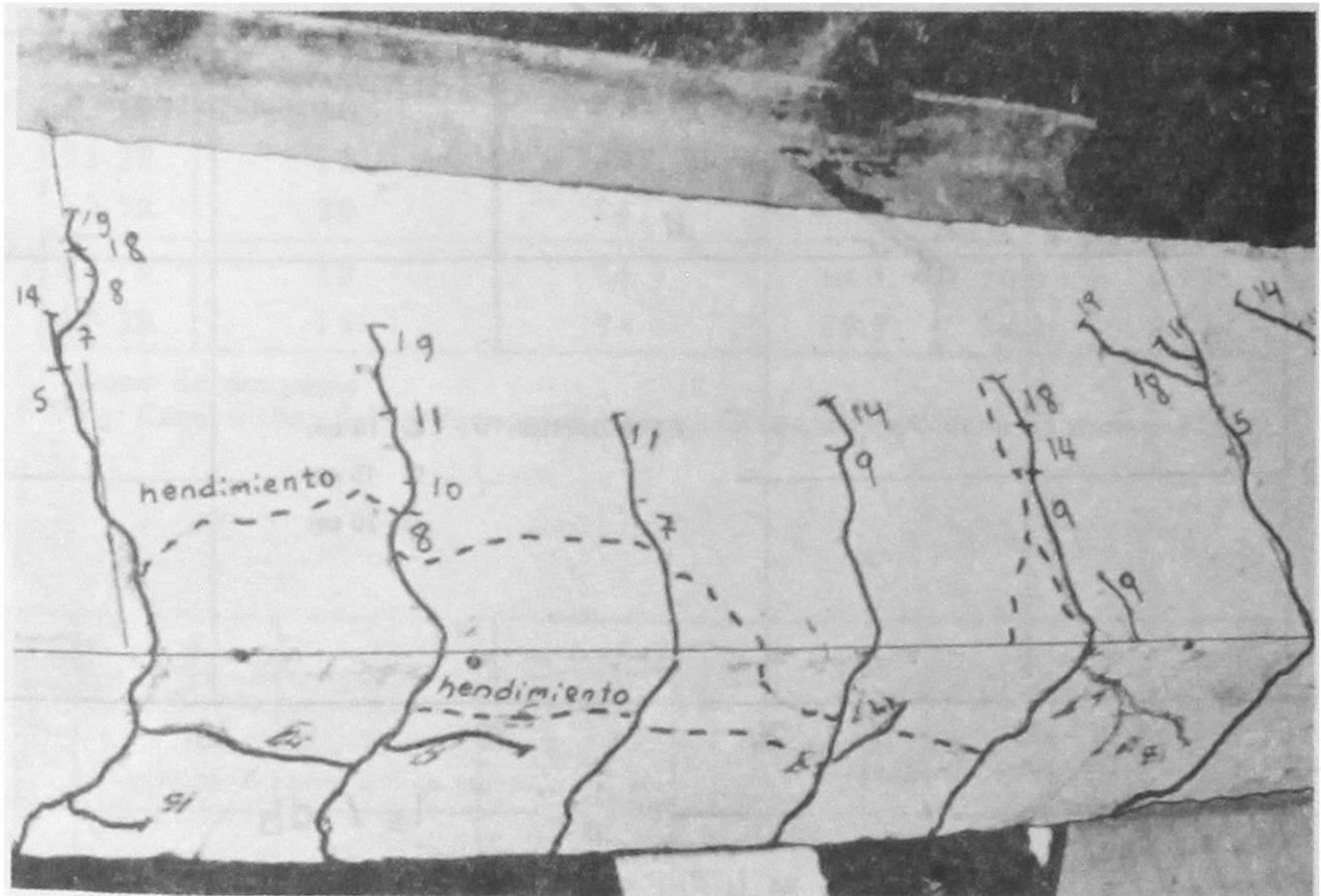


Fig. 11. Estado de agrietamiento final. Viga s4-1:  $l_s = 74 \text{ cm}$   
 $s = 10 \text{ cm}$

