

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

DEPARTAMENT D'ESTRUCTURES A L'ARQUITECTURA
DEPARTAMENT D'ENGINYERIA DE LA CONSTRUCCIÓ

ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO
DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO
DESCIMBRADAS A TEMPRANAS EDADES

ISABEL SERRÀ MARTÍN

Trabajo realizado como parte de los
requisitos exigidos para optar al grado
de Doctor.

Barcelona - Noviembre de 1994

REFERENCIAS

ACI 318-89 "Building Code Requirements for Reinforced Concrete", American Concrete Institute, Detroit, 1989.

Aguado A., Agulló L., 1991, "Informe relativo a los ensayos realizados para la caracterización mecánica del hormigón a utilizar en el paso del Alamillo Camas-San Lázaro", Departamento de Ingeniería de la Construcción, U.P.C.

ASTM C 469-87a, "Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression", 1987.

ASTM C 512-87, "Standard Test Method for Creep of Concrete in Compression", 1987.

ASTM C 617-87, "Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens", 1987.

Bažant Z.P., 1977, "Viscoelasticity of solidifying porous material-concrete", Swedish Cement and Concrete Research Institute, Fo. 5, n° 77, Stockholm, 33 p.

Bažant Z.P., Kim J.K., Panula L., 1991, "Improved prediction model for time-dependent deformations of concrete: Part 1 - Shrinkage", Materials and Structures, n° 24, pp. 327-345.

Bažant Z.P., Kim J.K., 1991, "Improved prediction model for time-dependent deformations of concrete: Part 2 - Basic creep", Materials and Structures, n° 24, pp. 409-421.

Bažant Z.P., Kim J.K., 1992, "Improved prediction model for time-dependent deformations of concrete: Part 3 - Creep at drying", Materials and Structures, n° 25, pp. 21-28.

Bažant Z.P., Kim J.K., 1992, "Improved prediction model for time-dependent deformations of concrete: Part 4 - Temperature effects", Materials and Structures, n° 25, pp. 84-94.

Bažant Z.P., Kim J.K., 1992, "Improved prediction model for time-dependent deformations of concrete: Part 5 - Cyclic load and cyclic humidity", *Materials and Structures*, n° 25, pp. 163-169.

Bažant Z.P., Panula L., Kim J.K., Xi Y., 1992, "Improved prediction model for time-dependent deformations of concrete: Part 6 - Simplified code-type formulation", *Materials and Structures*, n° 25, pp. 219-223.

Bažant Z.P., Xi Y., Baweja S., 1993, "Improved prediction model for time-dependent deformations of concrete: Part 7 - Short form of BP-KX model, statistics and extrapolation of short-time data", *Materials and Structures*, n° 26, pp. 567-574.

Bennet, Collings, 1969, "High early strength concrete by means of very fine Portland cement", *Inst. of Civil Engineers, Proceedings*, Vol. 43, July, 1969.

Bergström S.G., 1953, "Curing temperature, age and strength of concrete", *Magazine of Concrete Research (London)*, Vol. 5, n° 14, pp. 61-66.

Branson D.E., 1977, "Deformation of Concrete Structures", ed. McGraw-Hill Internacional.

Byfors J., 1980, "Plain concrete at early ages" *Swedish Cement and Concrete Research Institute*, Fo. 3, n° 80, 345 p.

Byfors J., 1982, "The age-dependence of concrete creep at early ages", *RILEM International Conference on Concrete at Early Ages, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris*, Vol. 1, pp. 187-191.

Calavera J., García Dutari L., 1992, "Cálculo de flechas en estructuras de hormigón armado", *INTEMAC, Madrid*.

Carino N.J., 1982, "Maturity functions for Concrete", *Proceedings of RILEM International Conference on Concrete at Early Ages, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris*, Vol. 1 pp. 123-128.

Carlton D., Mistry N., 1991, "Thermo-elastic-creep analysis of maturing concrete", *Computers & Structures*, Vol. 40, n° 2, pp. 293-302.

CEB-FIP 1990, "CEB-FIP Model Code 1990", *Bulletin d'Information n° 213/214, Comité Euro-International du Béton*, 1993.

Chapman R.A., Shah S.P., 1986, "Early bond Strength in Reinforced Concrete", *ACI Materials Journal*, Title n° 84-M44, pp. 501-510.

Clark C.R., Johnston D.W., 1983, "Early Loading Effects on Bond Strength", ACI Journal, Title n° 80-49, pp. 532-539.

EH-91, "Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón en Masa y Armado", Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Madrid, 1991.

EC-2, 1991, "Proyecto de estructuras de hormigón. Eurocódigo n° 2: Parte 1. Reglas generales y reglas para edificación". Versión en castellano. CEDEX. Madrid.

Favre R., Charif H., 1992, "Basic model and simplified calculations of deformations according to the CEB-FIB MODEL CODE 1990", Institut de statique et structures Beton Armé et Précontraint (IBAP), Lausanne.

Fargueta F., Fernández Prada M.A., Miguel P., 1991, "Un método alternativo para el cálculo de flechas instantáneas en piezas de hormigón armado", Hormigón y Acero n° 181, pp. 93-116 (4° Trimestre).

Fernández Gómez J.A., 1986, "Estudio experimental de la evolución de las características mecánicas del hormigón curado en diversas condiciones y su aplicación al cálculo de los procesos de descimbrado", Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.

Gardner N.J., Zhao J.W., 1993, "Creep and Shrinkage Revisited", ACI Materials Journal, Title. n° 90-M26, pp. 236-246.

Gideon S., 1982, "Espacio, Tiempo y Arquitectura", ed. Dossat S.A.

Hansen P., Pedersen J., 1977, "Maturity Computer for Controlled Curing and Hardening of Concrete", Nordisk Betong, Stockholm, Vol. 21, pp. 19-34.

Haugland, Hofsoy, Garborg, Fjeldstad, 1976, "Tidligfastheter for beton", Sammandrarg, Faltforsøk, Laborieforsøk, FCB, Trondheim, Rapport n° 76-1, 2, 3, 4, 5.

Jiang D.H., Shah S.P. Andonian A.T., 1984, "Study of the Transfer of Tensile Forces by Bond", ACI Journal, Title n° 81-24, pp.251-259.

Kasai Y., 1962, "Initial strength of concrete (when water-cement ratio and slump are varied)", Japan Cement Engineering Association, 16th General Meeting, pp. 114-116.

Kasai Y. et al. 1963, "Initial strength of concrete using various kinds of cement", Japan Cement Engineering Association, 17th General Meeting, pp. 141-146.

- Kasai Y., 1969**, "Study on the Tensile Strength of Early Age Concrete", Concrete Journal, Vol. 7, n° 7, pp. 1-10.
- Kasai Y., 1969**, "Tensile Properties of Early Age Concrete", Proceedings of the 1971 International Conference on Mechanical Behaviour of Materials, Vol. IV, pp. 288-299.
- Kasai Y. et al., 1971**, "Tensile properties of early age concrete", Proceedings of the 1971 International Conference on Mechanical Behaviour of Materials, Vol. IV, pp.288-299.
- Kee C.F., 1971**, "Relation Between Strength and Maturity of Concrete", ACI Journal, Proceedings, Vol. 68, n° 3, pp. 196-203.
- Kjellsen K.O, Detwiler R.J., 1993**, "Later-Age Strength Prediction by a Modified Maturity Model", ACI Materials Journal, Vol. 90, n° 3, pp. 220-227.
- Leonhardt F., 1985-1987**, "Estructuras de hormigón armado", Tomo IV, ed. El Ateneo, Buenos Aires.
- Marí A.R., 1994**, "Simplified Method for the Calculation of Deflections in Reinforced Concrete Beams and one Way Slabs".
- Martínez Abella F., 1993**, "Investigación teórica y experimental sobre el comportamiento de losas de hormigón pretensado con armaduras postesas no adherentes", Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.
- Mattheis J., 1980**. "Hormigón armado, armado aligerado y pretensado",Ed. Reverté S.A., Barcelona.
- Menezes N.C., Trinh J.L., 1989**, "Retrait et fluage du béton. Effet d'échelle", ANNALES de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics, n° 479^{bis}, pp. 187-207.
- Mörsh E., 1952**, "Teoría y práctica del hormigón", 6 Tomos, ed. Gustavo Gili, Barcelona.
- Murcia J., 1991**, "Análisis aproximado en el tiempo de secciones de hormigón armado en servicio. Propuesta de un nuevo factor de cálculo de flechas diferidas", Hormigón y Acero, n° 181, pp. 9-16, (4º Trimestre).
- Nennig E., 1957**, "Les coffrages glissants mode de construction rapide", Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Public, n° 8, pp. 111-112.

