

17 de enero de 2023

H. Consejo Divisional
Ciencias y Artes para el Diseño
Presente

La Comisión encargada de la revisión, registro y seguimiento de los proyectos, programas y grupos de investigación, así como de proponer la creación, modificación, seguimiento y supresión de áreas de investigación, para su trámite ante el órgano colegiado correspondiente, da por recibido el Informe Global del Proyecto de Investigación N-582 "Proyecto SD-70 Comportamiento de vigas a escala de concreto reforzado para la enseñanza de las estructuras", cuyo responsable es el Mtro. Carlos Humberto Moreno Tamayo, adscrito al Programa de Investigación P-047 "Laboratorio de Modelos Estructurales", que forma parte del Grupo de Investigación "Tecnología y Diseño en las Edificaciones", presentado por el Departamento de Procesos y Técnicas de Realización.

La y los siguientes miembros que estuvieron presentes en la reunión y se manifestaron a favor de recibir el Informe Global: Dr. Luis Jorge Soto Walls, Mtra. Sandra Luz Molina Mata, DI. Julio Ernesto Suárez Santa Cruz, LAV. Carlos Enrique García Hernández, el Asesor Dr. Fernando Rafael Minaya Hernández.

Atentamente
Casa abierta al tiempo



Mtra. Areli García González
Coordinadora de la Comisión

Ciudad de México a 09 de enero del 2023
PyTR/003/2023

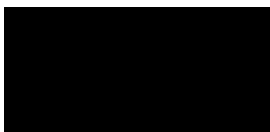
Mtro. Salvador Islas Barajas

Presidente del H. Consejo Divisional
División de Ciencias y Artes para el Diseño
P r e s e n t e

Por medio de la presente le envío un cordial saludo y aprovecho para presentar la conclusión del Proyecto de Investigación *N-582 "Proyecto SD-70 Comportamiento de vigas a escala de concreto reforzado para la enseñanza de las estructuras"* bajo responsabilidad del Mtro. Carlos Humberto Moreno Tamayo, registrado dentro del programa "P-047 Laboratorio de Modelos Estructurales" de este departamento perteneciente al Grupo Tecnología y Diseño en las Edificaciones.

Sin otro particular, quedo a sus órdenes para cualquier aclaración al respecto

A t e n t a m e n t e,
Casa abierta al tiempo



Dr. Edwing Antonio Almeida Calderón

Jefe del Departamento de Procesos y Técnicas de Realización
División de Ciencias y Artes para el Diseño



Azcapotzalco, CDMX. 16 de diciembre del 2022

Mtro. Alejandro Viramontes Muciño
Coordinador del Grupo de Investigación de Tecnología y Diseño en las Edificaciones
Departamento de Procesos y Técnicas de Realización
CyAD UAM Azcapotzalco
PRESENTE:

En cumplimiento de lo dispuesto en los Lineamientos para la Investigación de la División de Ciencias y Artes para el Diseño en su apartado 3.4 relativo a la terminación de proyectos, por este medio me permito solicitar a Ud. atentamente se sirva gestionar ante el H. Consejo Divisional la entrega de la documentación que ampara la conclusión del proyecto que a continuación se relaciona y que corresponde al Programa de Investigación P-047.

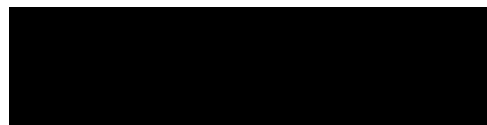
Laboratorio de Modelos Estructurales

Proyecto No. N-582. SD-70.

**Comportamiento de Vigas a escala de concreto reforzado
para la enseñanza de las estructuras**

Sin otro particular, quedamos a sus apreciables órdenes para las aclaraciones que juzgue pertinentes.

Atentamente:



M. en Arq. Carlos H. Moreno Tamayo
Responsable del Laboratorio de Modelos
Estructurales.

México, D.F. a 16 de diciembre de 2022

Dr. Edwing Antonio Almeida Calderón
Encargado del Departamento de Procesos y Técnicas de Realización
PRESENTE

En cumplimiento de lo dispuesto en los lineamientos para la Investigación de la División de Ciencias y Artes para el Diseño en su apartado 3.4 relativo a la terminación de proyectos, por este medio me permito solicitar a Ud. atentamente se sirva de gestionar ante H. Consejo Divisional la entrega de la documentación que ampara la conclusión del proyecto que a continuación se relaciona y que corresponde al Programa de Investigación P-047.

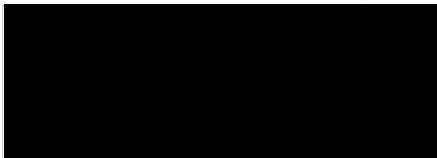
Laboratorio de Modelos Estructurales

Proyecto No. N-582. SD-70.

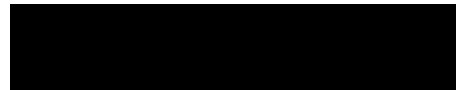
**Comportamiento de Vigas a escala de concreto reforzado
para la enseñanza de las estructuras**

Sin otro particular, quedamos a sus apreciables órdenes para las aclaraciones que juzgue convenientes.

Atentamente:



Mtro. Alejandro Viramontes Muciño
Coordinador del Grupo de Investigación De
Tecnología y Diseño en las Edificaciones.



M. en Arq. Carlos H. Moreno Tamayo
Responsable del Laboratorio de Modelos
Estructurales.

CONCLUSIÓN
Proyecto SD 70

**Comportamiento de vigas a escala de concreto reforzado
para la enseñanza de las estructuras**

PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN P 047¹
LABORATORIO DE MODELOS ESTRUCTURALES

¹ APROBADO POR EL CONSEJO DIVISIONAL CON EL NO. N-460 EL 03 DE OCTUBRE DE 2018 EN SESIÓN ORDINARIA 552.

Laboratorio de Modelos Estructurales
Conclusión y reporte del proyecto No. N-582 ante el H. Consejo Divisional
de CyAD.

Diciembre de 2022

Índice de contenido

1. Adscripción e integración del grupo de trabajo
 2. Registro del Programa de investigación del Laboratorio de Modelos Estructurales.
 3. Conclusión del proyecto describiendo:
 - 3.1 Registro del proyecto
 - 3.2 Introducción
 - 3.3 Objetivos y metas
 - 3.4 Metodología
 - 3.5 Memoria de diseño
 - 3.5.1 Apoyo teórico
 - 3.5.2 Desarrollo del proyecto
 - 3.5.2.1 Marco de pruebas de carga
 - 3.5.2.2 Primera fase experimental. Vigas sometidas a flexión
 - 3.5.2.3 Segunda fase experimental. Vigas sometidas a cortante
 - 3.5.5 Memoria fotográfica
 4. Relación y descripción de actividades y resultados de cada uno de los participantes.
 5. Relación con la docencia, la preservación y la difusión de la cultura del Proyecto de Investigación concluido.
 6. Aportaciones al campo de conocimiento
 7. Coherencia entre metas, objetivos y resultados finales
 8. Trascendencia social
- Conclusiones

1. Adscripción e integración del grupo de trabajo

DEPARTAMENTO DE PROCESOS Y TÉCNICAS DE REALIZACIÓN

Nombre del Grupo: Tecnología y Diseño para las Edificaciones
Responsable del Grupo de Investigación: Mtro. Alejandro Viramontes Muciño
Programa: P 047 Laboratorio de Modelos Estructurales
Responsable del Programa: M. en Arq. Carlos H. Moreno Tamayo

Actualización de Integrantes del Proyecto

	Nombre completo	Categoría y Nivel	Tiempo de dedicación	Grado Académico	Tipo de participación
1	M. en Arq. Carlos Humberto Moreno Tamayo	Titular "C"	Tiempo Completo	Maestría	Núcleo básico. Responsable y coordinador del Proyecto
2	Dr. Eduardo Arellano Méndez	Asociado "C" T. C	Tiempo Completo	Doctorado	Participante. Promotor del proyecto. Asesor y apoyo teórico
3	M. en C. Antonio Rodrigo Abad Sánchez	Titular "C" T.C	Tiempo Completo	Maestría	Núcleo básico. Diseño industrial
4	Jesús Arturo Morales Delgado	Alumno	Medio Tiempo	Licenciatura	Participante. Apoyo en elaboración de probetas
5	Alan Paulus Morales Rodríguez	Ayudante "B"	Medio Tiempo	Licenciatura	Participante. Apoyo logístico y registro gráfico
6	Jacqueline Vázquez Ordóñez	Ayudante "B"	Medio Tiempo	Licenciatura	Apoyo registro gráfico y documental

2. Registro del Programa de investigación del Laboratorio de Modelos Estructurales.

Universidad
Autónoma
Metropolitana 
Casa abierta al tiempo Azcapotzalco
Consejo Divisional de CyAD

SACD/CYAD/060/13

ACUERDO 450-8

07 de febrero de 2013

M. EN ARQ. CARLOS H. MORENO TAMAYO ✓
**PROF. DEL DEPTO. DE PROCESOS Y
TÉCNICAS DE REALIZACIÓN
PRESENTE**

Por este conducto me permito informar a usted que en la Sesión 450 Ordinaria del Trigésimo Octavo Consejo Divisional, celebrada el día 06 de febrero de 2013, fue aprobado el Programa de Investigación, perteneciente al Grupo de Investigación "Tecnología y Diseño en las Edificaciones", con el siguiente número de registro:

PROGRAMA # P-047

LABORATORIO DE MODELOS ESTRUCTURALES

Lo anterior lo hago de su conocimiento para los fines a que haya lugar.

Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente
Casa abierta al tiempo


MTRA. MA. DE LOS ÁNGELES HERNÁNDEZ PRADO
Secretaria

c.c.p. Arq. Eduardo Kotásek González.- Jefe del Depto. de Procesos y Técnicas de Realización
Mtro. Alejandro Viramontes Muciño.- Responsable del Grupo de Investigación "Tecnología y Diseño en las Edificaciones"
Dr. Anibal Figueroa Castrejón.- Coordinador de Investigación

3. Conclusión del proyecto

3.1 Registro ante Consejo Divisional



SACD/CYAD/541/2022
23 de septiembre de 2022

M. en Arq. Carlos H. Moreno Tamayo
Profesor del Departamento de Procesos y Técnicas de Realización
Presente

Asunto: Registro de Proyecto de Investigación N-582

Por este conducto me permito informar a usted que, en la sesión 641 urgente del Cuadragésimo Octavo Consejo Divisional, celebrada el 22 de septiembre de 2022, fue aprobado el Proyecto de Investigación, adscrito al Programa de Investigación P-047 "Laboratorio de Modelos Estructurales", con una vigencia a partir de agosto de 2022 hasta enero de 2023, que forma parte del Grupo de Investigación "Tecnología y Diseño en las Edificaciones", presentado por el Departamento de Procesos y Técnicas de Realización, con el siguiente número de registro:

Proyecto # N-582

"SD70 Comportamiento de Vigas a escala de concreto reforzado para la enseñanza de las estructuras"

Lo anterior lo hago de su conocimiento para los fines a que haya lugar.

Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente
Casa abierta al tiempo



Mtra. Areli García González
Secretaria

c.c.p. Dr. Edwing Antonio Almeida Calderón. Jefe del Departamento de Procesos y Técnicas de Realización
Mtro. Alejandro Viramontes Muciño. Responsable del Grupo de Investigación "Tecnología y Diseño en las Edificaciones"
Dr. Fernando Rafael Hernández Minaya. Coordinador Divisional de Investigación

3.2 Introducción

Teniendo a la vista que en la formación universitaria de arquitectos e ingenieros civiles la enseñanza del comportamiento mecánico de las estructuras enfrenta problemas tanto en la explicación de fórmulas y conceptos teóricos por parte del docente como en la comprensión por parte de los alumnos, donde el estudio de la estática, la resistencia de los materiales, el análisis y el diseño estructurales pueden resultar en una temática en ocasiones árida y difícil de asimilar, se considera útil y pertinente el auxilio de estrategias y medios complementarios a la práctica cotidiana de la docencia en este campo del conocimiento y práctica constructivos.

Derivado de ello el Laboratorio de Modelos Estructurales de CyAD, desde su origen, ha tenido como propósito ampliar su alcance programático en una transición desde el inicial enfoque cualitativo de los modelos físicos diseñados para la demostración de conceptos estructurales, hacia la posibilidad de una línea de proyectos con enfoque cuantitativo para la medición de fuerzas y deformaciones de probetas estructurales en escala reducida.

Dentro de los planes y programas de estudio de la licenciatura en arquitectura la línea de estructuras presenta los conocimientos básicos que los alumnos requieren para el desarrollo de proyectos arquitectónicos. Esta línea en los primeros trimestres, inicia con el estudio de los conceptos fundamentales de las unidades de enseñanza aprendizaje arriba señaladas, para después aplicarlos a los temas de análisis y de diseño estructural.

Es aquí donde se requiere un espacio experimental donde se evidencien tales conceptos permitiendo la comprobación de los postulados teóricos presentados habitualmente en fórmulas o diagramas vía pizarrón, para convertirse en modelos físicos de prueba que se ensayan para deformarse hasta su límite de falla.

Antecedentes

En el Laboratorio de Estructuras y Materiales de CBI, con más de treinta años de implementado, se han llevado a cabo estudios experimentales del desempeño de estructuras, determinando diversos aspectos del comportamiento real de elementos de concreto reforzado, acero y mampostería. La importancia de los trabajos desarrollados se refleja en numerosos proyectos de investigación en convenios realizados en apoyo a entidades gubernamentales, a organismos colegiados, a entidades paraestatales como la CFE y en general a la industria de la construcción.

El Laboratorio de Modelos Estructurales por su parte, integrante del Centro de Investigación de la División de Ciencias y Artes para el Diseño, ha logrado la incorporación didáctica de prototipos que ayudan al mejor entendimiento del desempeño de las estructuras por parte de los estudiantes de arquitectura, apoyando diversas UEA's como Matemáticas y Física Aplicadas, Sistemas Constructivos y Estructurales y Construcción, así como apoyo a las materias de Diseño y Taller de Arquitectura. De manera recurrente se ha trabajado en conjunto con la División de CBI, específicamente con la licenciatura de Ingeniería Civil, desarrollando proyectos que son de interés y aplicación para ambas licenciaturas.

Justificación

Entre las diversas estrategias de enseñanza aprendizaje que se aplican universalmente en el sistema educativo, aquella que hace uso de modelos físicos y mecanismos como recurso didáctico, reporta usualmente un alto nivel de eficiencia comparativamente con otros métodos (TURATTI, 2003).

Con base en este argumento, el Laboratorio de Modelos Estructurales ha desarrollado por más de dos décadas numerosos prototipos de experimentación y demostración de los principios mecánicos de las estructuras, incursionando en los últimos años en el terreno del ensaye

experimental de probetas que son llevadas a la falla y que reportan resultados estadísticos que ayudan a la comprobación de las deformaciones ocasionadas por las fuerzas aplicadas.

La posibilidad de los alumnos de corroborar físicamente y de primera mano las características particulares de los elementos estructurales y su respuesta a las sollicitaciones de carga aplicadas a modelos de prueba, permite la comprensión de los postulados teóricos relativos al comportamiento de los elementos y sistemas estructurales de manera irrefutable.

Contar por otra parte con modelos físicos a escala que posibilitan la observación directa y la manipulación de tales medios, resulta en una experiencia enriquecedora que complementa exitosamente la explicación que por medios gráficos y diagramáticos es usada tradicionalmente, agregando a la experiencia un valor lúdico que refuerza el aprendizaje.

Aplicación curricular: Este proyecto experimental es aplicable a los cursos de Matemáticas y física aplicada, Análisis Estructural, Diseño Estructural y Sistemas Constructivos y Estructurales en la licenciatura de Arquitectura, así como de Elementos y Estructuras de Concreto en la licenciatura de Ingeniería Civil.