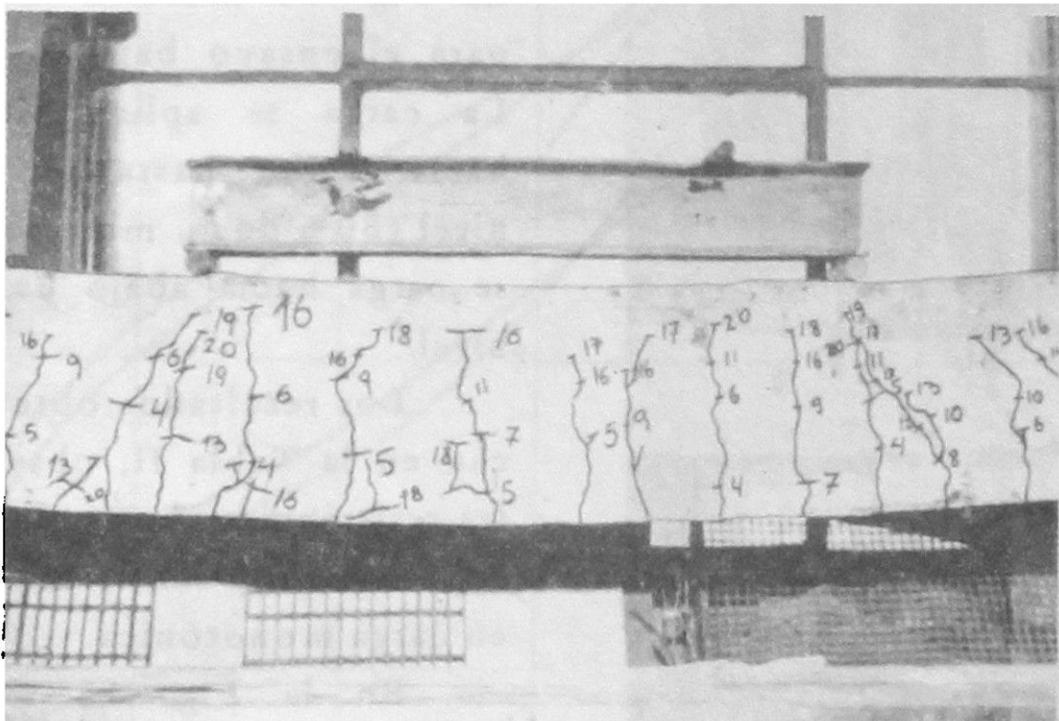


Fig. 12. Estado de agrietamiento final. Viga sin empalme.

En la Fig. 13 se observa una relación prácticamente lineal entre  $P_o/P_u$  y  $L_s/db$ . Dicha relación no será necesariamente lineal para longitudes de traslazo

mayores que 41 diámetros.

