

Memorias del Encuentro Argentino de Ingeniería

- | Enseñanza de la Ingeniería-CAEDI
- | Gestión de la Educación en Ingeniería
- | Agrimensura, Geodesia y Ciencias de la tierra y el mar
- | Biotecnología y Bioingeniería
- | Materiales y Nanotecnología aplicada a los materiales
- | Desarrollo Tecnológico Social, Vinculación Universidad, Empresa y Estado
- | Ejercicio Profesional de la Ingeniería, Empresas y Servicios
- | Ferroviaria, Automotriz, Naval y Transporte
- | Alimentos y Agroindustria
- | Agronomía y Forestal
- | Energía, Energías Limpias, Energías Renovables y Eficiencia Energética
- | Ingeniería Sostenible, Gestión Ambiental y Cambio Climático
- | Innovación y Emprendedorismo en Ingeniería
- | Mujeres en Ingeniería y Cambio Social
- | Obras y Proyectos de Ingeniería, Infraestructura y Conservación del Patrimonio
- | Tecnología de la Información y Comunicación



Memorias del Encuentro Argentino de Ingeniería : edición 2022 / José Basterra...

[et al.] ; contribuciones de Carolina Orcola ; compilación de Martina Perduca ; prólogo de Nestor Braidot ; Jose Basterra. - 1a ed compendiada. - Corrientes : Universidad de la Cuenca del Plata. Secretaría de Políticas del Conocimiento, 2023.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-4050-08-3

1. Ingeniería. 2. Educación. I. Basterra, José, prolog. II. Orcola, Carolina, colab. III. Perduca, Martina, comp. IV. Braidot, Nestor, prolog.

CDD 620.007

ISBN 978-987-4050-08-3



Título: “Estudio experimental de vigas de hormigón armado solicitadas a flexión”

Morel, Claudia^a, Cóceres, Héctor^a

a Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste (UNNE)

cmorel@ing.unne.edu.ar

Resumen

El presente trabajo tiene por objetivo el estudio experimental de vigas de hormigón armado solicitadas a flexión, a través de ensayos realizados en el Laboratorio de Estructuras y Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste (FI-UNNE). Estos ensayos forman parte de un trabajo interdisciplinario de integración, entre las Asignaturas “Estudio y Ensayo de Materiales” y “Hormigón Armado I”, ambas de la Carrera de Ingeniería Civil (FI-UNNE). En una primera etapa, los docentes y alumnos de la asignatura Estudio y Ensayo de Materiales, participan activamente en la dosificación, preparación de encofrados y armaduras, y elaboración de las vigas de hormigón armado. En la segunda etapa, los docentes y alumnos de la asignatura Hormigón Armado I, colaboran efectuando el análisis estructural para la verificación de la resistencia a flexión de las vigas a ensayar, y realizar una estimación de la capacidad portante de la mismas. Posteriormente, se procede a realizar en el Laboratorio el ensayo a flexión de las vigas preparadas previamente, hasta alcanzar el estado límite último. Los resultados experimentales se validan por medio de los fundamentos teóricos del comportamiento del hormigón armado

Abstract

The objective of this work is the experimental study of reinforced concrete beams under bending load through tests carried out in the Structures and Materials Laboratory of the Engineering School of the Universidad Nacional del Nordeste (FI-UNNE). These tests are part of an integration work between the courses "Study and Testing of Materials" and "Reinforced Concrete I", both belonging to the Civil Engineering program (FI-UNNE). In the first phase, the teachers and students of the course "Study and Testing of Materials" actively participate in batching, preparation of formwork and reinforcement, and construction of reinforced concrete beams. In the second phase, the teachers and students of the course "Reinforced Concrete I" participate in the structural analysis in order to check the bending strength of the beams to be tested and to estimate their load-bearing capacity. The bending test is then carried out on the previously prepared beams in the laboratory until the ultimate limit state is reached. The test results are validated against the theoretical principles on the behavior of reinforced concrete.