3.3 Objetivos y metas

Objetivo General

El objetivo del estudio es diseñar modelos estructurales destructibles a escala reducida, que representen el comportamiento de vigas simplemente apoyadas para mostrar el tipo de falla que se puede presentar dependiendo de la cantidad de acero colocada, haciendo énfasis en que las vigas sub reforzadas presentan fallas dúctiles y las sobre reforzadas presentan falla frágil.

Objetivos Específicos

- a. Hacer evidente que el resultado de las pruebas realizadas en el laboratorio Modelos Estructurales sobre vigas a escala reducida de concreto reforzado, es comparable con el tipo de experimentación que se realiza en vigas de escala 1:1 en los laboratorios de pruebas de materiales, amén de las ventajas de los efectos didácticos que involucra ya que, como es obvio, las pruebas se relacionan con la verificación de las teorías estructurales en vigas.
- b. Reforzar el aprendizaje de los alumnos en términos de mejorar la comprensión de los efectos mecánicos que sufre una viga cuando se le somete a carga.
- c. Facilitar el proceso de enseñanza aprendizaje de conceptos básicos de las unidades de enseñanza aprendizaje de estática, resistencia de materiales, análisis y diseño estructural.
- d. Involucrar a los estudiantes y docentes a través de la elaboración y prueba de elementos y sistemas estructurales en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las estructuras, para las Licenciaturas de Arquitectura e ingeniería Civil de la UAM Azcapotzalco.
- e. Difundir resultados. Participación en eventos relacionados con el tema estructural y didáctico para exposición de resultados y vinculación con proyectos de otras Instituciones de Enseñanza Superior.

Metas

- Diseño y fabricación de vigas de concreto armado con distintas condiciones de refuerzo para ser sometidas a carga.
- Registro estadístico de esfuerzos y deformaciones, así como la graficación de los diversos agrietamientos sufridos por las probetas durante su ensaye.
- Comparación de los resultados teóricos con los experimentales.

- Incorporación en el programa de atención a grupos del LME para las distintas asignaturas involucradas de Arquitectura e Ingeniería Civil.

3.4 Metodología de investigación

Metodología del LME para el desarrollo de modelos experimentales para la enseñanza de las estructuras.

- 3.4.1** Se identifican los comportamientos estructurales de interés a partir de las experiencias docentes en donde se encuentran dificultades en el aprendizaje. En este caso, se identificaron dos de los comportamientos más comunes, el de flexión y el de compresión en vigas de concreto. Para el caso de la flexión, se considera una dificultad el entender que el incremento en la cantidad de acero de refuerzo para incrementar la resistencia global de una viga tiene un límite que no conviene rebasar y que puede ocasionar comportamiento frágil al fallar. El límite es conocido como falla balanceada en flexión que se presenta cuando en forma simultánea el acero entra en su etapa de fluencia y el concreto alcanza su deformación de falla. Cualquier viga que tenga una cantidad de acero menor que la necesaria para que ocurra la falla balanceada, tendrá un comportamiento dúctil pues se inicia la falla en el acero (fluencia) antes que en el concreto. Cuando se coloca más acero de refuerzo que el correspondiente a la falla balanceada, la falla es frágil debido a que el concreto alcanza la deformación de falla cuando el acero aún se encuentra en un estado elástico.
- 3.4.2** Se diseña el experimento para que se tengan diferentes comportamientos con las vigas desde el dúctil hasta el frágil para que los alumnos escojan el comportamiento que es deseable en sus diseños. Los alumnos deberán con ayuda del experimento y con la guía de los profesores concluir que si se requiere una resistencia mayor, pero con un comportamiento dúctil, es necesario cambiar el tamaño de la viga para lograrlo.
- 3.4.3** En el caso del comportamiento ante fuerza cortante, se tiene una aportación separada de la resistencia del concreto y del acero, la resistencia en conjunto es la suma de las dos. La contribución del concreto a la fuerza cortante depende del refuerzo longitudinal que tenga los elementos mientras que la contribución a la resistencia a cortante del acero depende de la separación del refuerzo, de la inclinación de los estribos respecto al eje de la pieza y de la posición del primer estribo respecto al claro de la viga.
- 3.4.4** Se diseña un experimento en el que se varíen la cantidad de estribos, la separación y la inclinación, esas variaciones van a permitir distinguir entre los tipos de falla. Cuando no se colocan estribos y se alcanza la resistencia, se presenta una falla frágil en forma súbita. Si se puede colocar estribos que impidan la progresión de la grieta potencial, es posible incrementar la carga sin que se presente la falla. Los alumnos con la ayuda de la evidencia experimental y con la guía de los profesores, deberán preferir vigas con comportamiento dúctil y determinar que también existe un límite para la resistencia ante fuerza cortante y que es preferible modificar la sección transversal antes de superar dicho límite.
- 3.4.5** Con los comportamientos que se quieren demostrar, se procede al análisis del marco de cargas para establecer el tamaño de los especímenes, cuidando que no se superen las cargas que se les pueden aplicar con seguridad al marco de pruebas del laboratorio de modelos estructurales.
- 3.4.6** En el análisis de las cargas necesarias para producir la falla se consideran las resistencias esperadas, es decir las fuerzas resistentes se consideran un 25% mayor a las nominales.

Los factores de reducción de la resistencia que se consideran en el dimensionamiento de los elementos estructurales que son menores que uno para cumplir con la ecuación básica del diseño se considera unitarios.

- 3.4.7** Además de la revisión de las resistencias experimentales, se considera que los desplazamientos del marco sean mucho menores a los de diseño de un elemento convencional, usualmente relaciones de desplazamiento máximo del claro entre 500 o el claro entre 1000.
- 3.4.8** También debe considerarse como una limitación la capacidad de carga que se puede suministrar con los cilindros hidráulicos y las deflexiones esperadas.
- 3.4.9** Con las limitaciones de resistencia y desplazamiento se dimensionan los especímenes para que puedan presentar el comportamiento deseado ya sea en flexión (donde se evitará una falla prematura en cortante) o en cortante (donde se evitará una falla prematura en flexión).
- 3.4.10** Es importante considerar las variables a estudiar para tener el equipo de adquisición de datos que permita estudiar las variables de interés que pueden ser fuerzas, desplazamientos y deformaciones unitarias.

3.5 Memoria de diseño

LABORATORIO DE MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de investigación P 047

Diseño, supervisión y evaluación de prototipos para la experimentación y demostración de los principios mecánicos de las estructuras

Proyecto SD 70

COMPORTAMIENTO DE VIGAS A ESCALA DE CONCRETO REFORZADO PARA LA ENSEÑANZA DE LAS ESTRUCTURAS



3.5.1 Apoyo teórico

Se requiere el estudio del comportamiento de los elementos estructurales trabajando ante diferentes solicitaciones de carga para poder comprender las posibles maneras que el elemento estructural puede fallar. En el caso de las estructuras de concreto el comportamiento ante fuerzas cortantes y momentos flexionantes es de suma importancia para poder lograr estructuras seguras, que cumplan con criterios de resistencia y de servicio, es decir, que, ante las cargas de servicio, no tengan agrietamientos, ni deflexiones excesivas.

Como diseñadores debemos adoptar filosofías de diseño que conduzcan a soluciones seguras y económicas. Las filosofías sopesan el comportamiento estructural, así como el tipo de falla, y se prefiere soluciones que conduzcan a comportamientos dúctiles sobre los que nos llevan a comportamientos frágiles. Si elegimos entre elementos, preferimos tener columnas fuertes y vigas débiles, este comportamiento puede ocasionar que las vigas alcancen su momento máximo en los extremos y que se dañen tanto que, en lugar de considerarlas empotradas, se consideren simplemente apoyadas porque ya no tienen capacidad de resistencia a momentos.

Las estructuras que se comportan así pueden ser estables y se pueden reparar; en las que las columnas son débiles y las vigas fuertes, no se puede garantizar una configuración estable, prácticamente se genera un mecanismo que ante cualquier carga lateral se generará el colapso. De la misma manera que se promueven mecanismos estables en el comportamiento global de una estructura, se promueven comportamientos estables en los elementos y se prefiere que fallen en flexión en lugar que en cortante. Pero aún en flexión, solamente se pueden tener comportamientos estables si la falla es dúctil y para ello se pueden comparar vigas con diferentes cantidades de acero de refuerzo en flexión.

En el caso de las fallas ante fuerza cortante, se pueden retrasar las fallas frágiles colocando la cantidad de estribos apropiada para que la grieta potencial de falla quede limitada por la presencia de los estribos, de tal manera que la separación entre los estribos puede o no contener al agrietamiento por cortante. Para demostrar la diferencia del comportamiento, se pueden variar las separaciones de los estribos, la cantidad de barras verticales y la inclinación.

3.5.2 Desarrollo del proyecto

El punto de partida para este tipo de experimentos es el diseño y fabricación del **Marco de pruebas de carga** en elementos y sistemas estructurales, **aparato SD 65**, dispositivo didáctico que permite acceder a una etapa experimental distinta y más específica que la tradicional producción del Laboratorio de Modelos Estructurales ya que, a diferencia del resto de los modelos de demostración cualitativa del fenómeno estructural hasta ahora producidos, este proyecto introduce un criterio cuantitativo a las prácticas del Laboratorio con una instrumentación y equipo que permite el registro de resultados numéricos que agregan valor a los experimentos al contar con implementos de medición de esfuerzos y deformación (galgas extensiométricas, celdas de carga, micrómetros y equipo electrónico de registro digital), donde las probetas instrumentadas se cargan hasta su límite y finalmente se destruyen.

Dadas sus características de trabajo con especímenes destructibles a escala reducida, el proyecto se significa como una contribución innovadora al tipo de prácticas que habitualmente son llevadas a cabo en el referido Laboratorio de Estructuras en escala 1:1 mismas que requieren generalmente, para su realización, de convenios y patrocinios específicos de empresas y entidades externas a la UAM y cuyos tiempos, costos y oportunidad, difícilmente coinciden con la demanda de las prácticas académicas que debieran considerarse sistemáticamente en los programas de estudio.

La incorporación del Aparato SD 65 (*Figura 1*) a las sesiones de prácticas de las UEAs correspondientes de ambas licenciaturas hace posible su calendarización regular y sistemática atendiendo a las necesidades particulares de cada programa académico y a un costo reducido.

Para este proyecto se ha utilizado como estructura experimental básica el referido marco de reacción de dimensiones reducidas, el equipo de fuerza hidráulica de capacidad no mayor a 5 toneladas por cada actuador (dos pistones hidráulicos) y el equipo e implementos de medición electrónicos y se han sometido a carga distintos tipos de elementos estructurales constituidos por materiales comunes de concreto y acero que se adecúa a la escala con un calibre proporcionado.

Es necesario destacar que los especímenes y el equipo de fuerza están instrumentados electrónicamente, de modo que es posible registrar estadística y dimensionalmente las fuerzas aplicadas y las deformaciones resultantes. Los resultados obtenidos pueden ser comparables.

3.5.2.1 Marco de pruebas de carga

El Marco está compuesto de cuatro subsistemas:

- a. Soporte General
- b. Soportes para los Modelos de Prueba
- c. Sistema Hidráulico
- d. Sistema de Medición.

a) Soporte general

El marco como soporte general consiste, como su nombre lo indica, en un marco de acero estructural IR de 15 cm de sección, 2.23 m de altura y 1.80 m de ancho, que permite alojar, entre otros elementos, vigas de hasta 1.45m de longitud, como es el caso de los especímenes recientemente ensayados en el proyecto que se presenta.

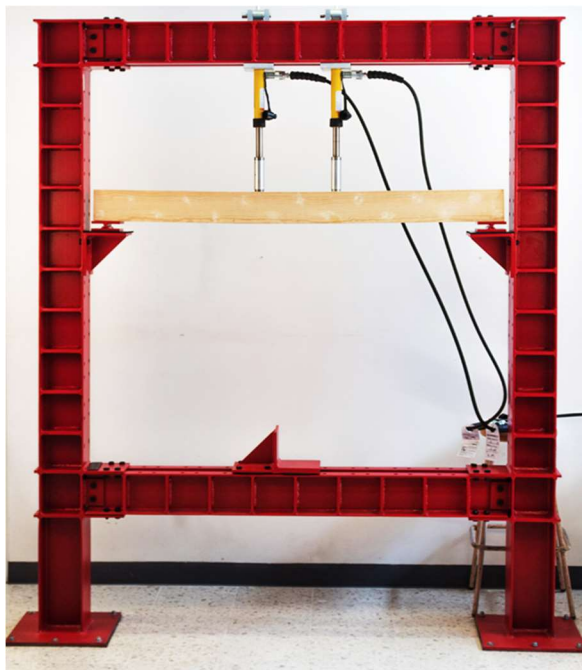


Figura 1. Aparato SD 65.

b) Soportes para los Modelos de Prueba

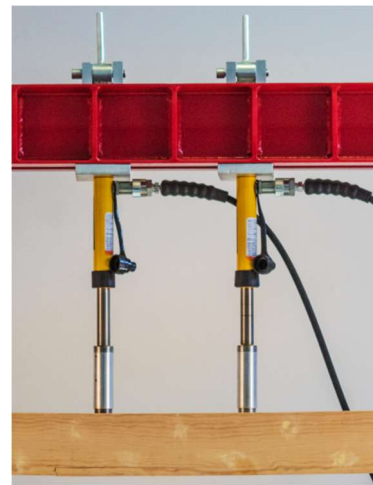
Estas probetas se apoyan en ménsulas de placa de acero en forma de cartelas que se fijan con tornillería en los postes del marco (*figura 1*), permitiendo su colocación a diferentes alturas según lo requiera la sección de las vigas a ensayarse. El subsistema se complementa con cuatro niveladores de dirección para la presión que recibe el modelo tanto en sus extremos como en los puntos de aplicación de la carga.

c) Sistema Hidráulico

Está habilitado con dos cilindros hidráulicos de cinco toneladas de fuerza y una carrera de 15 cm. Sendas celdas de carga rematan el sistema en el contacto con las probetas. Los soportes de los pistones son individuales para cada pistón y fueron diseñados para que, con base en el funcionamiento de una leva superior, al mismo tiempo que sostienen a cada pistón, permitan al usuario ubicarlos en el punto exacto en el que se desee ejercer la carga y no se muevan. Se complementa con una bomba manual que inyecta el fluido hidráulico al dispositivo de distribución, utilizando un sistema de palanca con un eje de giro en uno de sus extremos. Cuenta con un manómetro analógico que permite visualizar el nivel de presión al que está sujeto el sistema de mangueras y cilindros hidráulicos.



a)



b)

Figura 2. a) Bomba manual y b) Actuadores y celdas de carga

d) Sistema de Medición

Está compuesto de cuatro elementos: las Celdas de Carga, los Cables de Transmisión (galgas extensiométricas o *strain gages*), transductores de desplazamiento y el Equipo de Adquisición de datos.

Este último es un aparato electrónico que recibe los impulsos eléctricos generados por las deformaciones sufridas por la presión del vástago de las Celdas de Carga de la misma manera que se recibe la señal eléctrica de los puntos de instrumentación en las propias vigas, transmitida hacia el exterior por las Galgas Extensiométricas (ver *figura 3*).



Figura 3. Equipo de adquisición de datos.

3.5.2.2 Primera fase experimental. Vigas sometidas a flexión.

El experimento consiste en someter a las vigas a flexión simple, para este efecto, se propusieron especímenes de prueba consistentes en vigas de concreto de 1.45 m de largo con una sección transversal de 0.10 x 0.20 m. A las vigas simplemente apoyadas, se les aplican cargas puntuales en los tercios (ver figura 4). Si se observa el diagrama de momentos de la figura 4, en el centro del claro, el momento flexionante es constante y con un valor $M= PL/6$ y como la fuerza cortante es cero, se dice que el segmento está en flexión simple.

