

# FISURACION EN LOSAS DE HORMIGON ARMADO <sup>(1)</sup>

FRANCISCO JAVIER SAINZ DE CUETO TORRES (\*)

**RESUMEN.** Se está realizando en el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales, CEDEX, Madrid, un estudio con la finalidad de recabar información sobre la fisuración del hormigón armado bajo flexión por sollicitación mecánica.

En el programa se han incluido varios ensayos sobre vigas y losas de hormigón armado para poder comparar los datos reales de comportamiento con los previstos por la normativa más usual sobre fisuración.

Como muestra el presente trabajo, se está desarrollando un modelo experimental de fisuración. El modelo intenta lograr la evaluación del ancho medio de fisura, partiendo de las lecturas externas de deformación, como una alternativa a las mediciones micrométricas.

El modelo se aplica a losas con refuerzo unidireccional. Se hace comparación entre los resultados obtenidos y los esperados por las normas Código Modelo, ACI-318 y CP-110.

El trabajo se encuadra dentro de un Convenio financiado por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.

**ABSTRACT.** A research investigation, conducted in Laboratorio Central de Estructuras y Materiales, CEDEX, Madrid, is being carried out to obtain information on reinforced concrete cracking due to bending mechanical loads.

Several tests on reinforced concrete beams and slabs were included in this program in order to compare actual behavior results with predicted by the more common cracking codes.

As the present paper shows, a experimental model on flexural cracking is being developed. The model tries to enable prediction of the mean crack widths, obtained from the external strain readings, alternatively to microscope measures.

The model is applied to reinforced one-way slabs. Comparing is made between obtained results and expected ones by Model Code, ACI-318 and CP-110 Code.

## 1. INTRODUCCION

El estudio pretende realizar una experimentación sobre la fisuración mecánica del hormigón armado, comparando los resultados obtenidos con los previstos al aplicar las normativas de más amplia difusión.

Por otra parte, intenta profundizar y poner a punto algún método que permita el seguimiento

de la evolución de la fisuración a lo largo del tiempo.

Es sabido que las estructuras fisuradas de hormigón armado modifican progresivamente su anchura de fisura. Esta realidad es muy importante desde el punto de vista de la previsión de su durabilidad, pero es sin duda difícil la evaluación de dicho cambio.

Se ha pensado que el mejor seguimiento se podría efectuar a través de la verificación de las deformaciones totales sobre una base de medida suficientemente amplia. Ello exige encontrar un método que relacione la extensometría externa con la anchura de fisura.

## 2. PROGRAMA DE ENSAYOS

La experimentación se ha desarrollado sobre 16 losas de hormigón armado con refuerzo unidireccional.

El tipo de losa utilizada, así como sus dimensiones, puede verse en la figura 1.

(1) Este artículo ha sido base de la ponencia, del mismo título, presentada por el mismo autor en la «Conferencia Europea sobre Fisuración de los Hormigones y Durabilidad de las Construcciones», organizada por la Asociación Francesa de Estudios y Ensayos sobre Materiales de Construcción (AFREM) y subvencionada por el Programa SPRINT de la Comisión de las Comunidades Europeas, Saint Rémy-lès-Chevreuse, Francia, Septiembre 1988.

(\*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de División de Estudios y Ensayos Mecánicos del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX (MOPU).

