



# **BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

---

**Facultad de Ingeniería  
Colegio de Ingeniería Civil**

**“Propuesta de Manual de Prácticas de  
Laboratorio de Vigas de Concreto  
Reforzado Sujetas a Flexión”**

Que para obtener el grado de

**INGENIERO CIVIL**

Presenta:

**MIGUEL ANGEL DE GANTE CLARA**

Asesor de tesis:

**PhD. Juan Pablo Hidalgo Toxqui**

Coasesor de tesis:

**M.I. Eduardo García Zenteno**

Puebla, Pue.

Mayo 2025

**BUAP**



# OFICIO DE AUTORIZACIÓN



Oficio No. SAC/0424/2025

**C. Miguel Ángel de Gante Clara -201634916-**  
**Pasante de la carrera de Ingeniería**  
**Civil**  
**Presente.**

En atención al Tema de Tesis que puso Usted a consideración de la Coordinación de Área y de esta Secretaría Académica en coordinación con la Dirección de ésta Facultad de Ingeniería, dentro del marco de Titulación por Examen Profesional, como medio de Titulación se dio revisión y se ha autorizado el tema denominado:

**“PROPUESTA DE MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE VIGAS DE CONCRETO REFORZADO SUJETAS A FLEXIÓN.”**

Por lo anterior hago de su conocimiento que se asigna como Director de Tema al Dr. Juan Pablo Hidalgo Toxqui.

Sin más por el momento, le envío la seguridad de mi consideración más distinguida.

Atentamente  
“Pensar bien para vivir mejor”  
H. Puebla de Z. a 13 de febrero de 2025

M. I. Angel Cecilio Guerrero Zamora  
Director



M'ACGZ/M'VGL/barv  
C.c.p. Archivo

Facultad  
de Ingeniería

Blvd. Valsequillo y Av. San Claudio  
s/n, edif. ING - 4, Col. San Manuel,  
Ciudad Universitaria,  
Puebla, Pue. C.P. 72570  
01 (222) 229 55 00 Ext. 7610

## OFICIO DE IMPRESIÓN

**M. I. Angel Cecilia Guerrero Zamora**  
**Director de la Facultad de Ingeniería**  
**Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**  
**Presente.**

El que suscribe: Dr. Juan Pablo Hidalgo Taxqui, director del tema de tesis:

"PROPUESTA DE MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE VIGAS DE CONCRETO REFORZADO SUJETAS A FLEXIÓN."

Presentada por el C. Miguel Ángel de Gante Clara -201634916-, pasante del Colegio de Ingeniería Civil, y en atención al oficio No. SAC/0424/2025 con fecha de emisión 13 de febrero de 2025, me permita informar a Usted que después de haber revisado cuidadosamente el contenido temático, metodología, redacción y ortografía de la tesis correspondiente, no tengo inconveniente en autorizar la impresión del mismo.

Sin otro particular, le reitero la seguridad de mi más atenta y distinguida consideración.

Atentamente  
"Pensar bien, para vivir mejor"  
H. Puebla de Z. a 17 de febrero de 2025

  
Dr. Juan Pablo Hidalgo Taxqui  
Director de Tema

## **DEDICATORIA**

Con gratitud y amor, dedico esta tesis a mi madre, Judith Clara Aguilar, cuyo apoyo constante y sacrificio incansable fueron la luz que iluminó mi camino a lo largo de estos años. Esta tesis es un testimonio de su fe en mí, incluso en los momentos más oscuros. Gracias por ser mi mayor inspiración y motivación.

A mis queridas hermanas, Elizabeth De Gante Clara, Beatriz De Gante Clara y Guadalupe De Gante Clara, por su cariño, aliento y apoyo incondicional. Su presencia en mi vida ha sido un regalo invaluable.

A mi pareja, Ariadna Pérez de León Castañeda, por su amor, paciencia y comprensión. Su apoyo inquebrantable me impulsó a seguir adelante y alcanzar esta meta.

Miguel Ángel De Gante Clara

## **AGRADECIMIENTOS**

Este es el último paso de una etapa maravillosa de mi vida, que su duración hizo que creciera y desarrollara mi conocimiento y mi potencial como estudiante y, además me encaminara hacia la vida profesional que, antes era un sueño y ahora es mi realidad.

Es por eso que, a la persona más importante que quiero agradecer es a mi mamá, Judith Clara Aguilar; por todo su esfuerzo que me brindó a lo largo de estos 5 años y que a pesar de los momentos que yo veía oscuros, ella siempre me iluminó con sus consejos, su carisma y sobre todo su gran apoyo emocional para seguir adelante por ese camino de metas, llamado universidad. Pero que realmente es el camino que formé para convertirme en un profesionista responsable, con valores y con potencial de retarme a mí mismo para seguir evolucionando en la vida tanto personal como laboral.

Sin dejar de lado, agradezco a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, en especial a la Facultad de Ingeniería por brindarme el espacio que fungió como mi segunda casa, en sus instalaciones pasaba mi mayor tiempo estudiando, conociendo y creando relaciones, relaciones que actualmente sigo conservando y que conservaré por mucho tiempo, porque fueron parte primordial en mi formación como estudiante.

Finalmente doy las gracias a todas aquellas personas que dejaron en mí un aprendizaje de vida en estos años.

Miguel Ángel De Gante Clara

## **RESUMEN**

En este documento se presenta una propuesta del manual de prácticas de vigas de concreto reforzado sujeto a flexión para el laboratorio de estructuras de la Facultad de Ingeniería de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Se presenta el estado del arte de dichas prácticas en las universidades de México, así como toda la teoría y lineamientos para su ejecución, también se presenta del ensaye ejemplo realizado para conocer los trabajos que el alumno debe realizar. Al final de este documento se presenta la propuesta para realizar en clases dicha práctica.

## **ABSTRAC**

In this document, a proposal to do reinforced concrete beams subject to flexure laboratory class manual is presented. This document is adapted to the Structural Laboratory of the Engineering Faculty of the Meritorious Autonomous University of Puebla. The stated of art of this kind of manuals in the Mexican Republic is presented, also, all the theory and procedures to realize the experimental test and the main test realized to know all the processes is shown, ante the end of this document, the proposal of this manual for classes is presented.

## INTRODUCCIÓN

La ingeniería Civil es una de las carreras más importantes para el desarrollo de las sociedades, esto ha sido comprobado a lo largo de la historia de la humanidad, en donde incluso, la economía de muchas naciones es impulsada por del avance en la construcción de sus ciudades.

Es primordial para la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla sostener, desarrollar e impulsar grandes generaciones de estudiantes de la carrera de ingeniería civil para el futuro, los cuales será un pilar en nuestra sociedad, tanto a nivel estatal como a nivel nacional.

En dicho sentido, corresponde a la Facultad de Ingeniería de la BUAP egresar futuros profesionistas que cuenten con las mejores competencias para el ámbito laboral del futuro, en este sentido, se plantea en esta investigación aportar una guía para realizar prácticas de laboratorio para el área de estructuras, siendo en este caso, un manual para la planeación, construcción, ejecución de ensaye y análisis de la respuesta de vigas de concreto reforzado sujetas a flexión. A lo largo de este documento se presenta toda esta información.

En el primer capítulo se encontrará el estado del arte de la didáctica que actualmente se desarrolla este tipo de práctica a nivel nacional en los Estados Unidos Mexicanos. También se demostrará la importancia atreves de varias otras formas empleadas en la enseñanza en las universidades.

El capítulo dos nos presentará las teorías empleadas en los análisis de la práctica, la cual resulta ser el conocimiento más importante que todo Ingeniero Civil o arquitecto debe tener para resolver problemas de flexión en vigas simples en la práctica profesional. Otras teorías y procedimientos auxiliares para la ejecución de esta práctica serán mencionados en está sección.

En el tercer capítulo presenta el ensaye ejemplo primordial que fue realizado para poder dar forma al manual propuesto, también serán presentados todas las adversidades y trabajos auxiliares que se tuvieron que realizar para poder asentar una propuesta coherente de manual. Principalmente se habla de todos los trabajos preliminares a la ejecución de los ensayes a flexión, como lo es, diseño de mezclas de concreto, habilitado de acero, colado de elementos, curado, etc.

El cuarto capítulo nos presenta la ejecución de todas las pruebas, tanto nuestro ensaye principal como los ensayos preliminares de los materiales, tanto en este capítulo como en el anterior se presentan los formatos de vaciado de resultados.

Al final de la tesis, se emiten las conclusiones del trabajo realizado, una encuesta de salida realizada a los estudiantes y posteriormente se emiten recomendaciones para futuros avances del manual. En los anexos se presenta la propuesta concluida del manual de prácticas de laboratorio de estructuras para vigas de concreto reforzado.

# ÍNDICE

OFICIO DE AUTORIZACIÓN .....	A
OFICIO DE IMPRESIÓN.....	B
DEDICATORIA .....	C
AGRADECIMIENTOS .....	D
RESUMEN.....	E
INTRODUCCIÓN .....	F
ÍNDICE .....	H
<b>CAPÍTULO 1.- ANTECEDENTES.....</b>	<b>1</b>
1.1.- HISTORIA DE LA CARRERA DE ICV BUAP .....	1
1.2.- ENSEÑANZA EN INGENIERÍA CIVIL .....	2
1.3.- LABORATORIOS DE ESTRUCTURAS EN LA ENSEÑANZA .....	3
1.4.- MANUALES DE LABORATORIO .....	5
<b>CAPÍTULO 2.- MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>8</b>
2.1.- RESISTENCIA REAL DE LOS MATERIALES .....	8
2.1.1.- ENSAYE DE CILINDRO DE CONCRETO:.....	9
2.1.2.- ENSAYE DEL REFUERZO LONGITUDINAL:.....	9
2.1.3.- RELACIÓN ESFUERZO-DEFORMACIÓN:.....	9
2.2.- RESISTENCIA ÚLTIMA A FLEXIÓN.....	10
2.2.1.- CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE DE VIGAS SIMPLEMENTE ARMADAS .....	10
2.2.2.- FALLA A TENSIÓN.....	12
2.2.3.- FALLA POR COMPRESIÓN.....	13
2.2.1.- FALLA POR COMPRESIÓN.....	15
2.3.- CÁLCULO DE LAS DEFLEXIONES ANALÍTICAS .....	18
<b>CAPÍTULO 3.- PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....</b>	<b>22</b>
3.1.- SELECCIÓN DEL TIPO DE ARMADO DE REFUERZO .....	22
3.2.- PROCESO CONSTRUCTIVO DEL ELEMENTO.....	23
3.2.1.- CÁLCULO DE VOLÚMENES .....	23
3.2.2.- HABILITADO DE ACERO.....	24
3.2.3.- HABILITADO DE CIMBRA .....	25
3.2.4.- DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO .....	26
3.2.5.- COLADO DEL CONCRETO .....	28
3.2.6.- MUESTREO DEL CONCRETO FRESCO.....	29
MUESTREO DE CONCRETO PROVENIENTE DE MEZCLADORAS ESTACIONARIAS .....	30
3.2.7.- DESCIMBRADO .....	30
3.2.8.- PROCESO DE CURADO DEL CONCRETO .....	31

<b>CAPÍTULO 4.- EJECUCIÓN DEL EXPERIMENTO .....</b>	<b>33</b>
4.1.- SET UP (MONTAJE DEL ENSAYE) .....	33
4.2.- ENSAYE MONOTÓNICO CRECIENTE .....	36
4.2.1.- PROTOCOLOS DE CARGA .....	37
4.2.2.- ACTIVIDADES A REALIZAR DURANTE EL ENSAYE .....	37
<b>CAPÍTULO 5.- ENSAYE PILOTO .....</b>	<b>38</b>
5.1.- PRELIMINARES AL ENSAYO .....	38
5.2.- CÁLCULO DE VOLÚMENES .....	38
5.3.- HABILITADO DE ACERO.....	39
5.4.- DOSIFICACIÓN DE MATERIALES .....	40
5.5.- MUESTREO DEL CONCRETO.....	41
5.6.- PROCESO DE CURADO .....	42
5.7.- RESISTENCIA REAL DE LOS MATERIALES .....	43
5.8.- RESISTENCIA ÚLTIMA A FLEXIÓN TEÓRICA.....	45
5.9.- ENSAYE A FLEXIÓN .....	45
5.10.- ENCUESTA DE SALIDA .....	47
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>50</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>51</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>I</b>
<b>ANEXO 1.- PLANOS CONSTRUCTIVOS.....</b>	<b>XXXI</b>
<b>ANEXO 2.- PROPUESTA DEL MANUAL CON EL FORMATO CACEI</b>	<b>¡ERROR!</b>
<b>MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	
<b>ANEXO 3.- ENCUESTA DE SALIDA .....</b>	<b>XXXVII</b>

# CAPÍTULO 1.- ANTECEDENTES

## 1.1.- Historia de la Carrera de ICV BUAP

La enseñanza en la ingeniería civil tiene una gran trayectoria a nivel nacional, ya que ha sido una de las profesiones más demandadas desde hace siglos, particularmente en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, se remonta al periodo posterior a la Intervención Francesa en el país y su posterior época de riqueza, esto sucedía en el entonces Colegio de Estado, la cual impulsaba las cátedras científicas.

No es sino hasta 1878 cuando oficialmente se instituye la carrera de Ingeniería, con la especialidad de Civil, y en 1893 separándose como “Ingeniero de caminos, puertos, canales y construcciones civiles”, cabe la pena mencionar que las épocas de la revolución Mexicana las profesión y carreras en esta rama sufrieron una baja demanda lo cual provocaría su casi extinción debido a diversos factores como la preferencia profesionistas extranjeros.

Es en 1916 cuando se instaura nuevamente la carrera con la duración que hasta ahora prevalece de estudio, cinco años, fijándose en 1919 el título a otorgarse de “Ingeniero Civil”, seguido a esto un punto de vital importancia en la práctica y estudio de la carrera es el establecimiento de la Estación Sismológica en el tercer patio del Carolino, ya que resulta de vital importancia la recolección de datos sísmicos en nuestro estado, sin embargo, en 1923 nuevamente la carrera sufre una segunda casi extinción, ya que contaba con tan solo dos alumnos inscritos.

En 1930, una vez creada la carrera de Ingeniería Química a la escuela se le conocería como la Facultad de Ingeniería, después de la instauración oficial de la Universidad de Puebla, en 1937, se da segunda vida a la “Escuela de Ingeniería” aun en el tercer patio del Carolino, conocido como “Las Catacumbas”.

Es en el año de 1953 cuando se instaura la tan ansiada enseñanza con laboratorios, estableciéndose el Laboratorio de Ensaye de Materiales en la Facultad, y en 1957 el

Laboratorio de pruebas Físico-Químicas de caminos, el cual incluía los laboratorios de resistencia y mecánica de suelos.

En 1968 se establece la Facultad con sus nuevas instalaciones dentro de Ciudad Universitaria.

Actualmente el laboratorio Integral de la Facultad, el cual atiende la demanda de 6 carreras de licenciatura y dos de maestría, contando con 31 laboratorios disciplinarios, donde se destaca el Laboratorio de Estructuras de entre todas las universidades del país.

## **1.2.- Enseñanza con laboratorios en Ingeniería Civil**

La enseñanza en Ingeniería civil ha sido muy amplia desde sus orígenes, en particular nos enfocaremos en la enseñanza impartida en laboratorios, Juan Casillas y Oscar Gonzales Cuevas mencionan importantes puntos en sus investigaciones.

Hablando de los inicios de la enseñanza con laboratorios ellos mencionan que los espacios generalmente existían, pero los equipos no eran tan abundantes debido a su costo y a la escasa tradición de su uso real en nuestro medio. El objetivo del laboratorio era ilustrar los fenómenos que se mencionaban en las clases teóricas y, cuando mucho, introducir a los estudiantes en las técnicas de medición más básicas. Las prácticas de laboratorio de cada curso eran idénticas, grupo por grupo y semestre por semestre.

Al final de los años cincuenta, con la creación del Instituto de Ingeniería y de la División de Estudios de Posgrado en la UNAM, el inicio de actividades de investigación en Ingeniería Civil de manera formal y el establecimiento de programas de posgrado fuertemente relacionados con ella, empezaron a modificar esta situación, al utilizar los laboratorios para estudiar problemas reales, ya sea directamente o a través de modelos. Un aspecto significativo de esta nueva situación fue la inclusión de estudiantes de licenciatura como ayudantes en estas tareas, lo que llevó a muchos de ellos a optar por cursar estudios de posgrado. Al finalizar estos estudios, muchos ingresaron como docentes en la UNAM u otras instituciones de educación superior.

También mención sobre la labor del docente en esta forma de enseñanza porque se produjo una transformación significativa en la relevancia que se les atribuía en la

formación de profesionales, pasando de ser simplemente una ilustración de los fenómenos físicos que se estudian en las clases teóricas a su uso como método para estudiar problemas reales y para comprobar la validez de muchas de las hipótesis que a menudo se requieren en los métodos teóricos.

Aunque los avances en la tecnología han mejorado la educación en ingeniería, también han requerido mayores recursos financieros para las instituciones educativas. Los laboratorios de docencia necesitan instalaciones más avanzadas, equipos técnicos que los atiendan y dinero para el mantenimiento; los profesores de tiempo completo necesitan tiempo para realizar investigaciones que los mantengan actualizados y en la frontera del conocimiento, así como laboratorios y equipos de cómputo entre otros.

Toda la información presentada en los subtemas anteriores y el presente han demostrado la importancia de la enseñanza en la Ingeniería Civil, la cual debe ser tangible para los estudiantes, sin embargo, el crecimiento de las tecnologías están desarrollando nuevas formas de enseñanza, tal como lo mencionan D'paola Puche y Emilio Humberto en su investigación titulada “Nuevas tecnologías en la enseñanza de la Ingeniería Civil”, la cual menciona como ejemplo de esto al Grupo de Investigación en Informática Gráfica de la Universidad Granada, el cual tiene un laboratorio de realidad virtual que fomenta y respalda la investigación en informática gráfica y realidad virtual

Otro ejemplo se presenta en el de la Universidad de Sherbrooke, en Canadá, en el campo de la enseñanza de la ingeniería civil y la arquitectura, donde se ha creado un laboratorio de visualización inmersiva en 3D de alta definición, el laboratorio tiene un sistema estereoscópico pasivo que muestra hasta 120 cuadros por segundo y una bóveda con cuatro pantallas fijas.

Sin embargo, esta investigación se centrará en realizar propuestas de prácticas de laboratorio para el área de estructuras, ya que el de materiales es un campo ya dominado, enfocándonos en esta ocasión en prácticas de laboratorio para elementos de concreto a flexión.

### **1.3.- Laboratorios de Estructuras en la Enseñanza**

Iván San Martín menciona en sus investigaciones que, Jorge M. Rolland C, habla sobre uno de los momentos importantes en su vida y obra que posiblemente cambiaron su

perspectiva técnica y profesional: los tanques de agua de Dolores, la línea de conducción desde Xochimilco a la Ciudad de México (1905-1908). Durante ese tiempo, lanzó sus primeros textos para respaldar la educación en cuanto a la topografía, los drenajes, el riego y la construcción de presas. Se destaca que, debido a su curiosidad por el concreto armado, creó la primera clase sobre el tema, enfocándose en el cálculo y aplicación de procedimientos constructivos. Para ello, trabajó con el laboratorio correspondiente en la ENI, de estas experiencias surgió el manual Elementos de cálculo de cemento armado (1909).

Por otro lado, Pero Modesto C. Rolland se considera pionero en este tema de aplicación práctica en México no solo por los aspectos de enseñanza, experimentación y difusión práctica de resultados, sino también por su ingenio e inventiva al presentar varias patentes relacionadas con el uso de este nuevo material.

Son pocas las universidades a nivel nacional que cuentan con laboratorios de Estructuras enfocados en la enseñanza de esta área para estudiantes de licenciatura, entre ellas podemos contar a la Universidad Nacional Autónoma de México, la UNAM, el Instituto Politécnico Nacional, el IPN, la Universidad Autónoma de Estado de México, y existen otras universidades que cuentan con Laboratorios de Estructuras pero no dedicados a la docencia a nivel licenciatura, tal como la Universidad de San Nicolás de Hidalgo, La universidad Autónoma de Yucatán, La universidad Autónoma de Guadalajara, entre otras.

Es aproximadamente en los años 80's cuando en la Facultad de Ingeniería de la BUAP donde se da inicio al laboratorio de Estructuras para la enseñanza, siendo una cooperación comunitaria necesaria para cubrir los costos de su construcción y con el firme propósito de ser un gradiente indispensable para la formación de futuros profesionistas en la Ingeniería Civil.