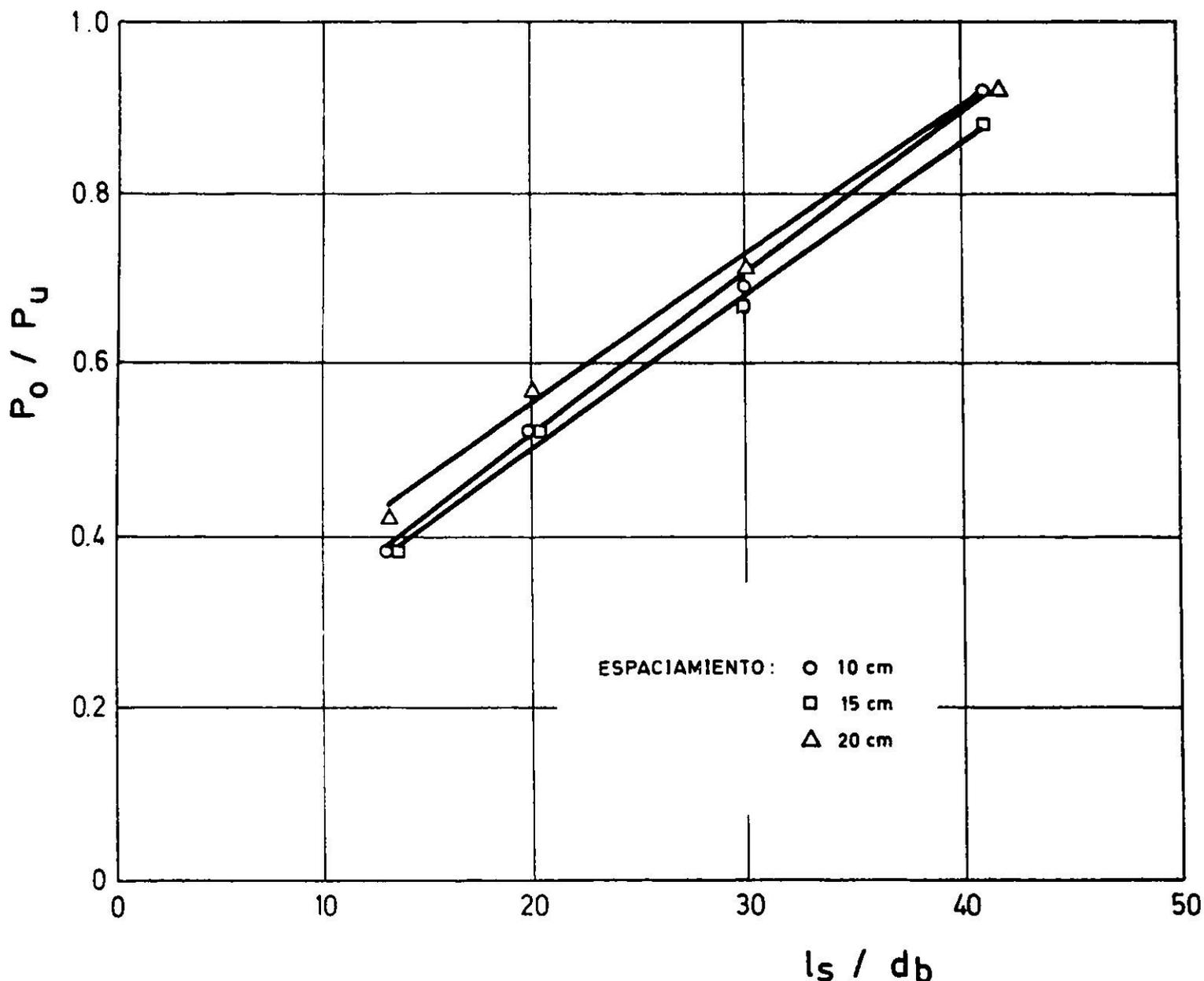


Fig. 13.  $P_0/P_u$  vs  $l_s/d_b$ , carga monotónica.

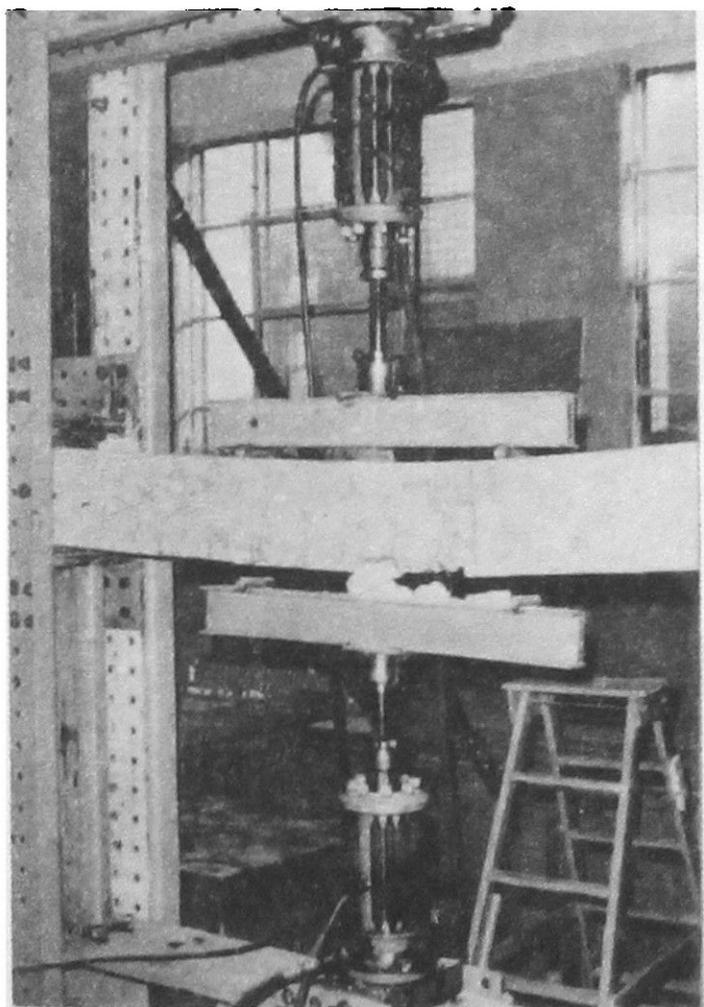


Fig. 14. Disposición de gatos hidráulicos.

### Carga reversible

La Fig. 14 muestra los dispositivos para el ensayo bajo carga reversible. La carga se aplica alternadamente hacia arriba hasta un determinado nivel (80% de  $P_u$  monotónica) y luego se carga hacia abajo hasta el mismo nivel.

Los resultados obtenidos se indican en la Tabla II, observándose que las resistencias alcanzadas por las probetas son muy similares a las obtenidas en carga monotónica.

En la Fig. 15 se muestra la curva carga-flecha para una viga con un traslape de 41 diámetros. Se aprecia una disminución acumulativa de rigidez a medida que aumenta el nú-

mero de ciclos.