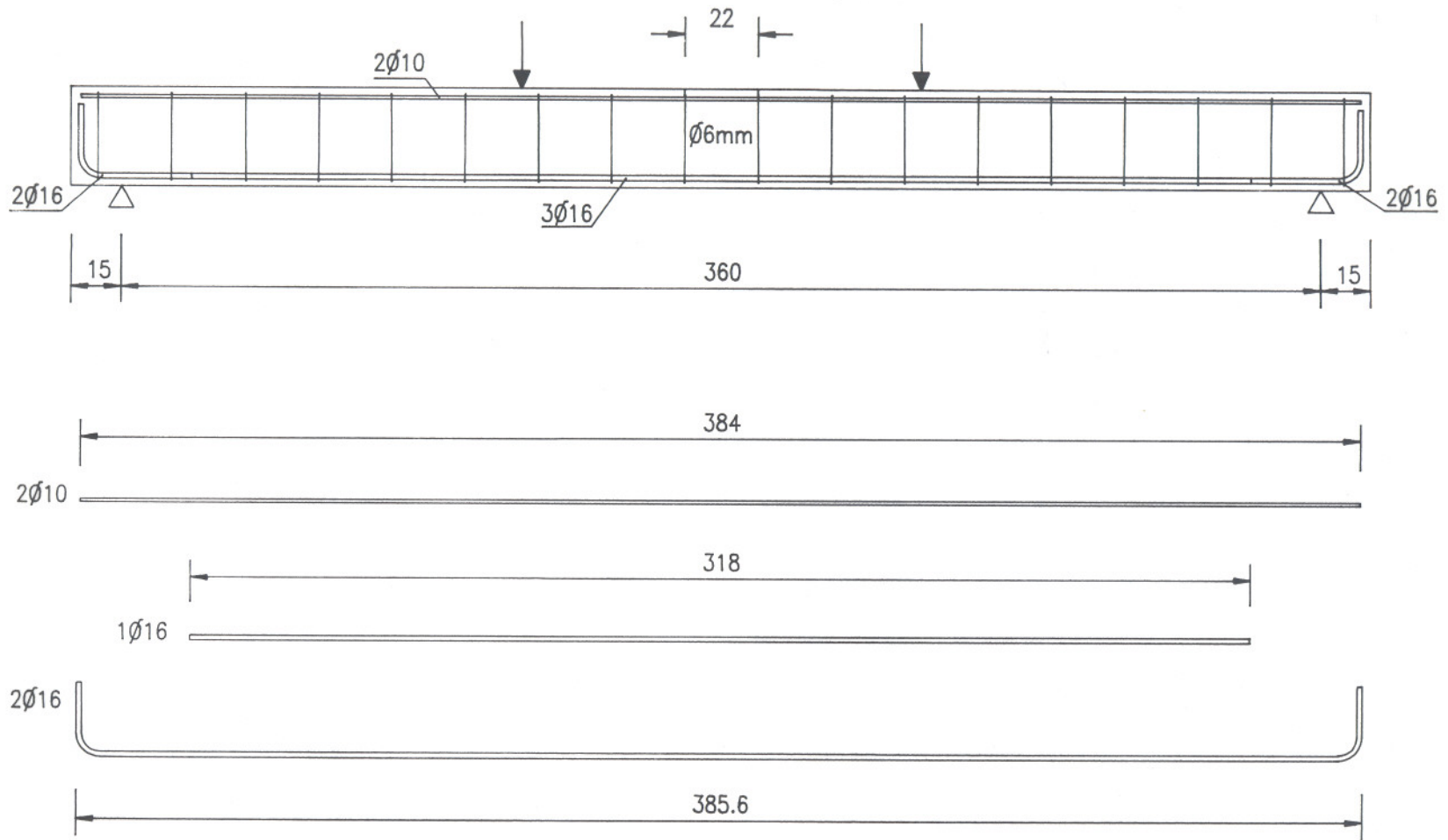
- Oloukun F.A., Burdette E.G., Deatherage J.H., 1990**, "Early-Age Concrete Prediction by Maturity- Another Look", *ACI Materials Journal*, Vol. 87, n° 6, pp. 565-572.
- Oloukun F.A., Burdette E.G., Deatherage J.H., 1991**, "Splitting Tensile Strength and Compressive Strength Relationship at Early Ages", *ACI Materials Journal*, Vol. 88, n° 2, pp. 115-121.
- Oloukun F.A., Burdette E.G., Deatherage J.H., 1991**, "Elastic Modulus, Poissons's Ratio, and Compressive Strength Relationships at Early Ages", *ACI Materials Journal*, Vol. 88, n° 1, pp. 3-10.
- Plowman J.M., 1956**, "Maturity and Strength of Concrete", *Magazine of Concrete Research (London)*, Vol. 8, n° 22, pp. 13-22.
- Rastrup E., 1954**, "Heat of Hydratation in Concrete", *Magazine of Concrete Research (London)*, Vol. 6 n° 17, pp. 79-92.
- RILEM, 1981**, "Properties of set concrete at early ages. State-of-the-art-report", *Materials and Structures*, Vol. 14, n° 84.
- Sadgrove R.M., 1969**, "An exploratory investigation of the short-term creep of concrete loaded in compression ar early age", *Report of Cement and Concrete Association, Departament Note DN/2028*, 21 p.
- Sadgrove R.M., 1970**, "The early development of strength in concrete", *CIRIA Technical Note*, Vol. 12, 43 p.
- Saul A.G.A., 1951**, "Principles Underlying the Steam Curing of Concrete at Atmospheric Pressure", *Magazine of Concrete Research*, Mar. 1951, pp. 127-140.
- Serrà I., Marí A.R., Martínez Abella F., López Almansa F., 1993**, "Experimental measurements of creep and shrinkage of early demolded reinforced concrete beams", *RILEM, Proceedings of CONCREEP 5, Barcelona*.
- Serrà I., Marí A.R., López Almansa F., 1993**, "Estudio experimental del comportamiento de vigas de hormigón armado descimbradas a tempranas edades", *Hormigón y Acero* n° 189, pp. 93-105, (4° Trimestre).
- Shah, S.P., Chandra S., 1970**, "Fracture of concrete subjected to cyclic and sustained loading", *ACI Journal*, Vol. 67, n° 10, pp. 816-825.
- Shah, S.P., Miller R.A., Viriding T.E., 1986**, "Early-Age Shear Strength of Reinforced Concrete Beams", *Properties of Concrete al Early Ages*, ACI SP-95, ed. J.F. Young, ACI, Detroit, pp. 71-82.

- Smith D.M., Hammons M.I., 1993**, "Creep of Mass Concrete at Early Ages", ASCE, Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 5, nº 3, pp. 411-417.
- Torroja Miret E., 1991**, "Razón y ser de los tipos estructurales", C.S.I.C., Madrid.
- UNE 83-303-84**, "Ensayos de hormigón. Refrentado de probetas con mortero de azufre", 1984.
- UNE 83-304-84**, "Ensayos de hormigón. Rotura por compresión", 1984.
- UNE 83-306-85**, "Ensayos de hormigón. Rotura por tracción indirecta (Ensayo Brasileño)". 1985.
- UNE 83-316**, "Ensayos de hormigón. Determinación del módulo de elasticidad del hormigón en compresión", 1991.
- Weaver J., Sadgrove B.M., 1971**, "Striking Times of Formwork-Tables of Curing Periods to Achieve Given Strength", CIRIA Report nº 36, Construction Industry Research and Information Association, London, 76 p.
- Weigler and Karl, 1974**, "Junger Beton, Teil I+II", Betonwerk + Fertigteil - Technik, nº 6+7.
- Wilson R., 1982**, "Long term behaviour of reinforced concrete loaded at early ages", RILEM International Conference on Concrete at Early Ages, Ecole National des Ponts et Chaussées, París, Vol. 1, pp. 267-272.
- Wilson R., 1982**, "Short term behaviour of reinforced concrete loaded at early ages", RILEM International Conference on Concrete at Early Ages, Ecole National des Ponts et Chaussées, París, Vol. 1, pp. 273-278.
- Yahia A.J., Rami H., 1992**, "Effect of Overloading of Concrete on Strength at Later Ages", Cement and Concrete Research, Vol. 22, pp. 927-936.
- Yamamoto T., 1982**, "Long term deflections of reinforced concrete slabs subjected to overloading at an early age", RILEM International Conference on Concrete at Early Ages, Ecole National des Ponts et Chaussées, París, Vol. 1, pp. 103-108.

Anejo I

PLANOS

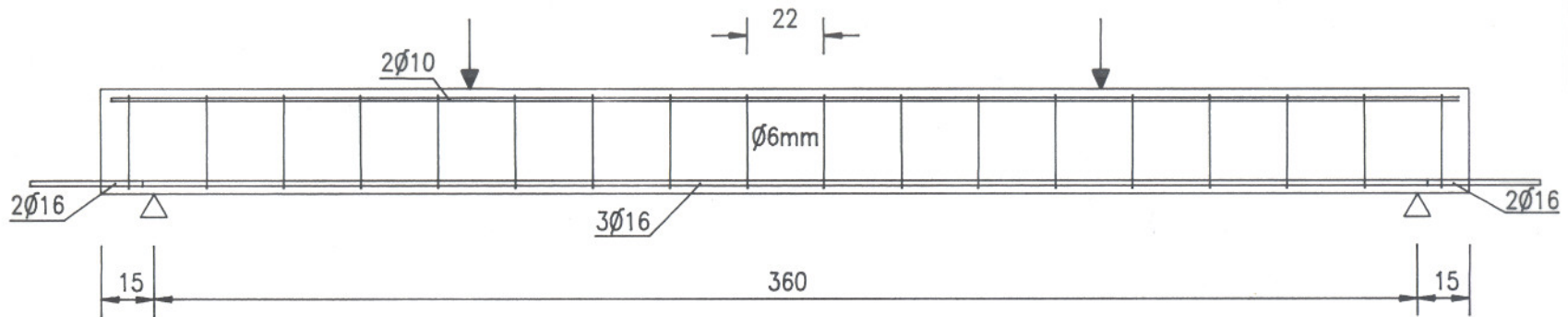
Despiece de armaduras. Vigas de la 1ª serie.....	A1.2
Despiece de armaduras. Vigas "R" de la 2ª serie.....	A1.3
Despiece de armaduras. Vigas "C" de la 2ª serie.....	A1.4
Detalle de los cercos (iguales en ambas series).....	A1.5
Detalle de la patilla de anclaje (igual en ambas series).....	A1.6