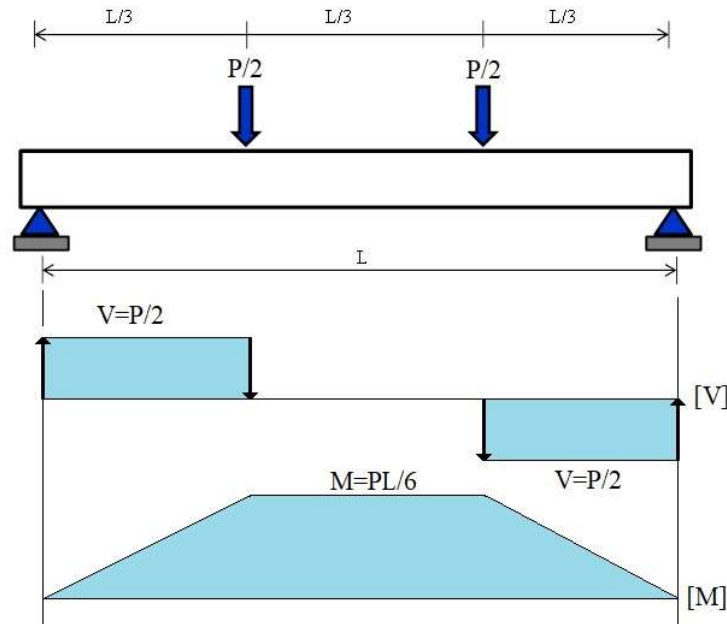


Figura 4. Viga sometida a flexión pura.

Armado por flexión

En la tabla 1 se presentan las características de las vigas, en cuanto a su armado. Una de las vigas es de concreto simple (Viga 01), y se emplea para mostrar la falla frágil cuando no se coloca refuerzo. La viga 02 a la que se le colocan 2 barras del #2, tiene una cuantía menor que la mínima. Para las vigas 03 y 04 se pretendía que tuvieran un refuerzo longitudinal diferente, sin embargo, se invirtió su posición, es decir, el acero en compresión pasó a ser el de tensión y viceversa de manera que las resistencias de las vigas 03 y 04 son muy parecidas.

Tabla 1. Armado en las vigas.

Sección transversal	Refuerzo longitudinal		Estribos
	Lecho superior	Lecho inferior	
Viga 01			
Viga 02	2#2	2#2	#2@7.5 cm
Viga 03	2#3	2#3	#2@7.5 cm
Viga 04	2#5	2#3	#2@7.5 cm

En la *figura 5* se muestran las características del refuerzo en las vigas que se ensayaron. Puede apreciarse que la viga 01 no tiene refuerzo, la viga 02 tiene refuerzo del #2 (alambrón), las vigas 03 y 04 tienen 2#3 como acero longitudinal en el lecho inferior. Todas las vigas con refuerzo tienen estribos del # 2.



Figura 5. Armado de las vigas.

Armado por fuerza cortante

Debido a que el objetivo de la investigación es estudiar la falla por flexión de las vigas de concreto, se diseñaron para evitar la falla prematura por fuerza cortante, es decir se determinó la fuerza cortante máxima con el espécimen V04 que es el espécimen más reforzado por flexión. Tomando en consideración que los estribos son de alambrón, se consideró el esfuerzo de fluencia de $f_y=2530 \text{ kg/cm}^2$ como refuerzo por cortante. Los especímenes con refuerzo se construyeron con la misma separación del refuerzo cortante (ver *figura 6*).

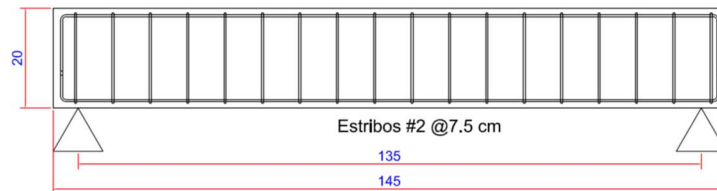


Figura 6. Refuerzo por cortante

El experimento se controla por desplazamientos, para hacerlo, se define como nodo de control al nodo del centro del claro (ver la *figura 7*), con ese valor y con la suma de las cargas aplicadas, se pueden elaborar gráficas Carga vs. Desplazamiento. Es importante mencionar que las vigas se diseñaron para resistir momentos positivos (que imponen una concavidad hacia arriba), de manera que la dirección positiva de la deflexión está dirigida hacia abajo.

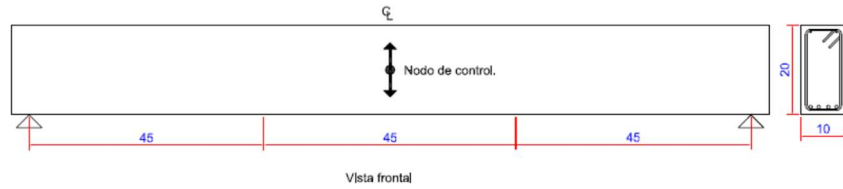


Figura 7. Definición del nodo de control

Instrumentación

Para determinar la deformación unitaria en el acero de refuerzo, las vigas se instrumentaron con una galga extensiométrica (strain gage) en el centro del claro, donde el momento flexionante es máximo y tiene un valor constante, la precisión de la galga extensiométrica permite medir micro deformaciones (1×10^{-6}). En la figura 8 se muestra una imagen de la ubicación de la galga en el acero de refuerzo.

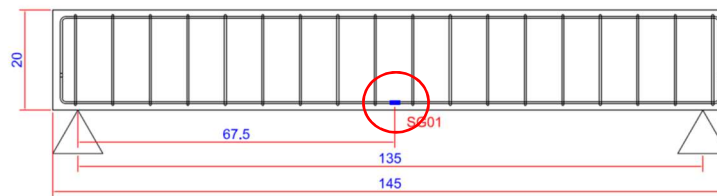


Figura 8. Ubicación del strain gage.

Además de la instrumentación interna se colocó instrumentación externa para medir el desplazamiento en el centro del claro (nodo de control), en la figura 9 se muestra la ubicación del transductor de desplazamiento empleado, que tiene una capacidad de medir hasta 50 mm con una precisión de 0.01mm.

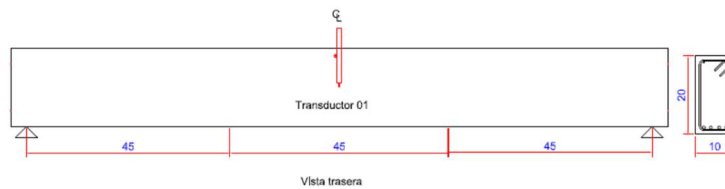


Figura 9. Instrumentación externa para la medición de las deflexiones.

Las cargas se aplicaron mediante dos cilindros hidráulicos de acción simple con capacidad de 5 toneladas y para determinar el valor de las fuerzas aplicadas, se emplearon dos celdas de carga con capacidad de 5 toneladas y con una resolución de 20 kg (ver Figura 10).

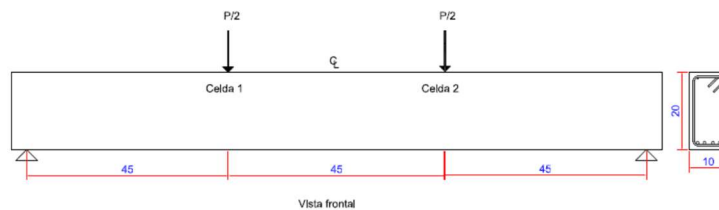


Figura 10. Instrumentación externa para la medición de las cargas.

Ensaye de vigas

Viga 01

En la *figura 11a* se muestra la viga 01 antes del inicio del ensaye. La gráfica Carga vs Deflexión mostrada en la *Figura 11b* permite apreciar que la viga sin refuerzo tiene un comportamiento aproximadamente elástico-lineal, y una vez que en la fibra exterior a tensión se alcanza el esfuerzo resistente a tensión, la viga se agrieta y como no hay acero de refuerzo que pueda tomar la tensión, la grieta crece súbitamente provocando una falla frágil.

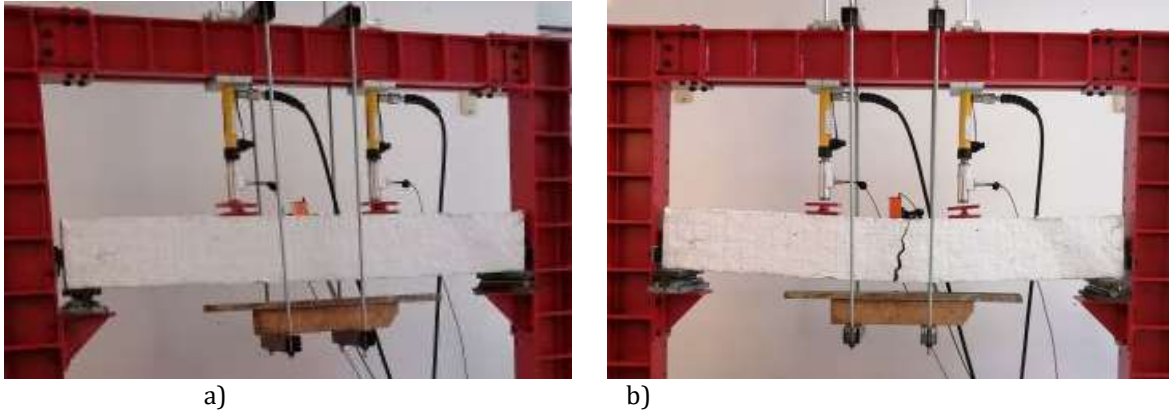


Figura 11. Viga 01 a) Antes del ensaye b) Al final del ensaye.

En la *Figura 11 b* se muestra la viga 01 al final del ensaye. Para colocar el transductor de desplazamientos se utilizó un ángulo de acero de lados iguales de 2 pulgadas el cual fue fijado mediante dos tornillos y es el que evitó que la viga colapsara cuando ocurrió la falla.

El momento resistente de la viga puede determinarse a partir del esfuerzo de tensión resistente del concreto. Para determinar la resistencia de diseño, se emplea la ecuación 1 para determinar el esfuerzo resistente del concreto cuando se alcanza su resistencia. El concreto empleado en los especímenes se fabricó con agregados comerciales que no son ni caliza, ni basalto, por lo que se clasifica como clase 2. En este caso, la resistencia se calcula con las ecuaciones de la mecánica de materiales.

$$f_f = 0.8\bar{f}_f \quad \text{Ec. 1}$$

$$\bar{f}_f = 1.4\sqrt{f'_c} \quad \text{Ec. 2}$$

$$f_f = (0.8)1.4\sqrt{250} = 17.71 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{Ec. 3}$$

$$M = \frac{f_f I}{c} \quad \text{Ec. 4}$$

$$M = \frac{f_f I}{c} = \frac{17.71(6,666.67)}{10} = 11,805.8 \text{ kg} * \text{cm} \quad \text{Ec. 5}$$

$$M = \frac{PL}{6} \quad \text{Ec. 6}$$

$$P = \frac{6M}{L} = \frac{(11,805.8)(6)}{135} = 524.7 \text{ kg} \quad \text{Ec. 7}$$

Donde f_f es el esfuerzo de diseño, \bar{f}_f es la resistencia media a tensión o módulo de ruptura que para concreto clase 2 se determina con la ecuación 2. En la ecuación 3 se determina el valor del esfuerzo de tensión de diseño.

Se emplean las ecuaciones 4 y 5 para el cálculo del momento resistente. La ecuación 6 muestra la relación entre las cargas aplicadas y el momento flexionante en el centro del claro. La ecuación 7 muestra el cálculo de la carga aplicada.

La carga obtenida experimentalmente fue de $P_{exp}=839$ kg, la relación entre la carga obtenida experimentalmente y de forma teórica es de 1.6 lo que permite tener un factor de seguridad en el diseño. Una mejor aproximación en el cálculo de la viga sin refuerzo es empleando directamente el módulo de ruptura para la determinación del momento y carga, a ese valor se le denomina carga esperada y toma el valor de $P_{esp}=656$ kg. La relación entre la carga experimental y la esperada es de 1.28.

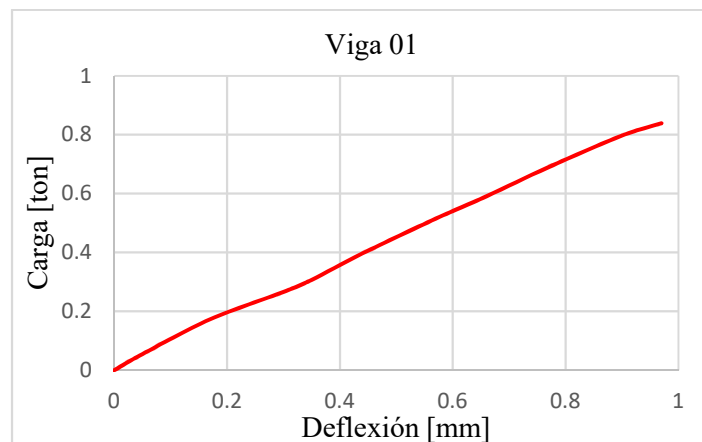
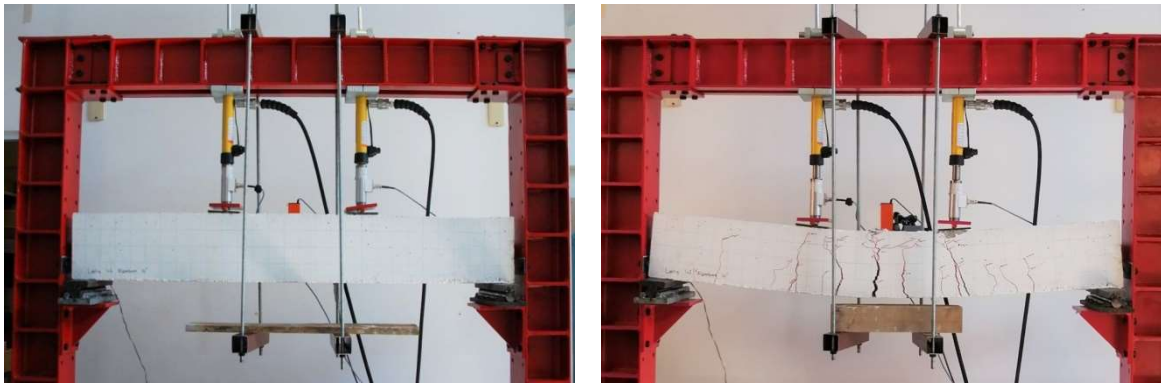


Figura 12. Gráfica carga vs. Deflexión de la Viga 01.

Viga 02

Para el cálculo de la resistencia de las vigas con refuerzo, se emplearon las hipótesis básicas para la obtención de las resistencias de diseño a flexión, carga axial y flexo compresión (sección 3.5 de las NTC Concreto 2017). Se hicieron dos cálculos de la resistencia, el momento resistente con un factor de reducción de la resistencia de 0.9 y con el esfuerzo nominal en el acero de refuerzo y la resistencia esperada, sin emplear el factor de reducción de la resistencia y con el esfuerzo de fluencia esperado ($1.25 \cdot f_y$).

En la figura 13a Se muestra la viga 02 antes del inicio del ensaye. La figura 13b muestra la viga al final del ensaye. En la figura se muestran con color rojo las grietas que se fueron marcando durante la prueba. La falla de la viga se presentó después de que el acero de refuerzo fluyó, sin embargo, el acero no se fracturó y el mecanismo final de falla fue el aplastamiento del concreto. En la figura 14a se muestran un detalle al final de la prueba y en la figura 14b el detalle del aplastamiento del concreto.