Palabras clave: Enseñanza en Ingeniería, Ensayo experimental, Vigas de hormigón armado, Flexión, Tecnología del Hormigón.

INTRODUCCIÓN

Los reglamentos que actualmente rigen el dimensionamiento de secciones de hormigón armado se basan en el método de los Estados Límites Últimos (ELU), y los Estados Límites de Servicio (ELS) y en su gran mayoría las expresiones analíticas están respaldadas por valores obtenidos en ensayos de laboratorio. Es importante que el futuro ingeniero civil conozca el comportamiento de elementos de hormigón armado sujetos a diferentes solicitaciones. Es a través de los ensayos de laboratorio que pueden ser medidas las distintas respuestas de un elemento de hormigón armado y, a partir de éstas, verificar la validez de las

hipótesis que las distintas normas proponen para el dimensionamiento de estos elementos.

En este trabajo van a ser estudiados las vigas de hormigón armado sujetas a flexión, y la forma de actuación de los mecanismos resistentes debido a este tipo de solicitación. El objetivo del estudio es doble, por una parte observar y verificar el comportamiento de las vigas ante los esfuerzos de flexión, desde el inicio de la carga hasta la rotura; por otro lado, dotar a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería, en particular de las asignaturas involucradas en los ensayos, de las competencias profesionales adecuadas para realizar por sí mismos todo el proceso de elaboración y verificación de su capacidad resistente

de vigas de hormigón armado, tanto en forma teórica como experimental, utilizando para ello los conceptos aprendidos en las asignaturas intervinientes, y los laboratorios que la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste dispone. Se cumple, de esta manera la integración intercátedras de actividades, prevista en el Plan de estudios de la Carrera de Ingeniería Civil.

VIGAS A FLEXIÓN SIMPLE

La flexión es una deformación que experimenta un elemento sometido a cargas transversales a su eje longitudinal. Las vigas sufren un momento de giro externo llamado momento flector. Las fuerzas actuantes (cargas y reacciones), al no estar en una misma recta de acción, producen una rotación de los puntos de apoyo, lo que genera una curvatura del eje longitudinal de la viga, es decir, flexión. Esta deformación por flexión, origina que una parte de la sección transversal esté sometida a tracción y otra parte, a compresión. Estas tensiones de tracción y compresión producen un momento interno, que debe equilibrar al originado por las fuerzas exteriores.

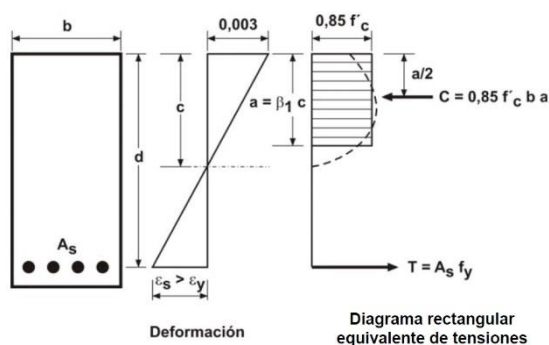


Figura 1: Modelo analítico del comportamiento de vigas a flexión.

La falla de una sección de hormigón armado a flexión, o Estado Límite Ultimo puede ocurrir por aplastamiento del hormigón, por deformación excesiva de la armadura traccionada, o por ambos fenómenos al mismo tiempo. En todas las ocasiones es importante determinar el modo de falla, ya que éste es una medida de la ductilidad del elemento al ocurrir la misma. En los elementos flexionados, la falla puede estar controlada por compresión, en el caso de tener una deformación de la armadura traccionada inferior al 2%; o controlada por tracción, si dicha deformación es superior al 5%, con una zona intermedia entre ambos valores. El criterio establecido por el Reglamento CIRSOC 201 [1], es que la falla esté controlada por tracción, con lo cual se asegura

una adecuada ductilidad del elemento, con suficiente preaviso antes que se alcance la rotura.