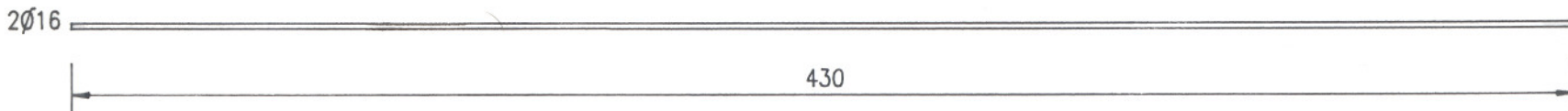
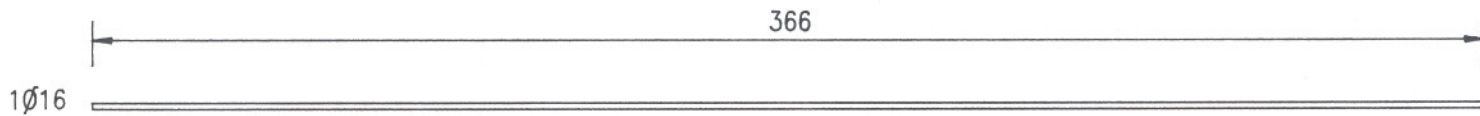
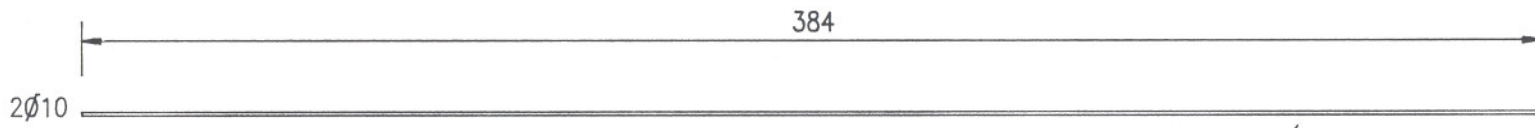
A1.2

DESPIECE DE ARMADURA. VIGAS SERIE 1.

Cotas en cm.

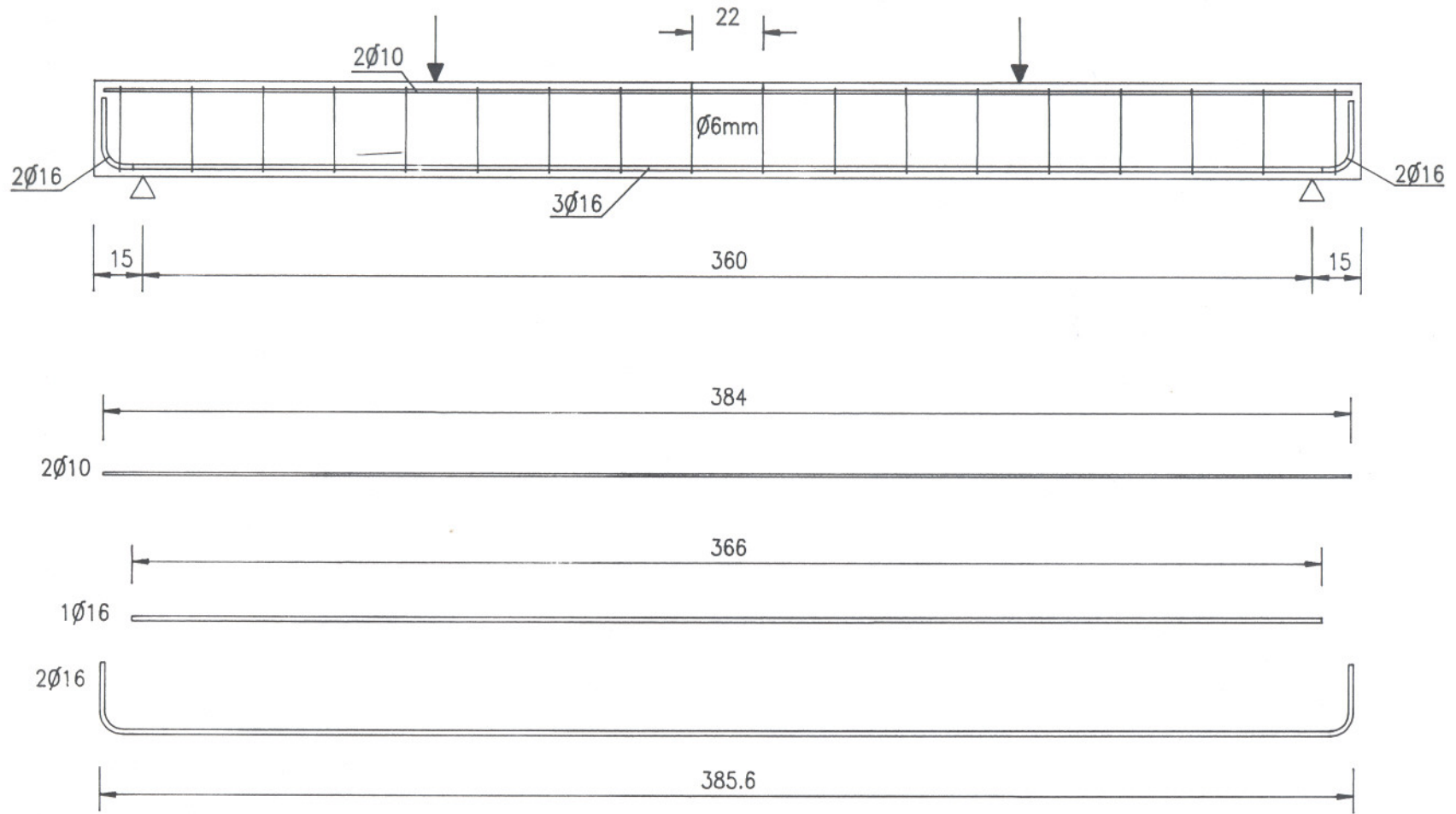


A1.3



DESPIECE DE ARMADURAS. VIGAS "R" SERIE 2.

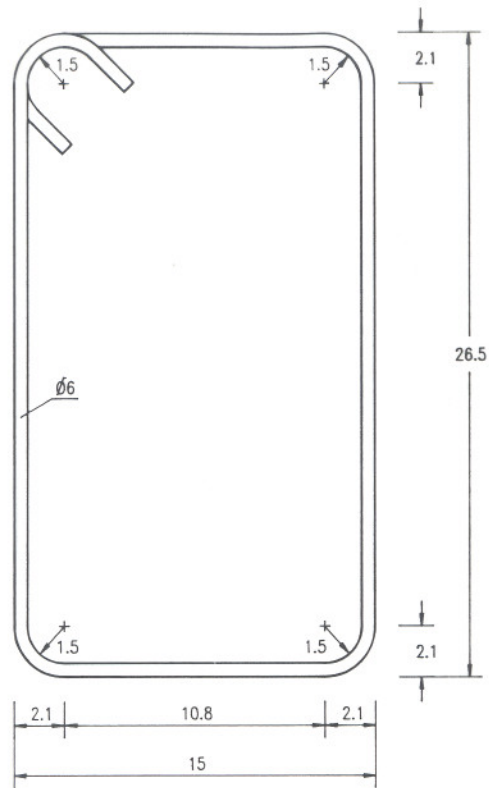
Cotas en cm.



A1.4

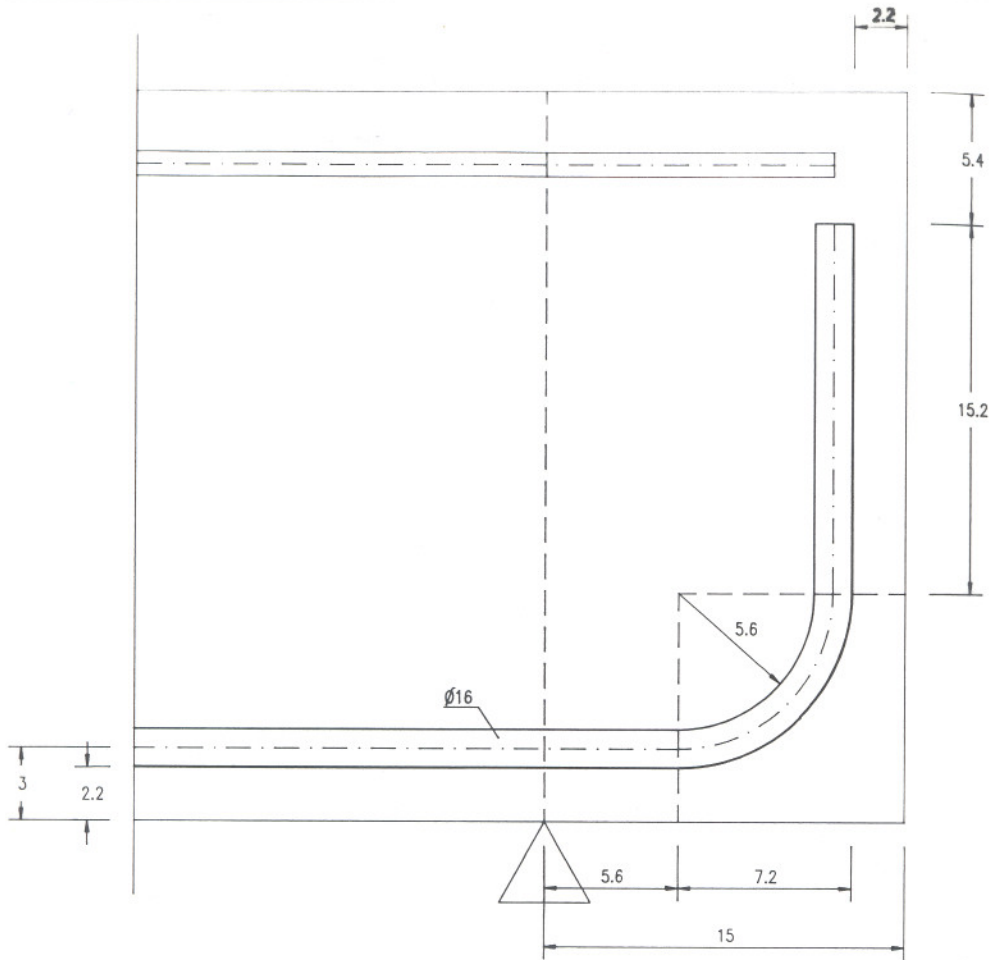
DESPIECE DE ARMADURA. VIGAS "C" SERIE 2.