Desde el año 2017 se comenzó el equipamiento y recuperación del equipo de adquisición de datos para el laboratorio de estructuras, se formó un fondo compartido entre Rectoría de la BUAP y recursos propios de la Facultad de Ingeniería para dicho propósito, haciendo un total hasta la fecha de \$1,153,327.05 MN. Estas mejoras al laboratorio permiten a los profesores del posgrado impartir cátedras prácticas, desarrollo de tesis y pruebas experimentales de investigación. Específicamente las labores de

recuperación comprenden la puesta en marcha del equipo llamado Metronic para adquisición de datos y sus respectivos transductores de desplazamiento, y la compra de todo el equipo nuevo de adquisición de datos marca Tokkyo Soky Kenkyuyo datalogger, 17 transductores y equipo de herramienta menor el cual hasta la fecha se ha empleado de manera exitosa. El tipo de experimentos que se pueden realizar son a elementos estructurales de gran escala como columnas, trabes, losas y muros. Adicionalmente el contar con este nuevo equipo no coloca a la punta en laboratorios de este tipo para la zona suroeste del país, aportando un beneficio a la sociedad que requiera realizar investigaciones sobre nuevos materiales en la construcción, y ya se han estado desarrollando trabajos de investigación en conjunto con el Posgrado.

#### **1.4.- Manuales de laboratorio**

La universidad que lleva la primicia en este tema a nivel nacional es la UNAM, con sus laboratorios de prácticas para estudiantes, altos recursos humanos y de presupuesto. El Laboratorio de Materiales enseña prácticas para los temas teóricos de clasificación de gravas y arenas, dosificación de mezclas de concreto, procesos de fabricación del concreto fresco, comportamiento axial, a flexión, a cortante del concreto endurecido y pandeo en elementos de acero, pero principalmente cuenta con prácticas para vigas de concreto a flexión y columnas de concreto reforzado a fléxo-compresión.

Si bien la UNAM realiza ya estas prácticas ensaya todos sus elementos estructurales contruidos a escala, lo cual, desde el punto de vista didáctico es bueno, sin embargo, desde el punto de vista de la práctica profesional no lo es, ya que, realizar armados con materiales que no son empleados en la práctica profesional puede estar dando un mensaje incorrecto.

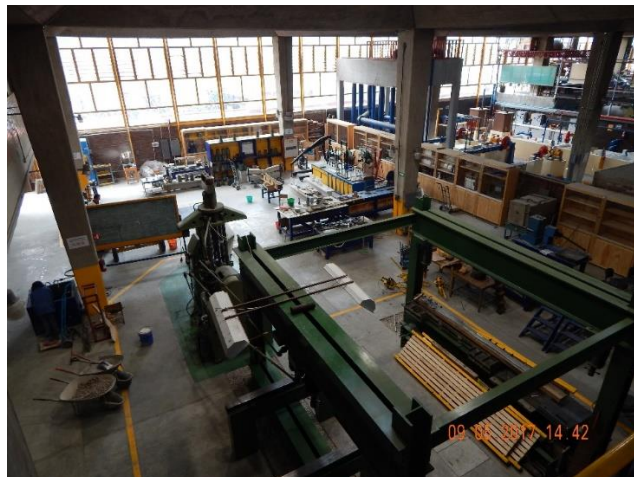
En el Laboratorio integral FIBUAP contamos ya con los manuales necesarios para impartir cátedras de laboratorio para las materias formativas en Ingeniería civil, como por ejemplo en Manual de prácticas de laboratorio de tecnología del concreto, escrito por el M.I. Eduardo García Zenteno, y lo que se refiere al área de teoría terminal aún no se

cuentan con manuales de manera oficial, por lo que, la presente tesis se enfocará en realizar una propuesta para realizar dichas prácticas.

De esta forma, se presentará un manual para vigas de concreto reforzado a escala real, el cual enseñe al estudiante a planificar, cuantificar, construir, ejecutar y analizar este elemento estructural, siendo una práctica integradora de materias como, Tecnología del concreto, costos en la construcción, planeación de obras, diseño de elementos de concreto, metodología de la investigación, e introducción a la investigación, y de esta forma contribuir a la formación de excelencia de futuros profesionistas en el área de la Ingeniería civil son el sello FI-BUAP.



**Figura 1-1 Laboratorio escuela (materiales) UNAM**  
Fuente: Web Facultad de Ingeniería UNAM



**Figura 1-2 Laboratorio escuela (Estructuras) UNAM**  
Fuente: Web Facultad de Ingeniería UNAM



**Figura 1-3 Vigas de concreto a escala UNAM**  
*Fuente: Profesorado FIBUAP*



**Figura 1-4 Laboratorio de Estructuras FI-BUAP**  
*Fuente: Web Facultad de Ingeniería FI-BUAP*

## CAPÍTULO 2.- ANÁLISIS TEÓRICO

En este capítulo se presentan las teorías, formas y criterios en los que se realizarán los trabajos principales y auxiliares para ensayar vigas de concreto reforzado.

### 2.1.- Resistencia real de los materiales

La resistencia a la compresión de las mezclas de concreto se puede diseñar de tal manera que tengan una amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad, que cumplan con los requerimientos de diseño de la estructura.

La resistencia a compresión del concreto se mide para asegurar que el concreto entregado cumpla con los requisitos de las especificaciones de la obra y para el control de calidad. Para probar la resistencia a compresión del concreto se elaboran especímenes cilíndricos de prueba de 15 x 30 cm o 10 x 20 cm y se almacenan hasta que el concreto se endurece.

Un resultado de prueba de resistencia siempre es el promedio de, al menos, dos especímenes probados a la misma edad. Puede hacerse un conjunto de dos a seis cilindros a partir de la misma muestra de concreto como mínimo por cada 115 m<sup>3</sup> de concreto colocado.

La resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras. La resistencia a la compresión se mide tronando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión, en tanto la resistencia a la compresión. Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión se usan fundamentalmente para determinar que la mezcla de concreto suministrada cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada,  $f'c$ , del proyecto.

Se calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en kilogramos fuerza por centímetro cuadrado (kgf/cm<sup>2</sup>). El resultado de la prueba se expresa con una aproximación de 1 kgf/cm<sup>2</sup>

La prueba del acero de refuerzo del elemento se llevará a cabo en la maquina universal a tensión exclusivamente. Ambos valores de refuerzo se emplearán para calcular la resistencia última del elemento sometido a flexión.

#### **2.1.1.- Ensaye de Cilindro de concreto:**

Al cumplirse 7, 14 y 28 días desde el colado del concreto, se procede al cabeceo de los cilindros para el ensaye a compresión de los mismos con el objetivo de determinar si el concreto cumple con la resistencia de diseño.

El alumno deberá cabecear sus cilindros con azufre tan pronto como el cilindro sea extraído de la tina de curado y secado las paredes del mismo.

Se colocará el espécimen en posición vertical y centrada con respecto a la prensa de carga. La velocidad de carga será constante hasta que el cilindro falle.

El alumno tomará la carga que soportarán los cilindros a los 7, 14 y 28 días. Estos datos serán empleados para determinar la resistencia a flexión del elemento.

#### **2.1.2.- Ensaye del refuerzo longitudinal:**

Para las varillas de todos los tamaños, debe efectuarse una prueba de tensión y una de doblado para el diámetro más grande. Sin embargo, si el material de una colada difiere en tres o más números de designación, debe efectuarse una prueba de tensión y una de doblado de las varillas de mayor y menor y número de designación. Si cualquier probeta tiene defectos, puede descartarse y sustituirse por otra del mismo tamaño nominal y de la misma colada.

#### **2.1.3.- Relación esfuerzo-deformación:**

La relación del esfuerzo ejercido sobre un material y su deformación como respuesta ante dicho esfuerzo es la evaluación más importante que se realiza en el comportamiento estructural, tanto de materiales como de elementos estructurales de una edificación, por lo que, dicha gráfica será creada en unidades MKS en esta investigación.

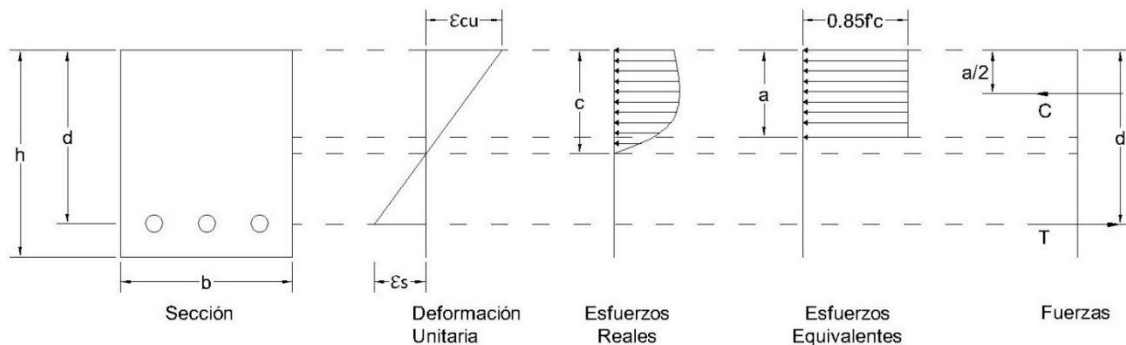
## 2.2.- Resistencia última a flexión

Las cargas que frecuentemente actúan sobre una estructura, generan flexión y deformación de los elementos estructurales que la constituyen. La flexión del elemento denominado viga, es el resultado de la deformación causada por los esfuerzos de flexión debida a la carga externa que actúan a lo largo de su eje longitudinal.

Conforme se aumenta la carga, la viga soporta deformación adicional, propiciando el desarrollo de las grietas por flexión a lo largo de su eje longitudinal hasta la falla del elemento estructural cuando la carga externa alcanza la capacidad máxima del elemento.

### 2.2.1.- Cálculo del momento resistente de vigas simplemente armadas

El objetivo de este análisis es encontrar el momento último resistente de las vigas  $M_u$ . En esta práctica se trabajará con una sección simplemente reforzada.



**Figura 2-1 Diagramas en la sección transversal de la viga**

En la **Figura 2-1** se muestra el diagrama de deformación unitaria el cual surge a partir de la hipótesis de que las deformaciones sobre la viga se supondrán directamente proporcionales a su distancia del eje neutro, es decir, la deformación unitaria en la varilla de refuerzo ( $\epsilon_s$ ) será igual a la deformación unitaria del concreto ( $\epsilon_{cu}$ ) en el mismo punto, además de que el valor máximo de este último será  $\epsilon_{cu} = 0.003$ .

En el diagrama de esfuerzos reales se establece que la viga tendrá una distribución uniforme de esfuerzos de compresión de intensidad  $0.85f_c$  actuando sobre un área

rectangular limitada por los bordes de la sección y una recta paralela al eje neutro. Para simplificar el análisis de los esfuerzos se sustituye el volumen formado por los esfuerzos reales por una distribución rectangular de esfuerzo la cual recibe el nombre de diagrama de esfuerzos equivalente y el cual tiene como características

El volumen propuesto tiene que ser igual volumen resultante por los esfuerzos reales.

El volumen estará delimitado por los bordes de la sección, la intensidad con valor  $0.85f'c$  y una profundidad con valor de  $a$ .

A partir de la hipótesis anterior podemos definir entonces una fórmula para poder calcular la resultante de fuerza a compresión la cual será igual al volumen resultante por el diagrama de esfuerzos equivalentes:

$$C = 0.85f'c * a * b$$

Donde:

$C$  = fuerza de compresión.

$f'c$  = resistencia a compresión del concreto.

$a$  = profundidad del bloque de esfuerzos.

$b$  = ancho del bloque de esfuerzos.

De igual forma podemos establecer una ecuación para calcular la fuerza resultante en tensión de la siguiente manera:

$$T = As * fy$$

Donde:

$As$  = Área de acero.

$fy$  = esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo.

Además, como se estableció anteriormente, ya que el valor de los esfuerzos es equivalente entre si podemos deducir que el valor de las fuerzas de compresión y de tensión tendrán el mismo valor, es decir:

$$C = T$$

Finalmente podemos establecer el momento último en función al par de fuerzas el cual se puede escribir como:

$$Mu = T * j_d = C * j_d \therefore j_d = \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad \text{Ec. 2-1}$$

Donde

$Mu$  =Momento último.

$d$  = Distancia entre el acero de refuerzo y la fibra de máxima deformación en compresión.

$j_d$  = Distancia entre la fuerza el par de fuerza de tensión y compresión.

Para vigas existen tres estados de falla los cuales se analizarán a continuación.

### 2.2.2.- Falla a tensión

Este tipo de falla se presenta cuando la sección presenta poco acero, para el correcto análisis es necesario encontrar la profundidad “a” del bloque equivalente de refuerzo a compresión a partir de la equivalencia antes establecida:

$$C = T$$

Sustituyendo se obtiene:

$$0.85f'c * a * b = As * fy$$

Al despejar  $a$  obtenemos

$$a = \frac{As * fy}{0.85f'c * b * d}$$

A partir de la ecuación de momento último

$$Mu = T * j_d$$

Se sustituyen los valores de  $T$  y  $j_d$

$$Mu = As * fy * \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

A continuación, se sustituye el valor de  $a$  y se simplifica

$$Mu = As * fy * \left(d - \frac{As * fy}{2(0.85) * b * f'c}\right)$$

Teniendo en cuenta la ecuación para calcular el porcentaje de acero se despeja  $A_s$ , se sustituye y se simplifica

$$\rho = \frac{A_s}{b * d} \therefore A_s = \rho * b * d$$

$$M_u = \rho * b * d^2 * f_y \left( 1 - \frac{1}{2(0.85)} \rho \frac{f_y}{f'_c} \right)$$

Donde:

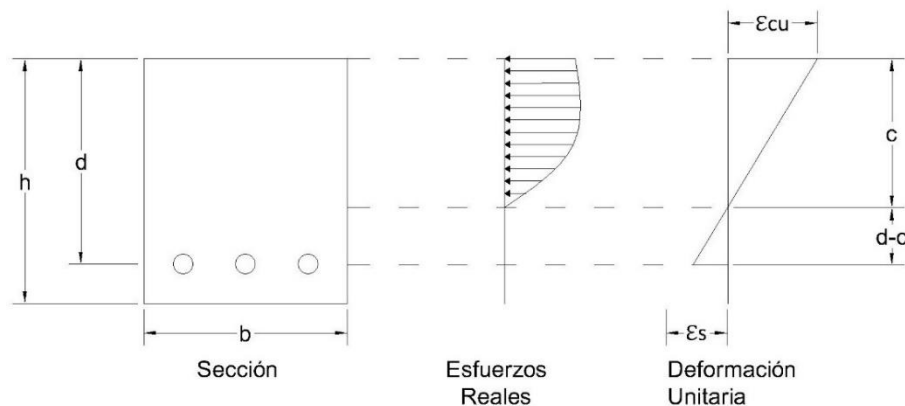
$$M_u = b * d^2 * f'_c * w \left( 1 - \frac{w}{2(0.85)} \right) \quad \text{Ec. 2-2}$$

$$w = \rho \frac{f_y}{f'_c}$$

Para este caso el máximo momento resistente se alcanza cuando  $\epsilon_c = 0.003$

### 2.2.3.- Falla por compresión

Ante este tipo de falla el concreto alcanza su esfuerzo máximo y la profundidad del eje neutro  $c$  es muy profunda, debido a esto el brazo de palanca se reduce.



**Figura 2-2 Diagramas en la sección transversal de la viga por falla a compresión**

Debido a que ahora se desconoce la profundidad de  $c$  no será posible determinar directamente el valor de  $\epsilon_s$ , por lo que se recurrirá a determinar una relación entre los

triángulos equivalentes resultantes del diagrama de deformación unitaria la cual queda de la siguiente manera:

$$\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_{cu}} = \frac{d - c}{c}$$

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu} \left( \frac{d - c}{c} \right)$$

A partir de la ecuación del esfuerzo de acero se sustituye

$$F_s = \varepsilon_s * E_s$$

$$F_s = \varepsilon_{cu} \left( \frac{d - c}{c} \right) E_s$$

Dado que la resistencia  $C = T$  tenemos que

$$0.85a * b * f'c = A_s * F_s$$

$$0.85a * b * f'c = A_s \left( \varepsilon_{cu} \left( \frac{d - c}{c} \right) \right) E_s$$

Considerando  $a = 0.85c$  sustituimos

$$0.85a * b * f'c = \left( \varepsilon_{cu} \left( \frac{d - 0.85a}{0.85a} \right) \right) E_s$$

Se simplifica, se iguala a cero y posteriormente se resuelve la ecuación

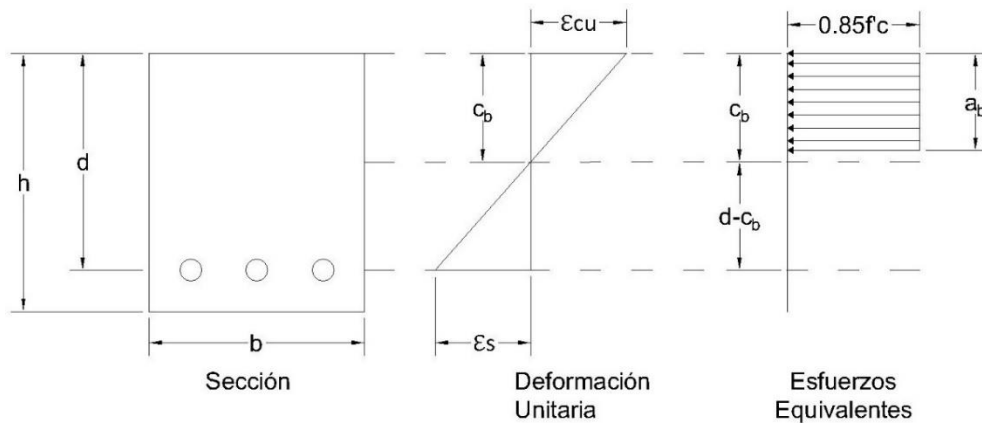
$$\left( \frac{0.85f'c}{\varepsilon_{cu}E_s * \rho} \right) a^2 + ad - 0.85d^2 = 0$$

Entonces la ecuación para obtener el momento último queda de la siguiente manera:

$$M_u = 0.85f'_c * a * b \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad \text{Ec. 2-3}$$

### 2.2.1.- Falla por compresión

En este tipo de falla el esfuerzo de fluencia en las barras se alcanza cuando el valor de deformación en el concreto es  $\epsilon_{cu} = 0.003$



**Figura 2-3 Diagramas en la sección transversal de la viga por falla a compresión**

$c_b$  = Distancia al eje neutro donde ocurre la falla balanceada

$$\epsilon_s = \frac{fy}{Es}$$

Tomando en cuenta la siguiente relación

$$\frac{fy}{Es(\epsilon_{cu})} = \frac{d - C_b}{C_b}$$

Se despeja la variable  $C_b$

$$C_b = \frac{\epsilon_{cu} * Es}{(\epsilon_{cu} * Es) + fy} d$$

Se sustituye por el valor  $a_b = 0.85C_b$

$$a_b = \frac{\epsilon_{cu} * Es}{(\epsilon_{cu} * Es) + fy} 0.85d$$

Una vez obtenido el valor de  $a_b$  podemos obtener la ecuación de momento último de la misma forma en que se determinó para el caso de falla por compresión y la ecuación quedaría de la manera siguiente:

$$M_u = A_s * f_y * \left( d - \frac{a_b}{2} \right) \quad \text{Ec. 2-4}$$

A continuación, se calcula el porcentaje de acero balanceado ( $\rho_b$ ) a partir de la igualdad

$$0.85a_b * b * f'c = \rho_b * b * d * f_y$$

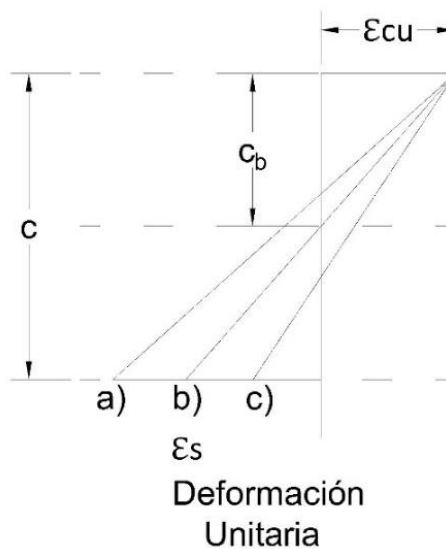
Despejamos  $\rho_b$  y simplificamos

$$\rho_b = \frac{0.85a_b * f'c}{d * f_y}$$

Se sustituye el valor de  $a_b$  y simplificamos

$$\rho_b = 0.85^2 \frac{f'c}{f_y} \left( \frac{0.003Es}{0.003Es + f_y} \right)$$

Una vez calculado el porcentaje de acero se presentarán tres casos



**Figura 2-4 Diagrama de deformación unitaria cuando es varia**

- a)  $\rho < \rho_b$ ,  $c < C_b$  y el Fs no fluye
- b)  $\rho = \rho_b$
- c)  $\rho > \rho_b$ ,  $c > C_b$  y el Fs fluye

Al obtener el momento último para cualquier de los tres tipos de falla se despeja de la siguiente ecuación, la carga necesaria que puede soportar la viga:

Sabemos que:

$$M = P * L$$

Donde:

