

MODELO PARA LA OBTENCION DE CURVAS
CARGA-DESPLAZAMIENTO EN ELEMENTOS DE
CONCRETO REFORZADO SUJETOS A CARGAS
CICLICAS.



León Bello Fermín.

8980442-3

MODELO PARA LA OBTENCION DE CURVAS CARGA-DESPLAZAMIENTO EN
ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO SUJETOS A CARGAS CICLICAS.

F. León.

1.INTRODUCCION.

En este trabajo de investigación se presenta la recopilación de modelos analíticos existentes en la bibliografía que intentan reproducir los fenómenos experimentales generados en los ensayos de conexiones viga-columna de concreto reforzado ante cargas cíclicas. Los modelos analíticos se refieren no solo a especímenes ensayados en el Instituto de Ingeniería sino a especímenes de diversos estudios experimentales realizados en diversos países.

El modelo analítico propuesto por Harajli (ref.9), está basado en los mecanismos que contribuyen a la deformación de la conexión viga-columna de concreto reforzado sujeta a ciclos de carga, los mecanismos que utiliza son:

a) La rotación inelástica de la viga con respecto a la columna, que ocurre en el extremo de la viga conectado a la columna.

b) El deslizamiento relativo del acero de refuerzo con respecto al concreto circundante en el interior de la conexión.

Este modelo se utiliza en conjunción con el modelo de

deslizamiento relativo del acero de refuerzo, el cual es propuesto en la ref.10, por Harajli y Mukkadam; este último modelo se utiliza para calcular el deslizamiento de las barras de refuerzo en una conexión viga-columna interior; el modelo se basa en los siguientes conceptos:

a) El equilibrio existente entre el acero en tensión y/o compresión y las fuerzas de adherencia localizadas a lo largo de la barra de anclaje.

b) La relación entre la fuerza local de adherencia -desplazamiento local para el refuerzo.

En la ref.5, se realiza una evaluación de algunos modelos analíticos propuestos para la predicción de las relaciones esfuerzo de adherencia-deslizamiento. Esta evaluación se realiza haciendo un análisis detallado de cada modelo; correspondiendo esto a hacer observaciones con respecto a la mejor aplicación de cada modelo y las ventajas o desventajas que representa uno con relación a otro.

Por otra parte en la misma ref.5, se propone una ley para esfuerzo de adherencia-deslizamiento, así como la aplicación de la misma a resultados experimentales. Esta ley se debe al desarrollo y calibración de un modelo analítico propuesto en esta misma ref.5.

Cabe hacer mención de que entre las conclusiones a las que se llega en dicha ref.5, es muy notorio el énfasis que se le da al problema de la pérdida de adherencia, así como también el

establecimiento de que los modelos analíticos constituyen una herramienta fundamental en la reproducción de fenómenos experimentales y que la calibración de ellos ayudará a una mejor comprensión en la investigación del comportamiento de las conexiones ante cargas cíclicas.

2. APLICACION DEL MODELO PROPUESTO.

De la recopilación realizada, se manejó un modelo analítico principal, el cual es capaz de reproducir las curvas histeréticas carga desplazamiento ($P-\Delta$) de los especímenes ensayados. Este modelo fue propuesto originalmente en la ref.9, y se basa principalmente en las rotaciones elásticas y plásticas de ciertas secciones del espécimen; la primera rotación considerada es la relativa de la viga respecto a la columna, denominada (θ_f) y la rotación plástica en la región inelástica de la viga, denominada (θ_p). En la fig.1 se esquematizan estas variables, las cuales serán discutidas a continuación:

Para la obtención de la rotación relativa de la viga con respecto a la columna (θ_f), el modelo se basa en los resultados obtenidos en el modelo de deslizamiento de la barra de refuerzo en una conexión interior viga-columna de concreto. El modelo de deslizamiento consiste en una barra de acero de refuerzo alojada en el interior de una conexión viga-columna interior, dicha barra se encuentra sujeta a fuerzas de tensión o compresión (f_{s01} y

fs02), en ambos extremos de la barra, Fig.2.

Estas fuerzas en los extremos de la barra representan los esfuerzos a los que están sometidas las barras de refuerzo en algún nivel de carga durante la historia de cargas. La conexión se subdivide en regiones: dos primeras regiones exteriores no confinadas extendiéndose una distancia (L_u), y una región confinada que se extiende a una distancia (L_c), en el interior de la conexión fig.2.

Los parámetros y variables necesarios para la calibración de los modelos se obtienen a partir de las curvas esfuerzo-deformación unitaria para el acero y el concreto en el caso del modelo de la junta, y para el modelo de deslizamiento se obtiene el esfuerzo local de adherencia y su correspondiente deslizamiento local, a partir de la idealización de la relación adherencia local-deslizamiento local fig.3.

Un inconveniente que se presenta al utilizar la idealización adherencia local-deslizamiento local, es que solo se cuenta con la idealización para cargas en un solo sentido a tensión y no se tiene la idealización de adherencia local-deslizamiento local bajo cargas cíclicas reversibles.

En el apéndice A se presentan las expresiones que definen los valores de los parámetros obtenidos para el modelo de deslizamiento, obteniéndose las expresiones para (θ_f), (θ_p) y Δ .

En la calibración de los modelos analíticos se utilizó la idealización del modelo de deslizamiento para el caso de una

conexión exterior viga-columna de concreto reforzado, en la idealización para conexiones exteriores la diferencia que se presenta es que la zona no confinada a compresión (L_u), se sustituye por un gancho a 90 grados como se muestra en la fig.4.

La conexión exterior viga-columna utilizada para la evaluación de los parámetros necesarios para calibrar los modelos tanto para el de deslizamiento como para el modelo de la junta, se obtuvieron a partir de los registros del ensaye del espécimen D-7, tomando en cuenta el efecto de la carga reversible.

Los registros experimentales utilizados para representar el comportamiento histerético de una barra de la viga anclada en la conexión viga-columna, fueron los obtenidos por los micrómetros colocados en el yugo inferior y por un deformímetro eléctrico pegado a la barra en la zona del plano común entre viga y columna Fig.5.

De los micrómetros se dedujo el deslizamiento de la barra; y el nivel de carga al que fue sometida dicha barra se obtuvo del deformímetro eléctrico. Para obtener los ciclos histeréticos de la barra se redujo la historia de deformaciones del deformímetro eléctrico mostrado en Fig.6. La relación esfuerzo -deformación para el concreto se tomó considerando el confinamiento en la zona del nudo, dicha gráfica se puede ver en la fig.7.

La conexión del espécimen D-7 posee una longitud total (L) de 32.50 cm, compuesta por una porción no confinada de concreto (L_u) de 4.5 cm y una porción confinada (L_a) igual a 28 cm fig.8, el

refuerzo con barras #6. Los valores de relación de esfuerzo local de adherencia- deslizamiento local, se obtuvieron a partir de las gráficas obtenidas en un estudio realizado sobre dicha relación, para diferentes números de barras ref.11.