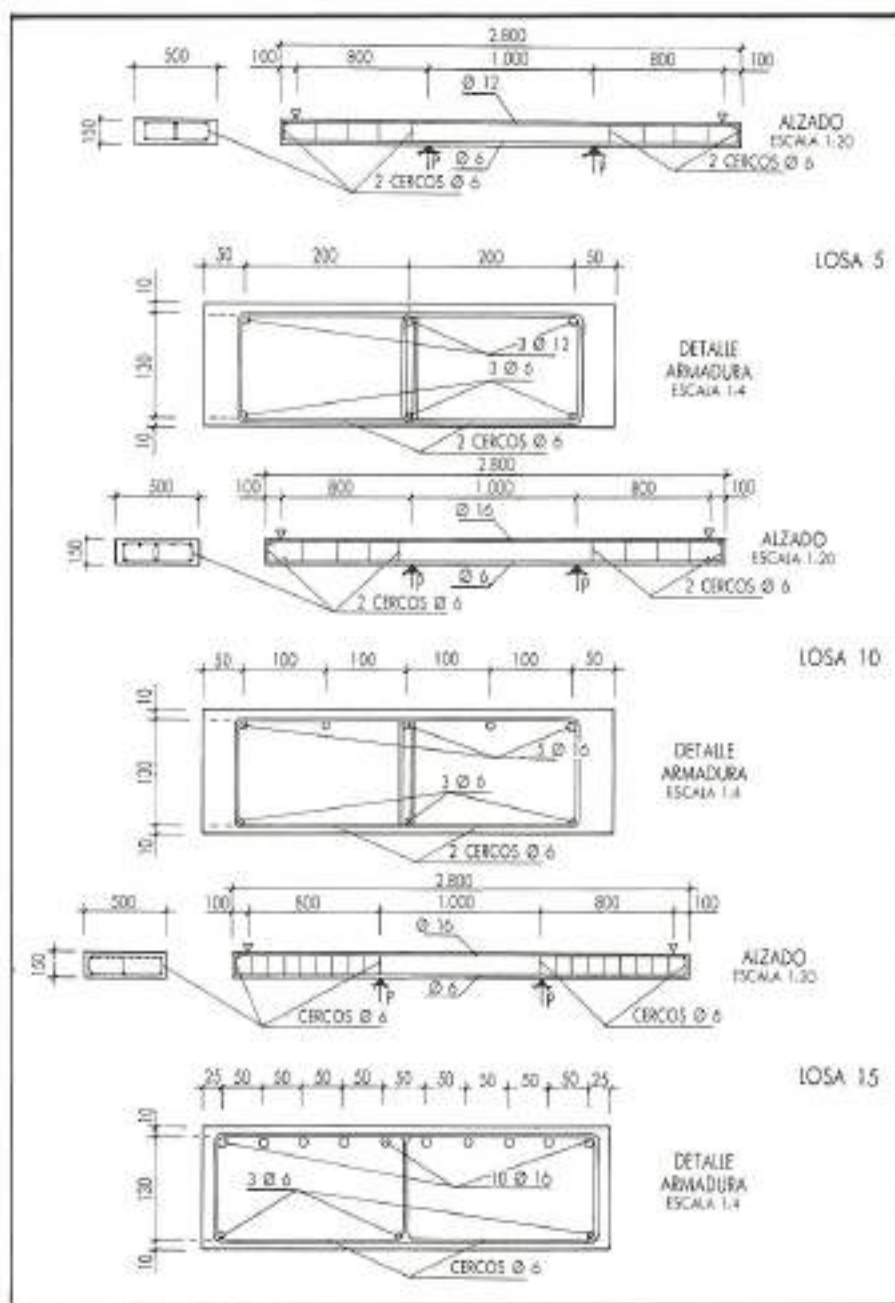


FIGURA 1. Características geométricas de las losas ensayadas con su correspondiente esquema de armado.

Asimismo en la tabla 1 se definen las características de la armadura de acero empleada.

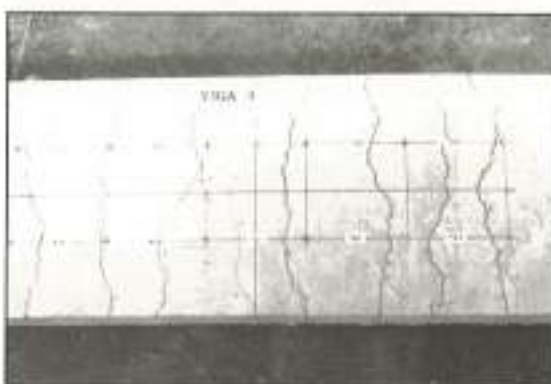
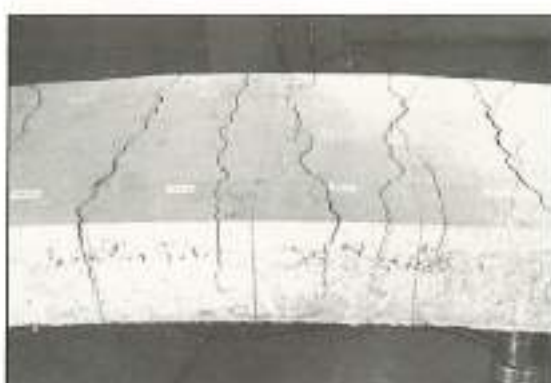
Las barras utilizadas como armadura eran corrugadas con límites elásticos próximos a 580 MPa.

El hormigón de las losas tenía una resistencia a compresión del orden de 26 MPa y una resistencia a tracción del orden de 2,4 MPa.

El espaciamiento entre barras de refuerzo era de 200 mm en las losas 1, 3, 5, 7 y 9. De 100 mm en las losas 2, 4, 6, 8 y 10. De 50 mm en las losas 11, 12, 13, 14, 15 y 16.