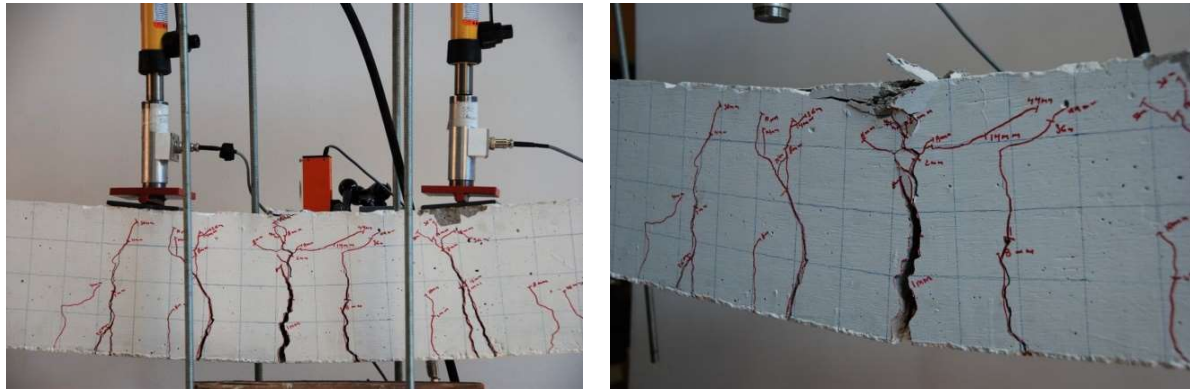


a)

b)

Figura 13. Viga 02 a) Al inicio del ensaye b) Al final del ensaye.

En la *figura 14a* se muestran un detalle al final de la prueba y en la *figura 14b* el detalle del aplastamiento del concreto.



a)

b)

Figura 14. Detalle de la viga 02 a) Al final del ensaye b) Desconchamiento del concreto.

La gráfica Carga vs Deflexión mostrada en la figura 15 permite apreciar que la viga reforzada con 2#2 fue suficiente para evitar una falla frágil y permitió alcanzar una deflexión de más de 50 mm en el centro del claro. La carga máxima experimental se obtiene ante un desplazamiento de 28.5 mm, posteriormente la carga disminuye hasta alcanzar una pérdida de aproximadamente el 19% de la resistencia máxima cuando se presenta el desconchamiento del concreto.

El cálculo de la carga nominal es $P_n=1,188$ kg, la carga obtenida con la resistencia esperada es de $P_{esp}=1,558$ kg y la carga experimental fue $P_{exp}=2,439$ kg, la relación entre la carga experimental y la esperada es de 1.57. Los autores tienen la teoría de que la diferencia tan grande, puede explicarse por la variabilidad de la resistencia del alambraón. Dicha variación en la resistencia es una de las razones por las que en las NTC-Concreto se establece que no debe usarse como refuerzo en elementos de concreto y solamente se puede emplear en el diseño y construcción de estructuras de mampostería. Queda pendiente determinar la resistencia del alambraón para corroborar la hipótesis de que la diferencia tan grande se debió al incremento en la resistencia a la fluencia experimental.

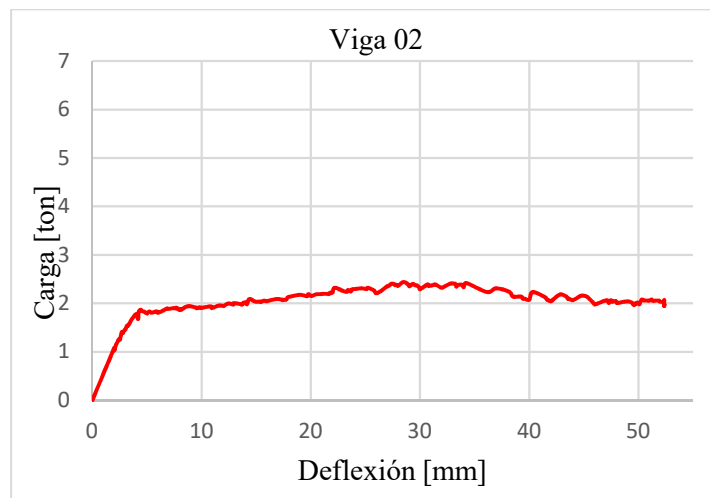
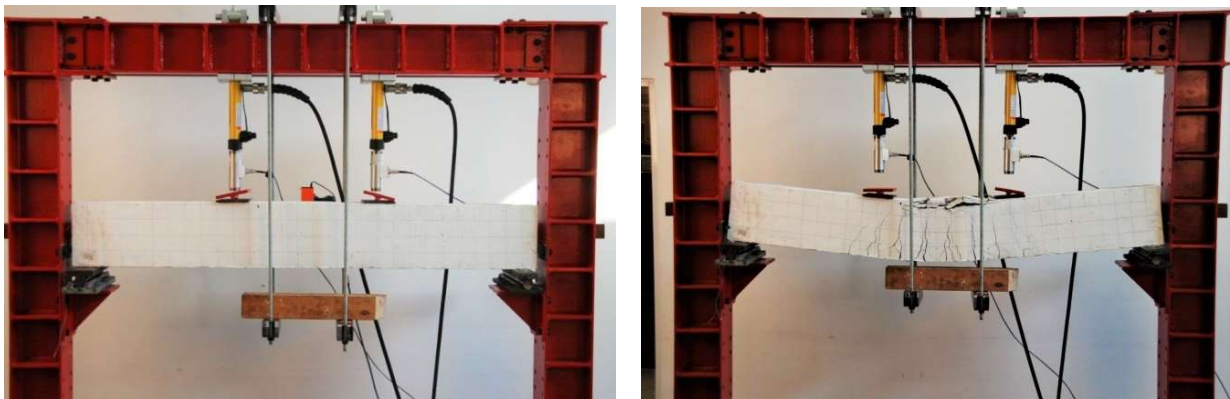


Figura 15. Gráfica carga vs deflexión de la viga 02

Viga 03

En la *figura 16a* se muestra la viga 03 antes del inicio del ensaye. La *figura 16b* muestra la viga al final del ensaye. A la viga 03 no se le marcaron las grietas durante el ensaye, se trató de aplicar las cargas de manera continua, aunque se aprecian variaciones en la *figura 18* debido a que las cargas se aplicaron con una bomba manual. La *figura 17* muestra un detalle de la falla por aplastamiento del concreto. El desconchamiento ocurrió en el centro del claro y abarcó más de la mitad del tercio central de la viga.



a)

b)

Figura 16. Viga 03 a) Al inicio del ensaye, b) Al final del ensaye.

La gráfica Carga vs Deflexión de la viga 03 se muestra en la *figura 18* y permite apreciar que la viga reforzada en el lecho inferior con 2#3 fue suficiente para evitar una falla frágil. La viga alcanzó un desplazamiento mayor a 55 mm de desplazamiento vertical pero ya no fue posible determinarlo debido a que el equipo empleado alcanzó su máximo desplazamiento. De hecho, si se observa el final de la gráfica, puede apreciarse un incremento en la carga sin que aumente el desplazamiento. Esto ocurrió debido a que el transductor ya no estaba tocando a la viga. A diferencia de la viga 02, en la prueba de la viga 03 se presentó una disminución de la resistencia al final de la prueba de únicamente el 3%, pero en la gráfica no es posible apreciarlo debido a que no se registraron los desplazamientos asociados.

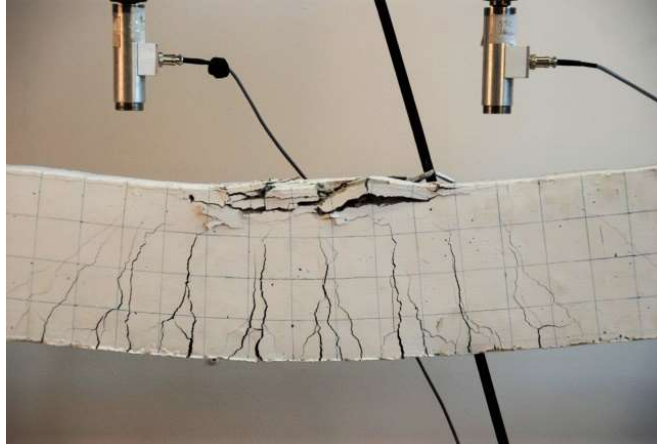


Figura 17. Detalle del desconchamiento de la Viga 03.

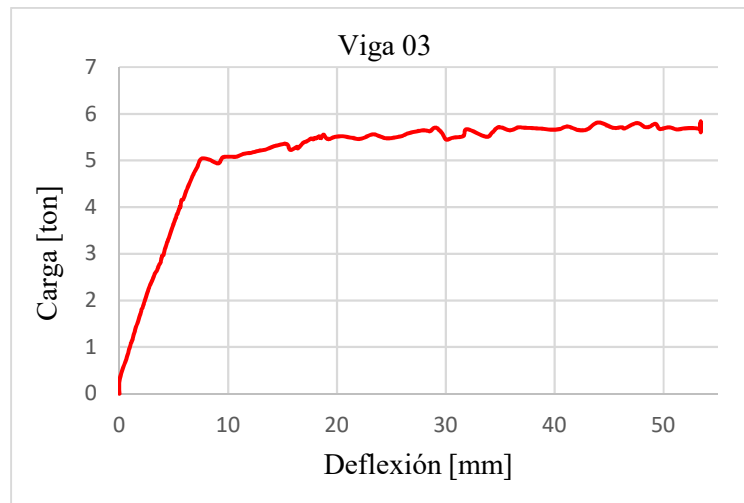
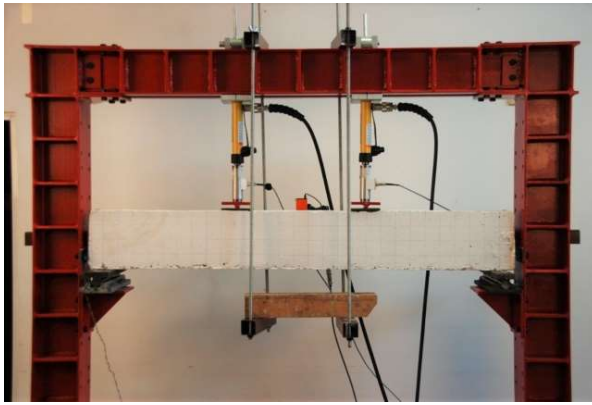


Figura 18. Viga 03 al final del ensaye.

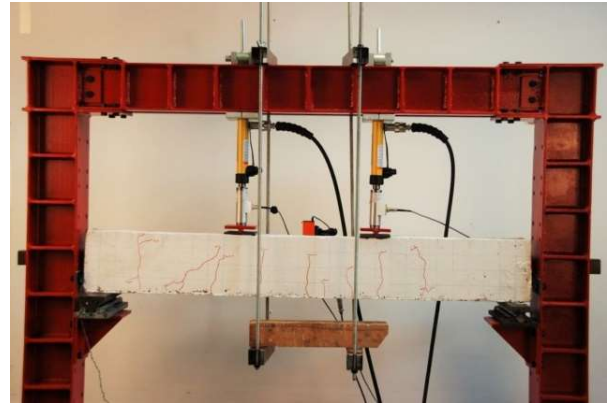
El cálculo de la carga nominal de la viga 03 es $P_n=3,871$ kg, la carga obtenida con la resistencia esperada es de $P_{esp}=5,250$ kg y la carga experimental fue $P_{exp}=5,838$ kg, la relación entre la carga experimental y la esperada es de 1.11, esta relación que es mayor a uno permite hacer algunas observaciones, la primera es que se tiene un factor de seguridad adicional implícito. La segunda es que con las hipótesis básicas se tiene una buena aproximación al comportamiento de falla, la tercera es que la diferencia sería menor si se emplean el esfuerzo de fluencia experimental y el estimado obtenidos de pruebas de materiales y no a partir de los datos nominales de los materiales.

Viga 04

En la *figura 19a* se muestra la viga 04 antes del inicio del ensaye. La *figura 19b* muestra la viga 04 en una etapa intermedia y la *figura 20* muestra a la viga 04 en una etapa final del ensaye, pero antes de que se presente el desconchamiento del concreto. Las grietas se marcaron de color rojo, de manera que fueran visibles a simple vista.



a)



b)

Figura 19. Viga 04 a) Al inicio del ensaye, b) Etapa intermedia.

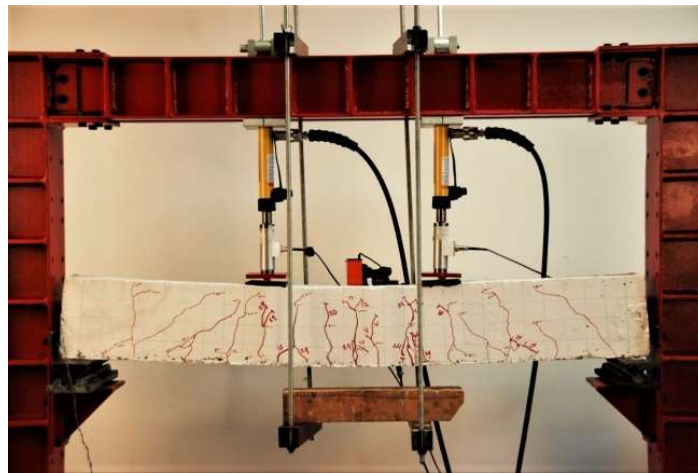


Figura 20. Viga 04 al final del ensaye.

La gráfica Carga vs Deflexión de la viga 04 se muestra en la figura 21 se puede apreciar que el comportamiento de la viga 04 es muy parecido a la viga 03, ya que, aunque en principio se diseñaron con una cuantía diferente, al llevar a cabo la prueba, el acero en el lecho de tensión entre las vigas 03 y 04 fue el mismo (*ver figura 21*). Se observa prácticamente el mismo comportamiento de la viga 03; es decir, la viga alcanzó un desplazamiento mayor a 55 mm por lo que el transductor dejó de medir antes de que ocurriera la falla. También se observa en el final de la gráfica un incremento de la carga sin que aumente el desplazamiento. Al final de la prueba, la carga disminuyó en un 2% cuando se presentó el desconchamiento.

El cálculo de la carga nominal de la viga 04 es $P_n=3,869$ kg, la carga obtenida con la resistencia esperada es de $P_{esp}=5,308$ kg y la carga experimental fue $P_{exp}=6,036$ kg, la relación entre la carga experimental y la esperada es de 1.14. La relación es semejante a la viga 03 principalmente porque se emplearon las mismas hipótesis y los mismos materiales.

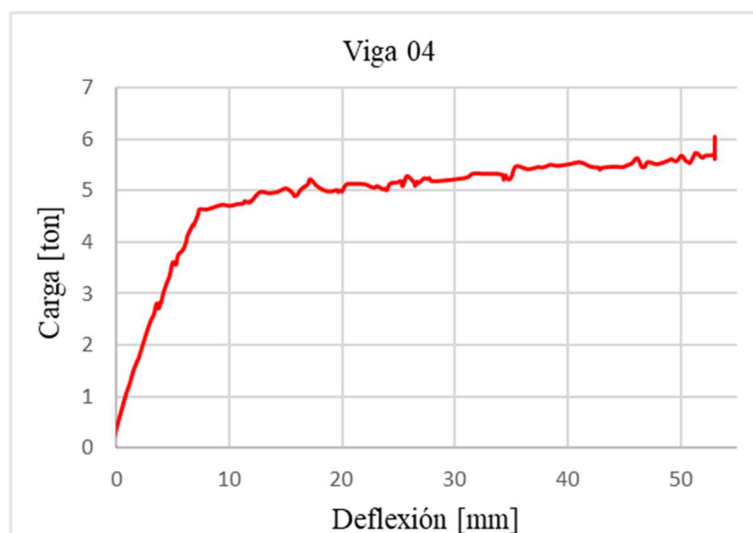


Figura 21. Gráfica Carga vs. Deflexión al centro del claro de la viga 04.