TABLA II

CARGA ULTIMA DE PROBETAS ENSAYADAS CON CARGA REVERSIBLE

Viga	Espaciamiento* de estribos (cm)	Longitud de traslapo (cm)	Flecha máxima (mm)	Carga última (t)	$P_u/P_o^{**}$
S1-1R	10	24	10.5	9.9	0.47
S1-2R	15	24	8.8	7.0	0.33
S2-2R	15	36	11.8	10.0	0.48
S2-3R	20	36	11.1	11.9	0.57
S3-1R	10	54	18.2	17.0	0.81
S3-2R	15	54	16.4	16.8	0.80
S3-3R	20	54	15.6	16.5	0.79
S4-1R	10	74	30.0	20.0	0.95
S4-2R	15	74	28.5	18.2	0.87

\*Zona de empalme

\*\* $P_u$ : Carga última del espécimen;  $P_o$ : Carga última del espécimen sin traslapo = 21.0 t.

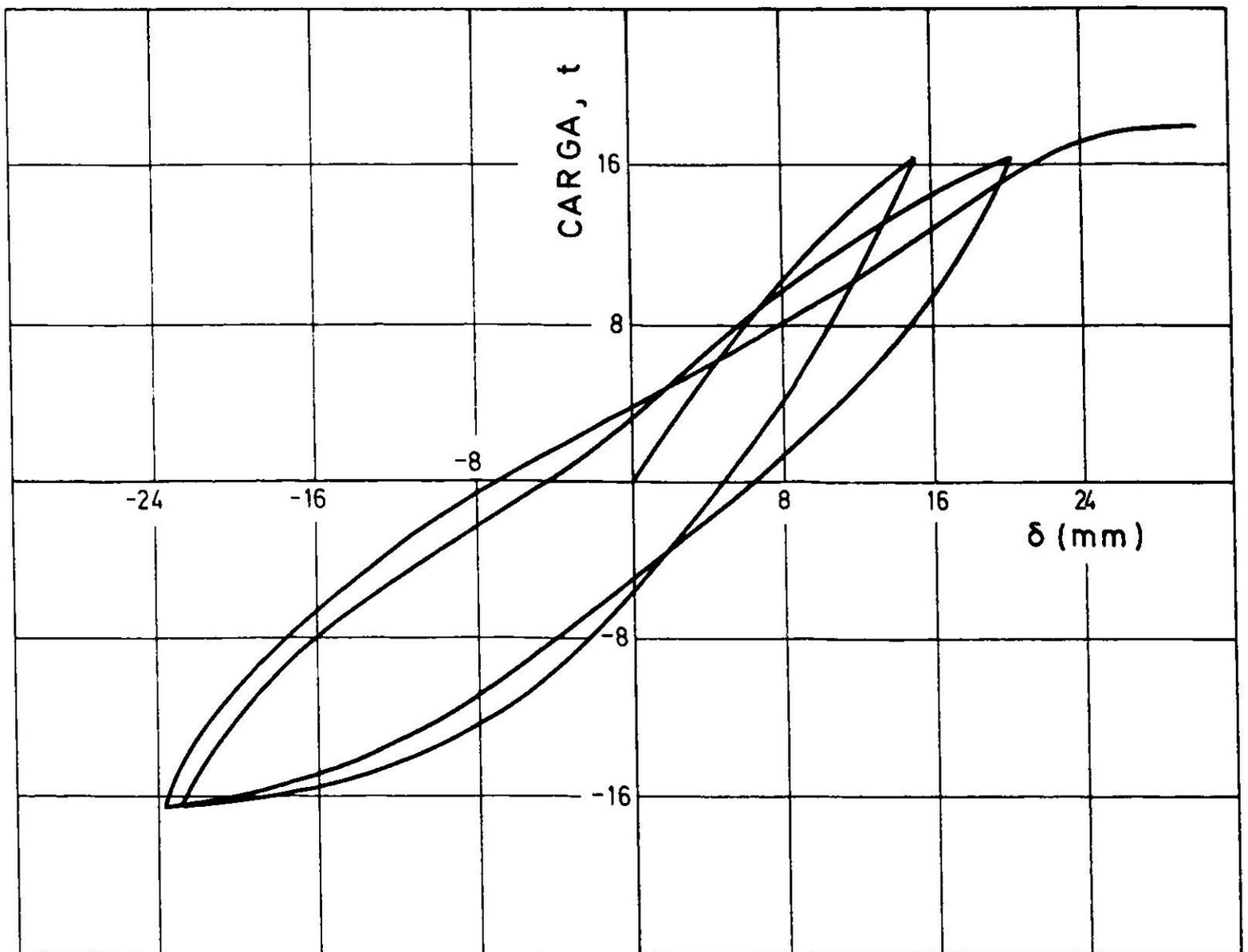


Fig. 15. Curva carga-flecha. Viga s4-1R:  $l_s = 74$  cm  
 $s = 10$  cm

Las Figs. 16 correspondiente a una longitud de traslapo de 13 diámetros, y 17 correspondiente a una longitud de traslapo de 41 diámetros, muestran un agrietamiento muy severo fuera de la zona de traslapo y también muestran una