Cotas en cm.



DETALLE CERCOS

Cotas en cm.



DETALLE PATILLA ANCLAJE
Cotas en cm.

Anejo II

DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA

Construcción de vigas y probetas.....	A2.2
Instrumentación de las vigas.....	A2.6
Ensayos sobre probetas.....	A2.9
Desenfrado y traslado de las vigas.....	A2.11
Ensayos a rotura.....	A2.11
Ensayos a fluencia.....	A2.19



Foto 1.- Vista general del laboratorio. Disposición de los encofrados de las vigas y los moldes para probetas.

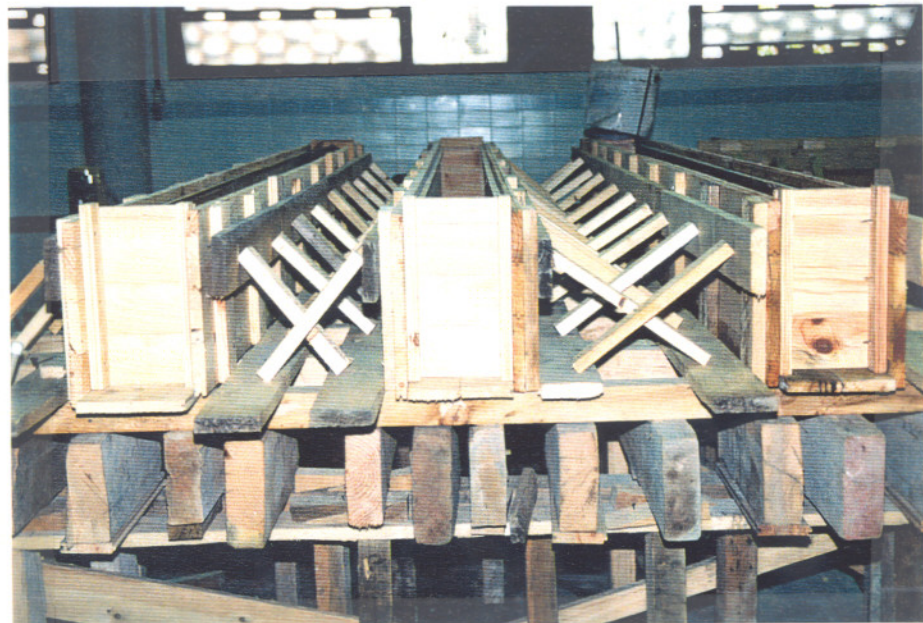


Foto 2.- Detalle del encofrado de las vigas. La bancada construida para soportar los encofrados de las vigas destinadas a ensayo de rotura permitfa descimbrar cada una de ellas por separado.



Foto 3.-

Detalle de la armadura y el encofrado. La armadura fue instrumentada con anterioridad a su colocación.



Foto 4.- Hormigonado de las vigas. El hormigón fue transportado en camión hormigonera y puesto en obra mediante cubilote.



Foto 5.-

Hormigonado de las vigas.
Detalle del vertido del hormigón
con el cubilote.



Foto 6.-

Hormigonado de las vigas.
La compactación del hormigón
se realizó mediante vibradores
convencionales.

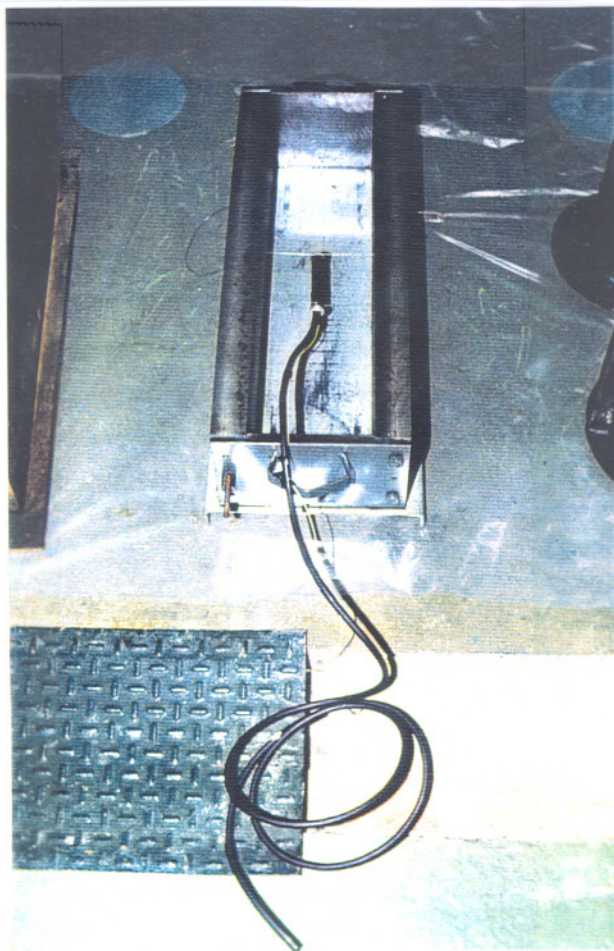


Foto 7.-

Detalle del molde para la probeta de retracción. Previamente al hormigonado se sujetó la galga mediante alambres de "nylon", garantizando así su localización en el interior de la probeta.



Foto 8.-

Detalle de los moldes para las probetas de fluencia. La galga colocada en el interior de cada molde fue sujeta mediante alambres de "nylon" para garantizar su situación. El orificio central de la tapa del molde permitía conducir el cable de salida.

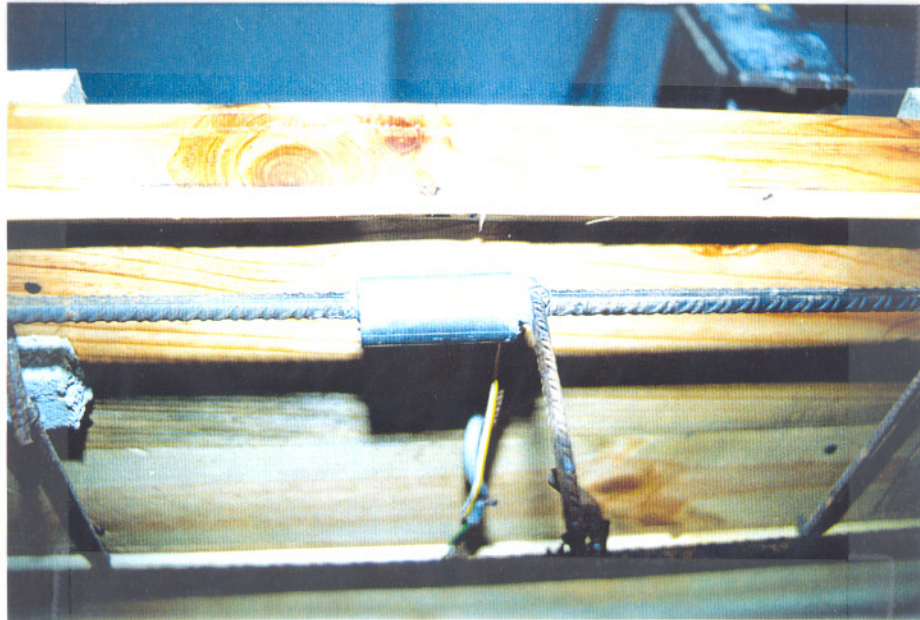


Foto 9.- Detalle de la instrumentación de la armadura longitudinal. Las galgas pegadas a la armadura fueron protegidas mediante un tubo metálico hueco para evitar que el rozamiento con el hormigón o el aumento de temperatura durante el fraguado pudiera dañarlas.



Foto 10.-

Detalle de la instrumentación de la armadura transversal. Se instrumentaron dos cercos de cada una de las vigas de la 2ª serie para estudiar el comportamiento de los mismos durante los ensayos de rotura por cortante.