Comparación de resultados

En la figura 22 se muestran las gráficas carga vs desplazamiento en el centro del claro de las 4 vigas. La viga 01 que no tiene refuerzo tiene muy poca resistencia y capacidad de carga, aunque su comportamiento es prácticamente elástico hasta que ocurre la falla frágil. Con la inclusión del acero de refuerzo longitudinal del #2 en la viga 02 se logró aumentar la resistencia, y la capacidad de desplazamiento. Las vigas 03 y 04 que prácticamente tienen el mismo armado (2#3 en lecho en tensión) tienen comportamientos semejantes, solamente la gráfica del espécimen 04 es ligeramente más resistente. Al comparar la carga resistente del espécimen 04 con la del espécimen 03 se tiene una diferencia del 3%. La diferencia se debe a que en el lecho en compresión el área de la viga 04 es 2.8 veces mayor que la viga 03.

La tabla 2 Muestra los resultados de las cargas teóricas, esperadas y experimentales, así como su relación.

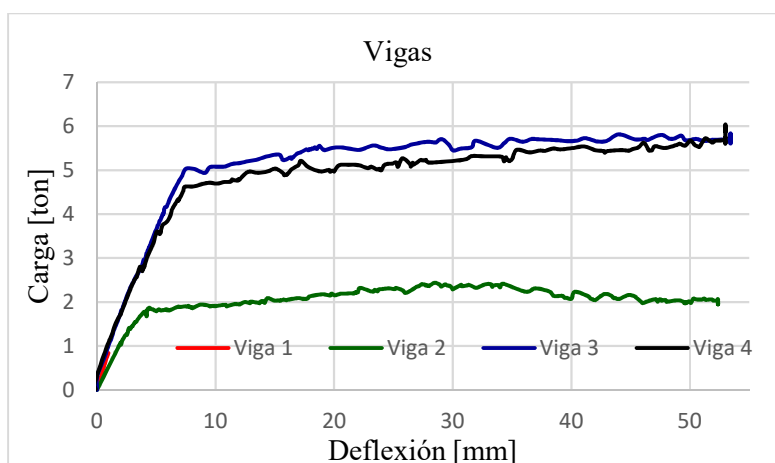


Figura 22. Comparación de las gráficas carga vs. desplazamiento de las vigas.

Tabla 2. Armado en las vigas.

Espécimen	P _n (ton)	P _{esp} (ton)	P _{exp} (ton)	P _{esp} /P _n	P _{exp} /P _n	P _{exp} /P _{esp}
Viga 1	0.525	0.656	0.839	1.25	1.60	1.28
Viga 2	1.188	1.558	2.439	1.31	2.05	1.57
Viga 3	3.871	5.250	5.838	1.36	1.51	1.11
Viga 4	3.869	5.308	6.036	1.37	1.56	1.14
				1.32	1.68	1.27

Se colocaron *strain gages* en las vigas 02 a 04, sin embargo, el strain gage en la viga 03 se dañó y no registró ningún dato. En la viga 04 se instrumentó el acero del #5 y este quedó en el lecho de compresión.

En la tabla 3 se muestran las deformaciones unitarias máximas registradas. En la *figura 23* se muestran las gráficas cargas vs deformación unitaria. La gráfica que corresponde a la viga 02 muestra un comportamiento inusual ya que debería ser creciente en el sentido positivo y es hasta que el daño se acumula en la viga cuando las deformaciones unitarias cambian de signo y aumentan. Las gráficas carga vs deformación unitaria de la viga 04 es muy parecida a la forma que presenta la gráfica carga vs desplazamiento, a medida que las deformaciones unitarias se incrementan, también lo hace la carga.

El acero longitudinal de la viga 02 fluyó tensión ya que la deformación de fluencia del alambroón es de $\epsilon_y=1265 \times 10^{-6}$ y el valor máximo fue de $\epsilon=2924 \times 10^{-6}$, el acero de la viga 04 fluyó en compresión ya que la deformación unitaria de fluencia es de $\epsilon_y=2100 \times 10^{-6}$ y el valor máximo fue de $\epsilon=4999 \times 10^{-6}$.

Tabla 3. Armado en las vigas.

Sección transversal	Deformación unitaria máxima	Observaciones
Viga 01	-	-
Viga 02	2924	Fluye en tensión
Viga 03	-	-
Viga 04	-4999	Fluye en compresión

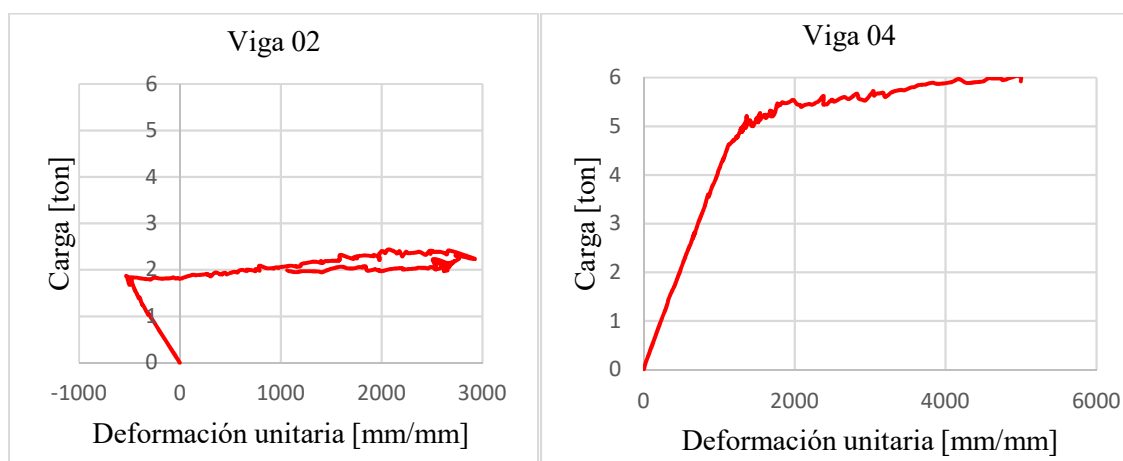


Figura 23. Gráficas cargas vs. Deformación unitaria.

En la *figura 24*, se muestra el agrietamiento de las vigas, para las vigas 02 y 04, se colocaron las grietas en una capa diferente que corresponde a la deflexión en el centro del claro en donde se hizo una pausa para marcar dichas grietas.

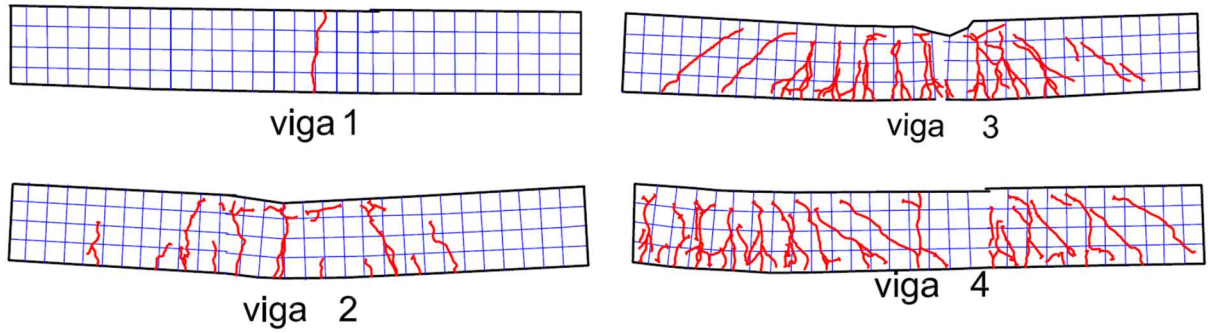


Figura 24. Agrietamiento de las vigas.

3.5.2.3 Segunda fase experimental. Vigas sometidas a fuerza cortante.

Cuatro vigas fueron sometidas a carga en sus extremos cerca de los apoyos, para este experimento se propuso un espécimen de pruebas consistente en una viga de concreto de 1.40 m de largo con una sección transversal de 0.06 x 0.12 m (ver figura 25).

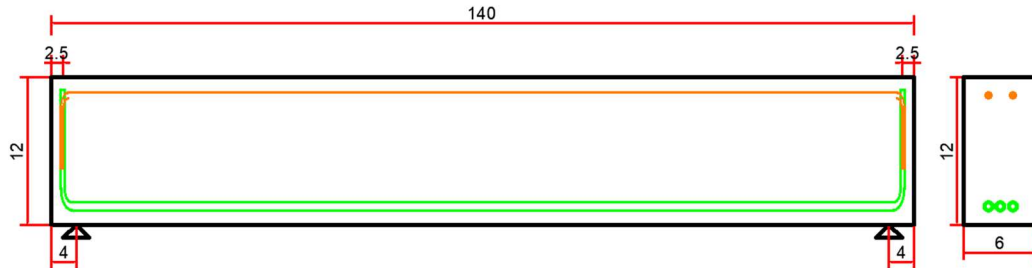


Figura 25. Especimen típico

Ubicación de la carga

El experimento consiste en someter las vigas simplemente apoyadas a cargas puntuales cercanas a los apoyos (ver figura 26) con lo que se tiene en el centro del claro flexión simple. Debido a la cercanía de las cargas a los apoyos, se tienen fuerzas cortantes altas mientras se mantienen los momentos flexionantes bajos.

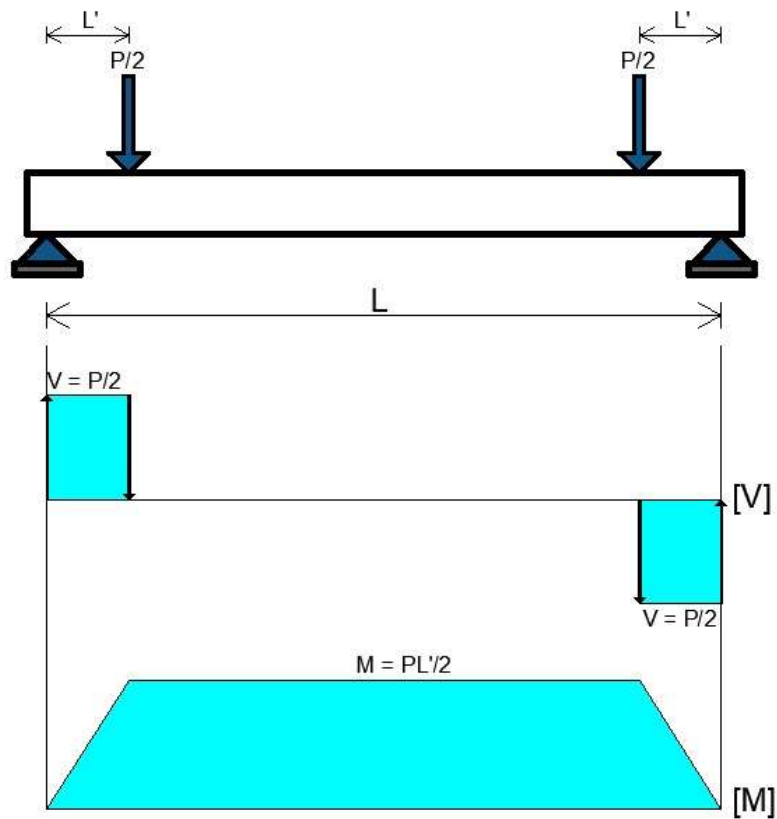


Figura 26. Diagramas de elementos mecánicos.

Refuerzo de los especímenes

El armado por flexión de todos los especímenes fue el mismo, en el lecho superior 2 varillas del #1.25 (3.96 mm) y en el lecho inferior 3 varillas del # 2.5 (7.94 mm). El armado por fuerza cortante se muestra en la tabla 1, en función del peralte efectivo se emplearon tres separaciones d , $d/2$ y $(2/3)d$ los detalles de los armados, se pueden ver en las figuras 27, a 30.

Tabla 4. Refuerzo por cortante en vigas.

Sección transversal	Refuerzo longitudinal		Estribos	Ángulo θ
	Lecho superior	Lecho inferior		
Viga VR01	2#1.25	3#2.5	s@d #1.25@10 cm	90°
Viga VR02	2#1.25	3#2.5	s@d/s #1.25@5 cm	90°
Viga VR04	2#1.25	3#2.5	s@ $(2/3)d$ #1.25@7 cm	45°



Figura 27. Especimen VR01.

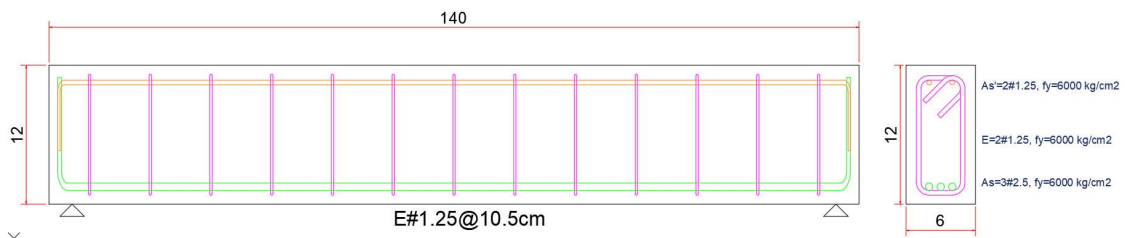


Figura 28. Especimen VR02.

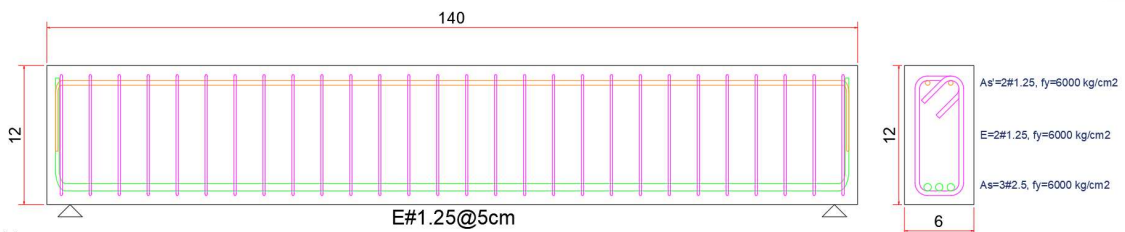


Figura 29. Especimen VR03.

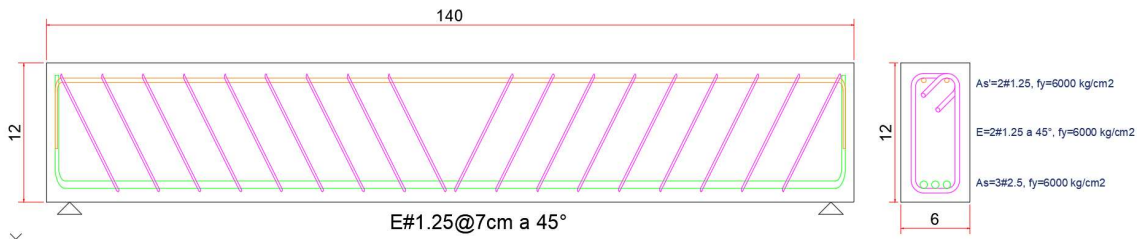


Figura 30. Espécimen VR04.

Instrumentación

Para determinar la deformación unitaria en el acero de refuerzo por cortante, las vigas se instrumentaron con dos galgas extensiométrica (*strain gage*) en el estribo que se muestra en la figura 8, que es uno de los extremos de la viga donde la fuerza por cortante es constante. La precisión de la galga extensiométrica permite medir micro deformaciones (1×10^{-6}).