De acuerdo a estas gráficas, para barras de refuerzo del #6, ancladas en concreto confinado con un f'_c de 300 Kg/cm², el esfuerzo máximo de adherencia (q_{max}) es de 13.5 N/mm², que es igual a 137 Kg/cm², y su correspondiente deslizamiento local es de 1 mm fig.9. El parámetro (α) es un factor característico que depende del tipo de confinamiento, para nuestro caso por tratarse de confinamiento a base de estribos rectangulares $\alpha = 0.40$.

Por otra parte, para determinar el parámetro (k) se utilizaron los siguientes factores (f) para $f(q_{max})$; $f=1.0$, 0.75 , y 0.50 , generándose tres diferentes valores para (q_{max}), estos valores son:

$$q_{max} = 173.50 \text{ Kg/cm}^2$$

$$q_{max} = 103.20 \text{ Kg/cm}^2$$

$$q_{max} = 68.80 \text{ Kg/cm}^2$$

Para aplicar el modelo de deslizamiento a conexiones viga-columna exteriores a los ensayos llevados a cabo en nuestro proyecto, se hace la siguiente propuesta: A pesar de que las propiedades correspondientes a concretos y aceros de la relación esfuerzo local de adherencia-deslizamiento local son distintas a las que se tienen en México, se puede aplicar el factor de $(0.75$

q max), a las condiciones nacionales, para tener congruencias entre los resultados y tratar de evitar así, las discrepancias entre la calidad de los materiales.

Aplicando el modelo de deslizamiento con los parámetros siguientes: $f=0.75$; $q_{max}=137.50 \text{ Kg/cm}^2$; $S_1=0.05\text{cm}$; $e=2.718$; $\alpha = 0.40$; se obtiene el siguiente valor del parámetro (k) , utilizando la ecuación (1) (ver apéndice A).

$$k= 1208.04 \text{ Kg/cm}^2$$

Este valor de k se utiliza para ambos sentidos de la carga reversible. Los resultados obtenidos para el modelo de deslizamiento, para el cual se utilizaron los parámetros mencionados anteriormente, se generaron aplicando las ecuaciones 1 a 7 del apéndice A, dichos resultados se muestran en las tablas I a IV. En dichas tablas, para la obtención de (fs_01) se utiliza la gráf.1 en la cual se entra con la deformación del acero longitudinal de la viga en el plano común, y se obtiene el valor de la carga. Posteriormente con esta deformación se entra a la gráf.2 y se obtiene el valor de (fs_01) .

A continuación, utilizando los valores proporcionados por el modelo de deslizamiento y sustituyéndolos en las ecuaciones 8, 9 y 10 del apéndice A, se obtienen los resultados proporcionados en las tablas V y VI, de donde finalmente se obtiene la deflexión de la viga correspondiente al nivel de carga.

Al calcular gran número de puntos y respetando la convención de los aceros positivo y negativo de la sección transversal de la viga, es posible obtener los ciclos carga-desplazamiento, los cuales se muestran en las figs.10 y 11, las cuales corresponden a las curvas experimental y teórica respectivamente del espécimen D-7.

3. CONCLUSIONES.

Para el desarrollo de los modelos mencionados anteriormente se deben tener en cuenta algunos factores importantes que influyen en el comportamiento histerético de conexiones viga-columna de concreto reforzado bajo cargas cíclicas. Estos factores pueden utilizarse además, para desarrollar otros modelos que reproduzcan de una manera confiable el comportamiento histerético de miembros de concreto reforzado para la predicción del comportamiento de conexiones viga-columna en estructuras.

Es posible que en estudios de respuesta dinámica de estructuras se puedan utilizar los componentes de los modelos para generar otros que puedan reproducir el comportamiento de las conexiones viga-columna ante acciones dinámicas o, en su defecto, establecer qué influencias le produce el comportamiento de dichas conexiones a los elementos estructurales adyacentes a ellas.

Una limitación importante que se tiene en la calibración del modelo de deslizamiento del acero de refuerzo es la utilización

de la idealización de la relación empírica adherencia local-deslizamiento local del acero de refuerzo, debido a que esta idealización solo toma en consideración la acción para carga cíclica y monótona en una sola dirección y no toma en cuenta la acción cuando se trata de carga cíclica reversible; esta limitación tiene su origen en la dificultad que se tiene al tratar de realizar experimentos que sean capaces de registrar la relación adherencia local-deslizamiento para ciclos de carga reversibles o sea que se tengan alternadamente cargas a tensión y a compresión en las barras ancladas en especímenes de concreto.

Por otra parte, con relación al modelo de la junta, la limitación a la que se encuentra sujeta la calibración de este modelo, es que la curva esfuerzo-deformación unitaria para el concreto, solo toma en cuenta nuevamente la acción para carga cíclica y monótona en un solo sentido a compresión y no considera la acción para carga cíclica reversible a tensión.

Existe una buena aproximación entre ambas curvas, concluyéndose que el modelo de Harajli es suficientemente aproximado y puede ser empleado para predecir el comportamiento de uniones viga-columna de concreto reforzado.

REFERENCIAS.

1. Baeza, J. "Comportamiento de Conexiones Viga-Columna de Concreto Reforzado." Informe Interno, Instituto de Ingeniería, UNAM, Junio 1988.
2. Baeza, J., León, F., Meli, R. "Comportamiento de Elementos de Concreto ante Repeticiones de Cargas Laterales." Informe Interno, Instituto de Ingeniería, UNAM, Abril 1989.
3. Ramirez, J., "Estudio Sobre el Comportamiento de Conexiones Viga-Columna de Concreto Reforzado." Tesis Profesional, Universidad Autónoma de Puebla, Noviembre 1987.
4. León, F., "Fenómenos Observados en el Comportamiento de Uniones Viga-Columna de Concreto Reforzado Sujetas a Cargas Cíclicas." Tesis Profesional, Universidad Autónoma de Puebla, Septiembre 1988.
5. Esteva, J. A., "Estudios Analíticos Sobre la Pérdida de Adherencia en Uniones Viga-Columna de Concreto Reforzado." Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM, Octubre 1989.
6. Vicente, O. T., "Comportamiento de Conexiones Viga-Columna de

Concreto Reforzado Ante Cargas Cíclicas Reversibles." Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM, Febrero 1990.

7. Su, J., "Algunas Observaciones Sobre el Pandeo del Refuerzo Longitudinal de Elementos de Concreto." Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM, Enero 1990.
8. Meli, R., Baeza, J., Rodriguez, M., "Comportamiento Sísmico de Elementos de Flexión Reforzados con Diferentes Tipos de Aceros." Informe Interno, Instituto de Ingeniería, UNAM, Diciembre 1982.
9. Harajli, M. H., "Behavior of Partially Prestressed Concrete Joints Under Cyclic Loading." Journal of Structural Engineering, Vol.114 No.11, November 1988.
10. Harajli, M. H., Mukkadam, M., "Slip of Steel Bars in Concrete Joints Under Cyclic Loading." Journal of Structural Engineering, Vol.114 No.9, September 1988.
11. Eligehausen, R., Popov, E. P., Bertero, V. V., "Local Bond Stress-Slip Relationship of Deformed Bars Under Generalized Excitations." Report No. UCB/EERC-83/23, University of California, Berkeley, California, 1983.

TABLAS.