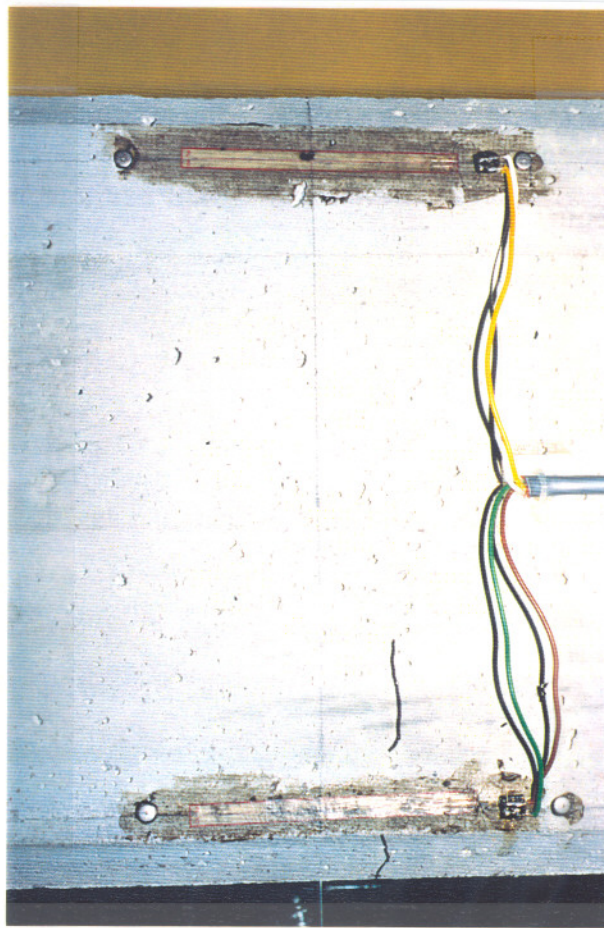


Foto 11.-

Detalle de la instrumentación del hormigón. En cada cara (frontal y dorsal) se dispusieron 4 puntos para extensómetro mecánico y 1 galga pegada, tanto en las fibras superiores como inferiores de la viga.



Foto 12.- La medición de flechas en los ensayos de fluencia se realizó mediante relojes comparadores. Éstos estaban sujetos a un pequeño pórtico metálico que se apoyaba en la losa de carga y era inmovilizado con sacos de arena.

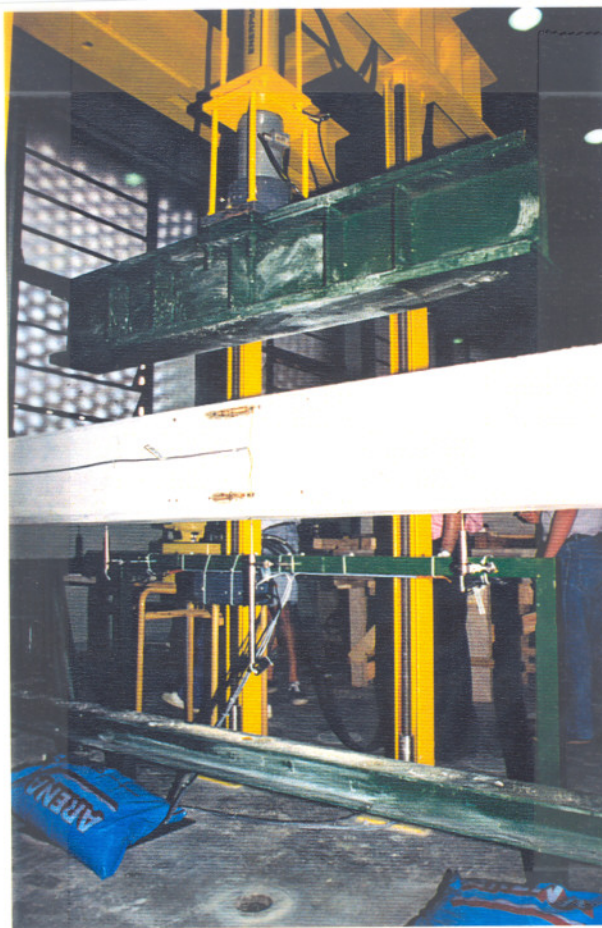


Foto 13.-

La medición de flechas en los ensayos a rotura fueron medidas mediante LVDT's. Éstos estaban sujetos a un pequeño pórtico metálico que se apoyaba en la losa de carga y era inmovilizado con sacos de arena.

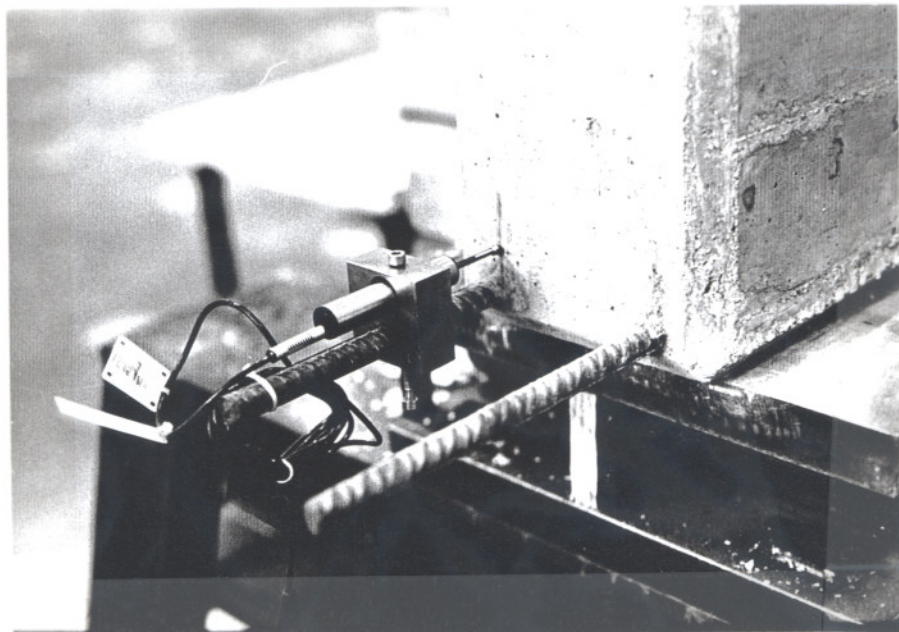


Foto 14.- Con el fin de detectar el posible deslizamiento de la armadura traccionada, en las vigas de la 2ª serie, ensayadas a rotura inmediatamente después del descimbrado, se colocó un LVDT sujeto al tramo exterior de la barra, midiendo así la distancia entre el punto de sujeción y la cara extrema de la viga.

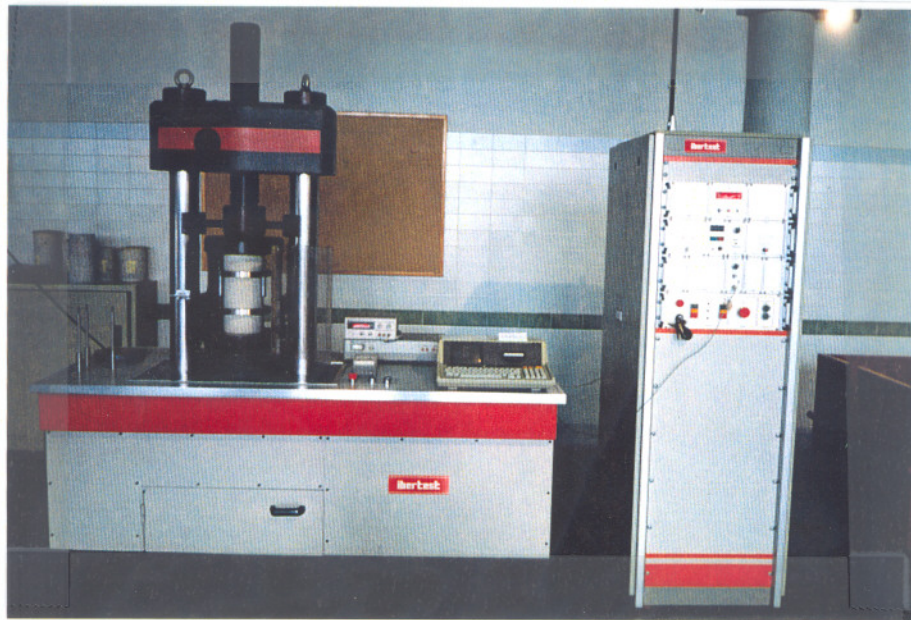


Foto 15.- Los ensayos de rotura por compresión, tracción indirecta y módulo de deformación fueron realizados con la prensa IBERTEST, modelo HIB-1500-AUTO, de 1500 kN de capacidad.