METODOLOGÍA

Se realizaron ensayos a flexión simple sobre dos vigas de hormigón armado de iguales dimensiones longitudinales y transversales, pero con distinta armadura cada una.

El procedimiento del ensayo consta de dos partes: en la primera, los alumnos de la Cátedra Estudio y Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería (UNNE), tienen a su cargo la elaboración de las vigas a ensayar, y la realización de los ensayos de recepción y de verificación de la resistencia a compresión del hormigón utilizado. En la segunda parte, los alumnos de la Cátedra Hormigón Armado I, de la misma Facultad, proceden a realizar y registrar los datos del ensayo destructivo a flexión de las vigas previamente elaboradas. Para la realización de todo el procedimiento se utilizan las instalaciones y el equipamiento disponibles en el Laboratorio de Materiales y Estructuras, de la Facultad de Ingeniería de la UNNE.

PREPARACIÓN DE LAS VIGAS

Los ensayos se realizaron sobre dos vigas de hormigón armado, de las siguientes características:

Ambas vigas son de sección rectangular. $b = 15\text{cm}$; $h = 20\text{cm}$; luz entre apoyos = 180cm . La armadura de las mismas es:

- Viga 1: armadura longitudinal: 2 barras superiores de $\phi 6\text{mm}$ y 2 barras inferiores de $\phi 12\text{mm}$. Estribos de $\phi 6\text{mm}$ cada 20cm .
- Viga 2: armadura longitudinal: 2 barras superiores de $\phi 6\text{mm}$ y 2 barras inferiores de $\phi 8\text{mm}$. Estribos de $\phi 6\text{mm}$ cada 20cm .

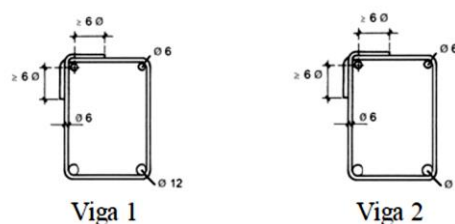


Figura 2: Armaduras de las vigas ensayadas.

En la primera etapa, los estudiantes realizaron en una jornada el cortado, doblado y colocación de las armaduras en encofrados de madera laminada fenólica, previamente preparados.

A continuación, se procedió al llenado de las vigas con hormigón provisto por una empresa de hormigón elaborado. Se utilizó un hormigón H-25, con

asentamientos de 10 cm y 18 cm, al cual se le realizaron todos los ensayos de recepción indicados por las normas. También se tomaron muestras para la realización de probetas cilíndricas normalizadas, con el objeto de ser ensayadas posteriormente, a fin de verificar la resistencia a compresión del hormigón utilizado.



Figura 3: Elaboración de las vigas.

Se procedió asimismo a una compactación del hormigón vertido, por medio del uso de varillas de acero y de vibradores.

Finalmente, se efectuó el curado de las vigas, por medio de un humedecimiento adecuado en horas posteriores al hormigonado, recubriendo su superficie con una cubierta de tejido de yute, y manteniendo las condiciones de humedad adecuada durante los días siguientes, tarea que estuvo a cargo del personal del Laboratorio.

En las siguientes semanas, se efectuaron los ensayos para determinar la resistencia a compresión de las probetas preparadas durante el hormigonado, a los 7 y a los 28 días. Para este proceso, se siguieron las prescripciones que al respecto establece la Norma IRAM 1546 [2]. Se pudo comprobar que los valores de resistencia se ajustaron a los especificados por la empresa proveedora del hormigón elaborado. Los resultados de estos ensayos se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1: Resultados del ensayo a compresión de probetas cilíndricas.