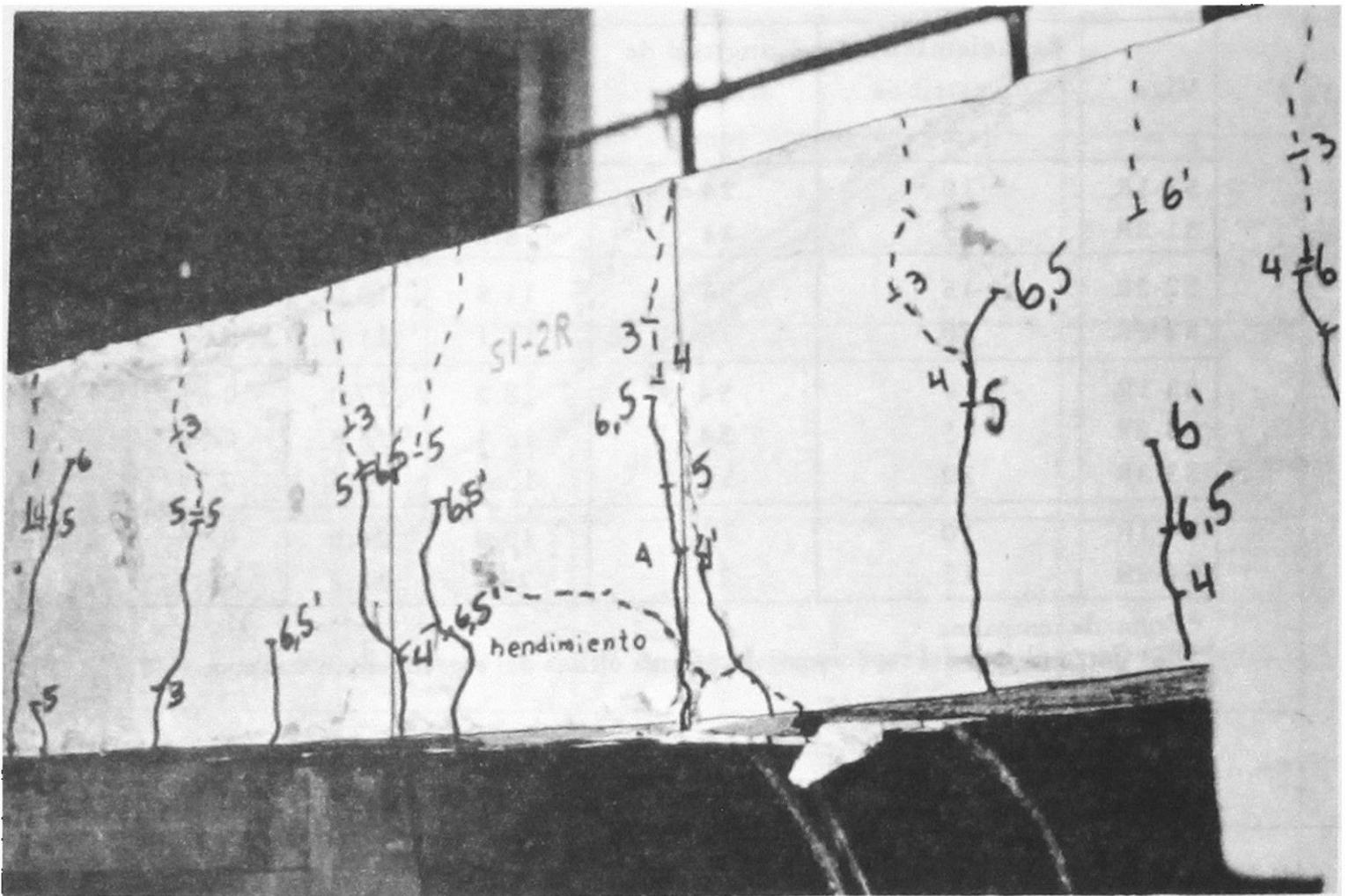


Fig. 16. Estado de agrietamiento final. Viga s1-2R:  $l_s = 24 \text{ cm}$   
 $s = 15 \text{ cm}$