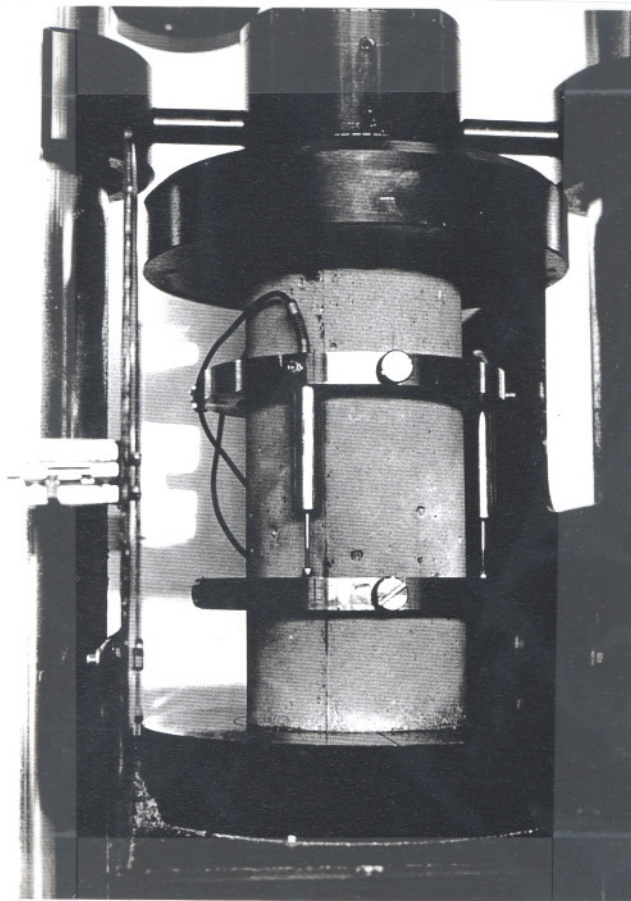


Foto 16.-

El equipo de medición utilizado en los ensayos de módulo de deformación estaba constituido por 2 anillos metálicos, fijados a la probeta en la zona central de la misma, entre los que se dispuso 3 LVDT's sujetos al anillo superior.

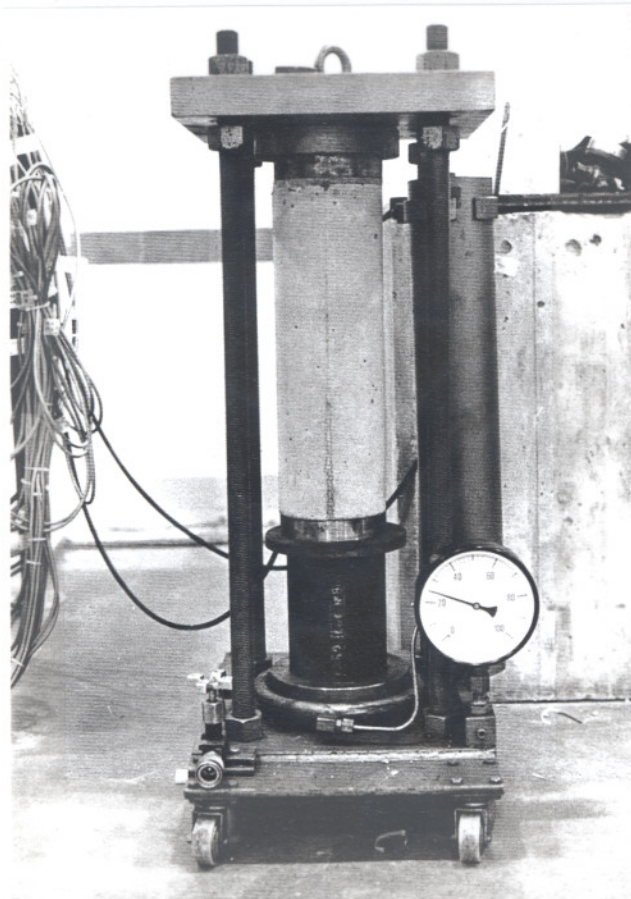


Foto 17.-

El equipo de carga utilizado en los ensayos de probetas a fluencia estaba configurado por un bastidor metálico, dotado de un gato plano que estaba conectado a un acumulador oleoneumático, el cual mantenía constante la presión sobre la probeta.

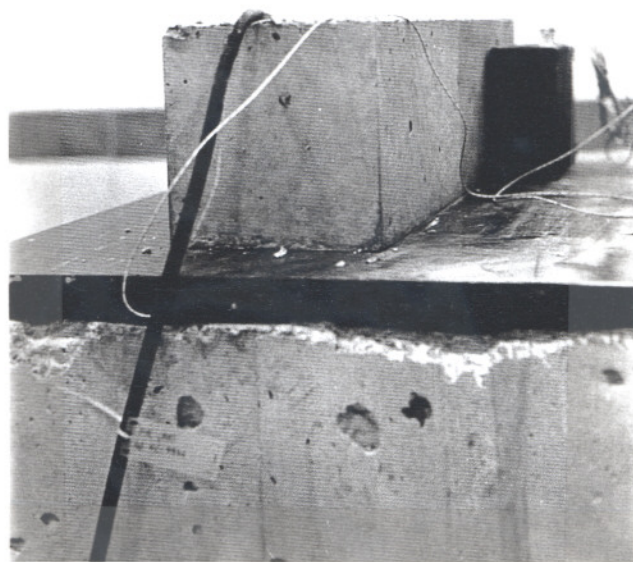


Foto 18.-

La probeta de retracción fue conectada al SAD 5 horas después de finalizado el hormigonado. A través de dos sondas conectadas a un squirrel, se registró tanto la temperatura del hormigón como la ambiente.

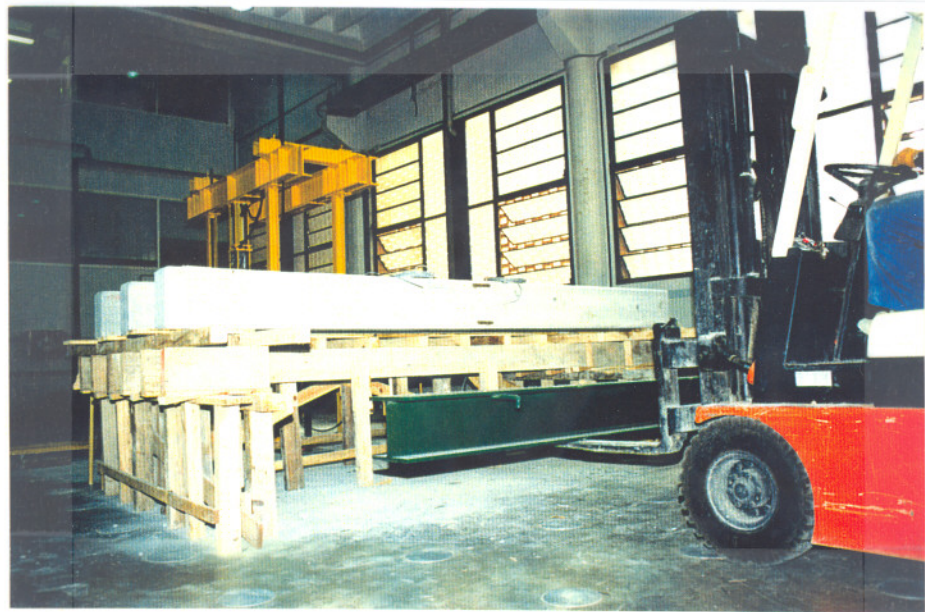


Foto 19.- El día siguiente al hormigonado se procedió a retirar los encofrados laterales de las vigas, dejando las cimbras hasta el momento del ensayo.

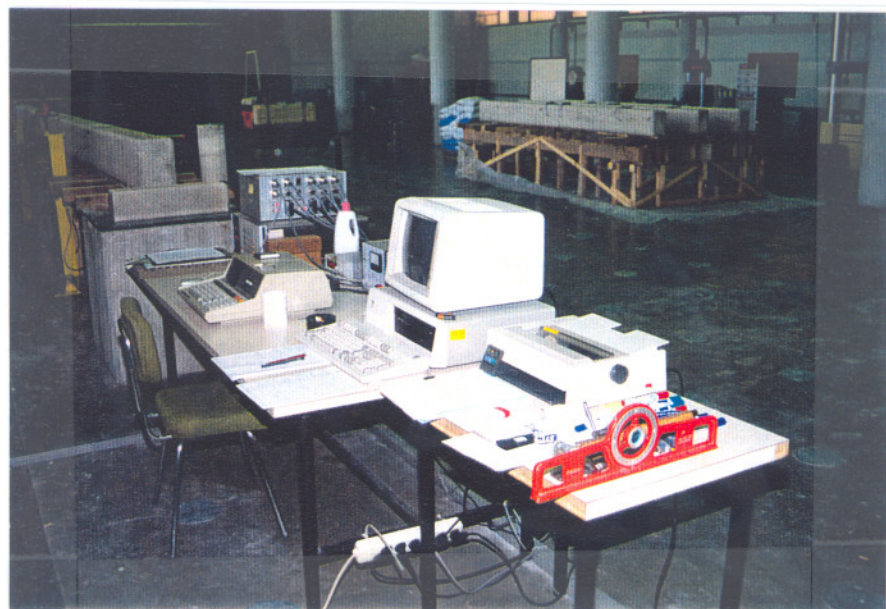


Foto 20.- El centro de control de los ensayos estaba configurado por el Sistema de Adquisición de Datos, el Módulo de Conexión, el ordenador HP-85 y dos fuentes de alimentación. Además se dispuso de un PC y una impresora para realizar las predicciones antes de los ensayos.