M= Momento

P= Carga

L= Longitud

Despejando P nos queda:

$$P = \frac{M}{L}$$

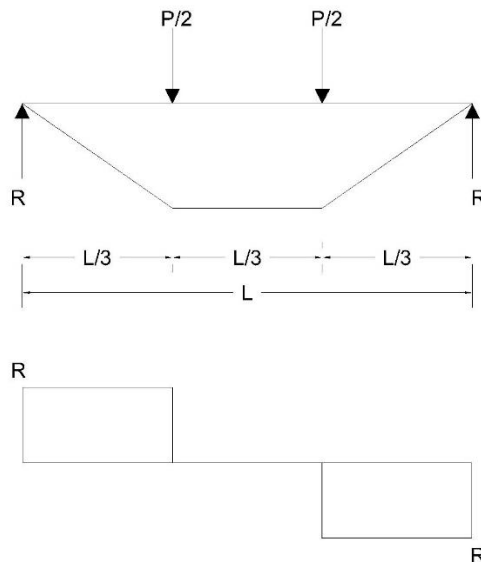
Por el método de las secciones se puede obtener el momento en cierta distancia:

$$0 < x < \frac{L}{3}$$

$$x = 0; M = 0$$

$$x = \frac{L}{3}; M = R * \frac{L}{3}$$

Donde R=P



**Figura 2-5 Diagrama de elementos mecánicos**

### 2.3.- Cálculo de las deflexiones analíticas

En esta práctica mencionaremos dos métodos para obtener dicha deflexión en una viga simplemente apoyada con dos cargas puntuales:

Caso 1: Para este caso únicamente se utiliza la siguiente ecuación:

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \frac{Pa}{24EI_{ag}} (3L^3 - 4a^2) \quad Ec. 2-5$$

Donde:

$\Delta_{m\acute{a}x}$  = Deformación máximo

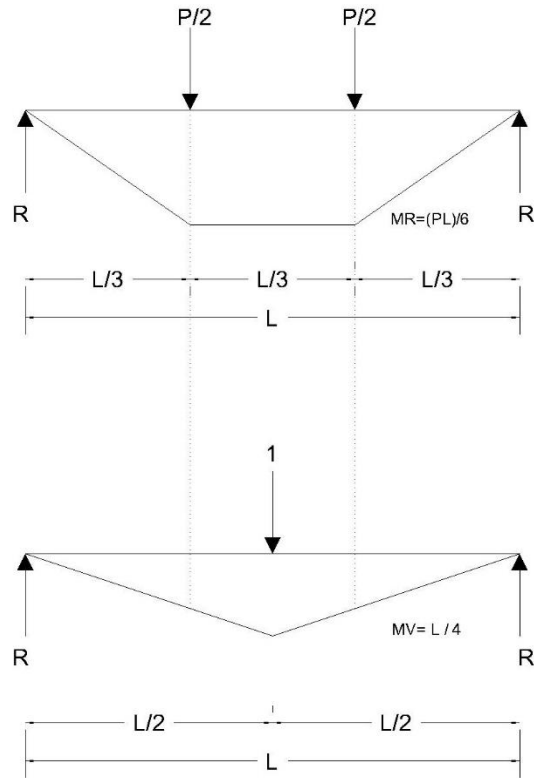
$P$  = Carga

$a = \frac{L}{3}$  de la distancia total

$E$  = Módulo de elasticidad del concreto

$I_{ag}$  = Inercia de la sección agrietada

Caso 2: Método de Vereschaguin: consiste en la multiplicación de gráficos, los momentos resultantes de una carga real por los momentos de una carga virtual. Se recomienda que este valor sea la unidad. Estos están en función del EI.



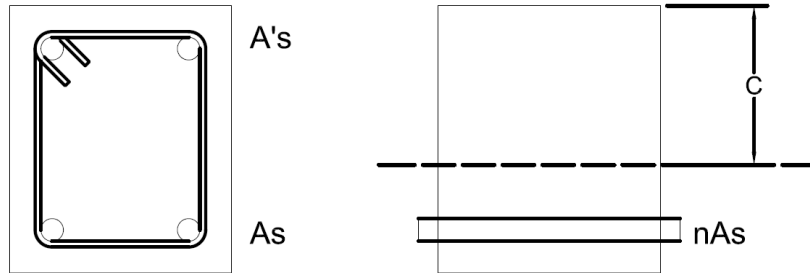
**Figura 2-6 Método de Vereschaguin**

Explicación: para llegar a la ecuación, iniciamos con obtener el área del primer gráfico de la carga real, ubicando el centroide de ésta y se proyecta al gráfico de la virtual, ese valor que se obtuvo se multiplica por el área del gráfico real.

Por lo tanto, se obtiene la siguiente fórmula:

$$\Delta = \frac{23PL^3}{1246EI} \quad \text{Ec. 2-6}$$

Para poder aplicar la fórmula anterior, se tiene que encontrar el centroide de la sección, la cual se obtiene con la siguiente ecuación:



**Figura 2-7 Eje neutro**

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

Donde:

$n =$  Relación de módulos

$$c = \frac{-1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{nA_s}}}{\frac{b}{nA_s}}$$

Procede el cálculo del momento de inercia con respecto al eje neutro.

$$I_{ag} = \frac{bc^3}{3} + nA_s (d - c)^2$$

Para los contenidos de acero considerados, cuando el acero a tensión alcanza la fluencia, el esfuerzo en el extremo a compresión del concreto es apreciablemente menor que el valor de  $f'c$ . La curva esfuerzo-deformación del concreto es lineal hasta aproximadamente  $0.7f'c$ ; si la tensión del concreto no excede este valor cuando el acero alcanza la fluencia, la profundidad del eje equivalente puede ser calculada con la ecuación de la teoría elástica (lineal). Una vez que se ha determinado el valor del factor  $k$  de la profundidad del eje neutro, la magnitud de las fuerzas y el centroide de las fuerzas a compresión en el acero y el concreto pueden ser encontradas.

Si el esfuerzo en el extremo a compresión del concreto es más grande que el valor de  $0.7f'_c$ , la profundidad del eje neutro a la fluencia de acero a tensión deberá ser calculada usando la curva esfuerzo-deformación del concreto (una parábola es una buena aproximación). Pero, una aproximación puede ser obtenida de la ecuación de esfuerzo lineal incluso si el esfuerzo supera el valor de  $f'_c$ . En este método el valor de  $k$  calculado será mucho más pequeño que el valor verdadero de  $k$  para la distribución de esfuerzos en el concreto, llevando a que se subestime el valor de  $\phi_y$  y se sobrestime el valor de  $M_y$ .

# CAPÍTULO 3.- PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

## 3.1.- Selección del tipo de Armado de refuerzo

En este apartado se presentan diversas propuestas de armados a realizar para el ensaye, se basan principalmente en el tipo de falla a observar durante la clase, las opciones son:

- 1) Falla Frágil I; espécimen construido con refuerzo pre-armado tipo ARMEX, con acero de alta resistencia de 3/16 de pulgada de diámetro, y separación de estribos a cada 16cm.
- 2) Falla Frágil II; espécimen construido con refuerzo pre-armado tipo Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV), con refuerzo de alta resistencia de 4 mm de diámetro, y separación de estribos a cada 16cm del mismo diámetro.
- 3) Falla a Compresión; construido con sobre refuerzo al máximo permitido por la norma, esto es 4 varillas del número 5 en el lecho inferior y 2 varillas del número 4 en el lecho superior, estribo del número 3 a cada 10 cm.
- 4) Falla a Cortante; Armada con 2 varillas corridas del número 4 en ambos lechos, y estribo del #2 a cada 40 cm.
- 5) Falla por Tensión I; Armado convencional de cerramientos o dinteles en mamposterías confinadas, armados con 2 varillas del número 3 en cada lecho y estribo del número 2 a cada 15 cm.
- 6) Falla por Tensión II; Armado convencional de cerramientos o dinteles en mamposterías confinadas con traslape en el acero longitudinal, armados con 2 varillas del número 3 en cada lecho y estribo del número 2 a cada 15 cm.

A excepción de la viga a compresión, la cual tiene un peralte total de 25 cm todas las demás vigas tienen un peralte total de 20cm; Todas las vigas tienen un claro de 244 cm de longitud, el recubrimiento es de 2 cm, el acero tiene un esfuerzo de fluencia de 4200

para el refuerzo longitudinal y de 2530 kgf /cm<sup>2</sup> para el refuerzo transversal, salvo en aquellas que tienen un acero de alta resistencia de 6000 u 8000 kgf/cm<sup>2</sup>, el peso volumétrico del concreto se considera igual a 2400 kgf/m<sup>3</sup>, las barras longitudinales con dobleces a 90° deben tener tramos rectos de 10 cm, y de 15 cm en dobleces de 180°, no se deberá tomar medidas directamente sobre los planos proporcionados.

### **3.2.- Proceso constructivo del elemento**

Dentro del proceso constructivo se plantean los siguientes pasos en general para construir los elementos a flexión:

- Cálculo de Volúmenes
- Habilitado de acero
- Habilitado de cimbra
- Dosificación del concreto
- Colado del concreto
- Muestreo de los materiales
- Descimbrado
- Curado

#### **3.2.1.- Cálculo de Volúmenes**

El objetivo de esta sección es determinar la proporción de los materiales que se necesitan con respecto al diseño de la viga de concreto armado.

La cuantificación de los materiales resulta de gran importancia en la construcción para saber, por ejemplo, la cantidad de material a comprar, para evitar desperdicio de recursos y para control de calidad.

En la práctica profesional, el cálculo de volúmenes de material puede hacerse con la ayuda de programas de cómputo lo cual ahorra tiempo al calculista en el diseño de proyectos.

En esta práctica se propiciará que el alumno se sensibilice en el correcto cálculo de volúmenes tratando de hacerlo lo más certero posible. Para elementos de concreto reforzado se debe cuantificar los volúmenes de acero de refuerzo longitudinal y transversal.

### **3.2.2.- Habilitado de acero**

El objetivo de esta sección es que el alumno aprenda el proceso y los errores más comunes en el habilitado del acero en elementos estructurales.

Una de las actividades más importantes para la construcción de una buena estructura de concreto, es la correcta colocación del acero de refuerzo. Por correcta colocación del acero de refuerzo debemos entender, en este caso, que además de posicionarlo de acuerdo con los señalamientos del proyecto, se cumpla con el recubrimiento señalado en las especificaciones, que tenga el soporte correcto, que este limpio, sin grasas, aceites, etc., que cumpla la cuantía solicitada en el proyecto, así como su tipo, resistencia, deformación unitaria a la fluencia, que cumpla la geometría solicitada por el proyectista, que este anclado de acuerdo con las especificaciones, que los traslapes y soldaduras, también se localizan de acuerdo con las normas, etc.

Las varillas de refuerzo deben estar firmemente sujetas en el lugar durante el colado del concreto. Las varillas horizontales tienen que estar sostenidas para que queden separadas de las cimbras; Las verticales tienen que arriostrarse para que no se ladeen contra las cimbras. La colocación y el amarre de las varillas se realizan gracias al uso de varios accesorios y de alambre recocido.

La colocación del refuerzo puede ser simple y fácil de realizar como es el caso de una zapata simple o una sola viga. En otros casos, donde el refuerzo es extenso y complejo, los problemas de instalación pueden requerir atención durante el diseño de los miembros. Cuando las vigas se cortan entre sí, o cuando cortan columnas, las varillas que se prolongan desde elementos distintos deben quedar traslapadas en las juntas. Al considerar

el cruce de las varillas en dichas juntas, se puede afectar su colocación en los elementos individuales.

### **3.2.3.- Habilitado de cimbra**

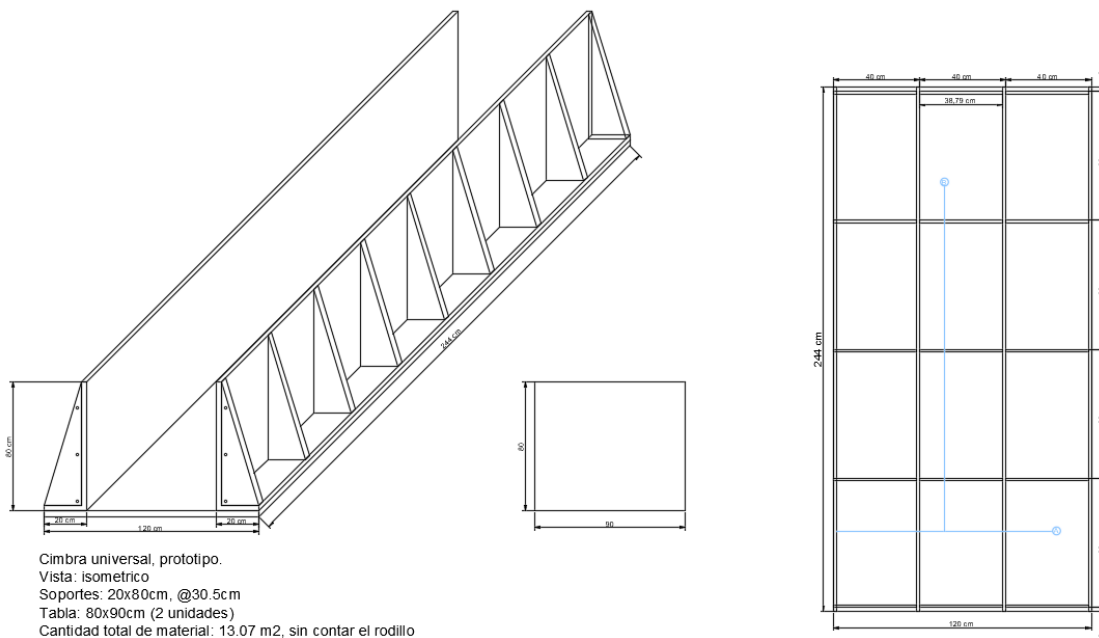
El objetivo de esta sección es que el alumno aprenderá el habilitado de la cimbra para el colado de elementos estructurales, los errores más comunes en la construcción y las soluciones de los mismos.

La cimbra es el recipiente dentro del cual, o contra el cual, se cuela el concreto para obtener la configuración de diseño requerida: moldeada o con relieve, masiva o esbelta, expuesta o escondida dentro de la estructura. Aun cuando la cimbra se usa como estructura temporal, tiene un efecto permanente sobre la estructura final de concreto.

Para lograr que una estructura cumpla las demandas del diseño arquitectónico y estructural, es indispensable que los responsables del diseño, construcción y supervisión de las cimbras tengan conocimientos bastos no sólo de las diversas operaciones de las cimbras, sino también de los métodos y materiales que la conforman.

Para el uso eficiente de la cimbra, es importante tener opciones que permitan removerla tan pronto como sea posible sin poner en riesgo la seguridad de la estructura ni causar daño a los bordes de las superficies de concreto. A las pocas horas después de que el concreto ha fraguado, ya tiene suficiente resistencia para soportar su propio peso sin colapsarse. Por lo tanto, la remoción de la cimbra para muros de concreto, los lados de las vigas y las columnas serán controlados por la posibilidad de dañar el concreto cuando se estén removiendo los moldes y no simplemente por la capacidad del concreto para soportar su propio peso. En nuestro caso la remoción de la cimbra se hará a las 24 horas después del colado.

Se empleará la cimbra universal construida con el propósito de colar las vigas de concreto reforzado para las longitudes de 2.44 m, esta y todos sus aditamentos pueden observarse en la **Figura 3-1**.



**Figura 3-1 Cimbra para vigas de CR**

### 3.2.4.- Dosificación del Concreto

El objetivo de la dosificación es determinar las cantidades apropiadas, en este caso en kilos, de cada material por tanda o ciclo de mezclado, para obtener el concreto con las propiedades indicadas por el proyecto.

La dosificación del concreto se encarga de la cuantificación de los del que está hecho considerando el valanze entre el costo y los requisitos de trabajabilidad, resistencia, durabilidad, masa y apariencia. El proceso de dosificación de mezclas recibe diferentes nombres, entre ellos: diseño de la composición del concreto, diseño de mezclas de concreto o diseño de mezclas.

El primer paso para la determinación de los materiales y cantidades en la dosificación del concreto es reconocer los requisitos o especificaciones de la obra. La

determinación de las cantidades de los materiales se debe basar sobre datos y experiencia con los materiales a utilizar. Cuando no se dispone de información y experiencia necesarias se pueden realizar estimaciones preliminares siguiendo algunos de los procedimientos aplicados en la práctica. De los materiales disponibles se obtiene la siguiente información: granulometría, peso específico y absorción, tamaño máximo y volumen unitario del agregado, cantidad de agua de mezclado, relación agua-cemento, resistencia y volumen unitario del concreto.

La dosificación de la mezcla de concreto puede involucrar los siguientes pasos, sin seguir rigurosamente este orden:

- 1.-Selección del tipo de cemento.
- 2.-Selección de agregados y aditivos.
- 3.-Selección de contenido de aire.
- 4.-Selección de control de calidad.
- 5.-Estimación del contenido de agua de mezclado.
- 6.-Determinación de la relación agua-cemento.
- 7.-Determinación de contenido de cemento.
- 8.-Determinación de la cantidad de aditivo.
- 9.-Obtención de la cantidad de agregado grueso.
- 10.-Obtención de la cantidad de agregado fino.
- 11.- Realización de una mezcla de ensayo.
- 12.-Realización de ajustes por humedad.
- 13.-Realización de mezcla de prueba.
- 14; Reporte de dosificación.

El procedimiento de dosificación de concreto es repetitivo, pues cuando se modifica uno de los ingredientes se debe repetir todo el ciclo del diseño. Se tienen dos alternativas para dosificar la cantidad de agregado, con los datos proporcionados, siguiendo el Método de ACI, haciendo uso de botes comenzarán con el acarreo del material que se va a utilizar para la mezcla. Este es el paso previo a la fabricación del concreto.

### **3.2.5.- Colado del concreto**

El objetivo en esta sección es que el alumno conozca los cuidados el proceso de colado del concreto.

El colado del concreto es un proceso que se debe realizar teniendo un cuidado especial para no afectar la homogeneidad alcanzada durante el mezclado. Al colocar el concreto, se debe evitar:

*Retrasos:* pueden causar que el concreto pierda fluidez, se seque o pierda humedad y se ponga rígido. Estos inconvenientes son un problema mayor en un día caluroso y/o con viento. Para evitar esto, planea con anticipación y verifique que el personal, herramientas y elementos a vaciar estén listos.

Nunca se debe agregar agua al concreto para hacerlo más trabajable. Para recuperar este estado, se puede usar aditivo superplastificante o usar una mezcla de pasta de cemento sin alterar la relación agua-cemento; siempre y cuando, el concreto no haya iniciado el fraguado.

*Segregación:* ocurre cuando los agregados gruesos y finos, y la pasta de cemento llegan a separarse. Este fenómeno se puede dar durante la fabricación, mezcla, transporte, vaciado o vibrado del concreto. Esto hace que el concreto sea más endeble, menos durable y deja un pobre acabado de superficie.

*Desperdicios:* El desperdicio es costoso, especialmente en trabajos pequeños. Para mermarlo, transportelo y coloquelo cuidadosamente. Las etapas en que se divide la colocación son: transporte, vaciado y vibrado.

El alumno tiene el armado de la viga correctamente cimbrado para ser vaciada la mezcla. Cuando se haga el vaciado del elemento en la cimbra, el alumno irá realizando un varillaje para que el material se vaya acomodando con el fin de reducir el contenido de aire. Una vez terminado el vaciado de la mezcla, se procederá a enrasar el elemento con

una placa de madera sujeta a los extremos de la cimbra dándole un acabado liso a la cara del elemento.

Antes de efectuar un colado deben limpiarse cuidadosamente los elementos de transporte y el lugar donde se va a depositar el concreto. Los procedimientos de colocación y compactación serán tales que aseguren un espesor uniforme del concreto y eviten la formación de vanos.

El lugar en el que se colocará el concreto deberá satisfacer lo siguiente:

- Estar libre de material libre como partículas de roca, polvo, clavos, tornillos, tuercas, basura, etc.;
- Los moldes que recibirán al concreto deben estar firmemente sujetos;
- Las superficies de mampostería que vayan a estar en contacto con el concreto deberán humedecerse previamente al colado
- El acero de refuerzo deberá estar completamente limpio y adecuadamente colocado y sujeto.
- No deberá existir agua en el lugar del colado, a menos que se hayan tomado las medidas necesarias para colar concreto en agua.
- De ninguna manera se permitirá la colocación de concreto contaminado con materia orgánica.
- El concreto se vaciará en la zona del molde donde vaya a quedar en definitiva y se compactará con picado, vibrado o apisonado.
- No se permitirá trasladar el concreto mediante el vibrado.

### **3.2.6.- Muestreo del concreto fresco**

El muestreo consiste en obtener una porción representativa de una mezcla de concreto fresco tal y como es entregado en la obra, que se llevará a cabo inmediatamente después del proceso de descarga del tambor de la mezcladora o del vehículo de

transportación. El muestreo incluye, además las operaciones de llenado de los moldes, envasado, identificación y transporte de las muestras.