Nº Probeta	Edad (días)	Carga (kN)	Tensión (MPa)
1	7	181.24	23.10
2	7	182.38	23.20
3	7	391.02	22.10
4	7	348.53	19.70
5	28	210.58	26.80
6	28	212.87	27.10
7	28	446.77	25.30
8	28	442.90	25.10

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

El estudio experimental se realizó en el Laboratorio de Estructuras y Hormigón de la Facultad de Ingeniería de la UNNE. Luego de preparar e instalar las vigas en el mecanismo de carga, se procede a dar inicio al ensayo. Al mismo tiempo, se efectuó la medición del descenso de la viga a medida que iban aumentando los valores de carga, mediante la utilización de un flexímetro ubicado en el centro de la luz.

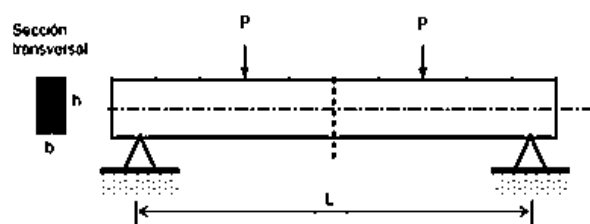


Figura 4: Esquema de cargas de las vigas.

Los ensayos a flexión se realizaron aplicando cargas puntuales en los tercios de la luz de la viga, con el objeto de generar en la zona central de la misma, una zona donde sólo actúen esfuerzos de flexión pura, según se muestra en la Figura 5.

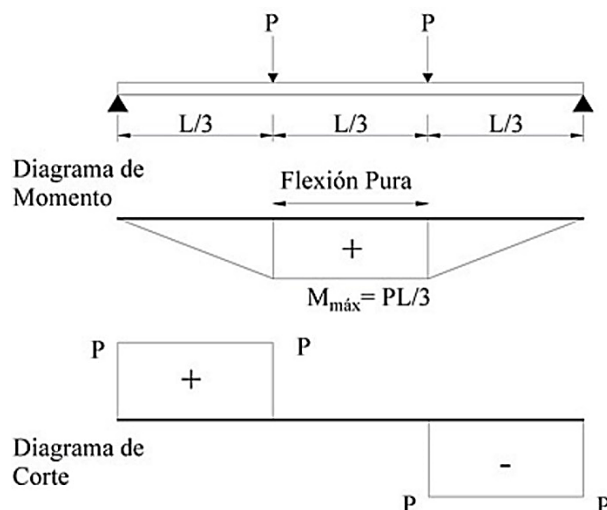


Figura 5: Diagrama de solicitaciones resultante.

El registro de los valores de carga y deflexiones permitió la confección posterior de los diagramas carga-descenso. La carga se va aumentando de manera gradual, con una velocidad de carga predeterminada, tomando las lecturas de cargas y descenso a intervalos prefijados. A medida que aumenta la carga, se procede a registrar los valores de los descensos que van apareciendo en la viga, y

también se registró la carga a la que observó el inicio del proceso de fisuración.

En el momento de la rotura, se toman las lecturas de la carga máxima alcanzada y la deformación máxima producida. El procedimiento se repite para cada una de las vigas elaboradas.



Figura 6: Equipamiento para la aplicación de las cargas.

RESULTADOS

Para cada una de las vigas y para cada escalón de carga, fueron medidos los descensos en el centro de la viga (flechas). Se aclara que la medición de los descensos fue interrumpida antes de alcanzarse la carga de rotura, con el objeto de prevenir daños a los instrumentos de medición.

Para la Viga 1 se alcanzó una carga de rotura de 57.20 kN, que equivale a un momento de rotura de 17.16 kNm.

La Viga 2 llegó a la rotura cuando la carga aplicada alcanzó los 29.50 kN, equivalente a un momento de rotura de 8.85 kNm.

Con los valores obtenidos del ensayo, se procedió a elaborar los gráficos carga-deformación en el centro de la viga, según se muestra en las Figuras 7 y 8.