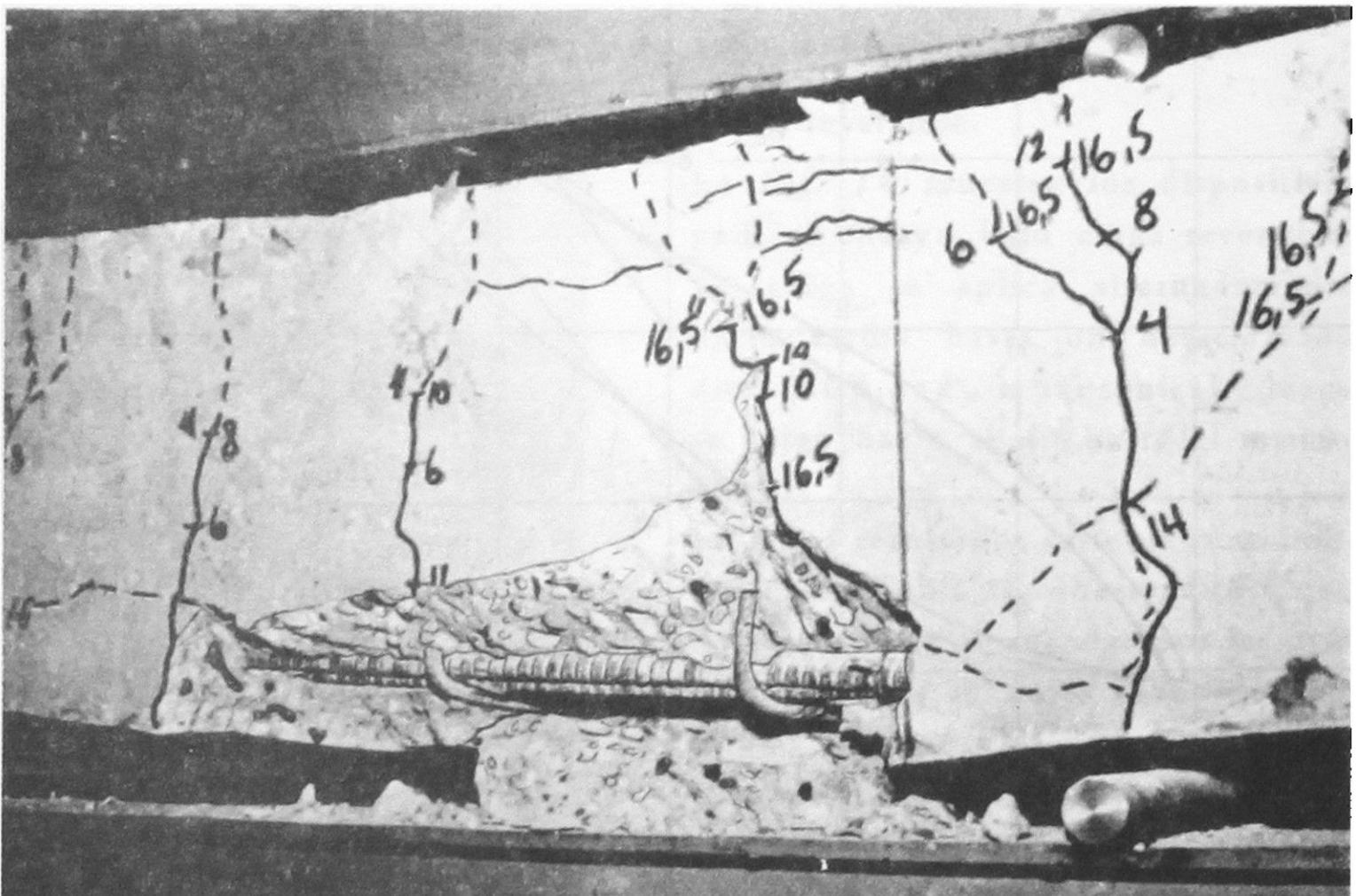


Fig. 17. Estado de agrietamiento final. Viga s4-2R:  $l_s = 74 \text{ cm}$   
 $s = 15 \text{ cm}$

tendencia a unirse de las grietas ubicadas dentro de la zona de traslapo. Las longitudes de traslapo grandes muestran una pérdida de recubrimiento como consecuencia de la excesiva presión de los resaltes en el hormigón.

La Fig.18 muestra la curva carga última vs flecha última para los dos tipos de carga: monotónica y reversible. Se aprecia, para cada longitud de traslapo, una resistencia similar, pero una mayor deformación en el caso de carga reversible.