### **Muestreo de concreto proveniente de mezcladoras estacionarias**

La muestra se obtiene aproximadamente a la mitad del proceso de descarga del tambor de la mezcladora, para lo cual el flujo del concreto se intercepta con un recipiente de muestreo, o bien, se desvía de tal manera que descargue directamente en el recipiente. Durante la operación se tendrá cuidado de no restringir el flujo de la mezcladora con cualquier herramienta, equipo o compuerta que causen segregación en el concreto fresco. Una vez que el elemento este colado, se procede a la toma de muestra de concreto. El muestreo consistirá en el vaciado de una parte de la mezcla en 3 moldes cilíndricos con proporción de altura base 2:1 y previamente engrasados.

El vaciado de los cilindros se realizará con el chucharon de lámina y en 3 capas de ser de 15:30 o en 2 capas de ser 10:20, en cada capa se darán 25 picos en forma de espiral. Al final de la última capa se darán ligeros golpes a las paredes del molde con el mazo de hule para liberar el aire atrapado

Los moldes serán llevados al cuarto de concretos para permanecer estáticos 24 horas. El traslado de los mismos debe ser de tal modo que estos permanezcan verticales sin perder material o que sean contaminados. El alumno deberá tener identificados sus cilindros para ser llevados a curar.

### **3.2.7.- Descimbrado**

El objetivo de esta sección es que el alumno aprenda las consideraciones en el descimbrado de elementos de manera que no se vea afectada su estructura.

Se dice que la cimbra no se diseña, sino que únicamente se construye. Todos los elementos estructurales deben permanecer cimbrados el tiempo necesario para que el concreto alcance la resistencia suficiente para soportar su peso propio y otras cargas que

actúen durante la construcción, así como para evitar que las deflexiones sobrepasen los valores fijados en las normas.

Descimbrar cilindros: A las 24 horas de haber colado los cilindros, estos son desmoldados y marcados para poder ser identificados con un plumón permanente y señalizando la cara superior, el día de colado y el día de ensayo a 7, 14 o 28 días.

Una vez desmoldados los cilindros, los moldes se limpiarán y dejarán engrasados listos para volver a usar.

Descimbrar Elementos: El descimbrado de las vigas de concreto reforzado se realizará a las 48hrs, por falta de cimbra y espacio una viga ya colada se empleará como cimbra para colar la viga subsecuente dentro de la cimbra universal. Antes del colado de la siguiente viga, la viga a descimbrar deberá ser rotulada indicando número de equipo y fecha de colado.

### **3.2.8.- Proceso de curado del concreto**

El curado tiene por objeto evitar un secado prematuro, especialmente bajo la acción de los rayos del sol y del viento.

La protección tiene por objetivo evitar la lixiviación por las aguas pluviales y las corrientes de agua, el enfriamiento demasiado rápido durante los primeros días después de la ejecución, evitar diferencias importantes de temperaturas internas, baja temperatura o gel, vibraciones y choques que puedan dislocar el concreto, o dañar su adherencia al refuerzo.

Para obtener las propiedades potenciales que se esperan del concreto, en particular en la zona superficial, es necesario curar y proteger el concreto fresco durante un período adecuado. El curado y la protección deben comenzar tan pronto como sea posible después de compactar el concreto y, en todos los casos, antes de que la superficie haya tenido tiempo de secarse.

La reacción química del agua y del cemento se interrumpe por falta del agua necesaria, de modo que el concreto no adquiere las propiedades que su composición permitiría; se produce una contracción precoz, generando la formación de fisuras. Al evaporarse, el agua desarrolla fuerzas que generan, en el cemento en fase de endurecimiento, una contracción cuyo valor puede sobrepasar la resistencia a la tensión del concreto en proceso de endurecimiento.

La falta o la insuficiencia del curado daña la durabilidad del concreto y, más particularmente, sus características superficiales.

# CAPÍTULO 4.- EJECUCIÓN DEL EXPERIMENTO

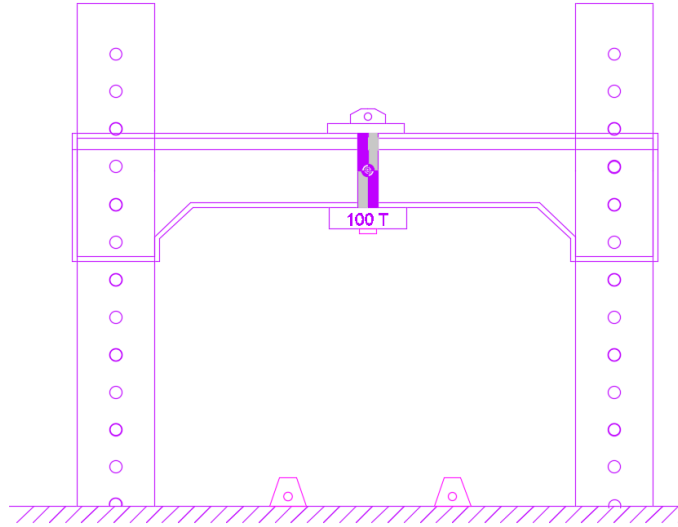
## 4.1.- Set up (Montaje del ensaye)

El objetivo de esta sección es Aprender el uso del Marco de Reacción y el Sistema de Adquisición de Datos en ensaye de elementos de concreto reforzado.

El ensaye de elementos de concreto reforzado se realizará en el marco de reacción del Laboratorio de Estructuras, el cual funcionará como una prensa de dimensiones mayores para el ensaya de elementos estructurales. La fuerza es proporcionada por 4 tipos de gatos hidráulicos de 100 y 200Ton ambos en función reversible y simple, estos se pueden colocar de manera tanto horizontal como vertical dependiendo si se ensayan elementos a cargas gravitacionales o laterales (sísmicas). La aplicación de la carga puede ser controlada a través de un sistema de válvulas para simular si un ensaye será estático o pseudo-dinámico.

En el laboratorio integral de la Facultad de Ingeniería cuenta con el equipo para ensayar elementos de mampostería y de concreto reforzado como lo son muretes, pilas de mampostería, columnas, vigas, losas y sistemas de muros a escala real. Sin embargo, aplicar carga no es suficiente, será necesario medir las deformaciones que tienen dichos elementos al ser ensayados, para esto se cuenta con dos sistemas de adquisición de datos, estos están comprendidos de sensores de deformación unitaria a través de galgas de deformación o strainage, transductores de desplazamiento o LVDT (linear variable differential transformer), Sensores de fuerza o celdas de carga las cuales nos medirán las fuerzas actuantes durante el experimento, colector de información o Datalogger, un sistema de cómputo y el software Visual Log para visualizar y archivar en tiempo real de los datos de deformación, desplazamiento y carga del ensaye.

Todo este equipo en conjunto auxilia en el correcto y eficiente ensaye de elementos estructurales.



**Figura 4-1 Comportamiento Marco de Reacción**



**Figura 4-2 Equipo de adquisición de datos METRONIC**

Los pasos a seguir son los siguientes:

Colocación del sistema de apoyos: El sistema de apoyos que se muestra en la siguiente figura comprende un apoyo articulado y una unión simple para ensayar los elementos viga como sistemas simplemente apoyados, estos se deberán armar y colocar

de acuerdo a las demandas del ensaye. La dimensión estándar para estas prácticas es de 200cm entre ambos apoyos a centros de sección.

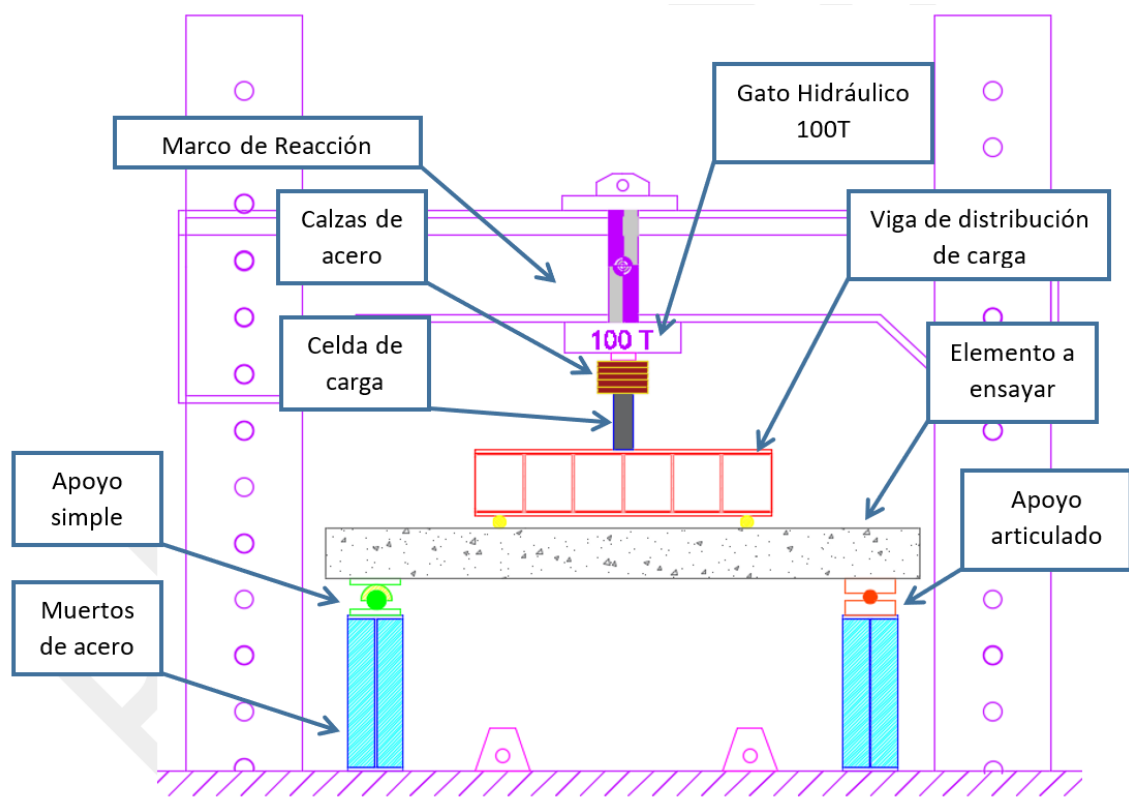
Dichos apoyos (articulado y simple) se colocarán cada uno sobre un muerto de acero para poder hacer la prueba a un nivel sobre el suelo comodamente apreciable para el espectador. Una vez terminado esto se procederá a unir los muertos de acero a través de 4 barras de acero para contener las reacciones horizontales y evitar que los apoyos se volteen durante la aplicación de carga

Colocación del espécimen: sobre los apoyos se colocará las vigas de concreto reforzado a través del polipasto con el que cuenta el marco de reacción, se deberá poner particular atención en centrarlo de acuerdo a lo especificado en la práctica. Una vez colocada la viga se marcará sobre la fachada principal de esta todo el acero de refuerzo con un marcador color amarillo, esto con la finalidad de conocer la ubicación de las grietas con respecto al refuerzo. Véase como ejemplo la Figura

Colocación de la viga de carga de acero: esta es una viga que se coloca para distribuir la carga que los gatos hidráulicos proporcionan al elemento, es indispensable que sean dos cargas puntuales separadas proporcionalmente y simétricas a la viga, para ello se colocarán rodillos de acero sobre la viga de CR y sobre estos la viga de distribución de carga.

Colocación de la celda de carga: La celda se colocará al centro del claro de la viga de distribución de carga, una vez colocada esta, se colocarán calzas de acero para fijar las alturas del marco de reacción.

Conexiones: Una vez instalados todos los dispositivos se procede ubicar la PC, datalogger y demás dispositivos sobre la mesa de trabajo, y a conectarse de acuerdo al manual de operación del sistema de adquisición de datos METRONIC.



*Figura 4-3 Montaje de la Viga de concreto reforzado en el marco de reacción.*

## 4.2.- Ensayo monotónico creciente

El objetivo en esta sección es que el alumno analice el comportamiento de los elementos mediante la visualización y obtención de datos durante el ensayo monotónico creciente.

El ensayo monotónico creciente es la prueba realizada a elementos estructurales sometidos a fuerzas que van en aumento hasta alcanzar el fallo del elemento. Durante el ensayo la aplicación de carga va a una velocidad constante, lo que permite la visualización del comportamiento del elemento y la formación de las grietas por tensión y compresión.

Para llevar el seguimiento del comportamiento durante el ensayo, le llamamos Step al momento dónde el elemento alcanza una deflexión establecida y cierta carga sobre él. Es en los Step's cuando se registran los datos de las grietas, la deflexión y la fuerza con la que alcanzo esa deflexión.

#### **4.2.1.- Protocolos de carga**

El protocolo de carga se refiere en la forma de aplicar la fuerza a nuestro elemento, en primera instancia se trata de una carga monotónica creciente, esto quiere decir que se va aumentando la fuerza aplicada en función del tiempo, esto se hace hasta alcanzar el colapso en el elemento a ensayar. Para el caso de las vigas de concreto reforzado sometidas a flexión y dadas las características del equipo con que se cuenta en el laboratorio la velocidad de carga está propuesta en 100 kgf por segundo, esto es debido a que la bomba con la que se aplica el flujo hidráulico no puede pasar más de 10 minutos en funcionamiento máximo, aunado a eso el datalogger empleado tiene como mínimo tiempo de muestreo 1 segundo, por lo que realizar muestreos más cortos resulta imposible.

#### **4.2.2.- Actividades a realizar durante el ensaye**

Determinar puntos equivalentes de la deflexión máxima. En esta etapa el alumno obtendrá los valores en 10 puntos con respecto a 10 ciclos de carga que se aplicarán al elemento estructural.

Cada punto tendrá un valor en aumento de  $1/10$  de la deflexión máxima obtenida en la Práctica 1-L, es decir, el primer punto valdrá  $1/10 \delta_{\text{máx}}$ , el segundo punto valdrá  $2/10 \delta_{\text{máx}}$  y así sucesivamente hasta llegar al punto 10.

Una vez calculados los valores de los puntos de las deflexiones, se graficarán con respecto al ciclo de carga correspondiente.

Al momento de inicio del ensaye, los alumnos registrarán en pasos las cargas correspondientes para obtener los mismos valores de cada punto de deflexión. Para el registro de los pasos o “step’s” los alumnos llenarán un formato de registro que incluirá: nombre, fecha, número de Step, punto de interés, espécimen, deflexión y fuerza aplicada.

Con los datos que se van obteniendo del ensaye, los alumnos realizarán una gráfica Fuerza-Deflexión (P- $\delta$ ).

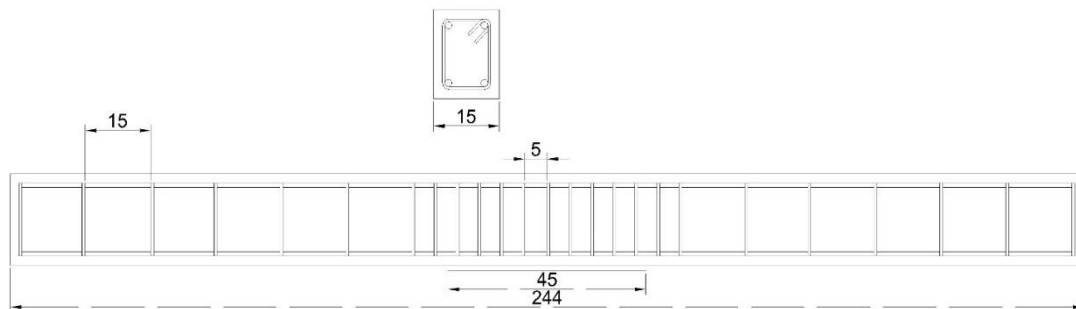
Con ayuda de una lámpara, un alumno buscará e iluminará las grietas que no se alcancen ver a simple vista en los primeros Step’s para determinar la grieta dominante. La grieta dominante será la más representativa durante el ensaye que nos indicará cuando el acero fluya.

# CAPÍTULO 5.- ENSAYE EJEMPLO

## 5.1.- Preliminares al ensayo

El ensayo piloto para evaluar el presente manual se llevó a cabo durante el curso de Diseño de Elementos de Concreto I, otoño 2019, en los siguientes subtemas se presentan los resultados obtenidos por los alumnos, el grupo se le denominó DEC-I-G con horario de 10:00 a 12:00 hrs. durante los días miércoles de dicho semestre.

El tipo de viga ensayada fue viga a flexión con traslapa del acero longitudinal acorde a las NTC 2017. Véase la **Figura 5-1** sobre el tipo de armado.



*Figura 5-1 Plano estructural para viga con traslape*

## 5.2.- Cálculo de volúmenes

En esta sección los alumnos calculan volúmenes de concreto y cantidad de varillas en kg a emplear, para el caso de la viga con traslape se encontraron los valores mostrados en la **Tabla 5-1**.

**Tabla 5-1 Cálculo de volúmenes**

Concepto	Medición		
	kg	m <sup>3</sup>	m
Concreto			-----
Φ 3	<b>7.4</b>	-----	<b>13.2</b>
Φ 4		-----	
Φ 5		-----	
Alambrón	<b>7.76</b>	-----	<b>20</b>

### 5.3.- Habilitado de acero

**Tabla 5-2 Habilitado de acero**

Concepto	cm
Longitud total de refuerzo longitudinal superior	<b>656</b>
Longitud total de refuerzo longitudinal inferior.	<b>656</b>
Longitud total de refuerzo transversal	<b>2000</b>



**Figura 5-2 Acero habilitado**

## 5.4.- Dosificación de materiales

La dosificación del concreto fue realizada por el método ACI, en esta investigación se dan como dato las propiedades de los materiales, por lo que no abundaremos en las pruebas de laboratorio correspondientes. Los que se proporcionaron a los alumnos se muestran en la **Tabla 5-3**, mientras que en la **Tabla 5-4** mostramos el cálculo del volumen a utilizar, dando como resultado el proporcionamiento presentado en la **Tabla 5-5** para el concreto fabricado.

**Tabla 5-3 Propiedades de los agregados**

Resistencia a compresión	<b>250</b>	kg/cm <sup>2</sup>
Aire incluido	<b>0.02</b>	%

	Cemento	Grava	Arena	
PVSS =		<b>1644.67</b>	<b>1685.27</b>	kg/m <sup>3</sup>
Densidad =	<b>3.1</b>	<b>2.34</b>	<b>2.22</b>	
M.F =		<b>7.07</b>	<b>2.1</b>	
TMA =		<b>19</b>		mm
ABS =		<b>5.04%</b>	<b>1.01%</b>	%
W=		<b>0%</b>	<b>2%</b>	%

**Tabla 5-4 Cálculo del volumen de concreto final**

Volumen viga	<b>0.073</b>	m <sup>3</sup>
Volumen Cilindros	<b>0.0078</b>	m <sup>3</sup>
Suma	<b>0.081</b>	m <sup>3</sup>
% de desperdicio	<b>0.008</b>	m <sup>3</sup>
Volumen total	<b>0.09</b>	m <sup>3</sup>

**Tabla 5-5 Volumen de material para el concreto**

Material	Volumen	
	kg/m <sup>3</sup>	Litros
Agua	<b>18.38</b>	-----
Cemento	<b>36.85</b>	-----
Arena	<b>46.86</b>	-----
Grava	<b>84.04</b>	-----

## 5.5.- Muestreo del concreto

Durante las prácticas el muestreo se realiza de acuerdo a lo estipulado en la NMX-C-030-ONNCCE-2004 Industria de la construcción – Agregados – Muestreo (NMX-C-030). En la tabla **Tabla 5-6** se presentan los valores encontrados durante la ejecución del ejemplo. Una imagen del revenimiento junto con los cilindros se puede observar en la **Tabla 5-4**.

*Tabla 5-6 Revenimiento por cilindro*

Cilindro	Revenimiento
#1	<i>7 cm</i>
#2	<i>9 cm</i>
#3	<i>10 cm</i>

*Figura 5-3 Cilindros muestreados y toma de revenimiento*



*Figura 5-4 Cilindros muestreados y toma de revenimiento*

## 5.1.- Proceso de curado

E proceso de curado se realizó de acuerdo a lo descrito en la teoría de esta tesis, observese la **Tabla 5-7** para el ensayo de ejemplo los días que se curó y la forma en la **Figura 5-5**.