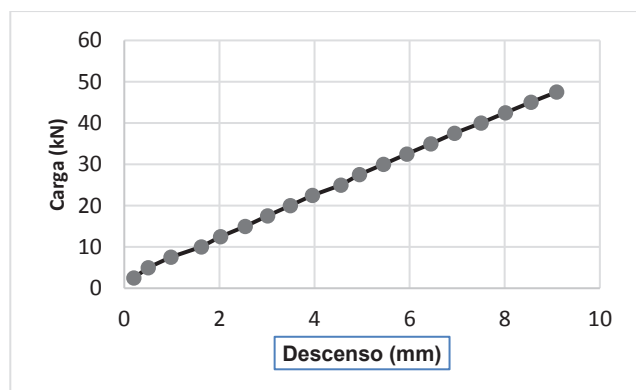


Figura 7: Viga 1. Relación carga-deformación en el centro de la luz.

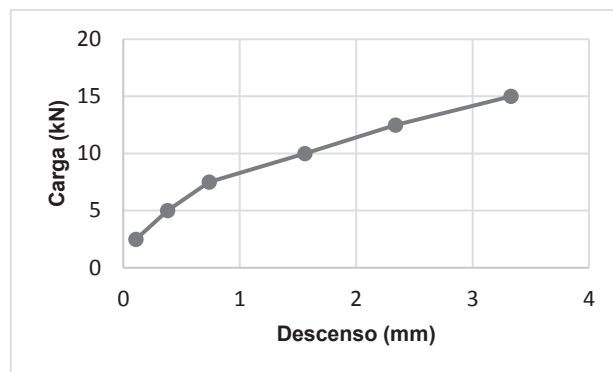


Figura 8: Viga 2. Relación carga-deformación en el centro de la luz.

También se efectuó la comparación con los valores previstos para la carga de rotura, calculada en forma analítica por los alumnos de la cátedra Hormigón Armado I, siguiendo las prescripciones establecidas en el Reglamento CIRSOC 201[1]. En la Tabla 2 se presenta un resumen de los resultados obtenidos del ensayo, y de los valores obtenidos por aplicación de los procedimientos teóricos. Estos últimos fueron calculados por los estudiantes, con la guía de los docentes, utilizando la bibliografía básica de la asignatura Hormigón Armado I, el libro del Ing. Oscar Möller [3], y el libro de los Ing. Orler-Donini [4].

En ambas vigas se pudo comprobar que los valores teóricos calculados para el momento último fueron inferiores a los que se obtuvieron como resultado del ensayo realizado, lo que demuestra que los modelos adoptados para hallar los valores últimos de los elementos de hormigón armado, se encuentran del lado de la seguridad, principalmente debido a las hipótesis simplificativas, a los valores límites conservadores establecidos para el diseño, y a la naturaleza aleatoria de las variables.

Tabla 2: Comparación de resultados del ensayo y los valores teóricos.

	Ensayo		Valor Teórico	
	$P_{\text{máxima}}$ (kN)	$M_{\text{máximo}}$ (kN·m)	$P_{\text{última}}$ (kN)	$M_{\text{último}}$ (kN·m)
Viga 1	57.20	17.16	51.50	15.15
Viga 2	29.50	8.85	23.28	6.85



Figura 9: Viga 2. Patrón de fisuras y modo de rotura.

Adicionalmente, se procedió a registrar el valor de la carga en el momento del inicio de la fisuración. Los resultados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3: Cargas y Momentos de fisuración

	$P_{\text{fisuración}}$ (kN·m)	$M_{\text{fisuración}}$ (kN·m)
Viga 1	18.00	10.80
Viga 2	8.25	4.95

Durante el ensayo, y para ambas vigas, los estudiantes pudieron observar el patrón de fisuración producido, según la configuración adoptada de las armaduras de flexión, y también realizaron una verificación visual de los anchos de fisura resultantes al finalizar el ensayo, según se puede observar en la figura 10.