Carga	k	K1	fsol	qa	fsa	K2	fsx	St
ton.	kg/cm3	cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2		kg/cm2	cm.
4	1208.04	.008697	884.2	237.62	817.24	.19101	367.5	.21290
8	1208.04	.008697	1768.4	475.26	1634.5	.38203	735.02	.40537
12	1208.04	.008697	2652.6	712.9	2451.7	.57303	1102.5	.60731
16	1208.04	.008697	3536.8	950.5	3268.9	.76403	1470.1	.80483
20	1208.04	.008697	4421.0	1188.1	4086.3	.95508	1837.6	1.0034
24	1208.04	.008697	5305.3	1425.8	4903.5	1.1460	2205.1	1.2037

TABLA I **Valores obtenidos para los parámetros del modelo de deslizamiento, para el acero de refuerzo superior sujeto a tensión, para carga fuerte.**

Carga	k	K1	fsol	qa	fsa	K2	fsx	Sb
ton.	kg/cm3	cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2		kg/cm2	cm.
4	1208.04	.01230	673.7	92.13	621.80	.07196	273.04	.09136
8	1208.04	.01230	1347.4	184.26	1243.53	.14390	546.10	.16419
12	1208.04	.01230	2021.1	276.40	1865.30	.21562	819.10	.24539
16	1208.04	.01230	2694.7	368.50	2487.01	.28780	1092.15	.321755
20	1208.04	.01230	3368.4	460.63	3108.80	.35875	1365.20	.39929
24	1208.04	.01230	4042.1	552.80	3730.50	.43169	1638.10	.47638

TABLA II Valores obtenidos para los parámetros del modelo de deslizamiento, para el acero de refuerzo inferior sujeto a compresión, para carga fuerte.

Carga	k	K1	fso1	qa	fsa	K2	fsx	St
ton.	kg/cm3	cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2		kg/cm2	cm'
2	1208.04	.01230	859.80	117.60	793.6	.09184	348.40	.11291
4	1208.04	.01230	1719.50	235.10	1586.90	.18364	697.10	.21076
6	1208.04	.01230	2579.30	352.70	2380.50	.27547	1045.50	.30918
8	1208.04	.01230	3439.10	470.30	3174.10	.36731	1393.80	.40735
10	1208.04	.01230	4298.80	587.80	3967.50	.45912	1742.50	.50628
12	1208.04	.01230	5190.50	709.80	4790.45	.55436	2103.70	.61996

TABLA III

Valores obtenidos para los parámetros del modelo de deslizamiento. para el acero de refuerzo superior sujeto a tensión, para carga débil.

Carga	k	K1	fsol	qa	fsa	K2	fsx	Sb
ton.	kg/cm3	cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2		kg/cm2	cm.
2	1208.04	.00869	148.60	39.90	137.30	.03209	61.80	.04785
4	1208.04	.00869	297.20	79.90	274.70	.06420	123.50	.08092
6	1208.04	.00869	445.80	119.80	412.10	.09632	185.30	.11411
8	1208.04	.00869	594.50	159.80	549.50	.12843	247.10	.14792
10	1208.04	.00869	743.10	199.70	686.80	.16052	308.90	.18071
12	1208.04	.00869	897.20	241.10	829.30	.19393	372.90	.23231
14	1208.04	.00869	1046.70	281.30	967.40	.22611	435.10	.26627

TABLA IV

Valores obtenidos para los parámetros del modelo de deslizamiento, para el acero de refuerzo inferior sujeto a compresión, para carga débil.

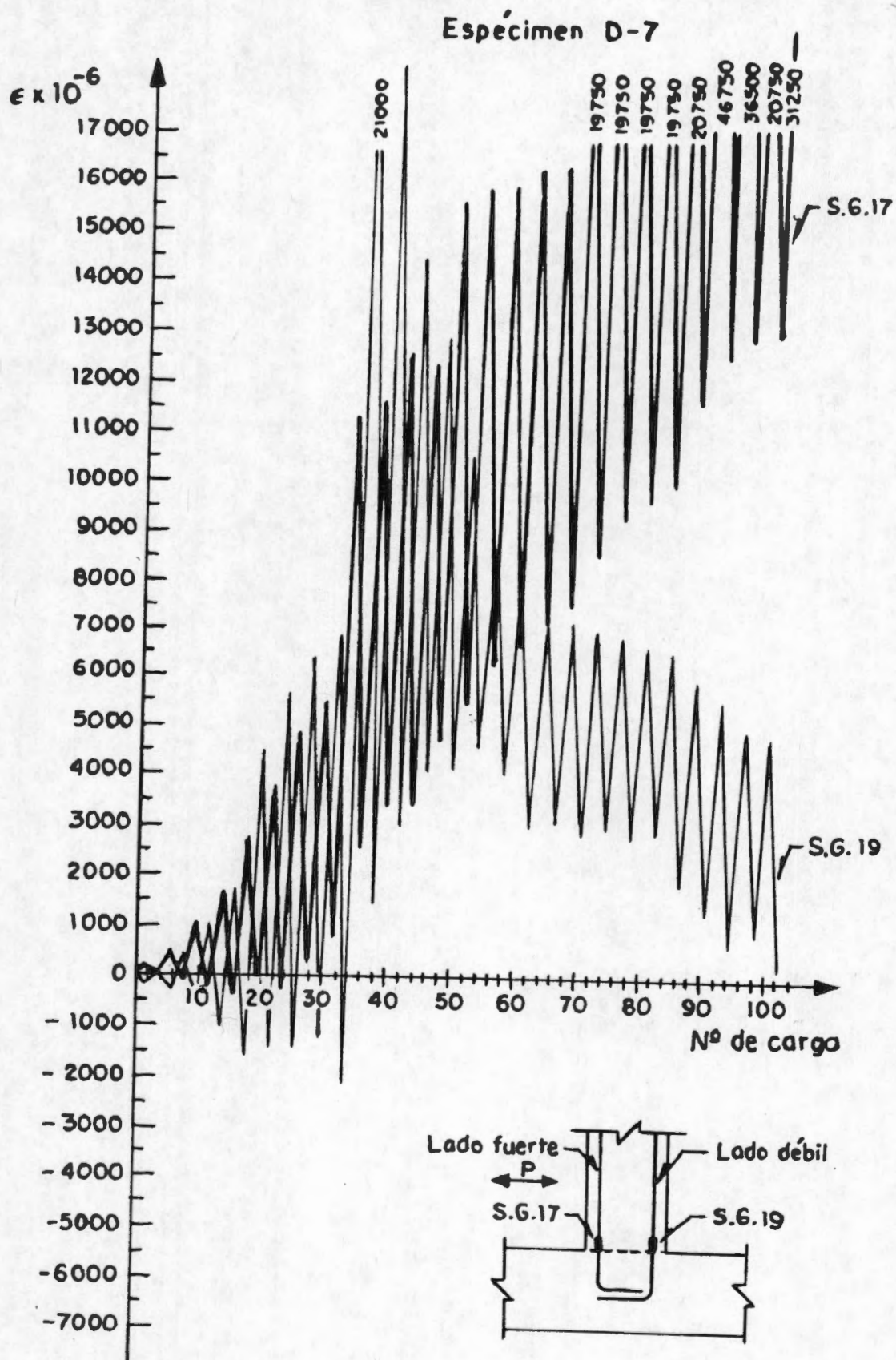
Carga	St	Sb	ep	ef	Δe	Δ
ton.	cm	cm	rad.	rad.	cm	cm
4	.21290	.09136	.000176	.002894	.043219	.546541
8	.40537	.16419	.000088	.005742	.086437	1.07254
12	.60731	.24539	.000176	.008617	.129656	1.61161
16	.80483	.32175	.000615	.011502	.172875	2.16924
20	1.0034	.39929	.000820	.014384	.216093	2.71512
24	1.2037	.47638	.002489	.017318	.259312	3.34016

TABLA V Valores obtenidos para los parámetros del modelo de la junta, para carga fuerte.