*Tabla 5-7 Control de curado del elemento*

Día	Curado	Fecha
1	<i>sí</i>	<i>19-sep-19</i>
2	<i>sí</i>	<i>20-sep-19</i>
3		<i>21-sep-19</i>
4		<i>22-sep-19</i>
5	<i>sí</i>	<i>23-sep-19</i>
6	<i>sí</i>	<i>24-sep-19</i>
7	<i>sí</i>	<i>25-sep-19</i>
8	<i>sí</i>	<i>26-sep-19</i>
9	<i>sí</i>	<i>27-sep-19</i>
10		<i>28-sep-19</i>
11		<i>29-sep-19</i>
12	<i>sí</i>	<i>30-sep-19</i>
13	<i>sí</i>	<i>01-oct-19</i>
14	<i>sí</i>	<i>02-oct-19</i>
15	<i>sí</i>	<i>03-oct-19</i>
16		<i>04-oct-19</i>
17		<i>05-oct-19</i>
18		<i>06-oct-19</i>
19	<i>sí</i>	<i>07-oct-19</i>
20	<i>sí</i>	<i>08-oct-19</i>
21	<i>sí</i>	<i>09-oct-19</i>
22	<i>sí</i>	<i>10-oct-19</i>
23	<i>sí</i>	<i>11-oct-19</i>
24		<i>12-oct-19</i>
25		<i>13-oct-19</i>
26	<i>sí</i>	<i>14-oct-19</i>
27	<i>sí</i>	<i>15-oct-19</i>
28		<i>16-oct-19</i>



*Figura 5-5 Proceso de curado del elemento*

## 5.2.- Resistencia real de los materiales

El ensaye de las barras de refuerzo longitudinal y el concreto se realizaron de acuerdo a las normas NMX-C-407 y NMX-C-083 respectivamente, los resultados de la resistencia a tensión del acero de 3/8 de pulgada se presentan en la **Tabla 5-8**.

*Tabla 5-8 Resistencia del acero*

	Fuerza de Fluencia	Fuerza última		Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup>
		kg	t	
Acero # <u>1</u>	<b>6315</b>	<b>8024</b>	<b>8.024</b>	<b>4250</b>
Acero # <u>2</u>	<b>5568</b>	<b>8612</b>	<b>8.612</b>	<b>3750</b>
Acero # <u>3</u>	<b>6496</b>	<b>7733</b>	<b>7.733</b>	<b>4200</b>

La resistencia del concreto se determinó con el ensaye a los 28 días, dando como resultado 161 kgf/cm<sup>2</sup>, un valor bajo para el nivel de diseño exigido. En la **Tabla 5-9** podemos observar el formato del ensaye de los cilindros a los 7, 14 y 28 días.

**Tabla 5-9 Ensaye de cilindros**

Elemento	Día	Mes	Año	Hora:	Bachada:	Otros
<i>Viga-G</i>	<i>18</i>	<i>09</i>	<i>19</i>	<i>11:10</i>		
Clave:	<b>Viga-G180919</b>					
Edad:	<b>7 días</b>		<b>14 días</b>		<b>28 días</b>	
Fecha y hora del ensaye:	<b>25/09/2019 10:30</b>		<b>02/10/2019 10:44</b>		<b>16/10/2019 11:01</b>	
Masa:	<b>3.530 kgf</b>		<b>3.500 kgf</b>		<b>3.535 kgf</b>	
Diámetro 1:	<b>10.10 cm</b>		<b>10.00 cm</b>		<b>10.00 cm</b>	
Diámetro 2:	<b>10.10 cm</b>		<b>10.00 cm</b>		<b>10.10 cm</b>	
Diámetro 3:	<b>10.10 cm</b>		<b>10.00 cm</b>		<b>10.10 cm</b>	
Altura 1:	<b>20.30 cm</b>		<b>20.30 cm</b>		<b>20.30 cm</b>	
Altura 2:	<b>20.40 cm</b>		<b>20.50 cm</b>		<b>20.20 cm</b>	
Altura 3:	<b>20.20 cm</b>		<b>20.30 cm</b>		<b>20.20 cm</b>	
Carga Máxima:	<b>6800.00 kgf</b>		<b>9200.00 kgf</b>		<b>12850.00 kgf</b>	
	72.00 kN		88.00 kN		132.00 kN	
Diámetro Nominal:	10.10 cm		10.00 cm		10.07 cm	
Altura Nominal:	20.30 cm		20.37 cm		20.23 cm	
Área:	80.12 cm <sup>2</sup>		78.54 cm <sup>2</sup>		79.59 cm <sup>2</sup>	
Volumen:	1626.40 cm <sup>3</sup>		1599.59 cm <sup>3</sup>		1610.38 cm <sup>3</sup>	
Peso volumétrico:	2.17 T/m <sup>3</sup>		2.19 T/m <sup>3</sup>		2.20 T/m <sup>3</sup>	
Rel. Altura/Diámetro:	2.01		2.04		2.01	
Factor de corrección por esb.	1.000		1.000		1.000	
Descripción de falla:						
	Defectos Observados:					
	Revenimiento:					
Resistencia:	<b>84.9</b> kgf/cm <sup>2</sup>		<b>117.1</b> kgf/cm <sup>2</sup>		<b>161.5</b> kgf/cm <sup>2</sup>	
	<b>8.32</b> MPa		<b>11.49</b> MPa		<b>15.83</b> MPa	

### 5.3.- Resistencia última a flexión teórica

Los alumnos deberán realizar sus cálculos del momento resistente teórico de acuerdo a lo expuesto en el capítulo 2, subtema 2.2, para el caso del grupo en estudio los datos obtenidos fueron los expuestos en la **Tabla 5-10**.

*Tabla 5-10 Resistencia teórica*

Momento resistente	<u>0.47</u>	t * m
Cortante resistente	<u>10.4</u>	ton
Carga P actuante	<u>1.4</u>	ton
$\Delta$ máx	<u>0.83</u>	cm

### 5.4.- Ensaye a flexión

El ensaye a flexión de vigas de concreto se realizó el día 16 de octubre del 2019, las nomenclaturas de la clave obedecen a: las primeras letras son la abreviatura del título de la materia teórica a las que pertenecen seguidas de un guion, la siguiente letra indica el número de equipo de estudiantes que realizan la práctica y los últimos números corresponden a la fecha re colado por dd-mm-aa.

*Tabla 5-11 Datos generales del ensaye*

Elemento:	#	Día	Mes	Año
<i>Viga DECI-G</i>		<i>18</i>	<i>09</i>	<i>19</i>
Clave:	<i>Viga DECI-G180919</i>			
Clave de cilindros:	<i>Viga-G180919</i>			
Edad:	<i>28</i>	días		
Fecha y hora del ensaye:	<i>16/10/2019 12:16</i>			
Longitud nominal:	<i>244</i>	cm		
Base 1 nominal:	<i>15</i>	cm		
Altura 1 nominal:	<i>20.00</i>	cm		
f'c:	<i>161.45</i>	kgf/cm <sup>2</sup>		
fy:	<i>4066</i>	kgf/cm <sup>2</sup>		
Carga Aplicada:	<i>4260</i>	kgf		
	<i>41.78</i>	kN		
Momento flexionante:	<i>1.42</i>	t-m		
Velocidad de carga:	<i>10</i>	kgf/s		

Se deberá llevar un control de una imagen antes del ensaye y otro en la situación de máximo desplazamiento o colapso que se pueda tomar. Tal como aparecen en las **Figura 5-6** y **Figura 5-7** de este documento.

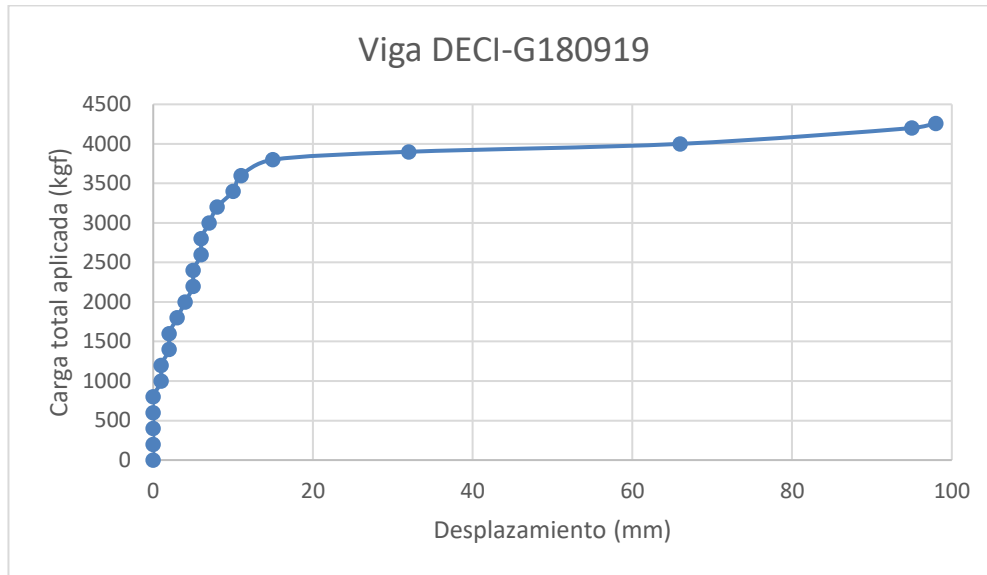


*Figura 5-6 Imagen antes del ensaye*



*Figura 5-7 Imagen a colapso*

Dentro de las labores de los estudiantes está la de ir recopilando de forma análoga los desplazamientos y sus respectivas cargas cada periodo de tiempo, sin embargo, el laboratorio cuenta con equipos de adquisición de datos que nos pueden proporcionar los datos que necesitamos para crear en una gráfica el comportamiento estructural del elemento. Para nuestro caso presentamos en la **Figura 5-8** dicha gráfica para nuestro ejemplo.



**Figura 5-8 Comportamiento estructural (carga-desplazamiento)**

### **5.5.- Encuesta de salida**

Como se ha mencionado con anterioridad se realizó una encuesta de salida una vez terminada la práctica ejemplo para este documento, en la **Tabla 5-12** se presenta los resultados de las preguntas formuladas, si bien, no todas corresponden a una evaluación de la funcionalidad de esta práctica si podemos encontrar datos útiles para ello. Entre los resultados más importantes que podemos destacar tenemos las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- El planteamiento de los objetivos de la práctica y la didáctica de la misma tienen un 100% de aceptación entre bastante satisfecho y muy satisfecho, sin embargo, es algo que aún se puede mejorar en las presentaciones del curso.
- Aunque el 97% de los estudiantes consideran estar bastante satisfecho y muy satisfecho con el equipo de laboratorio empleado en la práctica, también se debe mejorar para tener un 100% de satisfacción.
- De las preguntas evaluadas con el mayor porcentaje de Muy satisfecho está el hecho de que la observación del ensayo te permitió comprender el comportamiento estructural de los diferentes tipos de armados en vigas
- La comprobación de las hipótesis teóricas y el cumplir con los objetivos tuvo una satisfacción del 95.5%.
- El valor menor calificado fue el hecho de haber pagado una cuota económica donde solo el 53 asegura haber tenido una satisfacción total.
- Y el valor mejor calificado fue la recomendación plena de realizar una práctica de laboratorio para la subsecuente materia de la teoría, Diseño de elementos de concreto II.

**Tabla 5-12 Encuesta de salida**

	Muy Satisfecho	Bastante Satisfecho	Algo Satisfecho	Poco Satisfecho	Nada Satisfecho
1.- Se indicaron los objetivos y las características generales de la práctica al inicio	66%	34%	0%	0%	0%
2.- La explicación en el desarrollo de la práctica fue clara y concisa	62%	34%	3%	0%	0%
3.- Se resolvieron las dudas y observaciones en el desarrollo de la práctica	71%	29%	0%	0%	0%
4.- El equipo del laboratorio de estructuras que se utiliza para esta práctica considera que es el adecuado	64%	33%	3%	0%	0%
5.- La observación del ensayo te permitió comprender el comportamiento estructural de los diferentes tipos de armados en vigas	76%	19%	5%	0%	0%

6.- Se corroboran las hipótesis teóricas de diseño en la práctica	68%	26%	5%	0%	0%
7.- Se cumplió con el objetivo establecido al inicio de la práctica	67%	30%	4%	0%	0%
8.- Consideras que el personal y académicos que trabajan en el laboratorio de estructuras, cuentan con los conocimientos y habilidades para esta prueba	72%	26%	2%	0%	0%
9.- Considera adecuado el apoyo económico que proporciono para la construcción del elemento estructural	53%	40%	7%	0%	0%
10.- Recomendaría que se continuara con esta prueba en la asignatura de diseño de elementos de concreto II	84%	16%	0%	0%	0%

## CONCLUSIONES

El objetivo principal de esta investigación se cumplió logrando la redacción de una propuesta de manual para ensayar vigas de concreto reforzado sometidas a flexión para uso adaptado el laboratorio de estructuras de la Facultad de Ingeniería de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Dentro de las actividades para llevar a cabo el manual se cumplieron las siguientes actividades:

- Se diseñaron los armados estructurales de 5 tipos de vigas de concreto reforzado para tener un tipo de falla específico, falla por tensión, cortante, compresión o falla frágil.
- Se determinó el procedimiento para armar, colar, descimbrar y curar los elementos de concreto reforzado a ensayar.
- Se especificó los procedimientos de las pruebas principales y alternas, estas son: ensaye a flexión, toma de revenimiento, ensaye a compresión de cilindros de concreto y ensaye a tensión de varillas.
- Se dio la guía para el análisis e interpretación de resultados de los datos captados durante el ensaye a flexión.

Además, se demostró con una encuesta de salida la mayoritaria satisfacción del alumnado que tomó la práctica piloto de la práctica propuesta.

## RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se pueden sugerir a este trabajo son las siguientes:

- Anexar armados de vigas a flexión que sean innovadores y de nuevos materiales en la construcción.
- Continuar el procedimiento aplicando a otros elementos de concreto reforzado, como lo son: losas de una y dos direcciones, zapatas y columnas.
- Aplicar esta investigación a otro tipo de materiales y elementos como acero y mampostería.
- Establecerlo como una materia formativa dentro de la licenciatura de ingeniería civil para que todo el alumnado se enriquezca con esta práctica integradora.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANIMAL, P. D. (2011). *MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADUOY DE ARTÍCULOS CIENTÍFICOS EN LAS CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL*. Ciudad de México: UNAM.
- Barona Díaz, E. (2007). *Metodología para una investigación- Protocolo*. Puebla: FIBUAP.
- Contreras, S. (2015). *PROTOCOLO DE TESIS*. BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA, FACULTAD DE INGENIERÍA. Puebla: FIBUAP.
- Hidalgo Toxqui, J. P. (2018). *Clasificación de las mamposterías de junta fría*. Puebla: FIBUAP.
- Márquez, G. G. (1967). *Cien años de soledad*. Buenos Aires Argentina: Sudamericana.
- Mena y Rocha, U. M. (2008). *Manual de Diseño de Obras Civiles Diseño por Sismo*. México, D.F, México: CFE.
- Pauly, R. P. (1988). *Estructuras de concreto Reforzado*. MÉXICO, D.F., MÉXICO: LIMUSA.
- Villegas, Ó. M. (2005). *Aspectos fundamentales del concreto reforzado* . México, D.F, México: Limusa.
- JPHT Toxqui: *Proposal for the design of reinforced concrete columns that carry high axial force developing ductile behavior*, Yokohama National University, Japan, 2016.
- Contreras B., S.: *Comportamiento y pruebas de muros de mampostería con el marco de carga de la facultad de ingeniería B.U.A.P. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México, 2002.
- Enrique García F.: *Estudio experimental del comportamiento de uniones metálicas de momento viga columna descrita por el AISC bajo carga cíclica*. Tesis de Maestría, FIBUAP. Puebla, México, 2012.
- Oscar M. González Cuevas y Robles Fernández-Villegas: *Aspectos fundamentales de concreto reforzado*, Limusa, México, 1995.
- Thomas Pauly and Robert Park: *Reinforced Concrete Structures 1st Edition*, John Wiley and Sons (WIE), USA 1979.
- Nilson A.: *Diseño de estructuras de Concreto*, McGraw-Hill, Estados Unidos, 1999
- Ruth Flores: *Manual de Prácticas de Laboratorio de Tecnología del Concreto*, Facultad de Ingeniería de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México, 2015.

ACI Committee 318, American Concrete Institute (2008). Building Code Requirements for Structural Concrete, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.

NTC: Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto. Reglamento de Construcción para el Distrito Federal, México, 2004.

NTC: Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto. Reglamento de Construcción para el Distrito Federal, México, 2017.

NMX-C-030-ONNCCE-2004 Industria de la construcción – Agregados – Muestreo

NMX-C-061-ONNCCE-2001 Industria de la construcción – Cemento – Determinación de la resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos

NMX-C-083-ONNCCE-2002 Industria de la construcción – Concreto – Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto – Método de prueba

NMX-C-085-ONNCCE-2002 Industria de la construcción – Cementos hidráulicos – Método estándar para el mezclado de pastas y morteros de cementantes hidráulicos

NMX-C-109-ONNCCE-2004 Industria de la construcción – Concreto – Cabeceo de especímenes Cilíndricos

NMX-C-111-ONNCCE-2004 Industria de la construcción – Agregados para concreto hidráulico – Especificaciones y métodos de prueba

NMX-C-159-ONNCCE-2004 Industria de la construcción – Concreto – Elaboración y curado de especímenes en el laboratorio

NMX-C-160-ONNCCE-2004 Industria de la construcción – Concreto – Elaboración y curado en obra de especímenes de concreto


NMX-C-219-ONNCCE-2005 Industria de la construcción – Concreto – Resistencia a la compresión a edades tempranas y predicción de la misma a edades posteriores – Método de prueba

NMX-C-403-ONNCCE-1999 Industria de la construcción – Concreto hidráulico para uso estructural

NMX-C-407-ONNCCE-2001 Industria de la construcción – Varilla corrugada de acero proveniente de lingote y palanquilla para refuerzo de concreto – Especificaciones y métodos de prueba

NMX-B-293-1988 Alambre sin recubrimiento, relevado de esfuerzos, para usarse en concreto presforzado.

## **ANEXO 1.- PROPUESTA DE MANUAL**

 <p>Benemérita Universidad Autónoma del Estado de Puebla Facultad de Ingeniería Colegio de Ingeniería Civil</p>	<b>FORMATO PARA PRÁCTICA DE LABORATORIO</b>
--	---

CARRERA	CLAVE	NRC	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
Ingeniería Civil	ICVM255		Diseño de Elementos de Concreto I

PRÁCTICA NO.	LABORATORIO	ESTRUCTURAS	DURACIÓN (HORAS)
1	NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Prueba de vigas de concreto reforzado a flexión	30

**INTRODUCCIÓN**

Las cargas que frecuentemente actúan sobre una estructura, pueden generar flexión y deformación en los elementos estructurales que la constituyen. La flexión en los elementos tipo viga y/o trabe es el resultado de la deformación causada por los esfuerzos debidos a la carga externa que actúan a lo largo de su eje longitudinal.

El aumento paulatino de la carga a flexión desarrollan las grietas transversales a lo largo de su eje longitudinal hasta la falla del elemento estructural momento en el que la carga externa alcanza la capacidad máxima del elemento.

**OBJETIVO DE LA PRÁCTICA**

Que el alumno aprenda el comportamiento de las distintas fallas que puede presentar una viga reforzada cuando es sometida a flexión.

**FUNDAMENTOS TEORICOS**

Los tipos de falla a flexión posibles son:

**Falla a tensión:** si la cuantía de acero en la sección es pequeña, el acero alcanzará su límite elástico  $f_y$  antes de que el concreto alcance su capacidad máxima a compresión. La resistencia a la flexión de la sección (momento último) es alcanzada cuando la deformación de la fibra a compresión del concreto, en el extremo más lejano al eje neutro, es aproximadamente 0.003. Con un incremento en la deformación, el momento último eventualmente se reduce y la fractura comienza en la región comprimida del concreto. En este caso el acero no se fractura con la resistencia a la flexión de la sección a menos que el contenido de acero sea extremadamente pequeño.

**Falla a compresión:** si la cuantía de acero en la sección es grande, el concreto alcanzará su capacidad máxima a compresión antes de que el acero alcance el esfuerzo de fluencia. En este caso la profundidad del eje neutro se incrementa considerablemente, causando un incremento en la fuerza de compresión. Nuevamente la resistencia a la flexión de la sección es alcanzada cuando la deformación en el extremo a compresión del concreto es aproximadamente 0.003. La sección entonces falla súbitamente de una forma frágil si el concreto no está confinado. Puede haber pequeñas advertencias de falla porque el ancho de las grietas de flexión en la zona a tensión del concreto (sólo en la zona de falla) son pequeñas, esto debido a la baja tensión en el acero.

**Falla balanceada:** en este caso, ocurre que al momento en que el concreto alcanza su deformación máxima en su fibra a compresión (0.003) el acero también alcanza su límite elástico  $f_y$ .

**Falla por tensión diagonal:** En el diseño sísmico y diseño por servicio, la ductilidad de la sección es usualmente expresada como la proporción de la deformación última a la deformación de fluencia. Los procedimientos necesarios para calcular los valores relativos de momento y curvatura, cuando el acero a tensión fluye por primera vez y el concreto alcanza su deformación última, son considerados más adelante, en dichos análisis el concreto a compresión de las secciones deberá ser considerado como no confinado.