Figura 10: Medición de anchos de fisuras.

CONCLUSIONES

Los ensayos realizados cumplieron los objetivos planteados. Fue una experiencia de aprendizaje para los estudiantes, quienes participaron activamente en

todas las etapas del proceso: desde la preparación de los encofrados, el cortado, doblado y colocación de las armaduras, hasta el vertido del hormigón en los moldes y la determinación de la resistencia a compresión del hormigón utilizado, por medio de un ensayo de probetas normalizadas a la compresión. Luego de una etapa de curado, los estudiantes participaron en la ejecución del ensayo de flexión, midiendo las fuerzas aplicadas y los descensos y la fisuración producidas para cada una de las vigas.

Durante el ensayo se pudo observar el comportamiento de las vigas a flexión y comprobar el funcionamiento de los mecanismos resistentes de las vigas. A través de un análisis teórico, los estudiantes pudieron validar los valores analíticos con los resultados experimentales. Los criterios y parámetros fueron extraídos del reglamento CIRSOC 201 [1]. En general, los valores teóricos calculados han resultado menores a los resultados experimentales, lo que demuestra que el modelo adoptado se corresponde con un valor seguro.

Este taller pretende brindar a los futuros ingenieros la formación para desarrollar las habilidades, destrezas y valores necesarios del nuevo profesional que requiere la sociedad y el mundo del trabajo actuales. En el marco institucional de la Facultad de Ingeniería (UNNE) y de las competencias genéricas de egreso, la práctica de este laboratorio, se introduce dentro de la categoría de las competencias tecnológicas al desarrollar, ejecutar y controlar un proyecto de ingeniería. Los estudiantes aprender a utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación en la ingeniería. A su vez se fomenta el desempeño de manera efectiva en equipos de trabajo.

En la segunda etapa del taller, durante el cursado de la asignatura “Hormigón Armado I”, el alumno debe alcanzar la habilidad para comprender e interpretar información aprendida. Los estudiantes comparan los diferentes diseños de armaduras utilizadas en la construcción de las vigas para predecir su comportamiento mecánico y establecer la mejor alternativa estructural.

En futuros ensayos, se planifica trabajar con equipos de medición más precisos, que incorporen la lectura de parámetros adicionales, lo que permitirá estudiar con mayor profundidad el comportamiento de vigas de hormigón armado, y que puedan incluir también otras solicitaciones, como el esfuerzo de corte. De esta manera, el impacto del ensayo sobre la formación de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la UNNE, podría ser aprovechado con más profundidad, y servir como una poderosa herramienta didáctica y pedagógica en la formación de los futuros ingenieros.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a las siguientes personas y organismos, sin el apoyo de los cuales este trabajo no hubiera sido posible:

Ing. Abel Flores y el cuerpo docente de la Cátedra Estudio y Ensayo de Materiales (FI-UNNE). Cuerpo docente de la Cátedra Hormigón Armado I. Ing. Kristel Rodenswensky; Ing. Federico Solari. Ing. Pedro Cossoli. Empresa Melmix, Empresa Mapic. Ing. Julio C. Molina. Ing. Mario B. Natalini. Ing. Fabián Bravo.

Al Ing. Oscar Möller, por darnos la inspiración para emprender este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Norma CIRSOC 201 (2005). *UNE 216501 Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón*. Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). Buenos Aires.
- [2] Norma IRAM 1546 (2013) Mod. N° 1 2017. *Hormigón de cemento. Método de ensayo de compresión*. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Buenos Aires.
- [3] Möller, O. (2010). Hormigón Armado. Conceptos básicos y diseño de elementos con aplicación del reglamento CIRSOC 201-2005. UNR Editora. Rosario.
- [4] Orlor, R.; Donini, Hugo (2011). Introducción al Cálculo de Hormigón Estructural. Editorial Nobuko. Buenos Aires.