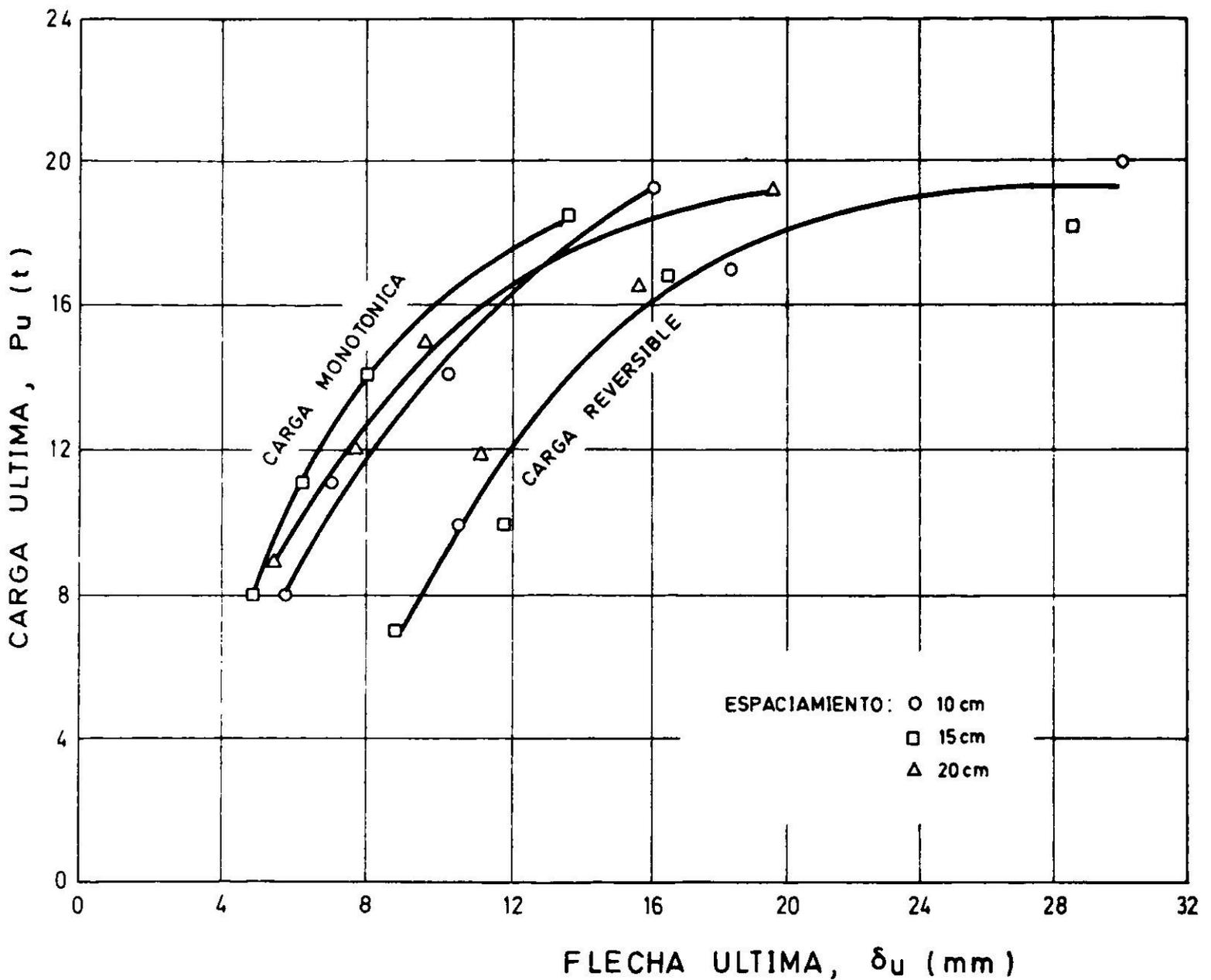


Fig. 18. Curvas  $P_u-\delta_u$ . Cargas monotónicas y reversible.

### CONCLUSIONES

#### Carga monotónica

Los resultados observados para las cuatro longitudes de traslapo indican que el espaciamiento de estribos no es relevante como variable para el rango estudiado (10, 15 y 20 cm).

La distribución de tensiones en el traslapo puede asimilarse a una distribución triangular que parte de cero en el extremo del traslapo y es máxima en el comienzo de éste. Todo esto válido para la carga última, siempre que no se haya alcanzado la fluencia al interior del traslapo.

La capacidad resistente de las probetas se ve incrementada con el aumento de la longitud de traslapo en forma aproximadamente lineal.