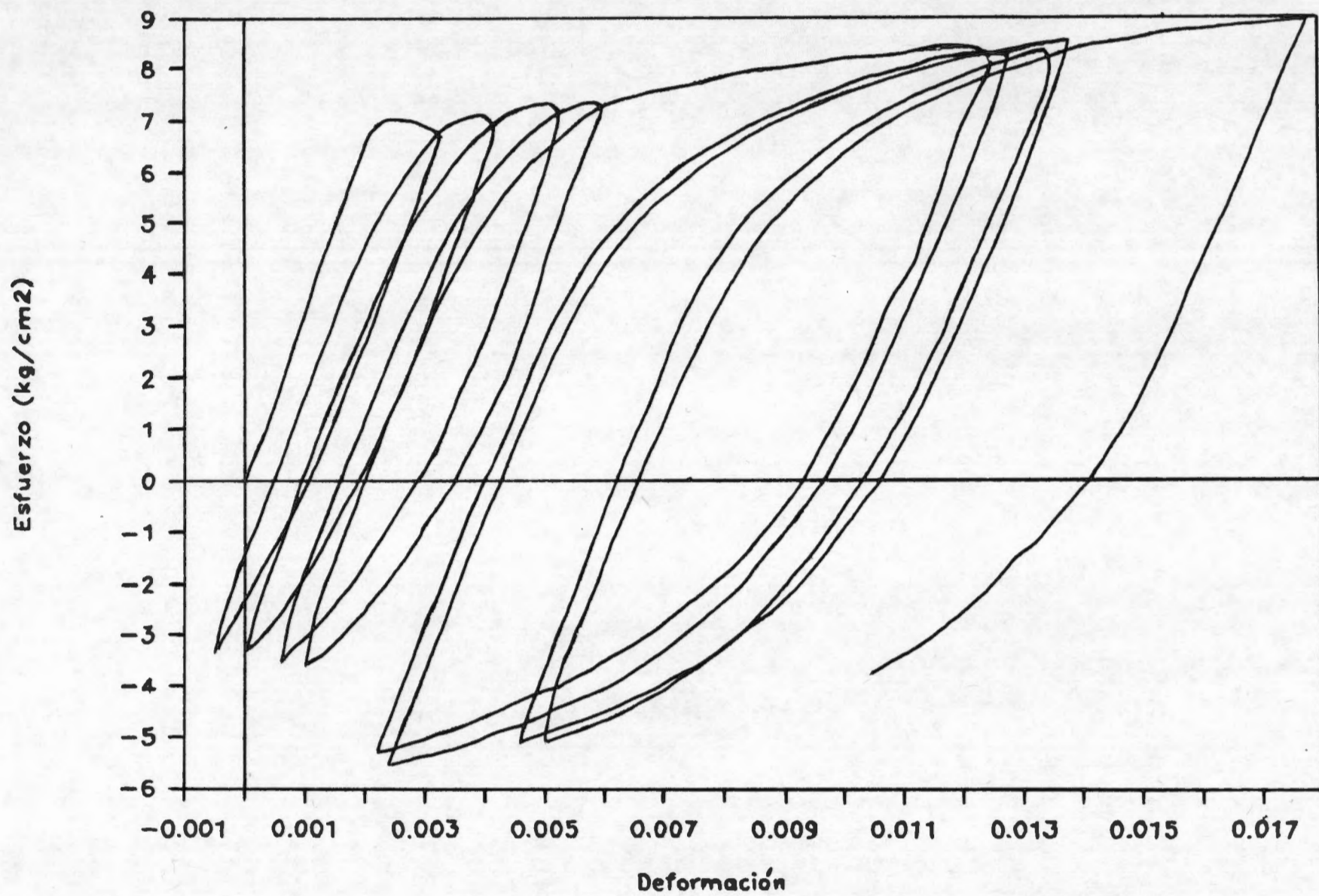
Carga	St	Sb	ep	ef	Δe	Δ
ton.	cm	cm	rad.	rad.	cm	cm
2	.112908	.047847	.000176	.001549	.021609	.294936
4	.210763	.080918	.000293	.003091	.043219	.585844
6	.307196	.114114	.000586	.004644	.064828	.887080
8	.407348	.147921	.000732	.006177	.086437	1.17784
10	.506276	.180708	.001464	.007752	.108047	1.50391
12	.619964	.232311	.000615	.009229	.129656	1.73735
14	.717246	.266270	.006150	.010737	.151265	2.28249

TABLA VI Valores obtenidos para los parámetros del modelo de la junta, para carga débil.

GRAFICAS.



Gráfica 1 Deformación del acero longitudinal de la viga en el plano común.



Gráfica 2 Ciclos de histéresis registrados experimentalmente.

FIGURAS.

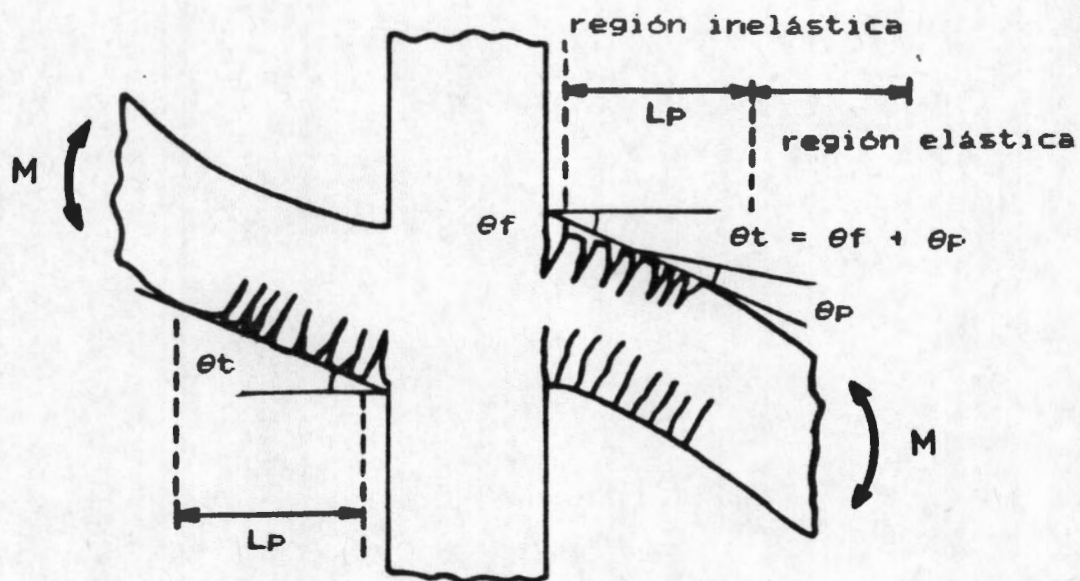


FIG. 1 COMPONENTES DE LA ROTACION.