A pesar de que el concreto no confinado rara vez existe en condiciones prácticas, el concreto generalmente es considerado como no confinado a menos que se tomen medidas para confinarlo por acero transversal espaciado estrechamente.

De esta forma el alumno debe escoger un tipo de armado a su preferencia de acuerdo al tipo de falla que quieran observar, los tipos de fallas que se presentan en esta práctica son:

- Falla a Tensión
- Falla a compresión
- Falla frágil
- Falla por tensión diagonal

En el reporte final se deberá especificar cuál fue el tipo de falla seleccionado. Al final de esta práctica se encuentran las especificaciones para la construcción de los elementos de acuerdo al tipo de falla seleccionado, véase anexos.

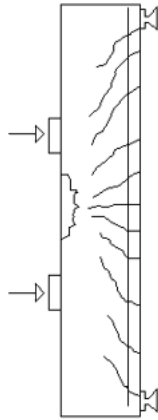


Figura 1.- Falla a Tensión

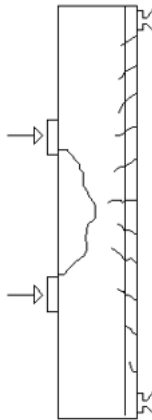



Figura 2.- Falla a Compresión

MATERIAL	
<b>MATERIAL DE TRABAJO</b>	<b>MATERIAL DE APOYO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marco de Reacción</li> <li>• Viga de concreto armado</li> <li>• Equipo de adquisición de datos y software METRONIC</li> <li>• Celda de carga (100Ton)</li> <li>• Computadora</li> <li>• Flexómetro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoja de la práctica</li> <li>• Cámara fotográfica</li> <li>• Manual de Tecnología del Concreto</li> </ul>
<b>EQUIPO DE SEGURIDAD/ PROTECCIÓN PERSONAL</b>	<b>EQUIPO DE SEGURIDAD ADICIONAL</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Guantes</li> <li>• Chaleco</li> <li>• Lentes de protección</li> <li>• Faja para cargar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Boas de seguridad</li> </ul>

#### ACTIVIDADES A REALIZAR POR EL ALUMNO

Sin importar el tipo de falla seleccionado, se deberán cumplir todos los pasos enlistados en las siguientes subprácticas:

- Cálculo de material a utilizar:** los alumnos obtendrán el volumen de concreto, el número de varillas de distintos diámetros y la cantidad de alambraón a utilizar en la fabricación de sus vigas de concreto reforzado.
- Habilitado de acero:** aquí los alumnos tomarán medidas de las varillas para realizar el corte y doblez que requiere el diseño para el armado de sus elementos.
- Habilitado de cimbra:** los alumnos habilitarán y prepararán la cimbra universal de tal forma que su elemento cumpla las medidas del diseño dado según correspondan a cada tipo de falla.
- Dosificación de materiales:** los alumnos obtendrán en litros la cantidad de material pétreo y cemento harán uso de la revoladora para la mezcla de los mismos más agua y así obtener el concreto. (Véase el Manual de Tecnología del Concreto)
- Colado del concreto:** en esta etapa el alumno tiene el armado en posición lista para ser vaciada la mezcla en la cimbra y sea colado el elemento.

	Benemérita Universidad Autónoma del Estado de Puebla Facultad de Ingeniería Colegio de Ingeniería Civil	
<b>FORMATO PARA PRÁCTICA DE LABORATORIO</b>		

CARRERA	CLAVE	NRC	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
Ingeniería Civil	ICVM255		Diseño de Elementos de Concreto I


PRÁCTICA NO.	LABORATORIO	ESTRUCTURAS	DURACIÓN (HORAS)
1-A	NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Prueba de vigas de concreto reforzado a flexión - Cálculo de volúmenes	2

INTRODUCCIÓN
<p>La cuantificación de los materiales resulta de gran importancia en la construcción para saber, por ejemplo, la cantidad de material a comprar, para evitar desperdicio de recursos y para control de calidad.</p> <p>En la práctica profesional, el cálculo de volúmenes de material puede hacerse con la ayuda de programas de cómputo lo cual ahorra tiempo al calculista en el diseño de proyectos.</p> <p>En esta práctica se propiciará que el alumno se sensibilice en el correcto cálculo de volúmenes tratando de hacerlo lo más certero posible.</p> <p>Para elementos de concreto reforzado se debe cuantificar los volúmenes de acero de refuerzo longitudinal y transversal.</p>

OBJETIVO DE LA PRÁCTICA
Determinar la proporción de los materiales que se necesitan con respecto al diseño de la viga de concreto armado.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS
No aplica

- F. Muestreo de los materiales:** Una vez que el elemento este colado, se procede a la toma de muestra de concreto, que consistirá en el vaciado de una parte de la mezcla en 3 moldes cilíndricos con medidas conocidas y previamente engrasados, y se preparará muestra del acero de refuerzo. (Véase el Manual de Tecnología del Concreto)
- G. Descimbrado:** Los elementos colados serán extraídos, la viga de la cimbra universal y los cilindros de los moldes.
- H. Proceso de curado:** Al cumplirse las 24 horas de colado del quinto y/o décimo elemento, se procede a realizar el curado de cada uno con revisiones semanales hasta el día del ensaye. (Véase el Manual de Tecnología del Concreto)
- I. Resistencia real de los materiales:** Al cumplirse 7, 14 y 28 días desde el colado de los cilindros de concreto se procede al ensaye a compresión de los mismos para determinar si el concreto cumple con la resistencia de diseño. (Véase el Manual de Tecnología del Concreto)
- Para el Acero de refuerzo este se puede realizar en cualquier momento una vez obtenidas las probetas de laboratorio para su ensaye. (Véase el Manual de Tecnología del Concreto)
- J. Cálculo de la resistencia última a flexión:** con los datos obtenidos en el ensaye de cilindros a compresión, y del refuerzo a tensión se calcula nuevamente el momento resistente último antes de la falla del elemento.
- K. Montaje del ensaye:** en esta etapa los alumnos harán el acomodo de los muertos de acero, los apoyos y la viga de carga en el marco de reacción para que a sus elementos se les aplique la carga hasta llevarlos a la falla.
- L. Ensaye monotónico creciente:** El alumno conocerá el proceso para realizar una prueba monotónica creciente en elementos del concreto. Esta es la parte central de la práctica, aquí se medirán deformaciones, desplazamientos y fuerzas aplicadas, en esta etapa el alumno podrá evidenciar, analizar y comprobar el comportamiento de las vigas de concreto armado sometidas a flexión presentando las fallas a tensión, compresión, balanceada y frágil. Se deberán obtener evidencia de las fallas, el alumno tomará fotos, vídeos y medidas de las deformaciones, desplazamientos y cantidad de fuerza aplicada a los elementos.
- M. Reporte final:** al final el alumno hará un reporte final de cada proceso realizado detallando los conocimientos aplicados y adquiridos.
- El proceso cronológico de los pasos a seguir en esta práctica y planos para la construcción se pueden observar en los anexos de este documento.

	Benemérita Universidad Autónoma del Estado de Puebla Facultad de Ingeniería Colegio de Ingeniería Civil
<b>FORMATO PARA PRACTICA DE LABORATORIO</b>	

<b>CARRERA</b>	<b>CLAVE</b>	<b>NRC</b>	<b>NOMBRE DE LA ASIGNATURA</b>
Ingeniería Civil	ICVM255		Diseño de Elementos de Concreto I

<b>PRACTICA NO.</b>	<b>LABORATORIO</b>	<b>ESTRUCTURAS</b>	<b>DURACIÓN (HORAS)</b>
1-B		Prueba de vigas de concreto reforzado a flexión - <b>Habilitado de acero</b>	4

**INTRODUCCIÓN**

Una de las actividades más importantes para la construcción de una buena estructura de concreto, es la correcta colocación del acero de refuerzo. Por correcta colocación del acero de refuerzo debemos entender, en este caso, que además de posicionarlo de acuerdo con los señalamientos del proyecto, se cumpla con el recubrimiento señalado en las especificaciones, que tenga el soporte correcto, que este limpio, sin grasas, aceites, etc., que cumpla la cuantía solicitada en el proyecto, así como su tipo, resistencia, deformación unitaria a la fluencia, que cumpla la geometría solicitada por el proyectista, que este anclado de acuerdo con las especificaciones, que los traslapes y soldaduras, también se localizan de acuerdo con las normas, etc.

<b>OBJETIVO DE LA PRACTICA</b>	Que el alumno aprenda el proceso y los errores más comunes en el habilitado del acero en elementos estructurales.
--------------------------------	---

**FUNDAMENTOS TEORICOS**

Las varillas de refuerzo deben estar firmemente sujetas en el lugar durante el colado del concreto. Las varillas horizontales tienen que estar sostenidas para que queden separadas de las cimbras. Las

<b>MATERIAL</b>	<b>MATERIAL DE APOYO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lápiz</li> <li>• Calculadora</li> <li>• Hoja de trabajo</li> <li>• Manual de Tecnología del Concreto</li> </ul>	
<b>EQUIPO DE SEGURIDAD/ PROTECCIÓN PERSONAL</b>	<b>EQUIPO DE SEGURIDAD ADICIONAL</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Guantes</li> <li>• Chaleco</li> <li>• Lentes de protección</li> <li>• Faja para cargar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Botas de seguridad</li> </ul>

**ACTIVIDADES A REALIZAR POR EL ALUMNO**

Los alumnos se basarán en el diseño otorgado por el técnico de laboratorio para cada tipo de falla. Deberán de obtener el volumen total del elemento para determinar la cantidad aproximada de concreto, de acero de refuerzo y de alambrión a utilizar en la fabricación de sus vigas de concreto armado, se debe proporcionar en litros, kilogramos y metros lineales respectivamente.

Medición	
Concepto	Kg
Concreto	m <sup>3</sup>
Φ 3	.....
Φ 4	.....
Φ 5	.....
Alambrión	.....
	m

verticales tienen que arriostrarse para que no se ladeen contra las cimbras. La colocación y el amarre de las varillas se realizan gracias al uso de varios accesorios y de alambre recocido. La colocación del refuerzo puede ser simple y fácil de realizar como es el caso de una zapata simple o una sola viga. En otros casos, donde el refuerzo es extenso y complejo, los problemas de instalación pueden requerir atención durante el diseño de los miembros. Cuando las vigas se cortan entre sí, o cuando cortan columnas, las varillas que se prolongan desde elementos disjuntos deben quedar traslapadas en las juntas. Al considerar el cruce de las varillas en dichas juntas, se puede afectar su colocación en los elementos individuales.

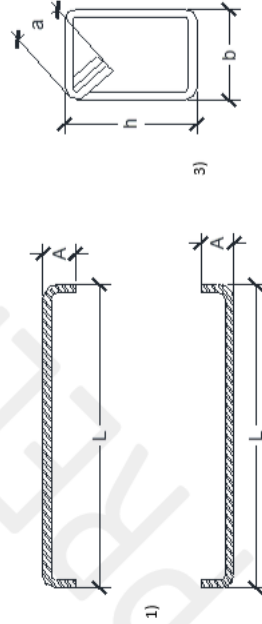
MATERIAL	
MATERIAL DE TRABAJO	MATERIAL DE APOYO
<ul style="list-style-type: none"> <li>Flexómetro</li> <li>Plumón permanente</li> <li>Arco con segueta para cortar acero</li> <li>Amarrador de varillas</li> <li>Corta pernos</li> <li>Tornillo de banco</li> <li>Martillo</li> <li>Tronzadora, cortadora de metales 1,4"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hoja de la práctica</li> <li>Manual de Tecnología del Concreto</li> <li>Varillas de acero de refuerzo (depende del tipo de falla)</li> <li>Alambrón (depende del tipo de falla)</li> <li>Alambre recocido</li> </ul>
EQUIPO DE SEGURIDAD/ PROTECCIÓN PERSONAL	EQUIPO DE SEGURIDAD ADICIONAL
<ul style="list-style-type: none"> <li>Guantes</li> <li>Chaleco</li> <li>Lentes de protección</li> <li>Faja para cargar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Botas de seguridad</li> </ul>

**ACTIVIDADES A REALIZAR POR EL ALUMNO**


En esta parte los alumnos marcarán las varillas para cortar según sus medidas de diseño haciendo uso del flexómetro y un plumón permanente. Para cortar las varillas se hará uso de la tronzadora o del arco con segueta y el equipo de seguridad correspondiente. Una vez estén cortadas las varillas se les dará una forma rectilínea (enderizado de

la varilla) se medirá y marcarán los dobleces a realizar, posteriormente se realizan los dobleces en los bordes de las varillas para asegurar la longitud de desarrollo. Los alumnos sacarán un conteo de cuántos nudos se van a realizar y con esto procederán a cortar el alambrón con la cortadora de pernos y haciendo uso del equipo de seguridad. Ya cortado el alambrón siguiendo el mismo procedimiento de enderezar, medir y marcar para formar los estribos. Para el doblado de los estribos, los alumnos harán uso de estribero. Los alumnos comenzarán el armado del elemento, se introducen las varillas de refuerzo longitudinal dentro de los estribos ya formados, se requieren apoyos en los bordes de las varillas longitudinales para sostener al elemento. Se acomodarán y distribuirán los estribos a su separación correspondiente, los nudos se realizarán con el amarrador de varilla y alambre recocido.

1. Longitud total de refuerzo longitudinal superior. # = \_\_\_\_\_ cm
2. Longitud total de refuerzo longitudinal inferior. # = \_\_\_\_\_ cm
3. Longitud total de refuerzo transversal # = \_\_\_\_\_ cm



2)

 Benemérita Universidad Autónoma del Estado de Puebla Facultad de Ingeniería Colegio de Ingeniería Civil	
<b>FORMATO PARA PRÁCTICA DE LABORATORIO</b>	
<b>CARRERA</b>	<b>NOMBRE DE LA ASIGNATURA</b>
Ingeniería Civil	Diseño de Elementos de Concreto I
<b>CLAVE</b>	<b>NRC</b>
ICVM255	

PRÁCTICA NO.	LABORATORIO	ESTRUCTURAS	DURACIÓN (HORAS)
1-C	Prueba de vigas de concreto reforzado a flexión - Habilitado de cimbra		2

**INTRODUCCIÓN**

La cimbra es el recipiente dentro del cual, o contra el cual, se cuela el concreto para obtener la configuración de diseño requerida: moldeada o con relieve, masiva o esbelta, expuesta o escondida dentro de la estructura. Aun cuando la cimbra se usa como estructura temporal, tiene un efecto permanente sobre la estructura final de concreto.

Para lograr que una estructura satisfaga las demandas del diseño tanto arquitectónico como estructural, es indispensable que los responsables del diseño, construcción y supervisión de las cimbres tengan conocimientos suficientes no sólo de las diversas operaciones de las cimbres, sino también de los métodos y materiales involucrados.

**OBJETIVO DE LA PRÁCTICA**

El alumno aprenderá el habilitado de la cimbra para el colado de elementos estructurales, los errores más comunes en la construcción y las soluciones de los mismos.

**FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

Para el uso eficiente de la cimbra, es importante tener opciones que permitan que sea removida tan pronto como sea posible sin poner en riesgo la seguridad de la estructura ni causar daño a las orillas de las superficies de concreto. A las pocas horas después de que el concreto ha fraguado, ya tiene suficiente resistencia para soportar su propio peso sin colapsarse. Por lo tanto, los procedimientos para la remoción de la cimbra para muros de concreto, los lados de las vigas y las columnas serán

controlados por la posibilidad de dañar el concreto cuando se estén removiendo los moldes y no simplemente por la capacidad del concreto para soportar su propio peso

MATERIAL	
MATERIAL DE TRABAJO	MATERIAL DE APOYO
<ul style="list-style-type: none"> <li>Flexómetro</li> <li>Plumón permanente</li> <li>Prensas esquineras</li> <li>Desarmador eléctrico</li> <li>Pijas 3/8"x8</li> <li>Cimbre Universal de Madera</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hoja de la práctica</li> </ul>
EQUIPO DE SEGURIDAD/ PROTECCIÓN PERSONAL	EQUIPO DE SEGURIDAD ADICIONAL
<ul style="list-style-type: none"> <li>Guantes</li> <li>Chaleco</li> <li>Lentes de protección</li> <li>Faja para cargar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Botas de seguridad</li> </ul>

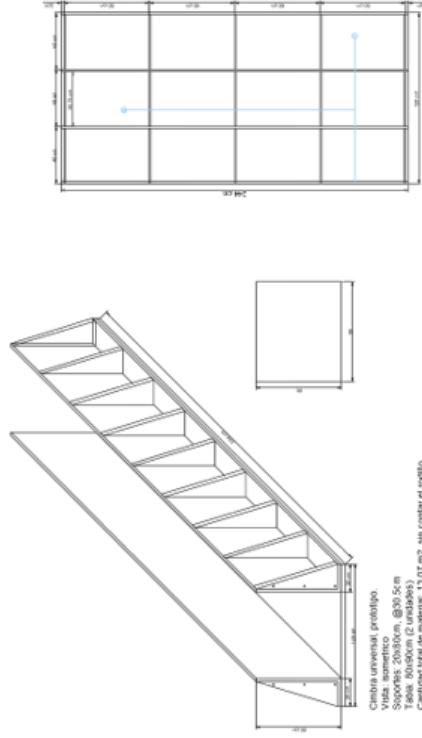
**ACTIVIDADES A REALIZAR POR EL ALUMNO**

Los alumnos habilitarán la cimbra universal de tal forma que su elemento cumpla las medidas del diseño dado, según correspondan a cada tipo de falla.

El armado consistirá en el acomodo de los modulares con los que cuenta la cimbra universal para que se pueda ajustar largo, ancho y altura requerida. Se empleará la cimbra universal disponible en el laboratorio de estructuras que se muestra en la siguiente figura. Este acomodo debe estar sostenido por prensas esquineras.


Posteriormente de haber ajustado las dimensiones de la cimbra se colocará el acero habilitado de la viga dentro de ella, teniendo cuidado de calzar y ajustar las dimensiones de los recubrimientos en ambos costados de la viga.

Posteriormente de haber ajustado las dimensiones de la cimbra se colocará el acero habilitado de la viga dentro de ella, teniéndose cuidado de calzar y ajustar las dimensiones de los recubrimientos en ambos costados de la viga.



Cimbra universal prototipo.  
Vista isométrica. 80% Esc.  
Material: Madera.  
Tabla: 80x100x20 mm.  
Cantidad total de material: 12,07 m<sup>3</sup>, sin contar el nido.

Cimbra Universal de Madera

	<p>Benemérita Universidad Autónoma del Estado de Puebla Facultad de Ingeniería Colegio de Ingeniería Civil</p>
<b>FORMATO PARA PRÁCTICA DE LABORATORIO</b>	

CARRERA	CLAVE	NRC	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
Ingeniería Civil	ICVM255		Diseño de Elementos de Concreto I

PRÁCTICA NO.	LABORATORIO	ESTRUCTURAS	DURACIÓN (HORAS)
1-D	Prueba de vigas de concreto reforzado a flexión - Dosificación del concreto		2

**INTRODUCCIÓN**

La dosificación del concreto se encarga de la cuantificación de los materiales que lo constituyen considerando el equilibrio entre el costo y los requisitos de trabajabilidad, resistencia, durabilidad, masa y apariencia del concreto. El proceso de dosificación de mezclas recibe diferentes nombres, entre ellos: diseño de la composición del concreto, diseño de mezclas de concreto o diseño de la mezcla.

El objetivo de la dosificación es determinar las cantidades apropiadas, en este caso en litros, de cada material por tanda o ciclo de mezclado, para obtener el concreto con las propiedades indicadas por el proyecto.

**OBJETIVO DE LA PRÁCTICA**

Que el alumno determine la proporción de los materiales que necesitamos con respecto al volumen de concreto que se necesita.

**FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

El primer paso para la determinación de los materiales y cantidades en la dosificación del concreto es reconocer los requisitos o especificaciones de la obra. La determinación de las cantidades de los

materiales se debe basar sobre datos y experiencia con los materiales a utilizar. Cuando no se dispone de información y experiencia necesarias se pueden realizar estimaciones preliminares siguiendo algunos de los procedimientos aplicados en la práctica. De los materiales disponibles se obtiene la siguiente información: granulometría, peso específico y absorción, tamaño máximo y volumen unitario del agregado, cantidad de agua de mezclado, relación agua-cemento, resistencia y volumen unitario del concreto. La dosificación de la mezcla de concreto puede involucrar los siguientes pasos, sin seguir rigurosamente este orden:

- 1.-Selección del tipo de cemento.
- 2.-Selección de agregados y aditivos.
- 3.-Selección de contenido de aire.
- 4.-Selección de control de calidad.
- 5.-Estimación del contenido de agua de mezclado.
- 6.-Determinación de la relación agua-cemento.
- 7.-Determinación de contenido de cemento.
- 8.-Determinación de la cantidad de aditivo.
- 9.-Obtención de la cantidad de agregado grueso.
- 10.-Obtención de la cantidad de agregado fino.
- 11.- Realización de una mezcla de ensayo.
- 12.-Realización de ajustes por humedad.
- 13.-Realización de mezcla de prueba.
14. Reporte de dosificación.