Las losas se apoyaron isostáticamente en extremos opuestos y fueron sometidas a cargas verticales de abajo hacia arriba, con la finalidad de facilitar la observación de fisuras en la cara superior. Tanto la fisuración como la extensometría se analizaron en una base de 1.000 mm entre cargas simétricas de ensayo, de forma que la sollicitación era de flexión pura. Ver fotos.

Se emplearon técnicas de emisión acústica para detectar cualitativamente la presencia de las primeras microfisuraciones.



LOSA NUM.	REFUERZO		AREA ACERO (mm <sup>2</sup> )	CUANTIA REFUERZO		
	DIAMETRO (mm)	BARRAS NUM.		GEOMETRICA (%)	EFICAZ (%)	ACTIVA (%)
1	8	3	151	0,2	0,6	1,1
2	8	5	251	0,4	0,8	1,8
3	10	3	236	0,4	0,8	1,6
4	10	5	393	0,6	1,4	2,6
5	12	3	339	0,5	1,2	2,1
6	12	5	565	0,8	2,1	3,5
7	14	3	462	0,7	1,7	2,7
8	14	5	770	1,2	3,0	4,5
9	16	3	603	0,9	2,3	3,4
10	16	5	1.005	1,5	4,2	5,6
11	8	10	503	0,7	1,8	3,6
12	10	10	785	1,2	3,0	5,2
13	12	10	1.131	1,7	4,8	7,1
14	14	10	1.539	2,3	6,9	9,1
15	16	10	2.011	3,1	9,6	11,2
16	20	10	3.142	4,8	16,9	15,7

TABLA 1. Características del armado de las losas.



En la tabla 2 se recogen los momentos de fisuración obtenidos, así como los momentos últimos de colapso.

En la tabla 3 que se acompaña seguidamente se pueden observar las separaciones medias entre fisuras, que se fueron midiendo en los sucesivos ensayos.

LOSA NUM.	AREA ACERO (mm <sup>2</sup> )	MOMENTO FISURACION		MOMENTO ULTIMO (KNm)	RELACION M <sub>u</sub> /M <sub>f</sub>	
		TEORICO (KNm)	APARENTE (KNm)		TEORICO	APARENTE
1	151	3,05	6,16	15,40	3,0	2,5
3	236	4,32	6,23	14,64	3,4	2,3
2	251	5,19	5,47	22,46	4,3	4,1
5	339	4,80	6,81	20,28	4,2	3,0
4	393	4,59	7,16	26,76	5,8	3,7
7	462	5,09	7,16	32,12	6,3	4,5
11	503	4,18	7,95	30,19	7,2	3,8
6	565	4,72	7,16	29,54	6,3	4,1
9	603	4,68	8,00	35,63	7,6	4,5
8	770	5,24	9,54	36,72	7,0	3,8
12	785	5,11	7,31	44,64	8,7	6,1
10	1.005	5,67	8,20	56,98	10,0	6,9
13	1.131	5,10	9,04	61,40	12,0	6,8
14	1.539	5,43	10,38	81,05	14,9	7,6
15	2.011	6,59	11,07	85,06	12,9	7,7
16	3.142	7,63	12,66	84,84	11,1	6,7

TABLA 2. Momentos de fisuración y resistentes registrados en los ensayos de las distintas losas.



LOSA NUM.	SEPARACION FISURAS (mm)	LOSA NUM.	SEPARACION FISURAS (mm)	LOSA NUM.	SEPARACION FISURAS (mm)
1	137	2	97	11	83
3	137	4	88	12	39
5	133	6	78	13	63
7	114	8	74	14	56
9	91	10	70	15	56
				16	53

TABLA 3. Separaciones medias registradas en los ensayos de las distintas losas.

### 3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se adjuntan los gráficos de evolución de la anchura de fisura, de cada losa, con el aumento gradual de la sollicitación.

En dichos gráficos de evolución (figura 2) se puede apreciar los resultados obtenidos en ensayo y compararse con los valores teóricos, esperados al aplicar las distintas normativas: Código Modelo CEB-FIP, Código ACI-318 y Código CP-110.

En la tabla 4 se presenta la evaluación estadística comparativa entre los anchos de fisura calculados y los registrados en las pruebas.

La comparación se muestra en dos hipótesis: Una incluye 242 observaciones, mientras que la otra se restringe a 80 observaciones seleccionadas de las anteriores, eliminando las realizadas para momentos de flexión próximos al de fisuración, o bien demasiado elevados.