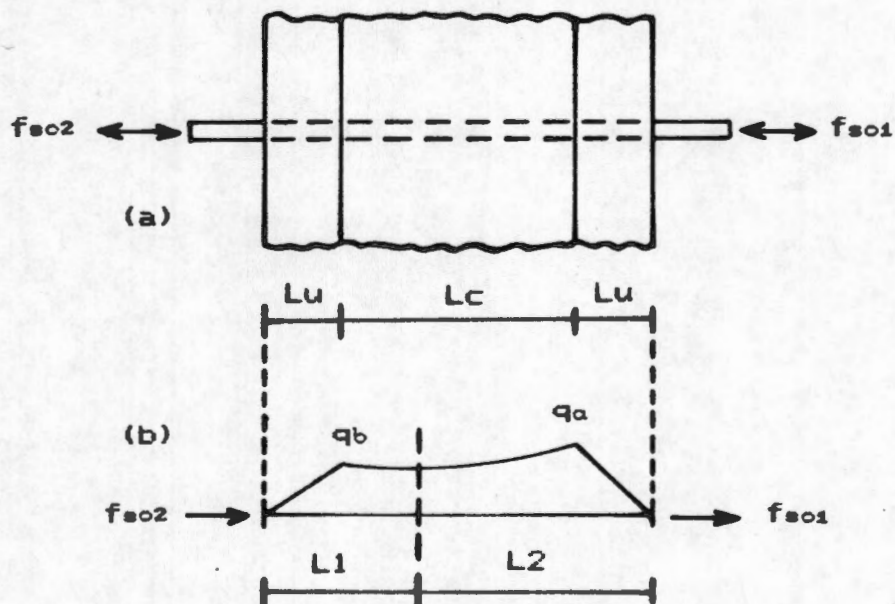


FIG. 2. ESFUERZOS DE ADHERENCIA.

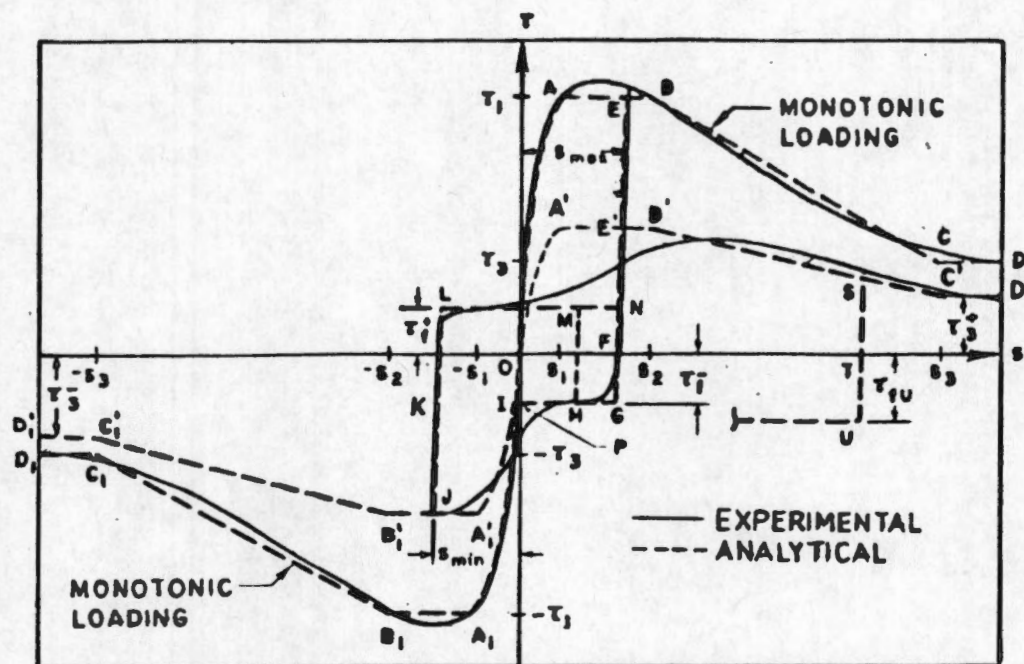


FIG. 3. RELACION ESFUERZO DE ADHERENCIA-DESLIZAMIENTO.

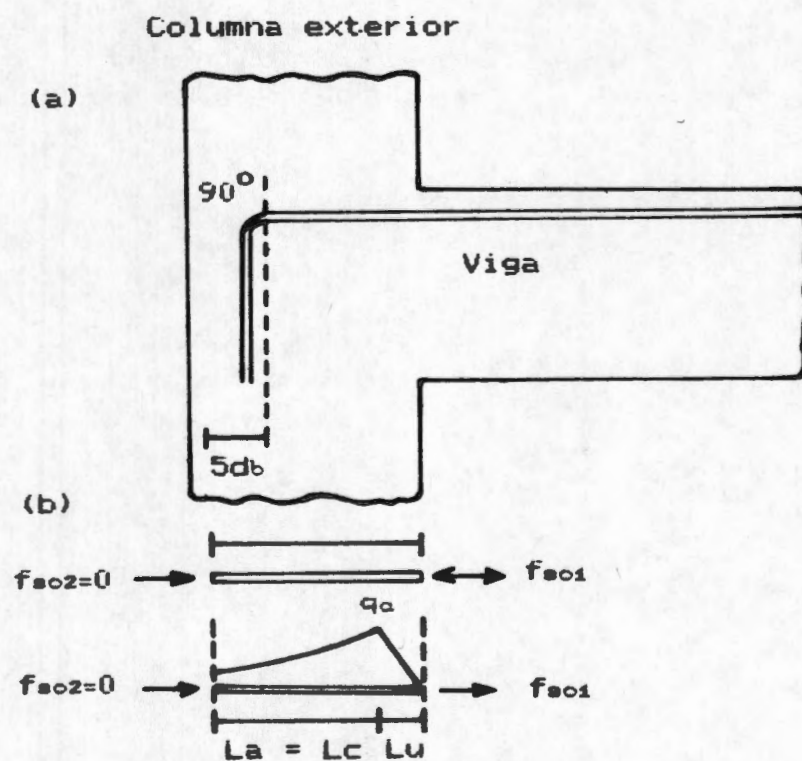


FIG. 4. ESFUERZOS DE ADHERENCIA EN LA JUNTA.