El procedimiento de dosificación de concreto es repetitivo, pues cuando se modifica uno de los ingredientes se debe repetir todo el ciclo del diseño. Se tienen dos alternativas para dosificar la cantidad de agregado.

MATERIAL	
<b>MATERIAL DE TRABAJO</b>	<b>MATERIAL DE APOYO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Botes de 20 litros</li> <li>• Agua</li> <li>• Material pétreo</li> <li>• Cemento Portland</li> <li>• Cucharón de lámina</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoja de la práctica</li> <li>• Manual de Tecnología del Concreto</li> <li>• Calculadora</li> <li>• Lápiz</li> </ul>

EQUIPO DE SEGURIDAD/ PROTECCIÓN PERSONAL	EQUIPO DE SEGURIDAD ADICIONAL
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Guantes</li> <li>• Chaleco</li> <li>• Lentes de protección</li> <li>• Faja para cargar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Botas de seguridad</li> </ul>

**ACTIVIDADES A REALIZAR POR EL ALUMNO**

Los alumnos realizarán la dosificación, con los datos proporcionados, siguiendo el Método de ACI, haciendo uso de botes comenzarán con el acarreo del material que se va a utilizar para la mezcla. Este es el paso previo a la fabricación del concreto.


**Tabla de datos**

Resistencia a compresión	kg/cm <sup>2</sup>	
Aire incluido	%	
Cemento	Grava	Arena
PVSS =		
Densidad =		kg/m <sup>3</sup>
M.F =		
TMA =		mm
ABS =		%
W=		%

Volumen viga	m <sup>3</sup>
Volumen cilindros	m <sup>3</sup>
Suma	m <sup>3</sup>
% de desperdicio	m <sup>3</sup>
Volumen total	m <sup>3</sup>

Material	Volumen
Agua	Kg/m <sup>3</sup>
Cemento	Litros
Grava	
Arena	

	Benemérita Universidad Autónoma del Estado de Puebla Facultad de Ingeniería Colegio de Ingeniería Civil		
<b>FORMATO PARA PRÁCTICA DE LABORATORIO</b>			

CARRERA	CLAVE	MRC	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
Ingeniería Civil	ICVM255		Diseño de Elementos de Concreto I

PRÁCTICA NO.	LABORATORIO	ESTRUCTURAS	DURACIÓN (HORAS)
1-E		Prueba de vigas de concreto reforzado a flexión - Colado del concreto	2


INTRODUCCIÓN
<p>El colado del concreto es un proceso que se debe realizar teniendo un cuidado especial para no afectar la homogeneidad alcanzada durante el mezclado. Al colocar el concreto, se debe evitar:</p> <p><b>Retrasos:</b> pueden causar que el concreto pierda fluidez, se seque o pierda humedad y se ponga rígido. Estos inconvenientes son un problema mayor en un día caluroso y/o con viento. Para evitar esto, planea con anticipación y verifique que el personal, herramientas y elementos a vaciar estén listos.</p> <p>Nunca agregue agua al concreto para hacerlo más trabajable. Para recuperar este estado, se puede usar aditivo superplastificante o usar una mezcla de pasta de cemento sin alterar la relación agua-cemento; siempre y cuando, el concreto no haya iniciado el fraguado.</p> <p><b>Segregación:</b> ocurre cuando los agregados gruesos y finos, y la pasta de cemento llegan a separarse. Este fenómeno se puede dar durante la mezcla, transporte, vaciado o vibrado del concreto. Esto hace que el concreto sea más débil, menos durable y deja un pobre acabado de superficie.</p> <p><b>Desperdicios:</b> El desperdicio es costoso, especialmente en trabajos pequeños. Para minimizarlo, transporte y coloque cuidadosamente.</p> <p>Las etapas en que se divide la colocación son: transporte, vaciado y vibrado.</p>

OBJETIVO DE LA PRÁCTICA
Que el alumno conozca los cuidados el proceso de colado del concreto.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

MATERIAL	
MATERIAL DE TRABAJO	MATERIAL DE APOYO
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revolvedora</li> <li>• Botes de 20L</li> <li>• Cucharón de lamina</li> <li>• Cucharón de albañil</li> <li>• Varilla punta de bala</li> <li>• Tarraja para enrasar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoja de la práctica</li> <li>• Manual de Tecnología del Concreto</li> <li>• Cámara fotográfica</li> </ul>
EQUIPO DE SEGURIDAD/ PROTECCIÓN PERSONAL	EQUIPO DE SEGURIDAD ADICIONAL
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Guantes</li> <li>• Chaleco</li> <li>• Lentes de protección</li> <li>• Faja para cargar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Botas de seguridad</li> </ul>

ACTIVIDADES A REALIZAR POR EL ALUMNO
<p>El alumno tiene el armado de la viga correctamente cimbrado para ser vaciada la mezcla. Cuando se haga el vaciado del elemento en la cimbra, el alumno irá realizando un varillaje para que el material se vaya acomodando con el fin de reducir el contenido de aire.</p> <p>Una vez terminado el vaciado de la mezcla, se procederá a enrasar el elemento con una placa de madera sujeta a los extremos de la cimbra dándole un acabado liso a la cara del elemento.</p> <p>Antes de efectuar un colado deben limpiarse los elementos de transporte y el lugar donde se va a depositar el concreto.</p>

	Benemérita Universidad Autónoma del Estado de Puebla Facultad de Ingeniería Colegio de Ingeniería Civil
<b>FORMATO PARA PRÁCTICA DE LABORATORIO</b>	

CARRERA	CLAVE	NRC	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
Ingeniería Civil	ICVM255		Diseño de Elementos de Concreto I

PRÁCTICA NO.	LABORATORIO	ESTRUCTURAS	DURACIÓN (HORAS)
1-F		Prueba de vigas de concreto reforzado a flexión - Muestreo del concreto	2

**INTRODUCCIÓN**

El muestreo consiste en obtener una porción representativa de una mezcla de concreto fresco tal y como es entregado en la obra, que se llevará a cabo inmediatamente después del proceso de descarga del tambor de la mezcladora o del vehículo de transportación. El muestreo incluye, además las operaciones de llenado de los moldes, envasado, identificación y transporte de las muestras.

**Muestreo de concreto proveniente de mezcladoras estacionarias**

La muestra se obtiene aproximadamente a la mitad del proceso de descarga del tambor de la mezcladora, para lo cual el flujo del concreto se intercepta con un recipiente de muestreo, o bien, se desvía de tal manera que descargue directamente en el recipiente. Durante la operación se tendrá cuidado de no restringir el flujo de la mezcladora con cualquier herramienta, equipo o compuerta que causen segregación en el concreto fresco.


<b>OBJETIVO DE LA PRÁCTICA</b>	Obtener muestras representativas del concreto fresco, tal como se entrega en el sitio de la obra y con las cuales se realizan las pruebas para determinar el cumplimiento de los requisitos de calidad.
--------------------------------	---

Los procedimientos de colocación y compactación serán tales que aseguren una densidad uniforme del concreto y eviten la formación de huecos. El lugar en el que se colocará el concreto deberá cumplir con lo siguiente:

- Estar libre de material suelto como partículas de roca, polvo, clavos, tornillos, tuercas, basura, etc.;
- Los moldes que recibirán al concreto deben estar firmemente sujetos;
- Las superficies de mampostería que vayan a estar en contacto con el concreto deberán humedecerse previamente al colado
- El acero de refuerzo deberá estar completamente limpio y adecuadamente colocado y sujeto
- No deberá existir agua en el lugar del colado, a menos que se hayan tomado las medidas necesarias para colar concreto en agua.

De ninguna manera se permitirá la colocación de concreto contaminado con materia orgánica. El concreto se vaciará en la zona del molde donde vaya a quedar en definitiva y se compactará con picado, vibrado o apisonado.

No se permitirá trasladar el concreto mediante el vibrado.

	Benemérita Universidad Autónoma del Estado de Puebla Facultad de Ingeniería Colegio de Ingeniería Civil
<b>FORMATO PARA PRÁCTICA DE LABORATORIO</b>	

<b>CARRERA</b>	<b>CLAVE</b>	<b>NRC</b>	<b>NOMBRE DE LA ASIGNATURA</b>
Ingeniería Civil	ICVM/255		Diseño de Elementos de Concreto I

<b>PRÁCTICA NO.</b>	<b>LABORATORIO</b>	<b>ESTRUCTURAS</b>	<b>DURACIÓN (HORAS)</b>
1-G	Prueba de vigas de concreto reforzado a flexión - Descimbrado		2

<b>INTRODUCCIÓN</b>
<p>Se dice que la cimbra no se diseña, sino que únicamente se construye. Todos los elementos estructurales deben permanecer cimbrados el tiempo necesario para que el concreto alcance la resistencia suficiente para soportar su peso propio y otras cargas que actúen durante la construcción, así como para evitar que las deflexiones sobrepasen los valores fijados en las normas.</p>


<b>OBJETIVO DE LA PRÁCTICA</b>
Que el alumno aprenda las consideraciones en el descimbrado de elementos de manera que no se vea afectada su estructura.

<b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b>
-----------------------------

<b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b>
-----------------------------

<b>MATERIAL</b>	
<b>MATERIAL DE TRABAJO</b>	<b>MATERIAL DE APOYO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>3 Moldes Cilíndricos para concreto</li> <li>Vanilla metálica punta de bala</li> <li>Cucharón de lámina</li> <li>Carretilla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hoja de la práctica</li> <li>Cámara fotográfica</li> <li>Manual de Tecnología del Concreto</li> </ul>
<b>EQUIPO DE SEGURIDAD/ PROTECCIÓN PERSONAL</b>	<b>EQUIPO DE SEGURIDAD ADICIONAL</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Guantes</li> <li>Chaleco</li> <li>Lentes de protección</li> <li>Faja para cargar</li> <li>mazo de hule</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Botas de seguridad</li> </ul>

<b>ACTIVIDADES A REALIZAR POR EL ALUMNO</b>
<p>Una vez que el elemento este colado, se procede a la toma de muestra de concreto. El muestreo consistirá en el vaciado de una parte de la mezcla en 3 moldes cilíndricos con proporción de altura base 2:1 y previamente engrasados.</p> <p>El vaciado de los cilindros se realizará con el chucharón de lámina y en 3 capas de ser de 15:30 o en 2 capas de ser 10:20, en cada capa se darán 25 picos en forma de espiral. Al final de la última capa se darán ligeros golpes a las paredes del molde con el mazo de hule para liberar el aire atrapado. Los moldes serán llevados al cuarto de concretos para permanecer estáticos 24 horas. El traslado de los mismos debe ser de tal modo que estos permanezcan verticales sin perder material o que sean contaminados. El alumno deberá tener identificados sus cilindros para ser llevados a curar.</p>

	Benemérita Universidad Autónoma del Estado de Puebla Facultad de Ingeniería Colegio de Ingeniería Civil
<b>FORMATO PARA PRÁCTICA DE LABORATORIO</b>	

CARRERA	CLAVE	NRC	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
Ingeniería Civil	ICVM255		Diseño de Elementos de Concreto I

PRÁCTICA NO.	LABORATORIO	ESTRUCTURAS	DURACIÓN (HORAS)
1-H		Prueba de vigas de concreto reforzado a flexión - Proceso de curado	2

INTRODUCCIÓN			
<p>El curado tiene por objeto evitar un secado prematuro, especialmente bajo la acción de los rayos del sol y del viento.</p> <p>La protección tiene por objetivo evitar la lixiviación por las aguas pluviales y las corrientes de agua, el enfriamiento demasiado rápido durante los primeros días después de la ejecución, evitar diferencias importantes de temperaturas internas, baja temperatura o gel, vibraciones y choques que puedan deslocar el concreto, o dañar su adherencia al refuerzo.</p> <p>Para obtener las propiedades potenciales que se esperan del concreto, en particular en la zona superficial, es necesario curar y proteger el concreto fresco durante un período adecuado. El curado y la protección deben comenzar tan pronto como sea posible después de compactar el concreto y, en todos los casos, antes de que la superficie haya tenido tiempo de secarse.</p>			

<b>OBJETIVO DE LA PRÁCTICA</b> Que el alumno aprenda los puntos importantes que debe tomar en cuenta en el curado de elementos de concreto.
--

FUNDAMENTOS TEÓRICOS
La reacción química del agua y del cemento se interrumpe por falta del agua necesaria, de modo que el concreto no adquiere las propiedades que su composición permitiría; se produce una contracción precoz, generando la formación de fisuras. Al evaporarse, el agua desarrolla fuerzas que generan, en

MATERIAL	
MATERIAL DE TRABAJO	MATERIAL DE APOYO
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espátula</li> <li>• Grasa o aceite</li> <li>• Plumón permanente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoja de la práctica</li> <li>• Manual de Tecnología del Concreto</li> </ul>
EQUIPO DE SEGURIDAD/ PROTECCIÓN PERSONAL	EQUIPO DE SEGURIDAD ADICIONAL
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Guantes</li> <li>• Chaleco</li> <li>• Lentes de protección</li> <li>• Faja para cargar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bolsas de seguridad</li> </ul>

ACTIVIDADES A REALIZAR POR EL ALUMNO
<p><b>Descimbrar cilindros:</b> A las 24 horas de haber colado los cilindros, estos son desmoldados y marcados para poder ser identificados con un plumón permanente y señalizando la cara superior, el día de colado y el día de ensayo a 7, 14 o 28 días.</p> <p>Una vez desmoldados los cilindros, los moldes se limpiarán y dejarán engrasados listos para volver a usar.</p> <p><b>Descimbrar Elementos:</b> El descimbrado de las vigas de concreto reforzado se realizará a las 48hrs, por falta de cimbra y espacio una viga ya colada se empleará como cimbra para colar la viga subsecuente dentro de la cimbra universal. Antes del colado de la siguiente viga, la viga a descimbrar deberá ser rotulada indicando número de equipo y fecha de colado.</p>


el cemento en fase de endurecimiento, una contracción cuyo valor puede sobrepasar la resistencia a la tensión del concreto en proceso de endurecimiento.  
La falta o la insuficiencia del curado daña la durabilidad del concreto y, más particularmente, sus características superficiales.

MATERIAL	
MATERIAL DE TRABAJO	MATERIAL DE APOYO
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuarto de curado</li> <li>• Agua</li> <li>• Bolsas de plástico negro</li> <li>• Cinta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoja de la práctica</li> <li>• Cámara fotográfica</li> <li>• Manual de Tecnología del Concreto</li> </ul>
EQUIPO DE SEGURIDAD/ PROTECCIÓN PERSONAL	EQUIPO DE SEGURIDAD ADICIONAL
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Guantes</li> <li>• Chaleco</li> <li>• Lentes de protección</li> <li>• Faja para cargar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Botas de seguridad</li> </ul>

**ACTIVIDADES A REALIZAR POR EL ALUMNO**  
Realizar curado de elementos: Al cumplirse las 24 horas de colado del elemento, se procede a realizar el curado.  
El curado consistirá en envolver a los elementos con bolsas plásticas para evitar la evaporación del agua de los especímenes de concreto. El tratamiento de curado será húmedo, esto significa que los especímenes tendrán agua libre sobre la superficie en todo momento.  
Con un margen de entre 20 y 48 horas después del moldeo para realizar el curado.  
El alumno hará revisiones semanales para que sus elementos se encuentren en condiciones ideales. En el caso de los cilindros, la curación consistirá en la inmersión de estos en una tina ubicada en el cuarto húmedo hasta el día de su ensaye.

Tabla de control de curado

Día	Curado	Fecha
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		

 Benemérita Universidad Autónoma del Estado de Puebla Facultad de Ingeniería Colegio de Ingeniería Civil	<b>FORMATO PARA PRÁCTICA DE LABORATORIO</b>		
--	---	--	--

<b>CARRERA</b> Ingeniería Civil	<b>CLAVE</b> ICVM255	<b>NRC</b>	<b>NOMBRE DE LA SIGNATURA</b> Diseño de Elementos de Concreto I
------------------------------------	-------------------------	------------	--


PRÁCTICA NO.	LABORATORIO	ESTRUCTURAS	DURACIÓN (HORAS)
1-I		Prueba de vigas de concreto reforzado a flexión - Resistencia real de los materiales	6

INTRODUCCIÓN
<p>La resistencia a la compresión de las mezclas de concreto se puede diseñar de tal manera que tengan una amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad, que cumplan con los requerimientos de diseño de la estructura.</p> <p>La resistencia a compresión del concreto se mide para asegurar que el concreto entregado cumpla con los requisitos de las especificaciones de la obra y para el control de calidad. Para probar la resistencia a compresión del concreto se elaboran especímenes cilíndricos de prueba de 15 x 30 cm o 10 x 20 cm y se almacenan hasta que el concreto se endurece.</p> <p>Un resultado de prueba de resistencia siempre es el promedio de, al menos, dos especímenes probados a la misma edad. Puede hacerse un conjunto de dos a seis cilindros a partir de la misma muestra de concreto como mínimo por cada <u>115_m<sup>3</sup></u> de concreto colocado.</p>

<b>OBJETIVO DE LA PRÁCTICA</b>	Que el alumno determine la resistencia real de los materiales, ya sean estos el refuerzo y el concreto.
--------------------------------	---

FUNDAMENTOS TEÓRICOS
<p>La resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras. La resistencia a la compresión se mide tronando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión, en tanto la resistencia a la compresión. Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión se usan fundamentalmente para determinar que la mezcla de concreto suministrada cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada, <math>f'_c</math>, del proyecto.</p> <p>Se calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en Kilogramos por centímetro cuadrado (<math>\text{kg}/\text{cm}^2</math>).</p> <p>El resultado de la prueba se expresa con una aproximación de 1 <math>\text{kg}/\text{cm}^2</math></p> <p>La prueba del acero de refuerzo del elemento se llevará a cabo en la máquina universal a tensión exclusivamente. Ambos valores de refuerzo se emplearán para calcular la resistencia última del elemento sometido a flexión.</p>

MATERIAL	
MATERIAL DE TRABAJO	MATERIAL DE APOYO
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prensa hidráulica con capacidad de 120 Toneladas</li> <li>• Hoja de trabajo</li> <li>• Olla para fundir azufre</li> <li>• Plato metálico con diámetro mínimo de 13 centímetros</li> <li>• Tripié metálico perpendicular al eje del espécimen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoja de la práctica</li> <li>• Cámara fotográfica</li> <li>• Manual de Tecnología del Concreto</li> </ul>
EQUIPO DE SEGURIDAD/ PROTECCIÓN PERSONAL	EQUIPO DE SEGURIDAD ADICIONAL
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Guantes</li> <li>• Chaleco</li> <li>• Lentes de protección</li> <li>• Faja para cargar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Botas de seguridad</li> </ul>

 Benemérita Universidad Autónoma del Estado de Puebla Facultad de Ingeniería Colegio de Ingeniería Civil	<b>FORMATO PARA PRÁCTICA DE LABORATORIO</b>		
--	---	--	--

<b>CARRERA</b> Ingeniería Civil	<b>CLAVE</b> ICVM255	<b>NRC</b>	<b>NOMBRE DE LA ASIGNATURA</b> Diseño de Elementos de Concreto I
------------------------------------	-------------------------	------------	---

<b>PRÁCTICA NO.</b> 1-J	<b>LABORATORIO</b> NOMBRE DE LA PRÁCTICA	<b>ESTRUCTURAS</b> Prueba de vigas de concreto reforzado a flexión - Cálculo de la resistencia última a flexión	<b>DURACIÓN (HORAS)</b> 2
----------------------------	---	--	------------------------------

**INTRODUCCIÓN**

Las cargas que frecuentemente actúan sobre una estructura, generan flexión y deformación de los elementos estructurales que la constituyen. La flexión del elemento denominado viga, es el resultado de la deformación causada por los esfuerzos de flexión debida a la carga externa que actúan a lo largo de su eje longitudinal.

Conforme se aumenta la carga, la viga soporta deformación adicional, propiciado el desarrollo de las grietas por flexión a lo largo de su eje longitudinal hasta la falla del elemento estructural cuando la carga externa alcanza la capacidad máxima del elemento.

<b>OBJETIVO DE LA PRÁCTICA</b>	Obtener los momentos resistentes máximos y los momentos resistentes últimos de los elementos.
--------------------------------	---

**ACTIVIDADES A REALIZAR POR EL ALUMNO**

**Ensayo de Cilindro de concreto:** Al cumplirse 7, 14 y 28 días desde el colado del concreto, se procede al cabeceo de los cilindros para el ensayo a compresión de los mismos con el objetivo de determinar si el concreto cumple con la resistencia de diseño.

El alumno deberá cabecear sus cilindros con azufre tan pronto como el cilindro sea extraído de la tina de curado y secado las paredes del mismo.

Se colocará el espécimen en posición vertical y centrada con respecto a la prensa de carga. La velocidad de carga será constante hasta que el cilindro falle.