Tal es el caso de la fisuración avanzada, que se aleja de las hipótesis simplificadoras admitidas. Véase la figura 3 adjunta.

En el estudio se ha constatado que se puede llegar a una relación teórica entre la extensome-

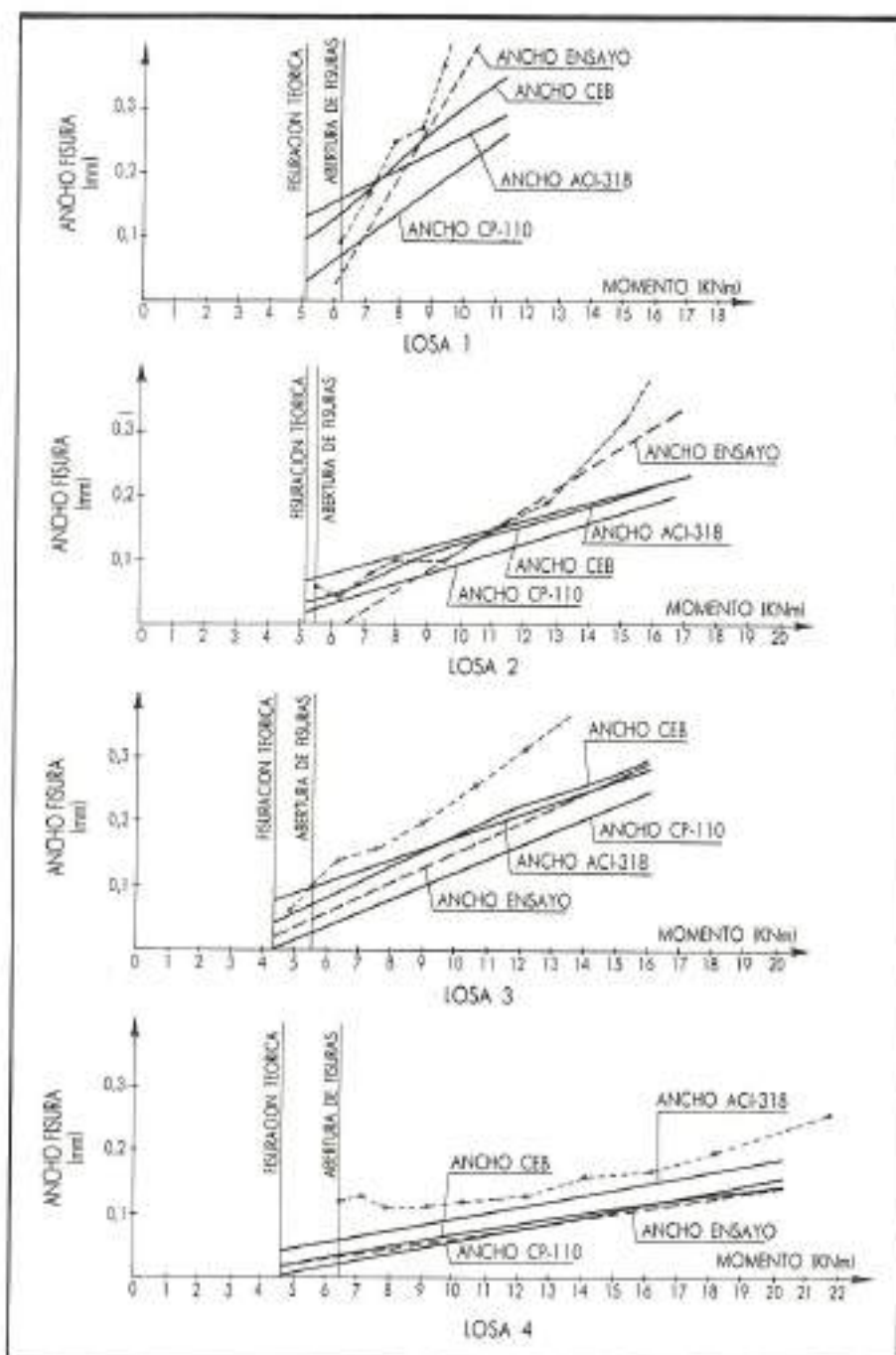


FIGURA 2A.