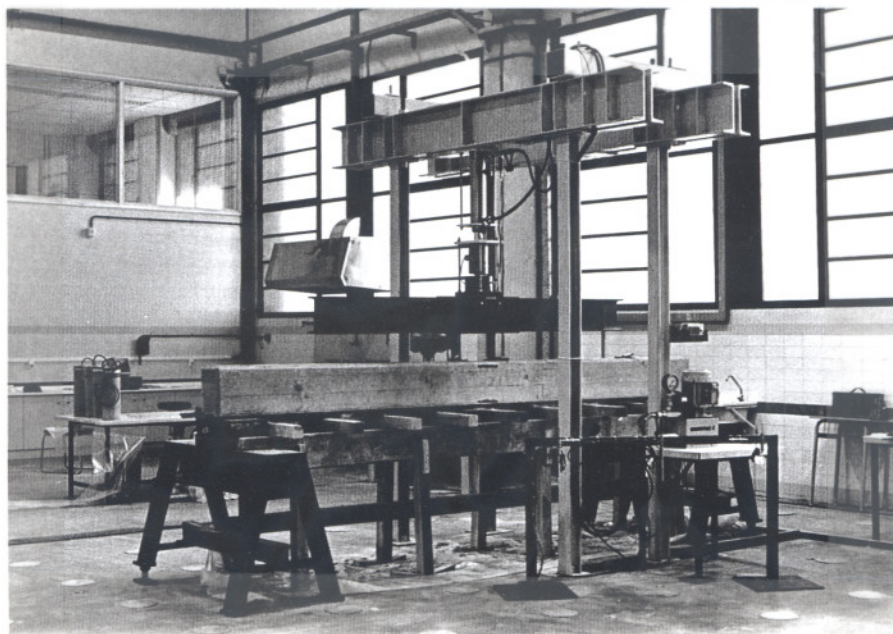


Foto 21.- El equipo de carga utilizado en los ensayos de rotura estaba formado por un pórtico metálico doble, anclado a la losa de carga, y dotado de un gato hidráulico de doble acción que permitió colgar de él la viga de reparto.



Foto 22.-

Del extremo del émbolo del gato hidráulico se colgó la célula de carga, que a su vez estaba sujeta a la viga de reparto. Con ello, junto con el doble efecto del gato, era posible descargar fácilmente las vigas, una vez ensayadas.



Foto 23.- Después de cada incremento de carga se procedía a la visualización y marcado de fisuras. Ello permitió croquizar, posteriormente, el estado de fisuración de las vigas.



Foto 24.-

Las vigas de la primera serie rompieron por flexión. Para los últimos escalones de carga el incremento de flecha era apreciable a simple vista.

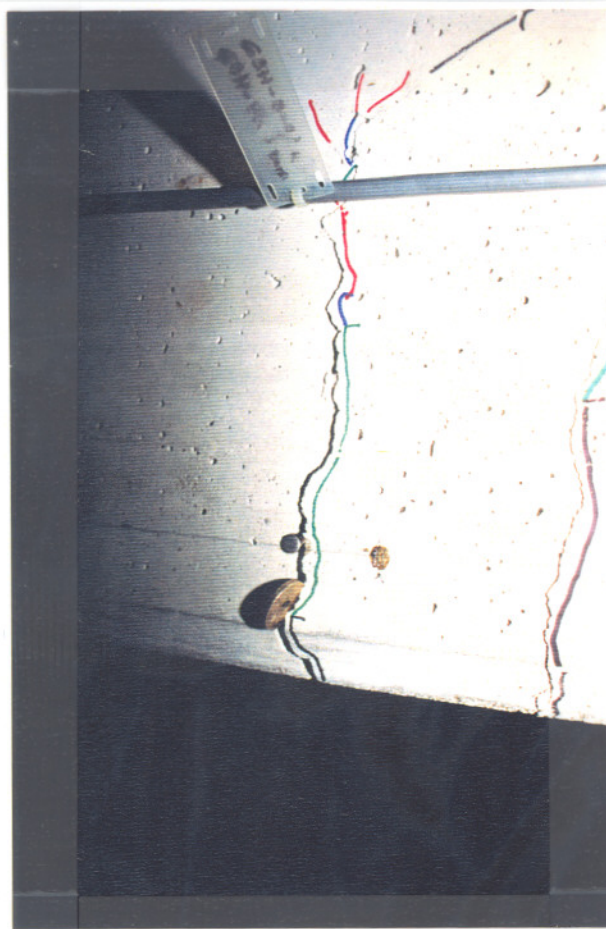


Foto 25.-

Detalle de la grieta producida en la viga R11.

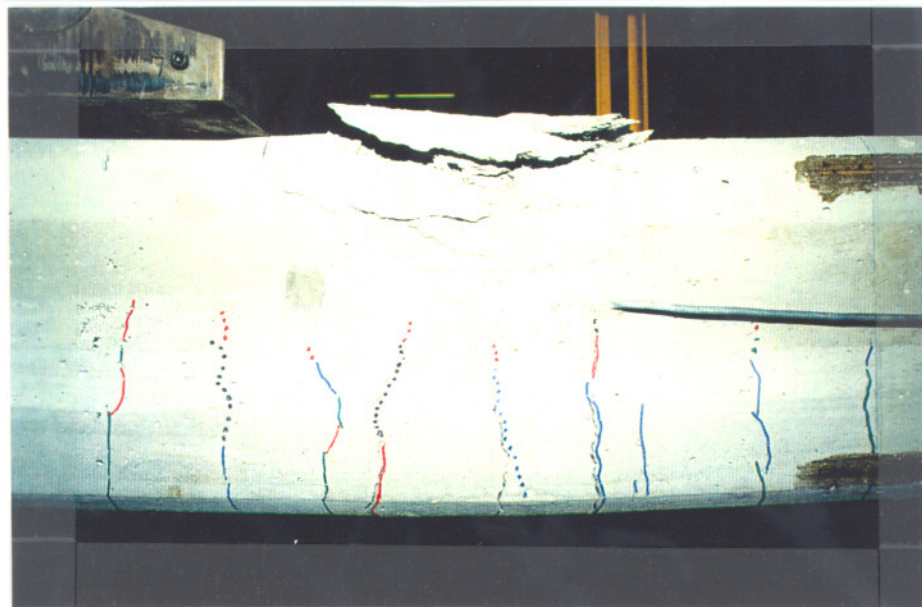


Foto 26.- En todas las vigas de la primera serie se produjo el pandeo de la armadura superior (de montaje), con el consiguiente desconchamiento del hormigón. (viga R13)



Foto 27.-

Detalle de la fisura longitudinal aparecida en la cara inferior de la viga R11, para un nivel de carga cercano a la rotura.

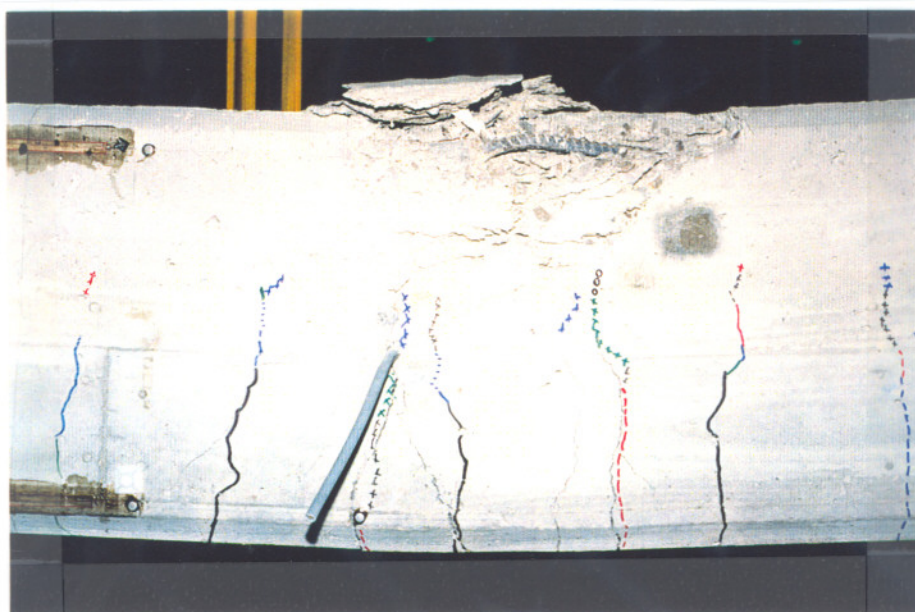


Foto 28.- Viga C12. Detalle del pandeo de la armadura superior.

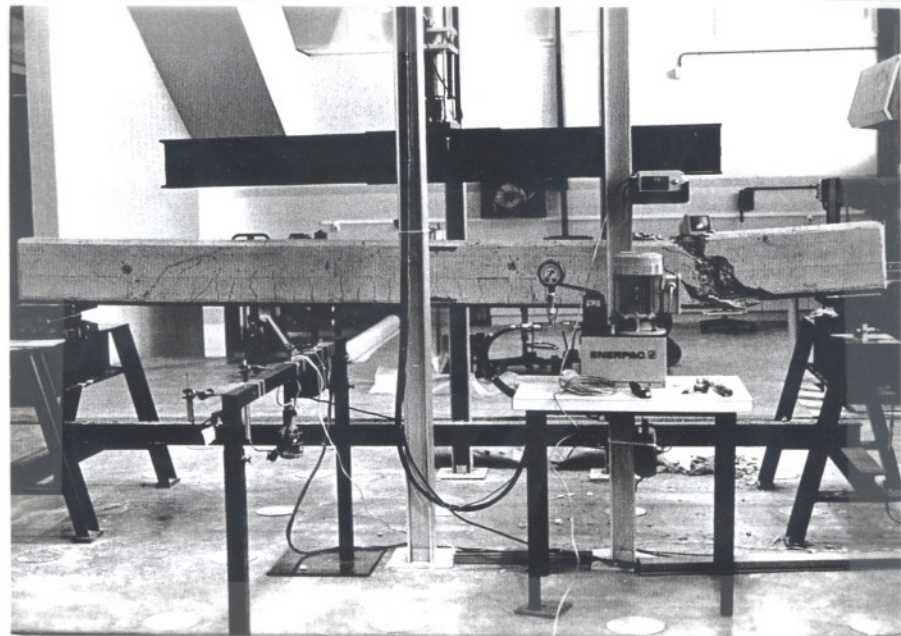


Foto 29.- Las vigas de la segunda serie rompieron por cortante. Estado final de la viga R21.