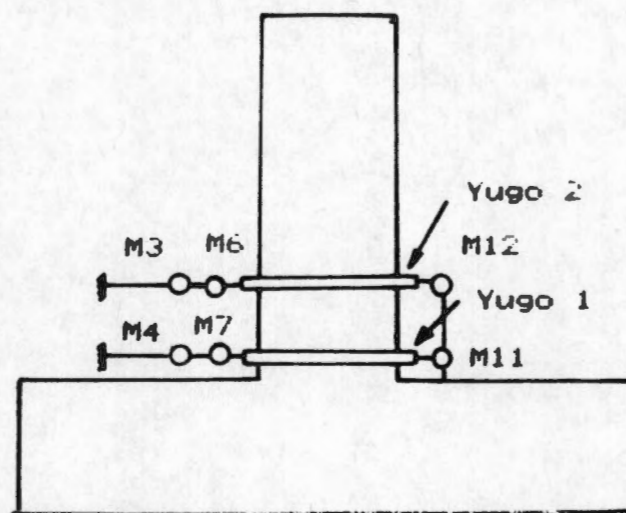


FIG. 5. YUGOS EN LA VIGA.

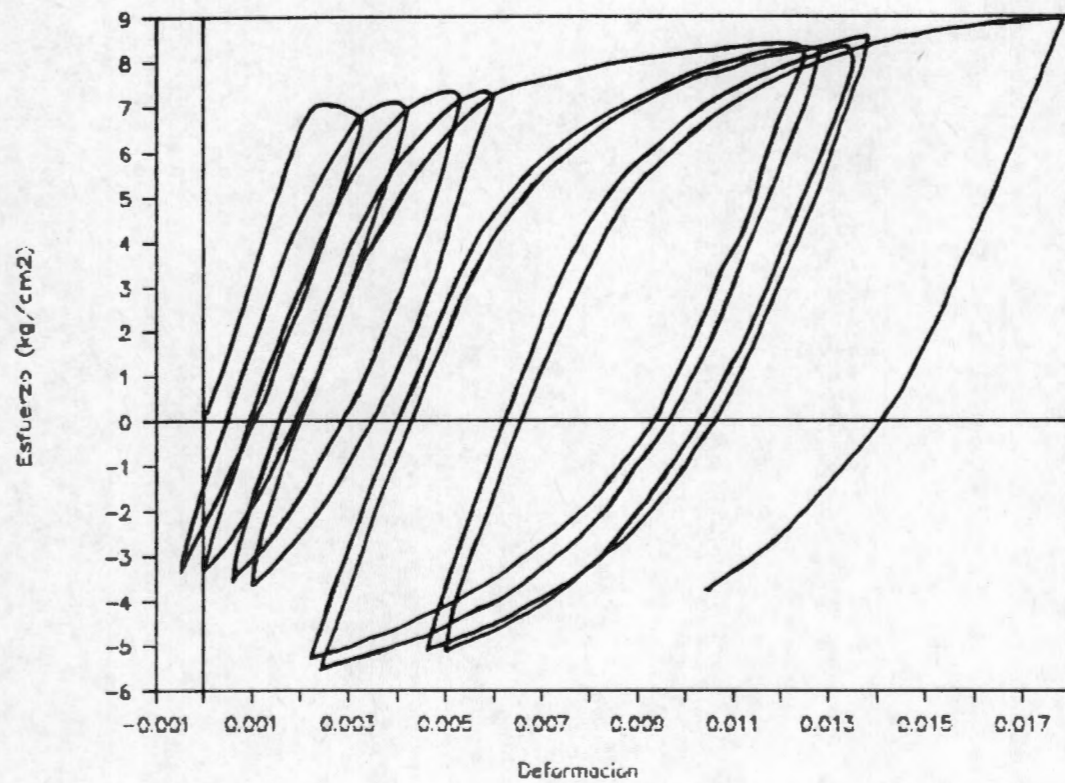


FIG. 6 CICLOS ESFUERZO-DEFORMACION.

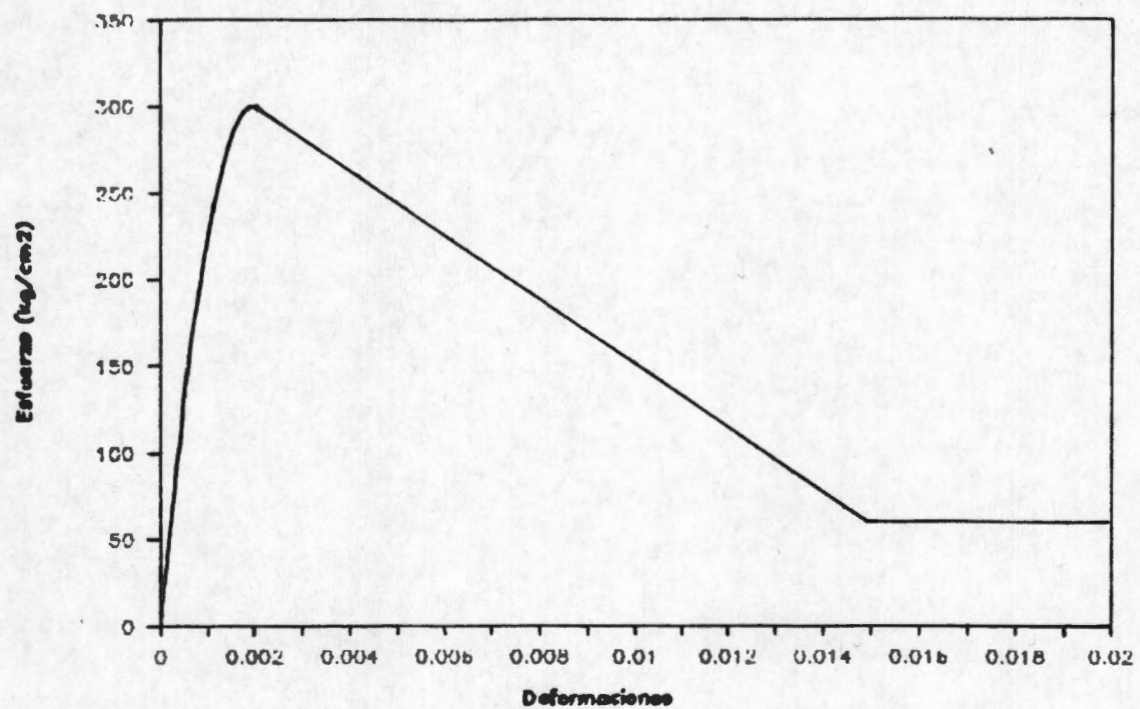


FIG. 7 CURVA ESFUERZO-DEFORMACION PARA EL CONCRETO CONFINADO.