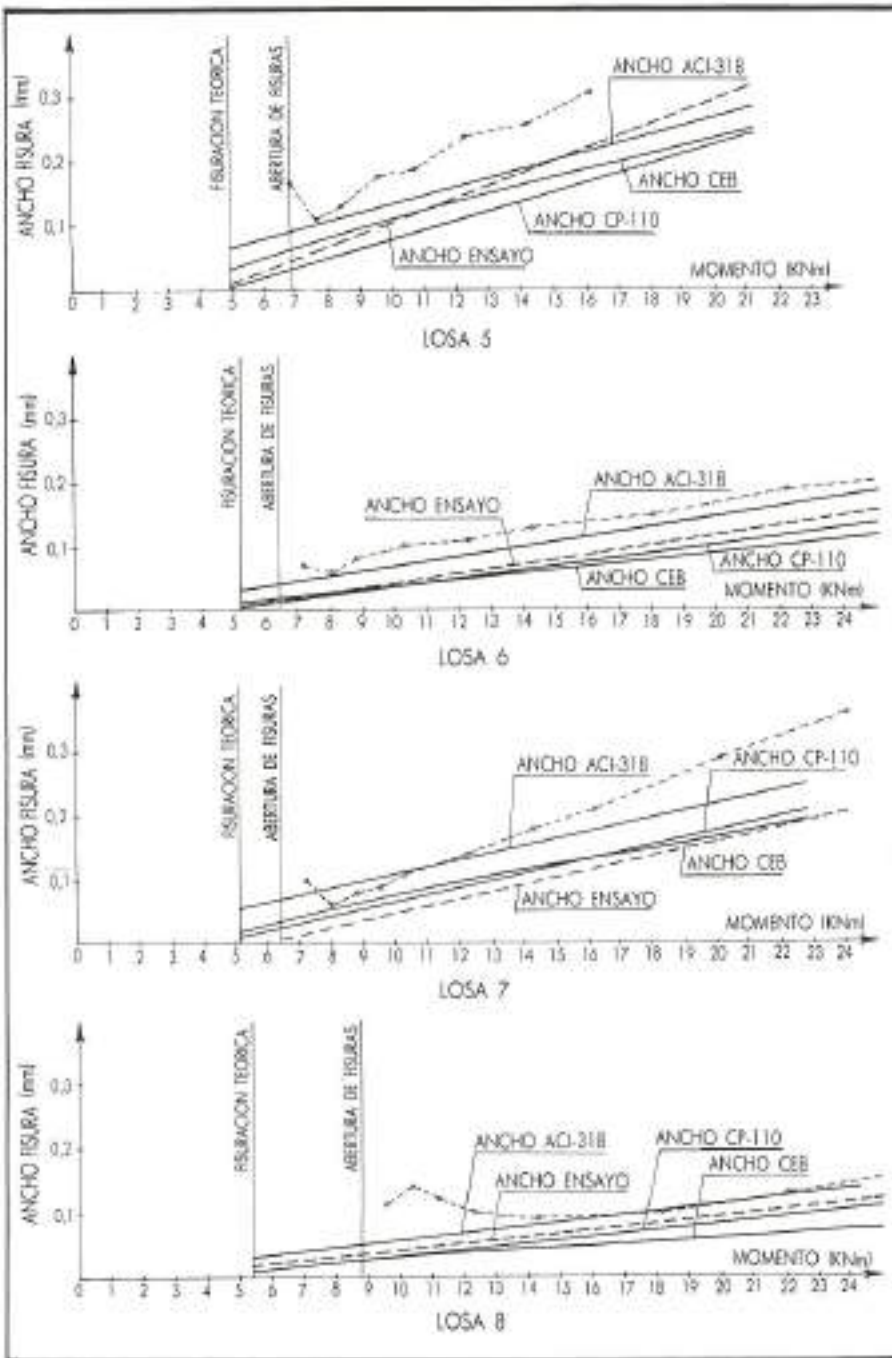


FIGURA 26.