### Carga reversible

Las curvas carga-deformación de las probetas ensayadas muestran una rápida degradación de rigidez, y se hace notable el incremento de la deformación después de cada ciclo.

El espaciamiento de estribos tampoco es en este caso relevante como variable, al menos en el rango investigado.

La relación entre la carga última y la longitud de traslapo de cada probeta puede describirse como de un acelerado mejoramiento de la resistencia al aumentar la longitud de traslapo.

### Comparación de las normas ACI 318-77 (3), CEB-76 (5) y DIN 1045-78 (5)

Un cálculo de la longitud de traslapo para las probetas con sus características, según las tres normas, arroja los siguientes resultados:

ACI 318-77	:	$l_s = 49 d_b = 89$ cm
DIN 1045-78	:	$l_s = 105 d_b = 189$ cm
CEB-76	:	$l_s = 97 d_b = 174$ cm

La exagerada diferencia entre la norma americana y las europeas se debe principalmente al concepto de *condiciones de buena adherencia*. Por un lado el ACI expresa que sólo existen malas condiciones de adherencia en una barra cuando la distancia entre la barra y el borde inferior del hormigón fresco es mayor que 30 cm. Las normas europeas, CEB 76 y DIN 1045-78, por otro lado, son bastante más drásticas para definir las condiciones de buena adherencia.

La DIN 1045-78, para estas condiciones establece que tienen buena adherencia aquellas barras que están ubicadas horizontalmente y durante el hormigonado se encuentran a 25 cm como máximo con respecto al borde inferior del hormigón fresco. No obstante, reconoce que pueden existir condiciones de buena adherencia si la barra está ubicada como mínimo a 30 cm debajo del borde superior del elemento constructivo.

La CEB-76 establece que existen condiciones de buena adherencia en una barra cuando está ubicada en elementos de espesor inferior a 25 cm, o, en caso de encontrarse en un elemento de espesor superior a 25 cm, la barra está ubicada en la mitad inferior del elemento a más de 30 cm de su cara superior.

Las probetas en esta investigación fueron confeccionadas con el traslapo en la parte superior (a la inversa de como fueron ensayadas) para proteger los strain-gages durante el vibrado. Así, para las dos normas anteriores, este caso cae en una zona de mala adherencia.

Si consideramos el caso de traslapos que cumplen, para todas las nor-

mas, con las condiciones de buena adherencia, las longitudes de traslapo disminuyen considerablemente:

CEB-76 :  $l_s = 122$  cm (68 diámetros)

DIN 1045-78:  $l_s = 127$  cm (71 diámetros)

Luego la diferencia queda reducida a un 40 por ciento, todavía significativa, con respecto al código ACI 318-77.

Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que la norma ACI refleja en forma más aproximada lo que sucede en la práctica, ya que un traslapo de 41 diámetro prácticamente alcanza la resistencia de un aprobeta sin traslapo, y el nivel de daños no es considerable.

### REFERENCIAS

1. THOMAS, J. *Estudio experimental de empalmes traslapados sometidos a tracción*, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, 1982.
2. ORANGUN, C; JIRSA, J. y BREEN, J. A reevaluation of test data on development length and splices, *ACI Journal*, Proceedings Vol. 74, n° 3, pp. 114-122, marzo 1977.
3. ACI COMMITTEE 318, *Building code requirements for reinforced concrete* (ACI 318-77), ACI 1977.
4. CODE - MODELE CEB-FIP pour les structures en beton, 1978.
5. DIN 1045. *Hormigón y hormigón armado: cálculo y realización*. I.R.A.M. Buenos Aires, 1979.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar sus agradecimientos al Servicio de Desarrollo Científico, Artístico y de Cooperación Internacional de la Universidad de Chile, que financió parte de este trabajo, a través del Proyecto I-994-823-5.

### INFLUENCE OF TIE BARS IN DEVELOPMENT LENGTH OF LAP SPLICES FOR REINFORCED CONCRETE

#### SUMMARY

*Splices made of overlapping bars play a very important part in large members of reinforced concrete subjected to tensile forces, as for instance in earthquake*

*resistant walls, earth retaining walls, etc.*

*Splices behaviour depends on many factors. In this paper the influence of the following factors are studied: a) spacing of tie bars, b) length of overlapping, and c) load history.*

*The results show that length of overlapping is the most significant factor while spacing of tie bars and load history are almost irrelevant. Code of practice ACI 318-77, DIN 1045 y CEB-76 prescribe very different overlapping lengths for the same conditions. The results of this work show that ACI 318-77 is closer to experimental values than european codes.*