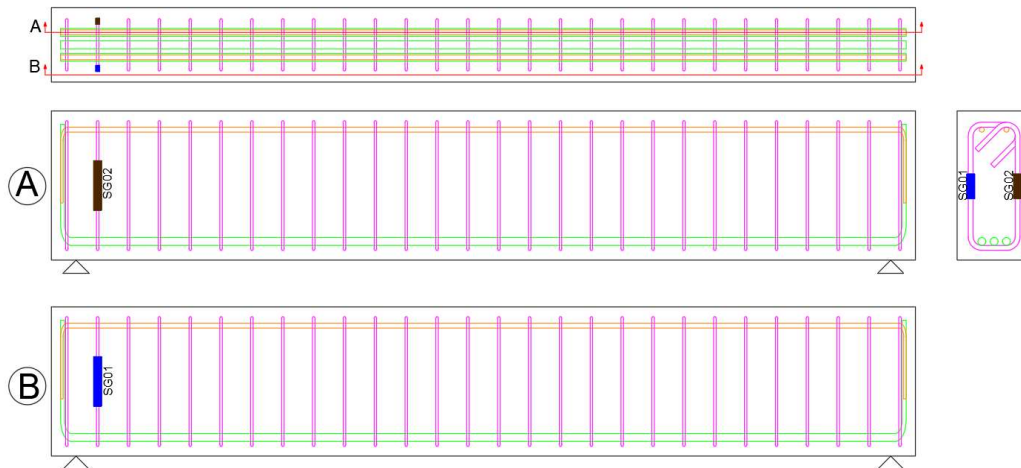


Figura 31. Ubicación de los strain gages.

Además de la instrumentación interna se colocó instrumentación externa para medir el desplazamiento en el centro del claro (nodo de control), en la figura 9 se muestra la ubicación del transductor de desplazamiento empleado, que tiene una capacidad de medir hasta 100 mm con una precisión de 0.01mm.

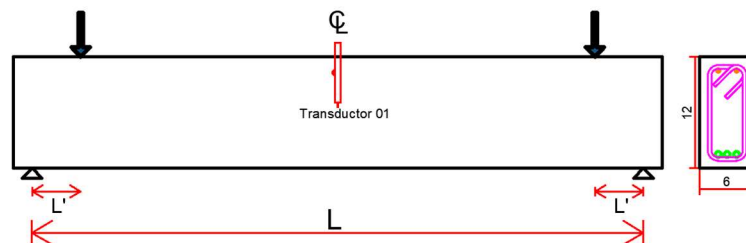


Figura 32. Instrumentación externa para la medición de las deflexiones.

Las cargas se aplicaron mediante dos cilindros hidráulicos de acción simple con capacidad de 5 toneladas y para determinar el valor de las fuerzas aplicadas, se emplearon dos celdas de carga de capacidad de 5 toneladas y con una resolución de 20 kg (ver figura 33).

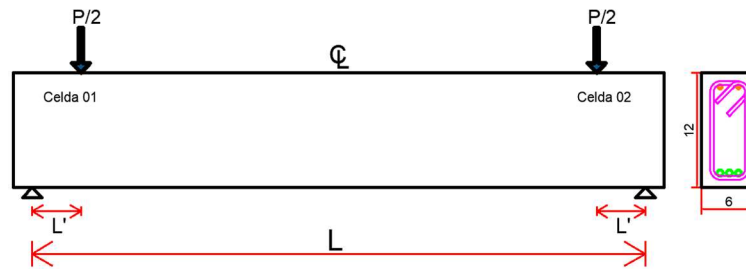


Figura 33. Instrumentación externa para la medición de las cargas.

Ensayo de vigas a fuerza cortante

Espécimen VR01

El espécimen VR01 es el que no tienen refuerzo transversal y que se empleó para determinar la fuerza cortante que toma el concreto cuando no se emplea refuerzo por cortante en forma de estribos. En la figura 34 se muestra la gráfica carga vs deflexión en el centro del claro.

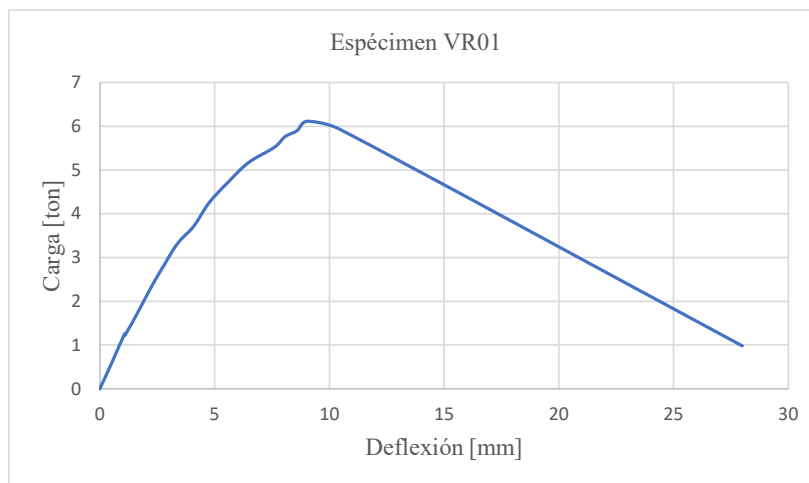


Figura 34. Instrumentación externa para la medición de las cargas.

La falla en el espécimen VR01 ocurrió de forma súbita, se presentaron las grietas inclinadas en los extremos y la falla ocurrió en el extremo derecho (ver figura 35). En la figura 36 se muestra un detalle en el extremo donde ocurrió la falla y puede verse que después de la falla por cortante se presentó una rotación en el extremo que ocasionó en giro a la izquierda del apoyo derecho que provocó desprendimiento del concreto en la cara superior y un desprendimiento del recubrimiento en el lecho inferior.

Como la viga no tiene refuerzo por cortante, no se colocaron strain gages en dicho espécimen.

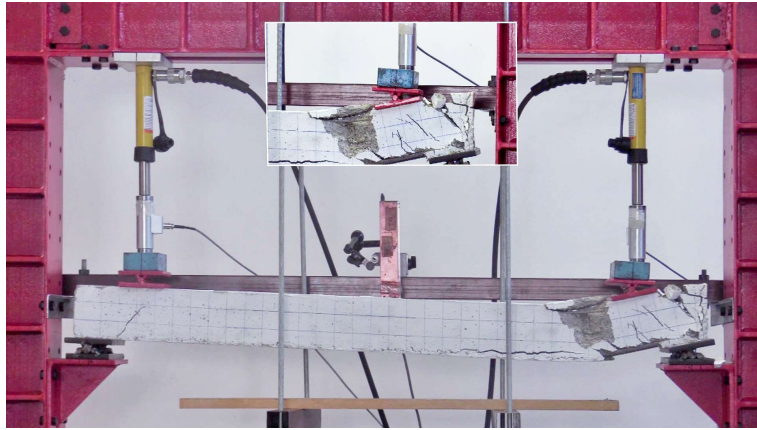


Figura 35. Falla del espécimen VR01.

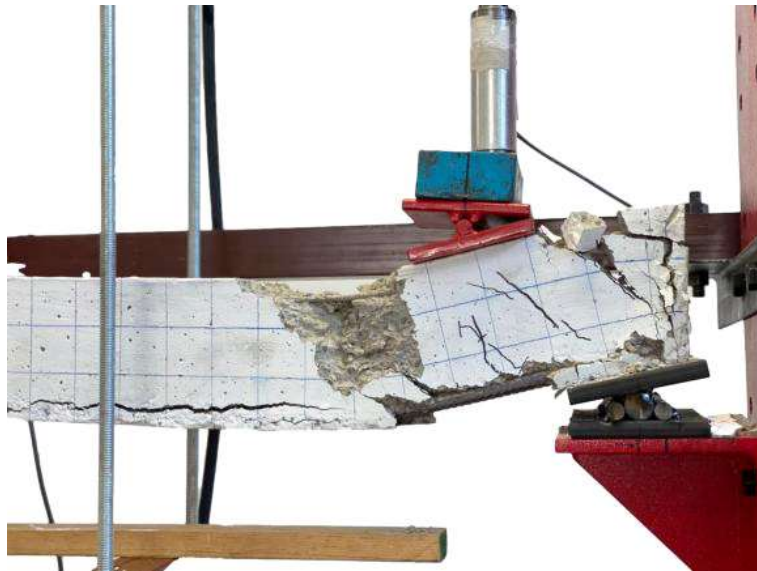


Figura 36. Detalle de la falla en el espécimen VR01.

Espécimen VR02

El espécimen VR02 tiene estribos a una distancia que no cumple con la separación que permiten los reglamentos para vigas sin presfuerzo ($s=d$). Se empleó para mostrar que aun cuando al espécimen se le coloca refuerzo si no tiene la separación apropiada, el comportamiento será muy similar a la viga sin refuerzo. En la figura 37 se muestra la gráfica carga vs deflexión en el centro del claro.

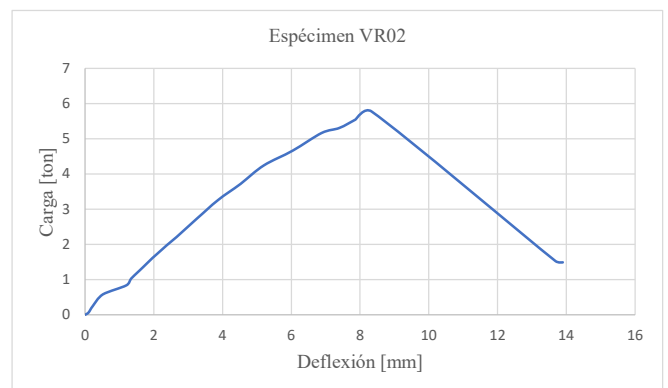
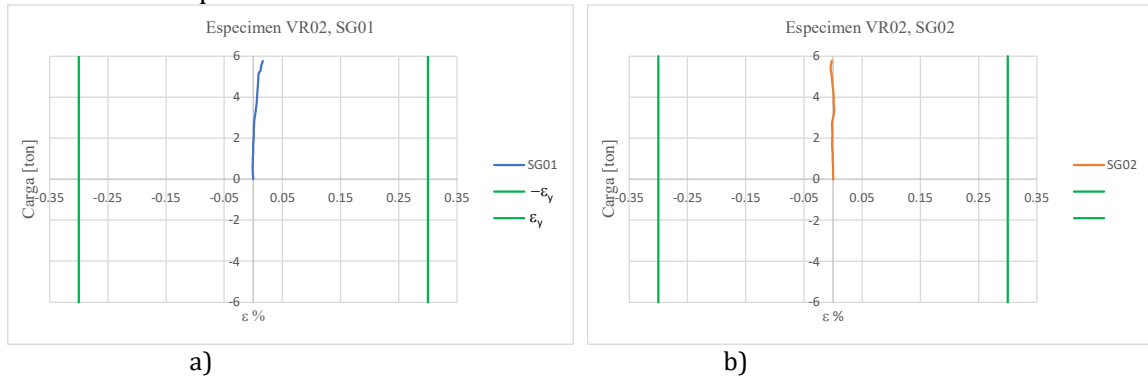


Figura 37. Instrumentación externa para la medición de las cargas

En la *figura 38* se muestran las gráficas de los strain gages colocado en el estribo que se muestra en la *figura 38*, se puede apreciar que en ninguno de los dos strain gages se alcanzó la fluencia del acero de refuerzo por cortante.



*Figura 38. Deformaciones unitarias en el refuerzo por cortante espécimen VR02
a) Galga 1, b) Galga 2.*

La falla en el espécimen VR02 ocurrió de forma súbita, se presentaron las grietas inclinadas en los extremos y la falla ocurrió en el extremo izquierdo (*ver figura 39*). En la *figura 40* se muestra un detalle en el extremo donde ocurrió la falla y puede verse que la falla ocurre en forma aproximada en una línea que une el centro del apoyo inferior y el final de la placa en el apoyo superior. No hubo ningún estribo que pudiera tomar la fuerza cortante, debido a ellos es que la resistencia es semejante y de hecho inferior a la viga sin refuerzo por cortante.



Figura 39 Falla del espécimen VR02.



Figura 40. Detalle de la falla en el espécimen VR02.

Espécimen VR03

El espécimen VR03 tiene estribos a una distancia que cumple con la separación que permiten los reglamentos para vigas sin presfuerzo ($s=d/2$) con un ángulo de 90° . Se empleó para mostrar que el refuerzo además de aumentar la resistencia permite aumentar la capacidad de deformación. En la *figura 41* se muestra la gráfica carga vs deflexión en el centro del claro en el que se aprecia que la viga podía seguir deformándose con una carga aproximadamente constante de la mitad de la resistencia.

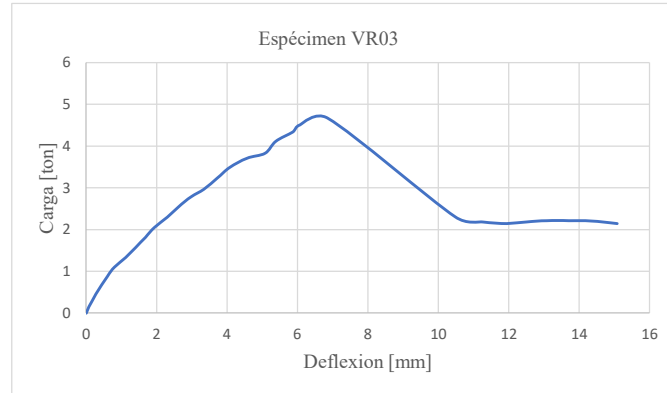
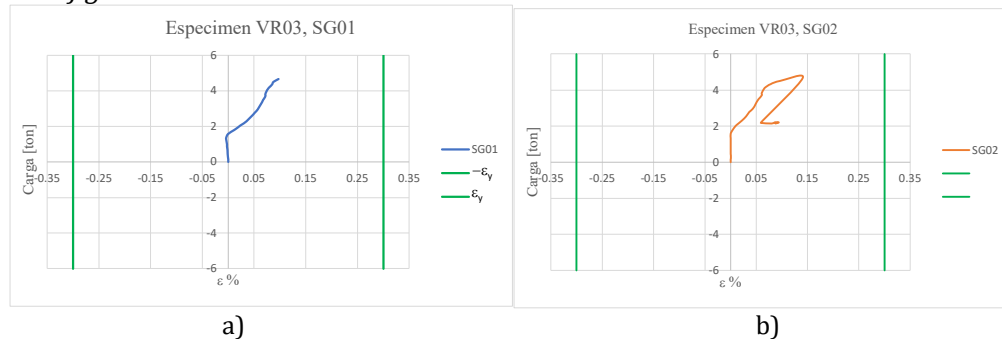


Figura 41. Instrumentación externa para la medición de las cargas.

En la *figura 42* se muestran las gráficas de los strain gages colocados en el estribo, si se comparan con las gráficas de la *figura 38*, pueden apreciarse mayores deformaciones unitarias (mayores esfuerzos en el acero) aunque no se alcanzó la deformación unitaria de fluencia teórica que se muestra en la *figura 38* en color verde.



a) b)
Figura 42. Deformaciones unitarias en el refuerzo por cortante espécimen VR03
a) Galga 1, b) Galga 2.

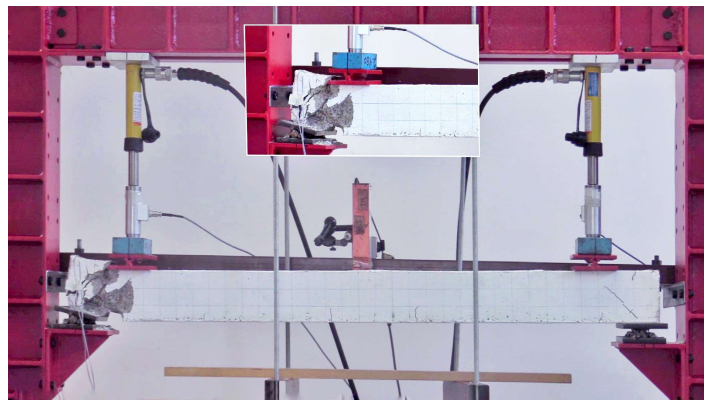


Figura 43. Falla del espécimen VR03.