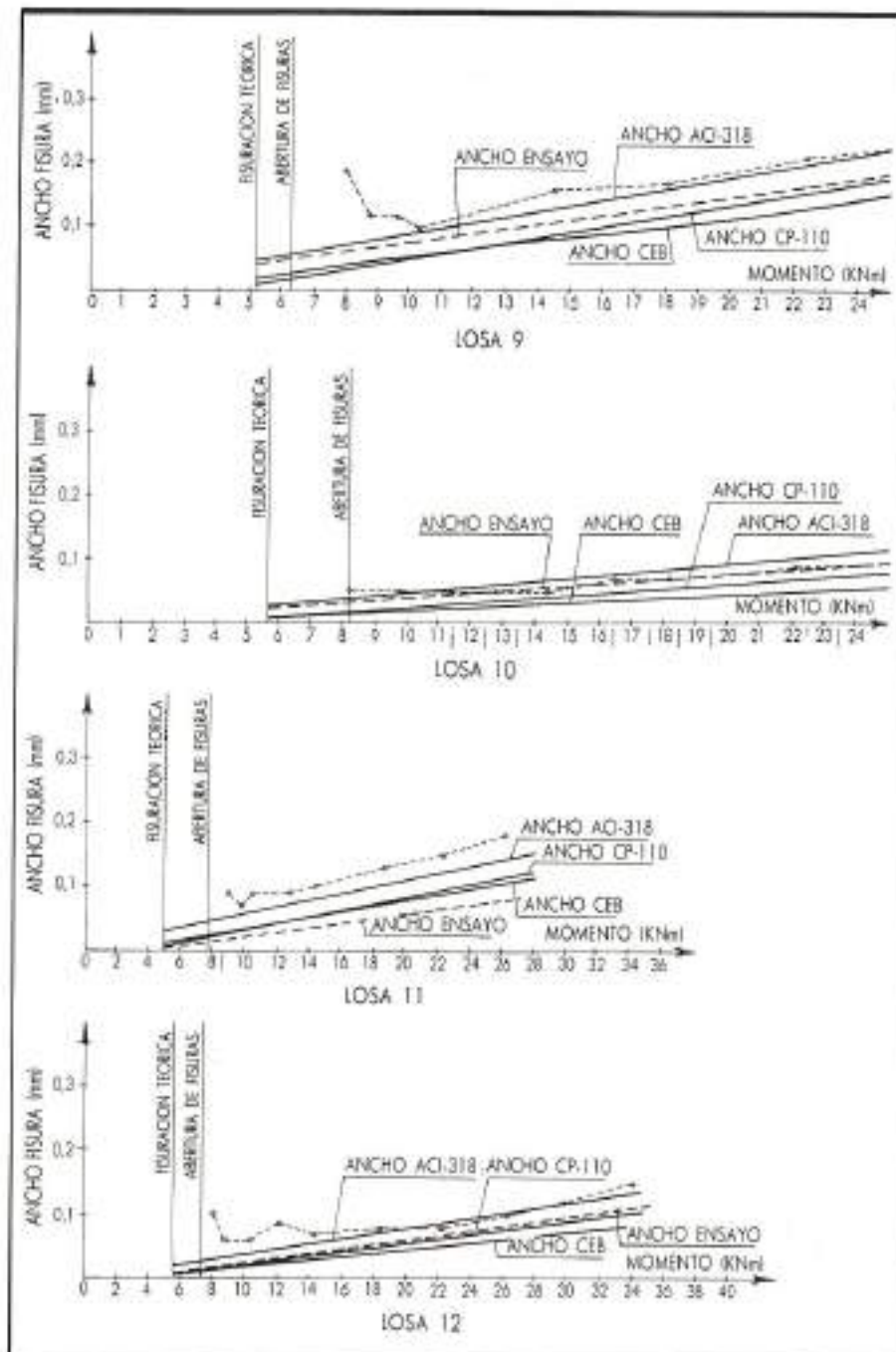


FIGURA 2C.