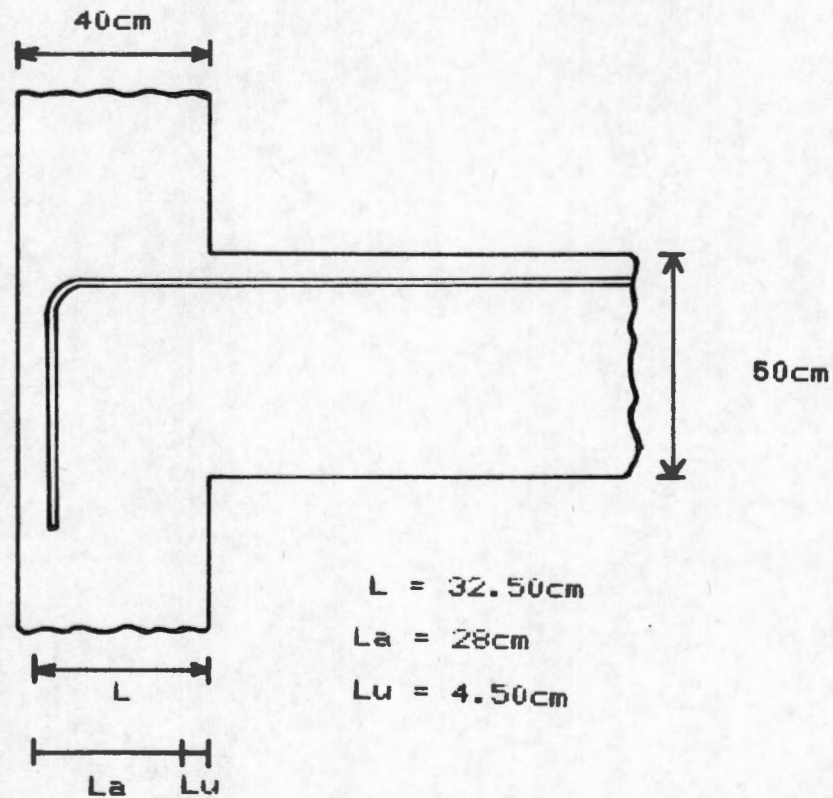


FIG. 8 DIMENSIONES DEL ESPECIMEN D-7.

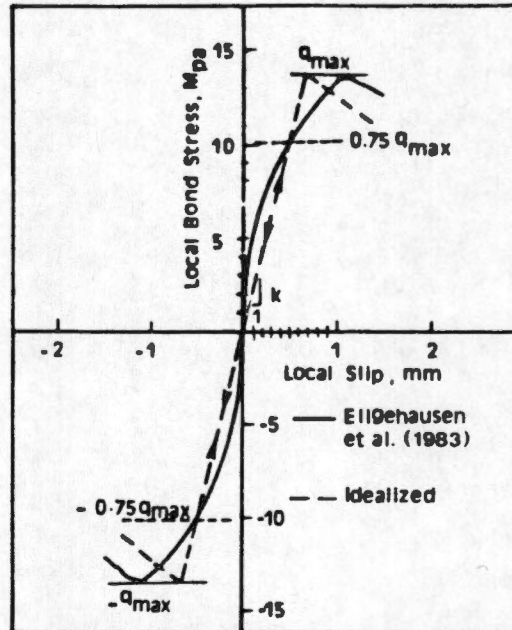


FIG. 9 IDEALIZACION DE LA RELACION ADHERENCIA-DESLIZAMIENTO.

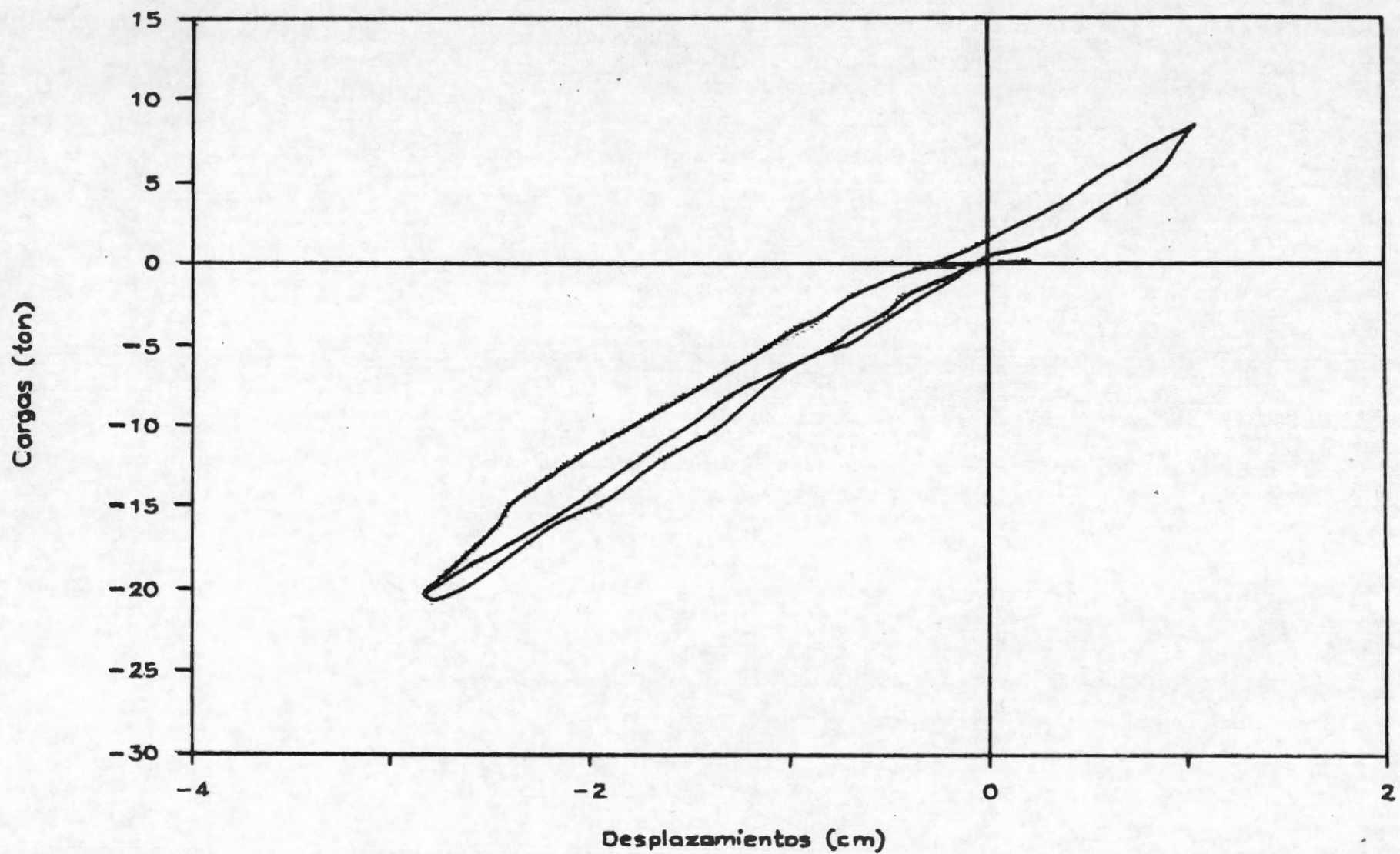


Fig. 10 Curva carga-desplazamiento experimental.