Figura 44. Detalle de la falla en el espécimen VR03.

La falla en el espécimen VR03 ocurrió de forma súbita, se presentaron las grietas inclinadas en los extremos y la falla ocurrió en el extremo izquierdo (ver figura 43). En la figura 44 se muestra un detalle en el extremo donde ocurrió la falla y puede verse que la falla ocurre en forma aproximada en el paño de la placa que sirve de apoyo al extremo izquierdo, allí se encuentra un estribo atravesando la grieta y permitió aumentar la capacidad de deformación en el apoyo.

Especimen VR04

El espécimen VR04 tiene estribos inclinados a 45° y tienen una resistencia equivalente a la viga VR03, la separación del espécimen VR04 es ($s=2/3$) d mientras que la separación de la viga VR03 es ($s=d/2$) con un ángulo de 90° . Se empleó para mostrar que el refuerzo inclinado permite maximizar la resistencia ante fuerza cortante si el estribo se coloca en forma perpendicular a la grieta. En la figura 45 se muestra la gráfica carga vs deflexión en el centro del claro en el que se aprecia que la viga pierde la capacidad de deformación debido a que ninguna de las barras de refuerzo por cortante es perpendicular a la grieta.

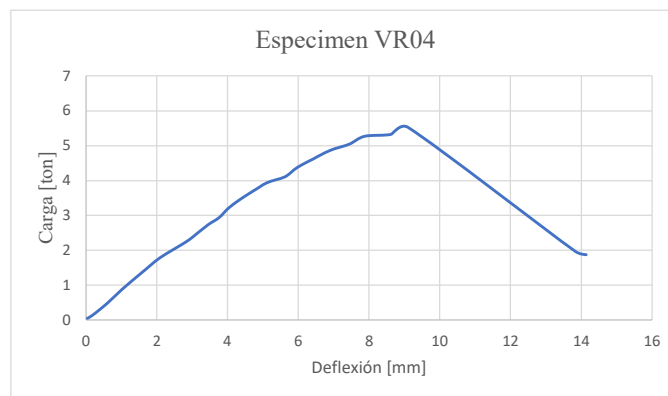


Figura 45. Instrumentación externa para la medición de las cargas.

En la figura 46 se muestran las gráficas de los strain gages colocados en el estribo. Si se comparan con las gráficas de la figura 42, pueden apreciarse menores deformaciones unitarias (menores esfuerzos en el acero) debido a que no hubo barras ubicadas de forma perpendicular a la grieta.

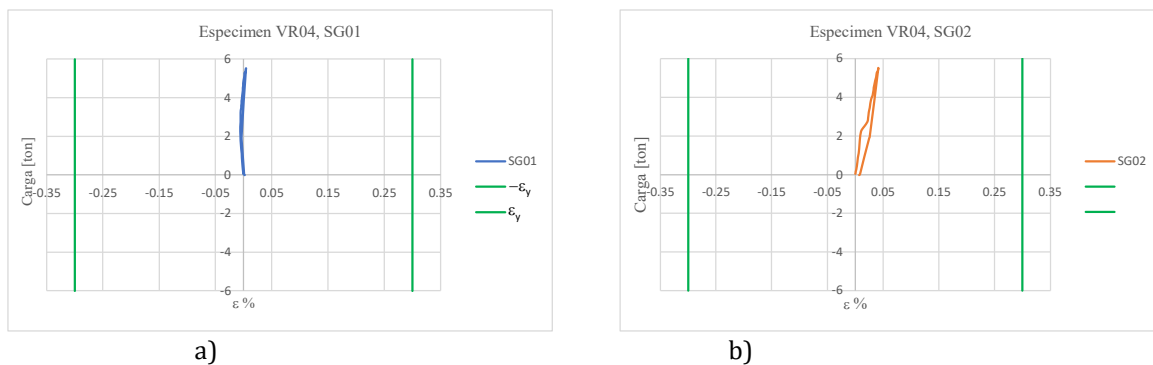


Figura 46. Deformaciones unitarias en el refuerzo por cortante espécimen VR03
a) Galga 1, b) Galga 2.

La falla en el espécimen VR04 ocurrió de forma súbita, se presentaron las grietas inclinadas en los extremos y la falla ocurrió en el extremo izquierdo (ver figura 47). En la figura 48 se muestra un detalle en el extremo donde ocurrió la falla y puede verse que cuando el daño por cortante es muy grande, una grieta se encuentra limitada por el refuerzo por cortante.

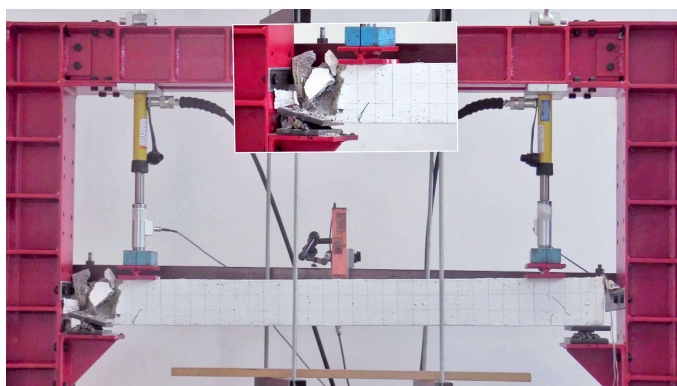


Figura 47. Falla del espécimen VR04.

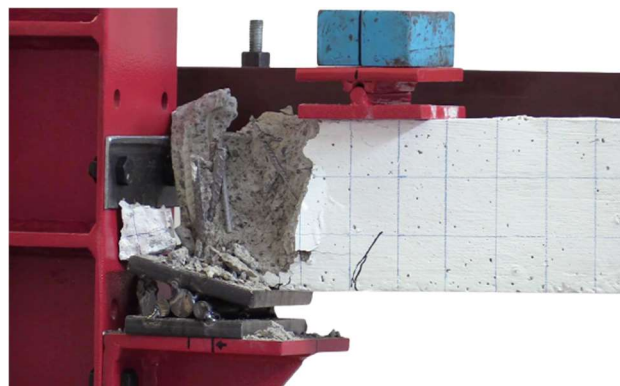


Figura 48. Detalle de la falla en el espécimen VR04.

Comparación de la Gráfica Carga Vs Desplazamiento

En la figura 49 se muestra la gráfica Carga vs. Desplazamiento de los cuatro especímenes. Se pueden apreciar algunos resultados contradictorios debido a que, en el desarrollo experimental, los estribos no quedaron ubicados en la posición correcta y ello influyó en que no impidieran el desarrollo de la grieta por cortante. (ver figuras 36, 40, 44 y 48). El espécimen con la mayor resistencia ante fuerza cortante fue el espécimen VR01 que no tenía refuerzo por cortante.

El espécimen con menor capacidad resistente y de deformación fue el VR02 que tenía refuerzo pero que no cumple con la separación máxima para vigas de concreto reforzado sin presfuerzo ($d/2$), el espécimen VR02 y el VR01 debieron tener un comportamiento similar, sin embargo hubo diferencias que deben estudiarse con detenimiento ya que, pudo influir la variación de las dimensiones de la sección transversal, durante el colado las vigas se colaron unas junto a otras y la variación en las dimensiones beneficiaron a algunas vigas y perjudicaron a otras. Otra posibilidad para el incremento de la fuerza cortante resistente es que los ganchos del acero longitudinal hayan trabajado como refuerzo por cortante (ver la figura 50).

Las vigas que tuvieron una mayor capacidad de deformación en el centro del claro fueron las que tienen una menor separación del refuerzo transversal. En ese sentido, la viga VR03 tuvo una mayor capacidad de deformación, aunque la resistencia bajó aproximadamente a la mitad. La viga VR04 tuvo una capacidad de deformación similar al espécimen VR03 y con una resistencia mayor.

En todos los casos el tipo de falla súbita es un comportamiento indeseable que se tratará de evitar pues causa el colapso de los elementos y en una estructura eso implica la pérdida de vidas y pérdidas materiales.

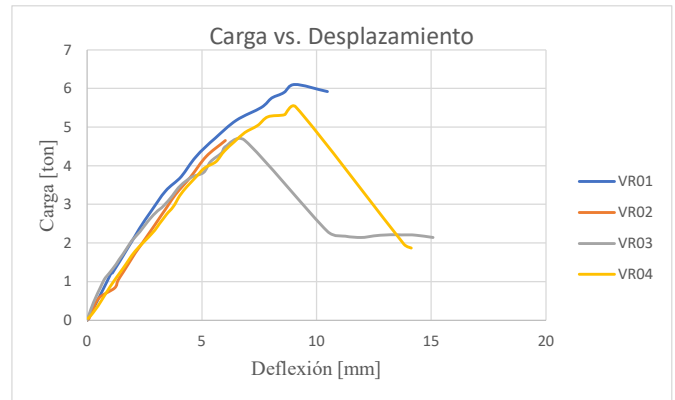


Figura 49. Gráfica carga vs desplazamiento de los especímenes.

Comparación de la carga teórica de falla vs la carga experimental

En la tabla 2 se muestran las fuerzas cortantes resistentes calculadas en forma teórica de acuerdo con las NTC-Concreto 2017 sin considerar factores de reducción y con un $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ a pesar de que el esfuerzo teórico de fluencia del acero sea $f_y=6000 \text{ kg/cm}^2$. También se muestran los resultados obtenidos de forma experimental, así como su comparación. En la tabla 3 se muestran los resultados teóricos cuando se considera que el acero de refuerzo transversal es capaz de alcanzar su esfuerzo de fluencia teórico $f_y=6000 \text{ kg/cm}^2$. En algunos reglamentos como el ACI318 se permite el uso del acero $f_y=6000 \text{ kg/cm}^2$ sin tener que hacer reducciones de forma artificial.

Especimen VR01, se puede ver que el espécimen con la mayor resistencia es la que no tiene refuerzo por cortante, sin embargo, una vez que se analiza el detalle de a falla, puede verse que la grieta por cortante pasa por la unión de los ganchos del acero longitudinal superior e inferior que actuó como refuerzo por cortante (*ver figura 50*). Debido a que la carga teórica de falla considera únicamente la resistencia del concreto, la relación entre la resistencia experimental y la teórica es tan diferente (más de 9 veces).

Tabla 6. Comparación de Cortante resistente experimental vs. Cortante teórico ($f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$)

Especimen	VR _{teo}	VR _{exp}	VR _{exp} /VR _{teo}
VR01	0.338	3.055	9.044
VR02	1.377	2.887	2.097
VR03	2.520	2.334	0.926
VR04	2.453	2.765	1.127

Tabla 7. Comparación de Cortante resistente experimental vs. Cortante teórico ($f_y=6000 \text{ kg/cm}^2$)

Especimen	VR _{teo}	VR _{exp}	VR _{exp} /VR _{teo}
VR01	0.338	3.055	9.044
VR02	1.822	2.887	1.585
VR03	3.455	2.334	0.676
VR04	3.359	2.765	0.823

El espécimen VR02, se tiene la separación $s=d$, tiene una resistencia teórica inferior a la resistencia experimental, de hecho, la relación entre lo experimental y lo teórico supera el valor 2 cuando la resistencia teórica se calcula con $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ y el valor de 1.5 cuando la resistencia teórica se calcula con $f_y=6000 \text{ kg/cm}^2$ en este caso la metodología conduce a resultados conservadores a pesar de que el acero de refuerzo no fluyó.

El espécimen VR03 tiene una resistencia teórica superior a la que se registró experimentalmente, probablemente porque el primer estribo no comenzaba a la distancia apropiada. Lo que ocasionó una diferencia del 7% si la resistencia se determina con $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ y del 32% si la resistencia se determina con $f_y=6000 \text{ kg/cm}^2$.

El espécimen VR04 tiene prácticamente la misma resistencia teórica que el espécimen VR03, sin embargo, el espécimen VR04 tuvo una resistencia experimental mayor que la teórica cuando se determina con $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ pero cuando la resistencia teórica se determina con $f_y=6000 \text{ kg/cm}^2$, la resistencia experimental resulta inferior a la teórica. La diferencia del 18% se debe en gran medida a que el acero de refuerzo por cortante no fluyó.



Figura 50. Detalle de los ganchos del refuerzo longitudinal.

3.5.3 Memoria fotográfica



Figura 51. Hidratación del concreto.



Figura 52. Preparación de la cimbra.

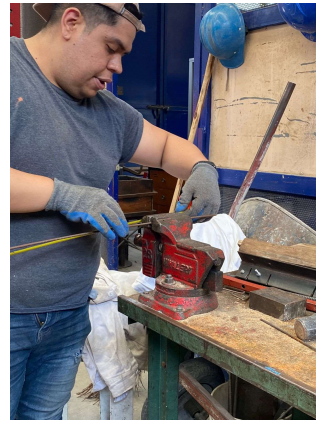
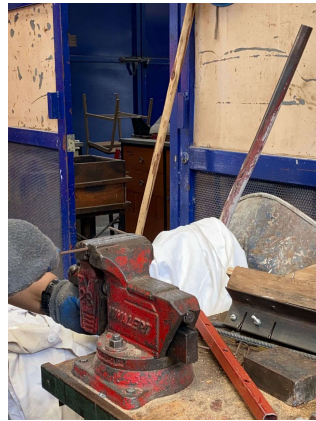
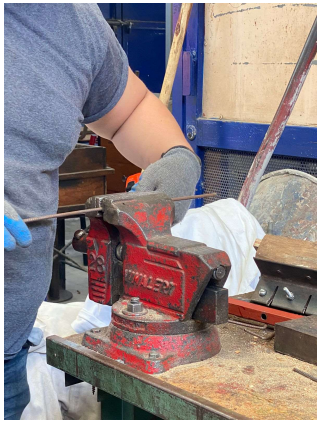


Figura 53. Habilitado de varilla de acero para el armado.

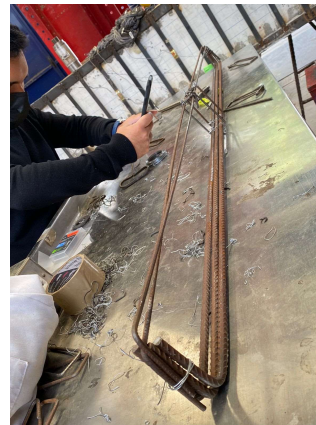


Figura 54. Colocación de estribos.



Figura 55. Ubicación de los strain gages en acero.

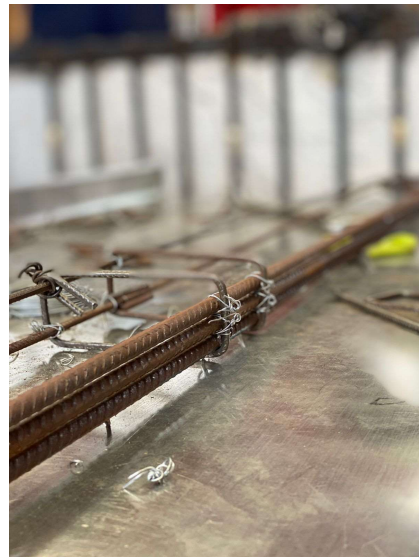


Figura 56. Detalle del armado en lecho inferior.