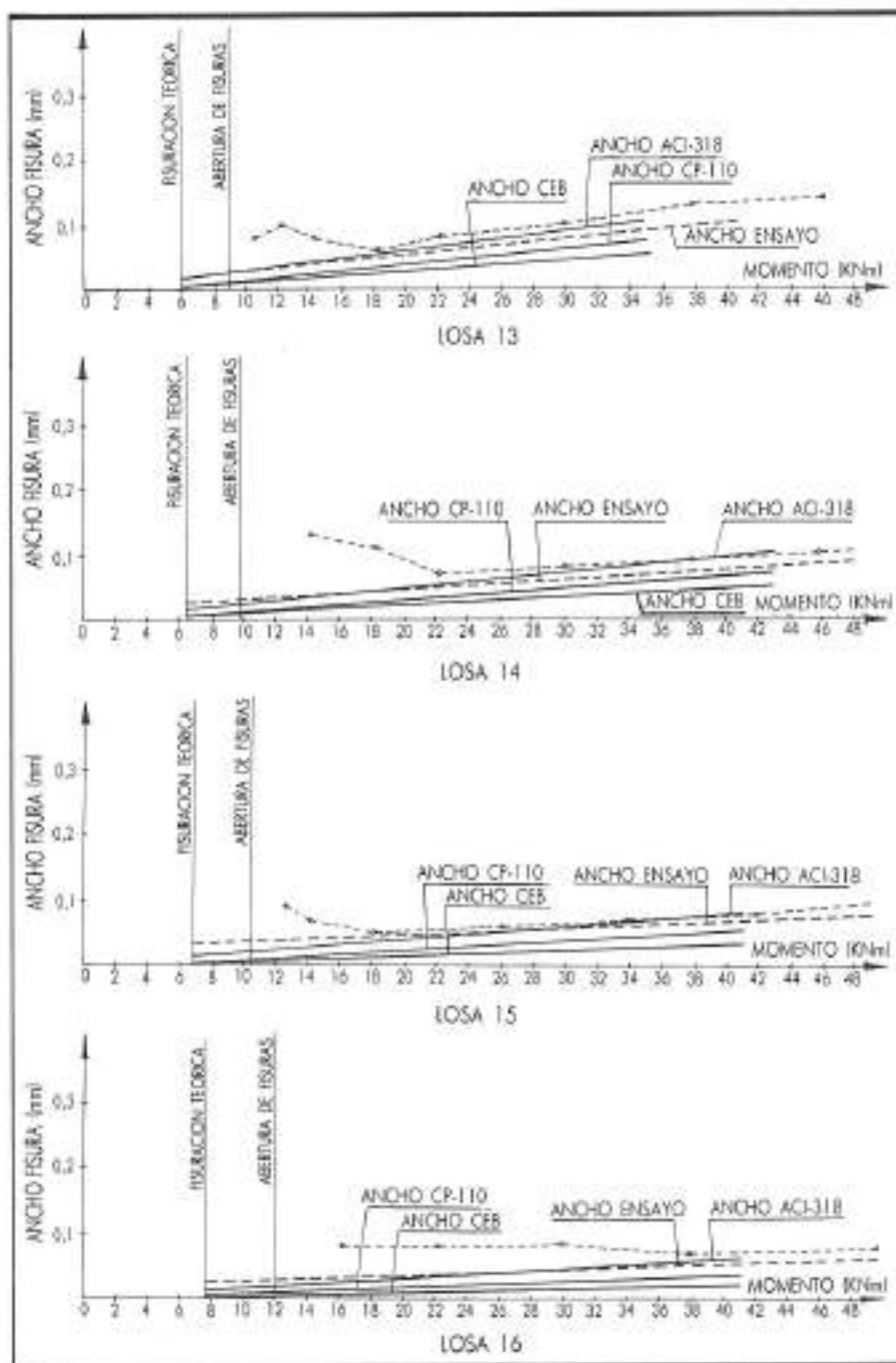


FIGURA 2D.



COMPARACION UTILIZANDO	NUMERO DE OBSERVACIONES	W <sub>CALC</sub> /W <sub>REAL</sub>		
		MEDIA	DESVIACION TIPICA	COEFICIENTE VARIACION (%)
CODIGO MODELO CEB-FIP	80	0,897	0,440	49,1
NORMA CP-110	80	0,910	0,260	30,8
CODIGO ACI-318	80	1,351	0,358	26,5
CODIGO MODELO CEB-FIP	242	0,820	0,352	42,9
NORMA CP-110	242	0,844	0,246	29,2
CODIGO ACI-318	242	1,249	0,309	24,8

TABLA 4. Resultados comparativos entre anchuras teóricas esperadas y reales registradas en los sucesivos ensayos.

tría externa y el ancho medio de fisura. Esta relación está aún en fase de contrastación experimental, pero se puede adelantar una formulación del tipo siguiente:

$$W = \frac{1}{n_c} \left\{ EXT - (EXT)_c - \frac{(h-x)}{(d-x)} \frac{(SIG)_s - (SIG)_{ar}}{T E_s} [EXT - 2n_r R (FT)] \right\}$$

En las figuras 3 y 4 se puede visualizar la notación seguida por la formulación propuesta, que se resume seguidamente:

- W = Anchura media de fisura (mm).
- EXT = Longitud de la base de medida (mm).
- (EXT)<sub>c</sub> = Longitud de la base para el momento de fisuración (mm).
- n<sub>c</sub> = Número de fisuras en la base de medida.
- (SIG)<sub>s</sub> = Tensión del acero en la fisura (MPa).
- (SIG)<sub>ar</sub> = Tensión del acero para el momento de fisuración (MPa).

- E<sub>s</sub> = Módulo de elasticidad del acero (MPa).
- (FT) = Diámetro de los refuerzos (mm).
- R = Factor de influencia de la distribución de tensiones del hormigón.
- T = Factor de influencia de la distribución de tensiones del acero.