Foto 30.- Detalle de la rotura de la viga R21. La grieta de cortante se iniciaba junto a la rótula superior, con una inclinación entre 35° y 45° .



Foto 31.- La viga R21 rompió por el extremo instrumentado a cortante. Con la rotura se produjo el desprendimiento del hormigón que recubría la armadura traccionada. También pandeó la armadura comprimida.



Foto 32.- Vista general del estado final de la viga C22. En las vigas sometidas a precarga el plano de rotura fue más evidente que en el caso de las ensayadas justo después del descimbrado.

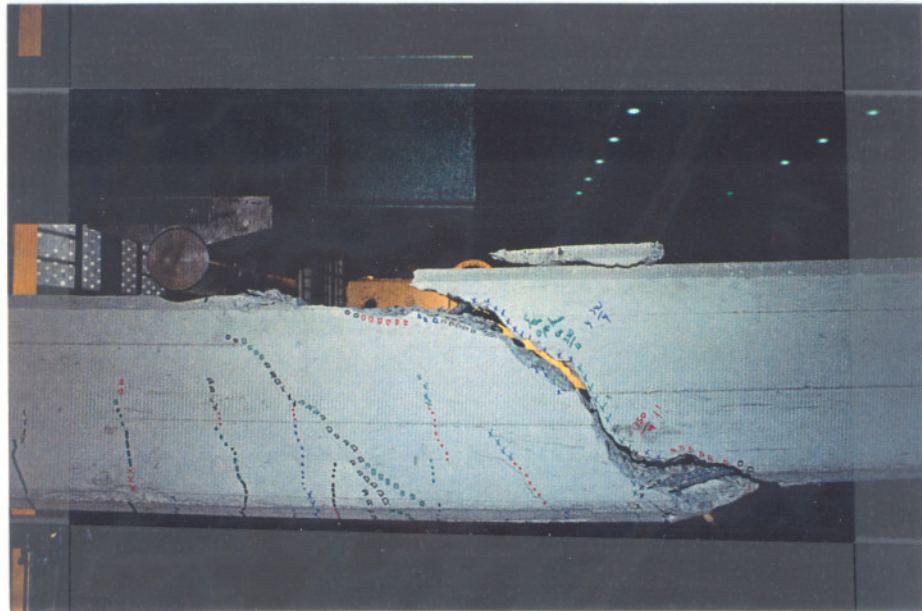


Foto 33.- Detalle de la rotura de la viga C22. El ancho de la grieta fue tal que podía verse el otro lado de la viga.

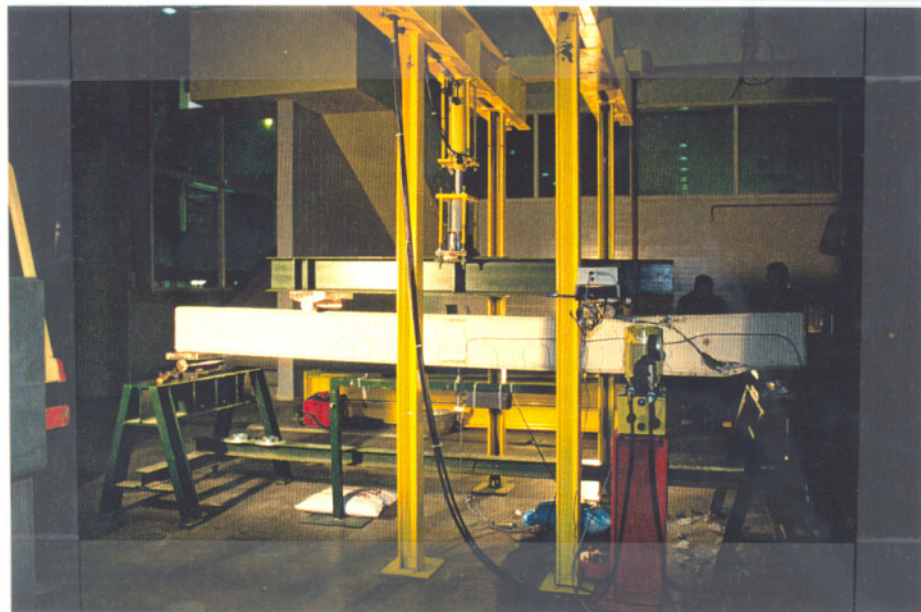


Foto 34.- Vista general del estado final de la viga C24. En las vigas "C" la inclinación de la grieta fue más pendiente que en las vigas ensayadas justo después del descimbrado.

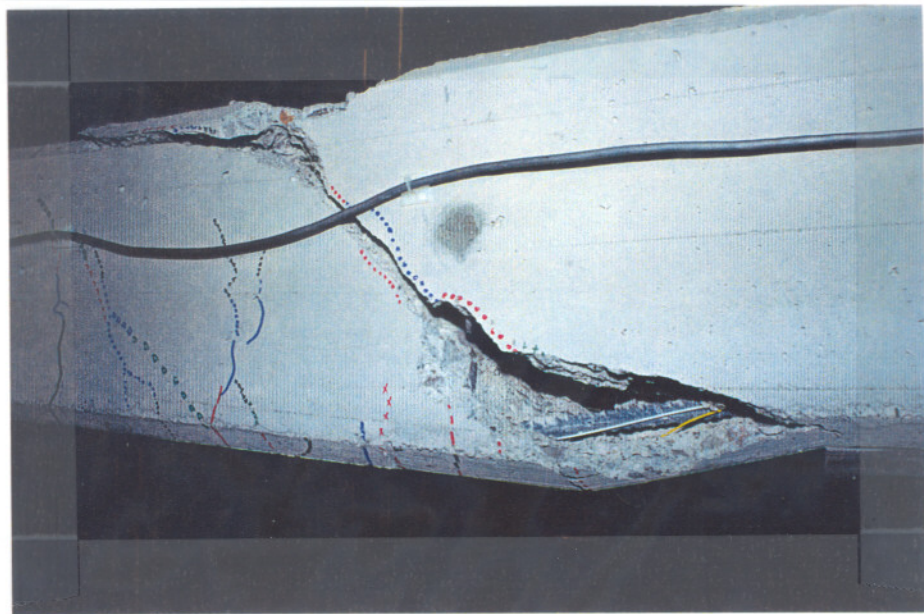


Foto 35.- Detalle de la rotura de la viga C24. En las vigas "C" llegó a romper el cerco que atravesaba la grieta de cortante.



Foto 36.- Vista general de las cuatro vigas de la segunda serie sometidas a carga mantenida (ensayo de fluencia).

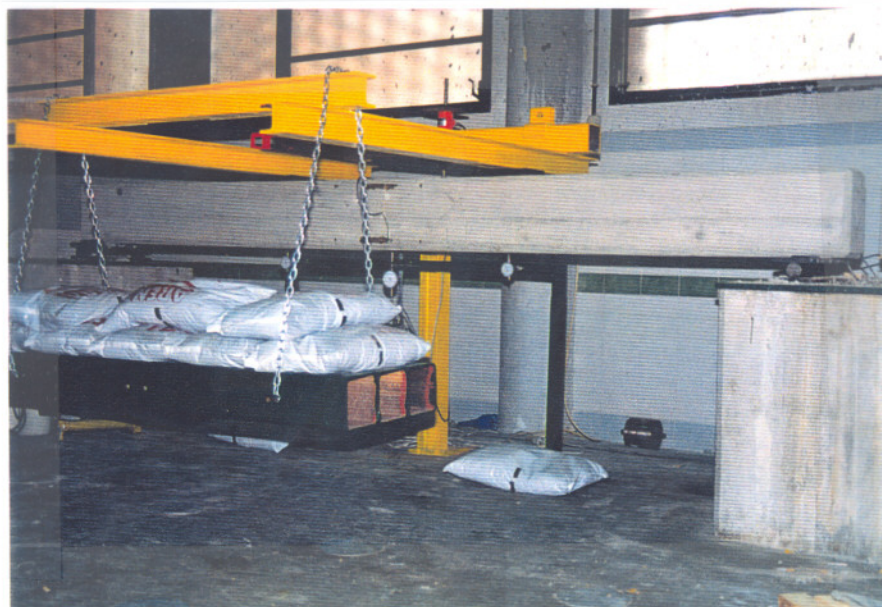


Foto 37.- El sistema de carga empleado estaba configurado por un bastidor metálico apoyado sobre la viga, sujeto por un extremo a la losa de carga mediante un tirante y colgando de su otro extremo la carga muerta (sacos de arena).



Foto 38.- Una vez finalizado el proceso de carga y cada vez que se realizaban mediciones, se procedía a visualizar y marcar las fisuras aparecidas. Ello permitió croquizar, posteriormente, el estado de fisuración de cada viga.