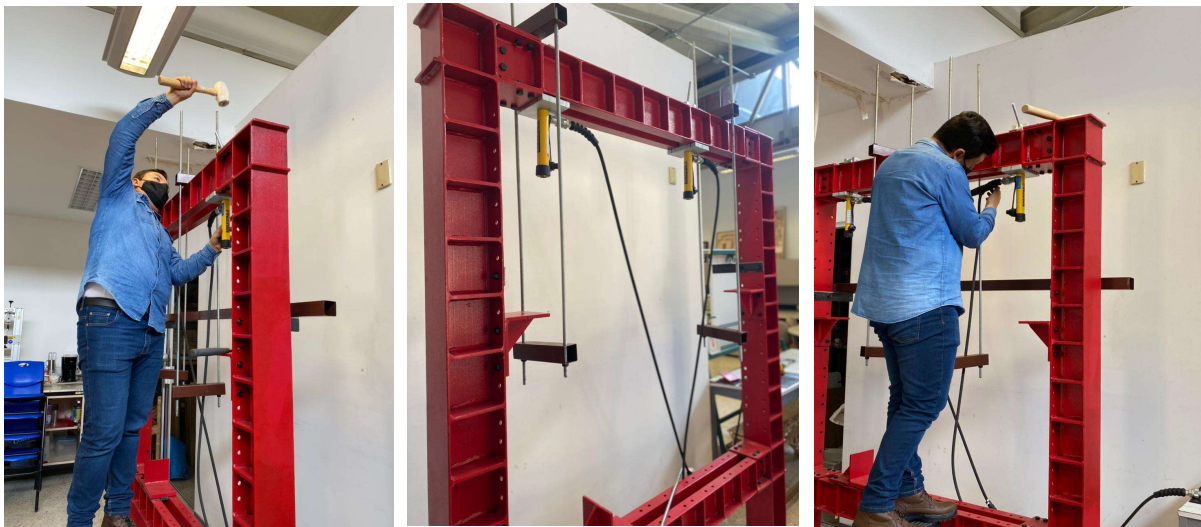


Figura 57. Instrumentación en celdas de carga.

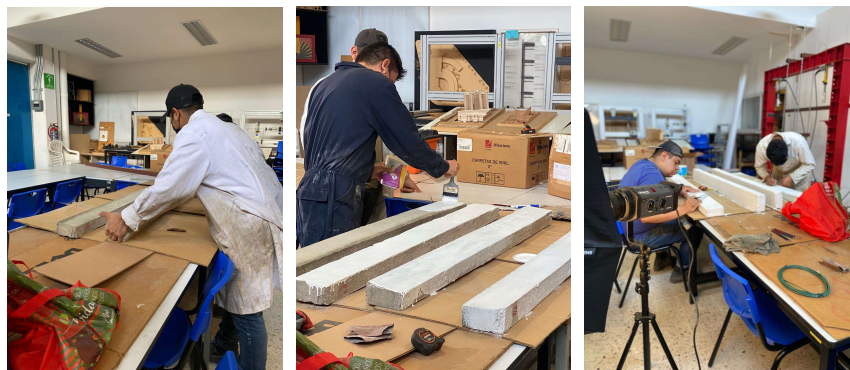


Figura 58. Preparación de vigas.



Figura 59. Desarrollo de ensaye.

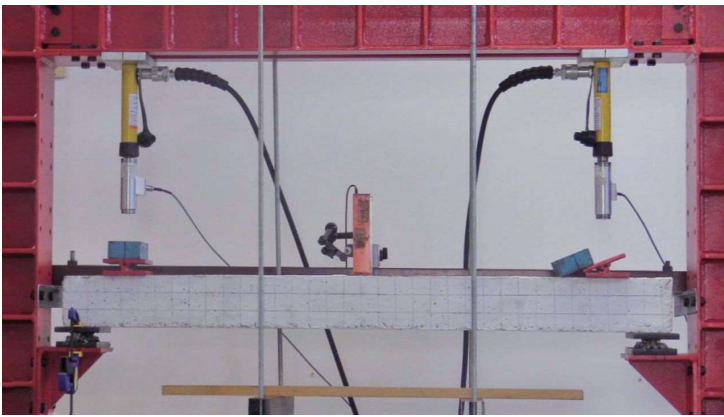


Figura 59. Viga sin deformación.

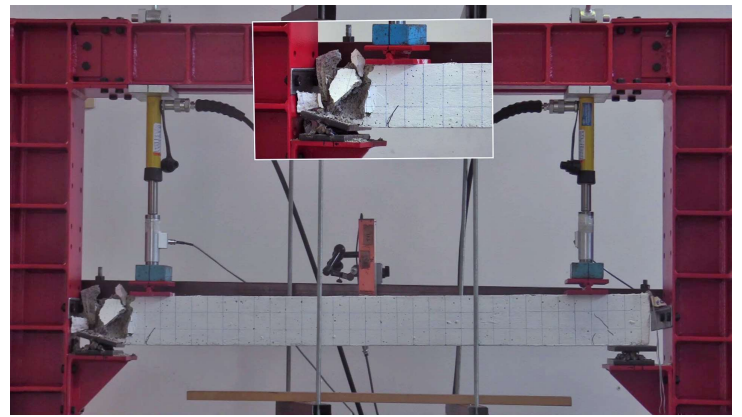


Figura 60. Falla en la viga.



Figura 61. Detalle de falla en los extremos.

4. Relación y descripción de actividades y resultados de cada uno de los participantes.

Interacción entre los integrantes del grupo de trabajo para lograr los objetivos del proyecto.

El grupo de trabajo se integra con distintas especialidades: Arquitectura, Diseño Industrial e Ingeniería Civil cuyos integrantes trabajan coordinadamente haciendo aportaciones específicas de acuerdo a su campo de especialidad y experiencia, de modo que la interacción es necesariamente multidisciplinaria.

- **M en Arq. Carlos H. Moreno Tamayo.** - Responsable del Proyecto. Organización, dirección y control del proyecto. Gestión académico-administrativa, programación, supervisión y conducción del grupo de trabajo. Gestión de recursos y adquisiciones, reportes de avance del desarrollo del proyecto. Acopio de información, documentación, difusión y vinculación con otros grupos e Instituciones interesados en el tema.
- **Dr. Eduardo Arellano Méndez.** - Investigador del Departamento de CBI y Coordinador de la línea temática de Diseño Estructural. Elaboración de la propuesta temática y conceptual para el desarrollo del proyecto y generación del apoyo teórico correspondiente. Dirección y ejecución de las sesiones de ensaye de vigas. Aplicación de resultados al currículum. Difusión y vinculación con otros grupos e instituciones interesados en el tema.
- **M. en C. Antonio Abad Sánchez.** – Producción de celdas de carga, apoyo en el ensamble del marco de reacción SD 65. Sistema de sujeción de actuadores hidráulicos y sistema de apoyo de vigas. Revisión y adecuación del material gráfico y fotográfico del experimento.
- **Jesús Arturo Morales Delgado.** - Alumno, apoyo en la elaboración de cimbra y las probetas en las dos etapas del desarrollo del proyecto.
- **Alan Paulus Morales Rodríguez.** - Apoyo logístico para el desarrollo de las sesiones experimentales y registro gráfico de las deformaciones de las vigas.
- **Jacqueline Vázquez Ordóñez.** - Ayudante “B” del Laboratorio de Modelos Estructurales, quien ha elaborado la documentación necesaria para el procedimiento de registro y conclusión, apoyo en la gestión administrativa, así como la colaboración en la presentación para la difusión del proyecto.

La coordinación en la planeación, articulación de actividades y avances de la producción, se ha realizado en reuniones periódicas en el Seminario Permanente del Laboratorio de Modelos Estructurales promediando una frecuencia de dos sesiones por mes.

5. Relación con la docencia, la preservación y la difusión de la cultura del Proyecto de Investigación concluido.

El proyecto que se describe tiene un propósito eminentemente didáctico, por lo que su génesis y aplicación están precisamente relacionados con la docencia en la medida que son el Plan y los Programas de Estudio la base fundamental de análisis de casos en los cuales se detecta (como se ha comentado en la descripción de la metodología) la necesidad de reforzar el aprendizaje y hacerlo significativo.

De hecho, una vez concluido cada proyecto, se incorpora al catálogo de productos del Laboratorio y se pone a disposición de los docentes del área de estructuras y tecnología, no solo de la División de CyAD sino de la de CBI, con los cuales se programan trimestralmente las sesiones

en las que la exposición de clase se ve complementada con la demostración de cada tema con el apoyo del equipo e infraestructura del Laboratorio.

El alcance de este programa evidentemente trasciende el aula y aún los muros universitarios, ya que periódicamente los integrantes del grupo de trabajo participan en eventos nacionales e internacionales a través de exposiciones, ponencias y artículos de investigación en los que se difunden las experiencias del programa, mismas que se documentan en las publicaciones y memorias respectivas.

6. Aportaciones al campo de conocimiento

Aportación en el mejoramiento de los métodos de enseñanza aprendizaje

Los modelos físicos destructivos permiten conocer el comportamiento de los elementos estructurales ante las acciones aplicadas y si se diseñan de forma apropiada, se pueden demostrar los comportamientos que en un salón de clase requieren mucha imaginación por parte de los estudiantes y que no siempre resultan en aprendizaje significativo que trascienda al aula y que se quede con ellos durante el resto de su vida profesional. La posibilidad de que puedan estimar la resistencia en el salón de clases y lo comprueben en el Laboratorio de Modelos Estructurales, que escuchen los sonidos del concreto al agrietarse, que vean las partículas de concreto al desprenderse y que puedan medir las deflexiones, transforma el aprendizaje del aula en los que se puede definir como un **aprendizaje por experiencias**.

Se aporta un conjunto de documentos para la construcción de los especímenes que permiten repetir los ensayos en flexión y cortante que demuestran que limitar la cantidad de refuerzo longitudinal en las vigas en función de su sección transversal promueve un comportamiento dúctil y que el proporcionar suficientes estribos en términos de la separación resultante entre ellos evita fallas prematuras por fuerza cortante que además son frágiles.

7. Coherencia entre metas, objetivos y resultados finales

La metodología adoptada implica que los proyectos de investigación se desarrollen en tiempos relativamente breves en virtud de la posibilidad de realización de prácticas experimentales con el concepto de “escala reducida” que facilita el proceso experimental optimizando recursos, tiempos y movimientos adecuándose, por primera vez, a los requerimientos de la agenda y programas académicos trimestrales para este tipo de ensayos. Los resultados se identifican claramente con los objetivos y metas planteados, en tanto que las pruebas realizadas permiten evidenciar físicamente la similitud entre los postulados teóricos estructurales que son objeto de demostración. El enriquecimiento del proceso de enseñanza aprendizaje es parte de los objetivos y metas del proyecto, así como la concreción de un aprendizaje significativo. Con ello se garantiza la respuesta a las necesidades planteadas en el análisis curricular correspondiente.

8. Trascendencia social

El programa del Laboratorio de Modelos Estructurales está dirigido a la atención de ciertos aspectos de la problemática docente en el campo de referencia, enriqueciendo y facilitando los procesos educativos. Son los alumnos y profesores de nuestra institución, en primera instancia, los beneficiarios del programa, condición que no es limitativa ya que la difusión de resultados ha llevado a captar el interés de otras instituciones, logrando en el transcurso del tiempo numerosas participaciones en eventos académicos y profesionales de relevancia, tales como congresos nacionales e internacionales así como la suscripción de convenios específicos en los cuales se ha logrado desarrollar prototipos para otras Universidades.

9. Conclusiones

- La propuesta y desarrollo de proyectos de investigación de corta duración permite arribar a resultados concretos y fácilmente verificables cuya aplicación se vuelve inmediata por su correspondencia con nichos académicos perfectamente identificados. La experiencia obtenida en este proyecto y los precedentes, confirma la vocación de trabajo colaborativo entre entidades afines y complementarias en la formación universitaria entre arquitectos e ingenieros civiles, potenciando las posibilidades de una formación integral de los estudiantes de ambas disciplinas.
- El género de productos académicos que se proponen implica la participación multidisciplinaria de diversos campos del diseño y las ingenierías, como lo corrobora la participación activa de profesores investigadores del Departamento de Materiales de CBI, de Diseño Industrial, Diseño de la Comunicación Gráfica y Arquitectura.
- El trabajo colaborativo interdivisional entre los laboratorios de Materiales de CBI y el de Modelos Estructurales de CyAD ha podido desarrollarse desde hace ya algunos años con resultados interesantes que se traducen en diversos proyectos que han permitido atender los objetivos y expectativas académicos de ambas entidades al hacer coincidir intereses temáticos comunes.
- Una clara percepción del problema, la comunicación precisa de los requerimientos y la correcta interpretación conceptual de los mismos como base para el desarrollo del proyecto apoyado en el conocimiento de materiales y mecanismos, son sin duda elementos necesarios para acercarse al objetivo esperado. En otras palabras, una necesaria labor de equipo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bru O. D., Ivorra S., Baeza J., (2013), "Innovación en la docencia de cálculo de estructuras mediante prácticas de laboratorio", Memorias de las III Jornadas Internacionales de Enseñanza de la Ingeniería Estructural de Innovación Educativa, Valencia, España. pp.
2. González C. O. M. (1966), "CENIC, programa para la elaboración de ayudas audiovisuales para la enseñanza del concreto", IMCYC-Instituto de Ingeniería UNAM.
3. "Normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de estructuras de concreto., (2004). Gaceta Oficial del Distrito Federal, décima cuarta época, Tomo I, No. 103-Bis, México, 6 de octubre de 2004.
4. Roberts, N. P., (1989), "Understanding structural mechanics", High Tech Scientific.
5. Turati V. A., Prólogo al libro de Moreno, C. et Al. (2003), "Laboratorio de Modelos Estructurales", Procesos y Técnicas de Realización, UAM A, México, pp. 199

Fwd: Término proyecto N-582

2 mensajes

Director de Ciencias y Artes para el Diseño <dircad@azc.uam.mx> 10 de enero de 2023, 16:48
Para: SECRETARIA ACADEMICA CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO <sacad@azc.uam.mx>, OFICINA TECNICA DIVISIONAL CYAD - <consdivcyad@azc.uam.mx>
Cc: DEPARTAMENTO DE PROCESOS Y TECNICAS DE REALIZACION - <procytec@azc.uam.mx>

Estimadas Mtra. Areli y Lic. Lupita

Por este medio envío a trámite de la Comisión de Proyectos de Investigación la solicitud de la Jefatura de Departamento de Procesos y Técnicas de Realización, referente al Proyecto N-582.

Agradezco su atención enviando cordiales saludos.

Mtro. Salvador Ulises Islas Barajas


Director de la División de Ciencias y Artes para el Diseño
Universidad Autónoma Metropolitana Azc.
dircad@azc.uam.mx
Tel: 55 53189145
M: 55 48701011

----- Forwarded message -----

De: **DEPARTAMENTO DE PROCESOS Y TECNICAS DE REALIZACION** - <procytec@azc.uam.mx>
Date: lun, 9 ene 2023 a las 13:00
Subject: Término proyecto N-582
To: Director de Ciencias y Artes para el Diseño <dircad@azc.uam.mx>

Por medio del presente correo envío un cordial saludo y aprovecho para presentar la terminación del proyecto N-582.
Anexo documentación.
Agradezco de antemano sus atenciones.

--
Dr. Edwing Antonio Almeida Calderón
Jefe del Departamento de Procesos y Técnicas de Realización
CyAD
UAM-Azcapotzalco

 **003 conclusión proyecto N-582 SD-70 Carlos Moreno.pdf**
15194K

SECRETARIA ACADEMICA CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO
<sacad@azc.uam.mx>

10 de enero de 2023, 22:28

Para: Director de Ciencias y Artes para el Diseño <dircad@azc.uam.mx>
Cc: OFICINA TECNICA DIVISIONAL CYAD - <consdivcyad@azc.uam.mx>, DEPARTAMENTO DE PROCESOS Y TECNICAS DE REALIZACION - <procytec@azc.uam.mx>

Estimado Mtro. Salvador,

Se confirma haber recibido la documentación adjunta, para darle seguimiento con la Comisión correspondiente.

Saludos cordiales,

Areli

[El texto citado está oculto]