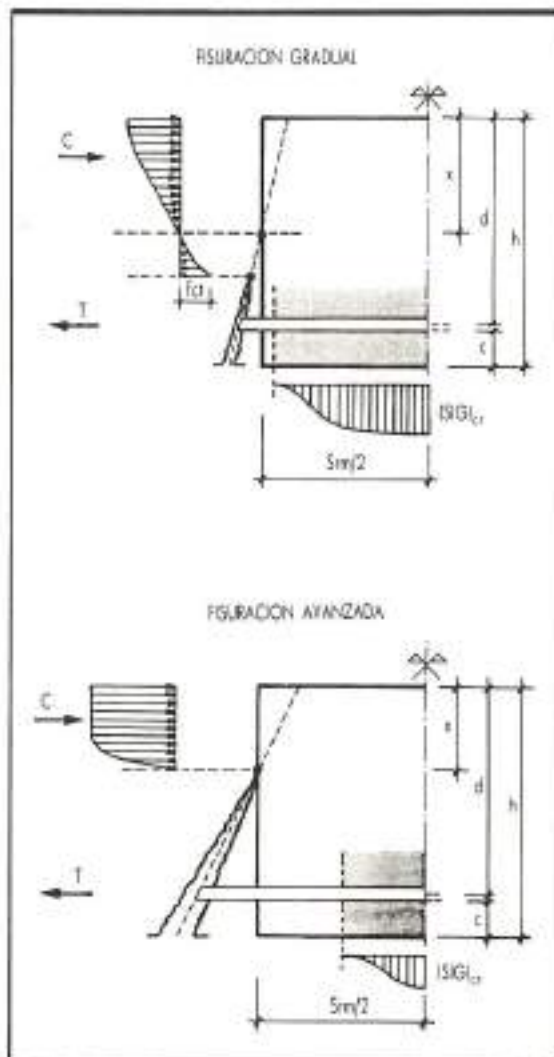
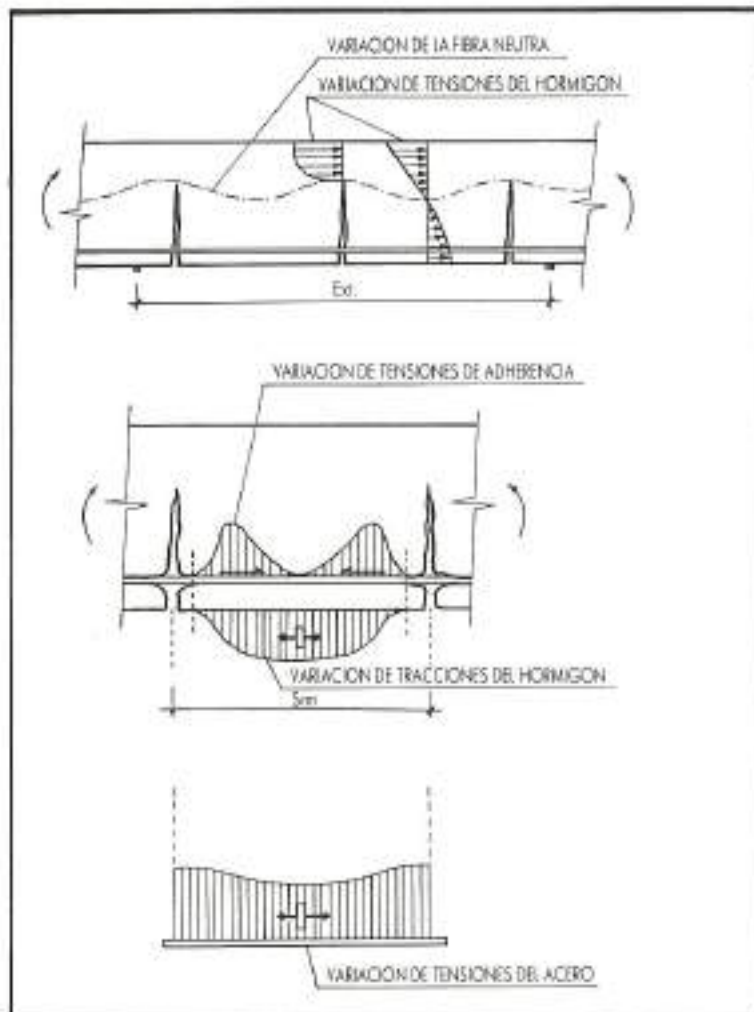


FIGURA 3. Esquemas de fisuración con distintas exigencias de modelación.



**FIGURA 4.** Esquema de medición propuesto y notación empleada.