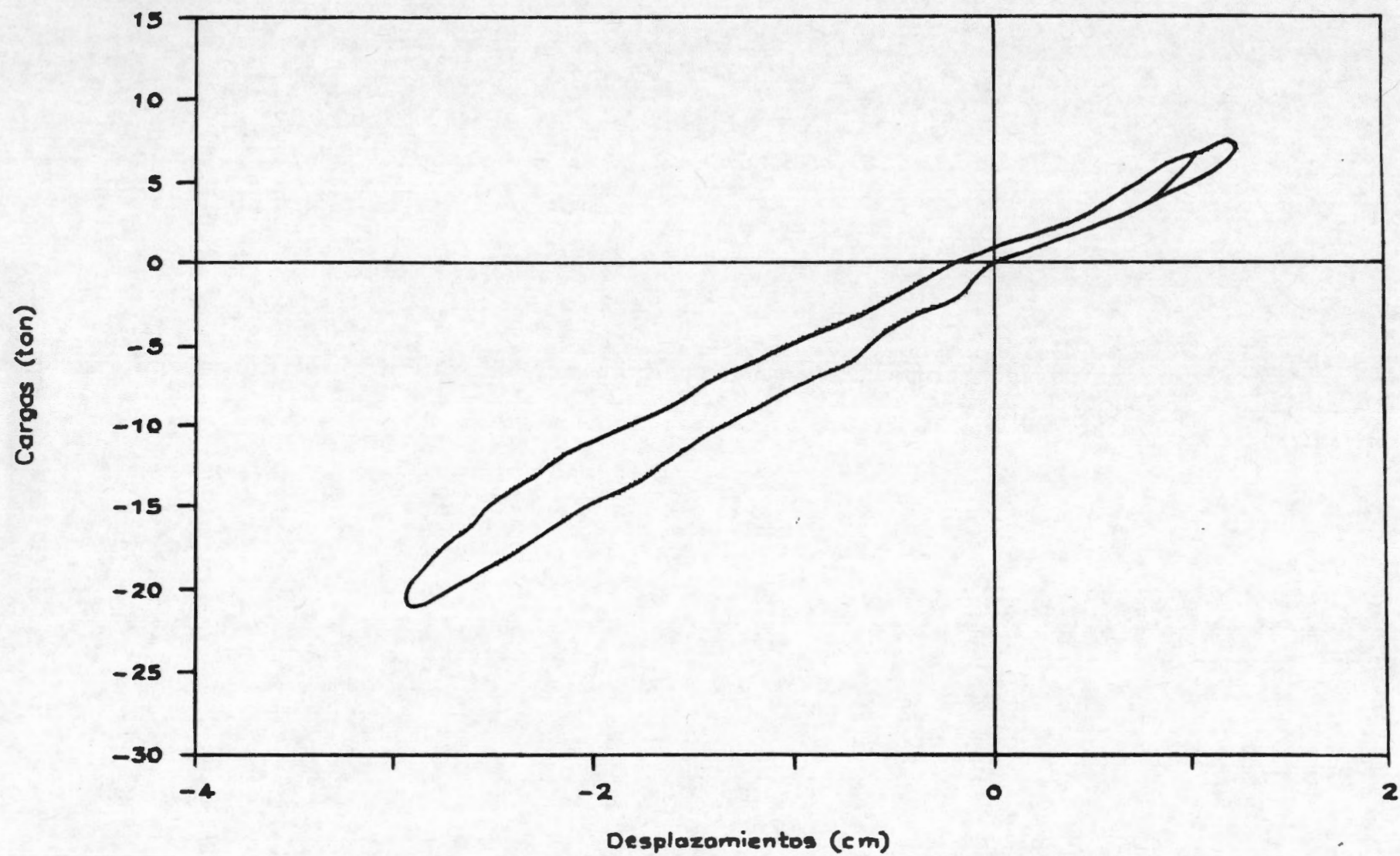


Fig. 11 Curva carga-desplazamiento teórica.

APENDICE A.

Obtención de los parámetros θ_f , θ_p , y Δ empleados en el modelo de deslizamiento.

El modelo de deslizamiento consiste en una barra de acero de refuerzo alojada en el interior de una conexión interior viga-columna de concreto, la barra se encuentra sujeta a fuerzas de tensión y/o compresión (f_{s01} y f_{s02}), en ambos extremos de la barra, Fig.(44). Estas fuerzas en los extremos de la barra representan los esfuerzos a los que están sometidas las barras de refuerzo en algún nivel de carga durante la historia de cargas. La conexión se subdivide en regiones: Dos primeras regiones exteriores no confinadas extendiéndose una distancia (L_v), y una región confinada que se extiende a una distancia (L_c), en el interior de la conexión .

Los parámetros y variables necesarios para la calibración de los modelos se obtienen a partir de las curvas esfuerzo-deformación unitaria para el acero y el concreto en el caso del modelo de la junta, y para el modelo de deslizamiento se obtiene el esfuerzo local de adherencia y su correspondiente deslizamiento local, a partir de la idealización de la relación adherencia local-deslizamiento local, Fig.(45). Un inconveniente que se presenta al utilizar la idealización adherencia local-deslizamiento local, es que sólo se cuenta con la idealización para cargas cíclicas en un solo sentido a tensión y no se tiene la idealización de adherencia - deslizamiento bajo cargas cíclicas reversibles. A continuación, con los valores de los parámetros obtenidos para el modelo de deslizamiento se calculan los valores de las siguientes variables para cada uno de los niveles de carga correspondientes a cada ciclo:

$$k = \frac{f_{qmax}}{SL e \ln f/\alpha} \dots\dots\dots(1)$$

$$K1 = \sqrt{\frac{k \psi}{As Es}} \dots\dots\dots(2)$$

f_{so1} (se obtiene de la curva esfuerzo-deformación del acero).

$$q_a = \frac{k f_{so1}}{Es K1 \tanh (K1 La) + 1/2 k (\psi Lu/As)} \dots\dots(3)$$

$$f_{sa} = f_{so1} - 1/2 q_a (\psi Lu/As) \dots\dots\dots(4)$$

$$K2 = \frac{f_{sa}}{Es K1 \sinh (K1 La)} \dots\dots\dots(5)$$

$$f_{sx} = f_{so1} - \psi q_a/2 As Lu (L1 - x)^2 \dots\dots\dots(6)$$

$$S1 = K2 \cosh (K1 La) + \epsilon_s x \Delta x \dots\dots\dots(7)$$

En donde q_a , f_{sx} y S_l son el esfuerzo de adherencia, el esfuerzo en el acero y el deslizamiento respectivamente. Las distancias; L_a , L_u y L_l se muestran esquemáticamente en la Fig.(44); E_s es el módulo de elasticidad del acero de refuerzo; ψ es el perímetro de la barra de refuerzo; A_s es el área de la barra de refuerzo; δ_{sx} es la deformación en el acero de refuerzo; $q_{m\acute{a}x.}$ es el esfuerzo máximo de adherencia; S_L es el deslizamiento local correspondiente al punto del máximo esfuerzo de adherencia y α es un factor característico que depende del tipo de confinamiento.

El valor obtenido de desplazamiento relativo (S_l), tanto para el acero de refuerzo superior como para el acero de refuerzo inferior, son los valores que utiliza el modelo de la junta para obtener el valor de la variable (θ_f), posteriormente se calcula el valor de la rotación plástica (θ_p), finalmente se obtiene la deflexión de la viga (Δ), para su correspondiente nivel de carga.

$$\theta_f = \frac{S_t - S_b}{d_s - d'_s} \dots\dots\dots (8)$$

$$\theta_p = \frac{\delta_{st} - \delta_{sb}}{d_s - d'_s} (L_p) \dots\dots\dots (9)$$

$$\Delta = \theta_f L_o + \theta_p (L_o - L_p) + \Delta_o \dots\dots\dots (10)$$

F/DEPFI/TI/1989



718050