El alumno tomará la carga que soportarán los cilindros a los 7, 14 y 28 días. Estos datos serán empleados para determinar la resistencia a flexión del elemento.

**Ensayo del refuerzo longitudinal:**

Para las varillas de todos los tamaños, debe efectuarse una prueba de tensión y una de doblado para el diámetro más grande. Sin embargo, si el material de una colada difiere en tres o más números de designación, debe efectuarse una prueba de tensión y una de doblado de las varillas de mayor y menor y número de designación. Si cualquier probeta tiene defectos, puede descartarse y sustituirse por otra del mismo tamaño nominal y de la misma colada.

**Relación esfuerzo-deformación:** con los datos obtenidos de los ensayos de concreto y los momentos resistentes y últimos, se procede a graficar los datos.

Área: \_\_\_\_\_ cm<sup>2</sup>

	Fuerza de Fluencia	Fuerza última		Esfuerzo Kg/cm <sup>2</sup>
		kg	T	
Acero # _____				
Acero # _____				
Acero # _____				
Concreto edad _____ días				
Concreto edad _____ días				
Concreto edad _____ días				

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE DE VIGAS SIMPLEMENTE ARMADAS

El objetivo de este análisis es encontrar el momento último resistente de las vigas  $M_u$ . En esta práctica se trabajará con una sección simplemente reforzada.

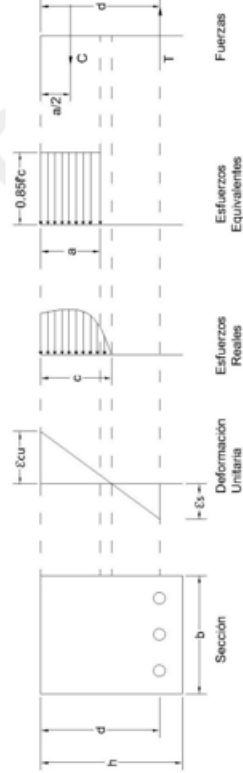


Fig. 1.1 Diagramas en la sección transversal de la viga

En la Fig. 1.1 se muestra el diagrama de deformación unitaria el cual surge a partir de la hipótesis de que las deformaciones sobre la viga se supondrán directamente proporcionales a su distancia del eje neutro, es decir, la deformación unitaria en la varilla de refuerzo ( $\epsilon_s$ ) será igual a la deformación unitaria del concreto ( $\epsilon_{cu}$ ) en el mismo punto, además de que el valor máximo de este último será  $\epsilon_{cu} = 0.003$ .

En el diagrama de esfuerzos reales se establece que la viga tendrá una distribución uniforme de esfuerzos de compresión de intensidad  $0.85f'c$  actuando sobre un área rectangular limitada por los bordes de la sección y una recta paralela al eje neutro. Para simplificar el análisis de los esfuerzos se sustituye el volumen formado por los esfuerzos reales por una distribución rectangular de esfuerzo la cual recibe el nombre de diagrama de esfuerzos equivalente y el cual tiene como características

- El volumen propuesto tiene que ser igual volumen resultante por los esfuerzos reales
- El volumen estará delimitado por los bordes de la sección, la intensidad con valor  $0.85f'c$  y una profundidad con valor de  $a$

A partir de la hipótesis anterior podemos definir entonces una fórmula para poder calcular la resultante de fuerza a compresión la cual será igual al volumen resultante por el diagrama de esfuerzos equivalentes:

$$C = 0.85f'c \cdot a \cdot b$$

Donde:

$C$  = Fuerza de compresión.

$f'c$  = resistencia a compresión del concreto.

$a$  = profundidad del bloque de esfuerzos.

$b$  = ancho del bloque de esfuerzos.

De igual forma podemos establecer una ecuación para calcular la fuerza resultante en tensión de la siguiente manera:

$$T = A_s \cdot f_y$$

Donde:

$A_s$  = Área de acero.

$f_y$  = esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo.

Además, como se estableció anteriormente, ya que el valor de los esfuerzos es equivalente entre si podemos deducir que el valor de las fuerzas de compresión y de tensión tendrán el mismo valor, es decir:

$$C = T$$

Finalmente podemos establecer el momento último en función al par de fuerzas el cual se puede escribir como:

$$M_u = T \cdot j_d = C \cdot j_d \cdot j_d = \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

Donde

$M_u$  = Momento último.

$d$  = Distancia entre el acero de refuerzo y la fibra de máxima deformación en compresión.

$j_d$  = Distancia entre la fuerza el par de fuerza de tensión y compresión.

Para vigas existen tres estados de falla los cuales se analizarán a continuación.

### FALLA A TENSIÓN

Este tipo de falla se presenta cuando la sección presenta poco acero.

Para el correcto análisis es necesario encontrar la profundidad "a" del bloque equivalente de refuerzo a compresión a partir de la equivalencia antes establecida:

$$C = T$$

Sustituyendo se obtiene:

$$0.85f'c * a * b = As * fy$$

Al despejar a obtenemos

$$a = \frac{As * fy}{0.85f'c * b * d}$$

A partir de la ecuación de momento último

$$Mu = T * jd$$

Se sustituyen los valores de  $\frac{T}{j}$

$$Mu = As * fy * \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

A continuación se sustituye el valor de a y se simplifica

$$Mu = As * fy * \left( d - \frac{As * fy}{2(0.85) * b * f'c} \right)$$

Teniendo en cuenta la fórmula para calcular el porcentaje de acero se despeja As, se sustituye y se simplifica

$$\rho = \frac{As}{b * d} \therefore As = \rho * b * d$$

$$Mu = \rho * b * d^2 * fy * \left( 1 - \frac{1}{2(0.85)} * \rho * \frac{fy}{f'c} \right)$$

$$Mu = b * d^2 * f'c * w * \left( 1 - \frac{w}{2(0.85)} \right)$$

Donde:

$$w = \rho \frac{fy}{f'c}$$

Para este caso el máximo momento resistente se alcanza cuando  $\epsilon_c = 0.003$

### FALLA POR COMPRESIÓN

Ante este tipo de falla el concreto alcanza su esfuerzo máximo y la profundidad del eje neutro c es muy profunda, debido a esto el brazo de palanca se reduce.

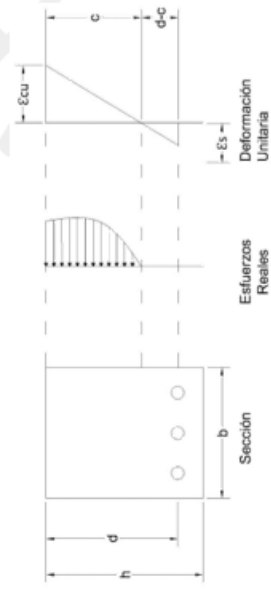


Fig. 1. 2 Diagrama de la sección transversal de la viga por falla a compresión

Debido a que ahora se desconoce la profundidad de c no será posible determinar directamente el valor de  $\epsilon_s$ , por lo que se recurrirá a determinar una relación entre los triángulos equivalentes resultantes del diagrama de deformación unitaria la cual queda de la siguiente manera:

$$\frac{\epsilon_s}{\epsilon_{cu}} = \frac{d-c}{c}$$

$$\epsilon_s = \epsilon_{cu} \left( \frac{d-c}{c} \right)$$

A partir de la ecuación del esfuerzo de acero se sustituye

$$Fs = \epsilon_s * Es$$

$$Fs = \epsilon_{cu} \left( \frac{d-c}{c} \right) Es$$

Dado que la resistencia  $C = T$  tenemos que

$$0.85a * b * f'c = As * Fs$$

$$0.85a * b * f'c = As \left( \epsilon_{cu} \left( \frac{d-c}{c} \right) Es \right)$$

Considerando  $\alpha = 0.85c$  sustituimos

$$0.85a * b * f'c = \left( \epsilon_{cu} \left( \frac{d - 0.85\alpha}{0.85\alpha} \right) Es \right)$$

Se simplifica, se iguala a cero y posteriormente se resuelve la ecuación

$$\left( \frac{0.85f'c}{\epsilon_{cu}Es + \rho} \right) a^2 + \alpha d - 0.85d^2 = 0$$

Entonces la ecuación para obtener el momento último queda de la siguiente manera

$$Mu = 0.85f'c * a * b \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

### FALLA BALANCEADA

En este tipo de falla el esfuerzo de fluencia en las barras se alcanza cuando el valor de deformación en el concreto es  $\epsilon_{cu} = 0.003$

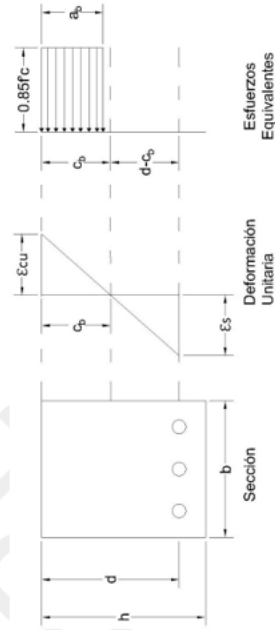


Fig. J. 3 Diagrama de la sección transversal de la viga cuando la falla se encuentra balanceada

$c_b$  = Distancia al eje neutro donde ocurre la falla balanceada

$$\epsilon_s = \frac{fy}{Es}$$

Tomando en cuenta la siguiente relación

$$\frac{fy}{Es(\epsilon_{cu})} = \frac{d - c_b}{C_b}$$

Se despeja la variable  $C_b$

$$C_b = \frac{\epsilon_{cu} * Es}{(\epsilon_{cu} * Es) + fy} * d$$

Se sustituye por el valor  $\alpha_b = 0.85C_b$

$$\alpha_b = \frac{\epsilon_{cu} * Es}{(\epsilon_{cu} * Es) + fy} * 0.85d$$

Una vez obtenido el valor de  $\alpha_b$  podemos obtener la ecuación de momento último de la misma forma en que se determinó para el caso de falla por compresión y la ecuación quedaría de la manera siguiente:

$$Mu = As * fy * \left( d - \frac{\alpha_b}{2} \right)$$

A continuación se calcula el porcentaje de acero balanceado ( $\rho_b$ ) a partir de la igualdad

$$0.85\alpha_b * b * f'c = \rho_b * b * d * fy$$

Despejamos  $\rho_b$  y simplificamos

$$\rho_b = \frac{0.85\alpha_b * f'c}{d * fy}$$

Se sustituye el valor de  $a_b$  y simplificamos

$$\rho_b = 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \left( \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s + f_y} \right)$$

Una vez calculado el porcentaje de acero se presentarán tres casos

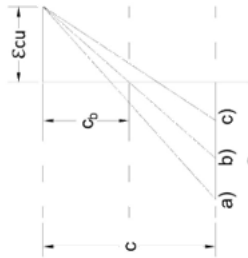


Fig. 1.4 Diagrama de deformación unitaria cuando  $\epsilon_s$  varía

- a)  $\rho < \rho_b$ ,  $c < C_b$  y el Fs no fluye
- b)  $\rho = \rho_b$
- c)  $\rho > \rho_b$ ,  $c > C_b$  y el Fs fluye

Al obtener el momento último para cualquier de los tres tipos de falla se despeja de la siguiente ecuación, la carga necesaria que puede soportar la viga:

Sabemos que:

$$M = P * L$$

Donde:

$M =$  Momento

$P =$  Carga

$L =$  Longitud

Despejando  $P$  nos queda:

$$P = \frac{M}{L}$$

Por el método de las secciones se puede obtener el momento en cierta distancia:

$$0 < x < \frac{L}{3}$$

$$x = 0; M = 0$$

$$x = \frac{L}{3}; M = R * \frac{L}{3}$$

Donde  $R = P$

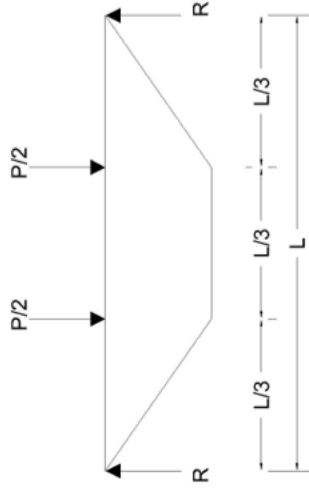


Fig. 1.5 Carga necesaria

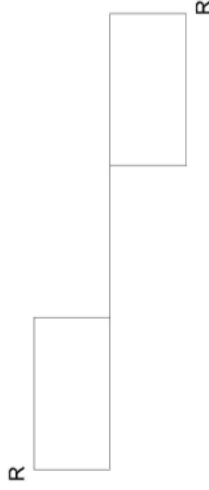


Fig. 1.6 Gráfica de cortante

### CALCULO DE LAS DEFLEXIONES ANALITICAS

En esta práctica mencionaremos dos métodos para obtener dicha deflexión en una viga simplemente apoyada con dos cargas puntuales:

- Caso 1:

Para este caso únicamente se utiliza la siguiente ecuación:

$$\Delta_{\text{máx}} = \frac{Pa}{24EI_{\text{ag}}} (3L^3 - 4a^2)$$

Donde:

$\Delta_{\text{máx}}$  = Deformación máximo

$P$  = Carga

$L$  =

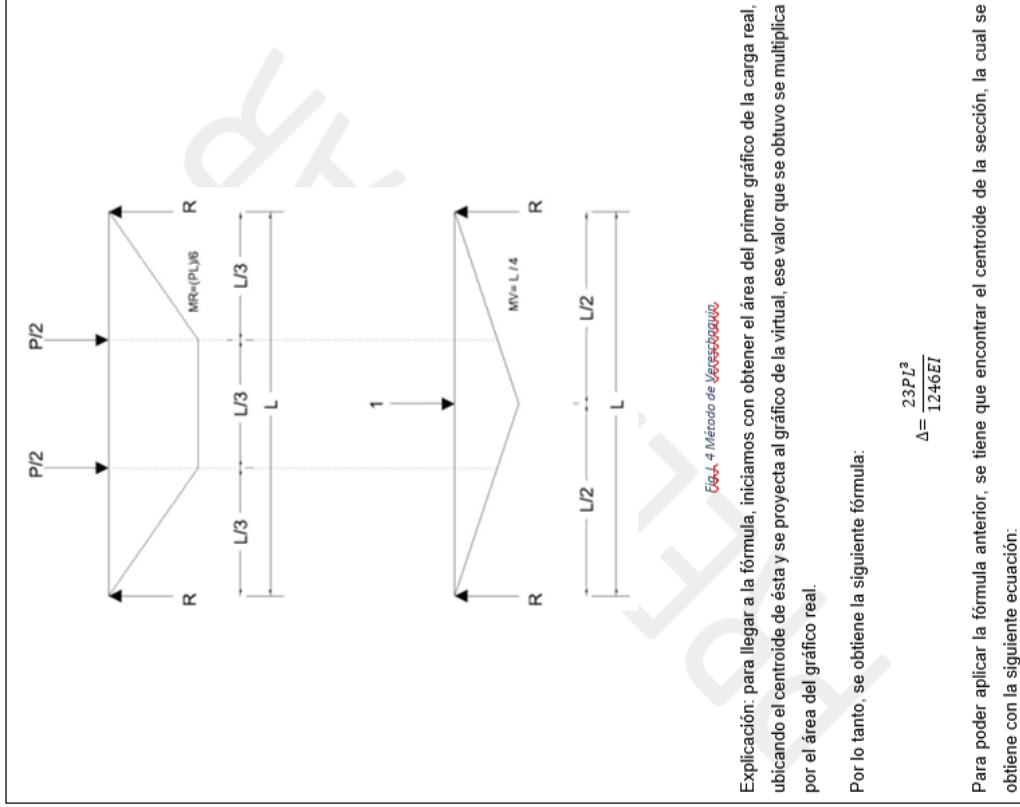
$a = \frac{3}{4}$  de la distancia total

$E$  = Módulo de elasticidad del concreto

$I_{\text{ag}}$  = Inercia de la sección agrietada

- Caso 2

Método de **Vereschagujo**: consiste en la multiplicación de gráficos, los momentos resultantes de una carga real por los momentos de una carga virtual. Se recomienda que este valor sea la unidad. Estos están en función del  $EI$ .



**Ej. 4.5 Eje neutro**

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

n = Relación de módulos

$$c = \frac{-1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{nA_s}}}{\frac{b}{nA_s}}$$

$$I_{cog} = \frac{bc^3}{3} + nA_s(d - c)^2$$

Donde:

Procede el cálculo del momento de inercia con respecto al eje neutro.

Para los contenidos de acero considerados, cuando el acero a tensión alcanza la fluencia, el esfuerzo en el extremo a compresión del concreto es apreciablemente menor que el valor de  $f_c$ . La curva esfuerzo-deformación del concreto es lineal hasta aproximadamente  $0.7f_c$ ; si la tensión del concreto no excede este valor cuando el acero alcanza la fluencia, la profundidad del eje equivalente puede ser calculada con la fórmula de la teoría elástica (lineal). Una vez que se ha determinado el valor del factor  $k$  de la profundidad del eje neutro, la magnitud de las fuerzas y el centroide de las fuerzas a compresión en el acero y el concreto pueden ser encontradas.


Si el esfuerzo en el extremo a compresión del concreto es más grande que el valor de  $0.7f_c$ , la profundidad del eje neutro a la fluencia de acero a tensión deberá ser calculada usando la curva

esfuerzo-deformación del concreto (una parábola es una buena aproximación). Pero, una aproximación puede ser obtenida de la fórmula de esfuerzo lineal incluso si el esfuerzo supera el valor de  $f_c$ . En este método el valor de  $k$  calculado será mucho más pequeño que el valor verdadero de  $k$  para la distribución de esfuerzos en el concreto, llevando a que se subestime el valor de  $\phi_y$  y se sobrestime el valor de  $M_y$ .

MATERIAL	
MATERIAL DE TRABAJO	MATERIAL DE APOYO
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoja de la práctica</li> <li>• Manual de Tecnología del Concreto</li> <li>• Calculadora</li> <li>• Lápiz</li> </ul>
EQUIPO DE SEGURIDAD/ PROTECCIÓN PERSONAL	EQUIPO DE SEGURIDAD ADICIONAL
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Guantes</li> <li>• Chaleco</li> <li>• Lentes de protección</li> <li>• Faja para cargar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Botas de seguridad</li> </ul>

**ACTIVIDADES A REALIZAR POR EL ALUMNO**

**N. Calcular  $M_u$ ,  $P_u$  y  $\Delta_u$ :** con los datos obtenidos en el ensayo de cilindros el alumno calculará nuevamente el momento resistente, carga y desplazamiento último antes de la falla del elemento comparando los datos de diseño.

 Benemérita Universidad Autónoma del Estado de Puebla Facultad de Ingeniería Colegio de Ingeniería Civil	
<b>FORMATO PARA PRACTICA DE LABORATORIO</b>	
<b>CARRERA</b>	<b>CLAVE</b>
Ingeniería Civil	ICVM255
<b>NRC</b>	<b>NOMBRE DE LA ASIGNATURA</b>
	Diseño de Elementos de Concreto I

<b>PRACTICA No.</b>	<b>LABORATORIO</b>	<b>ESTRUCTURAS</b>	<b>DURACION (HORAS)</b>
1-K	<b>NOMBRE DE LA PRACTICA</b>	Prueba de vigas de concreto reforzado a flexión – Montaje del ensaye	2

#### INTRODUCCION

El ensaye de elementos de concreto reforzado se realizará en el marco de reacción del Laboratorio de Estructuras, el cual funcionará como una prensa de dimensiones mayores para el ensaya de elementos estructurales. La fuerza es proporcionada por 4 tipos de gatos hidráulicos de 100 y 200Ton ambos en función reversible y simple, estos se pueden colocar de manera tanto horizontal como vertical dependiendo si se ensayan elementos a cargas gravitacionales o laterales (sísmicas). La aplicación de la carga puede ser controlada a través de un sistema de válvulas para simular si un ensaye será estático o ~~pseudodinámico~~.

En el laboratorio integral de la Facultad de Ingeniería cuenta con el equipo para ensayar elementos de mampostería y de concreto reforzado como lo son muretes, pilas de mampostería, columnas, vigas, losas y sistemas de muros a escala real. Sin embargo, aplicar carga no es suficiente, será necesario medir las deformaciones que tienen dichos elementos al ser ensayados, para esto se cuenta con dos sistemas de adquisición de datos, estos están comprendidos de sensores de deformación unitaria a través de galgas de deformación o ~~strain gauge~~, transductores de desplazamiento o LVDT (~~linear variable differential transformer~~). Sensores de fuerza o celdas de carga las cuales nos medirán las fuerzas actuantes durante el experimento, colector de información o ~~Data logger~~, un sistema de cómputo y el software *Visual Log* para visualizar y archivar en tiempo real de los datos de deformación, desplazamiento y carga del ensaye.

Todo este equipo en conjunto auxilia en el correcto y eficiente ensaye de elementos estructurales.

Momento resistente _____ T * m
Cortante resistente _____ T
Carga P resistente _____ T
<del>Δmáx.</del> _____ cm

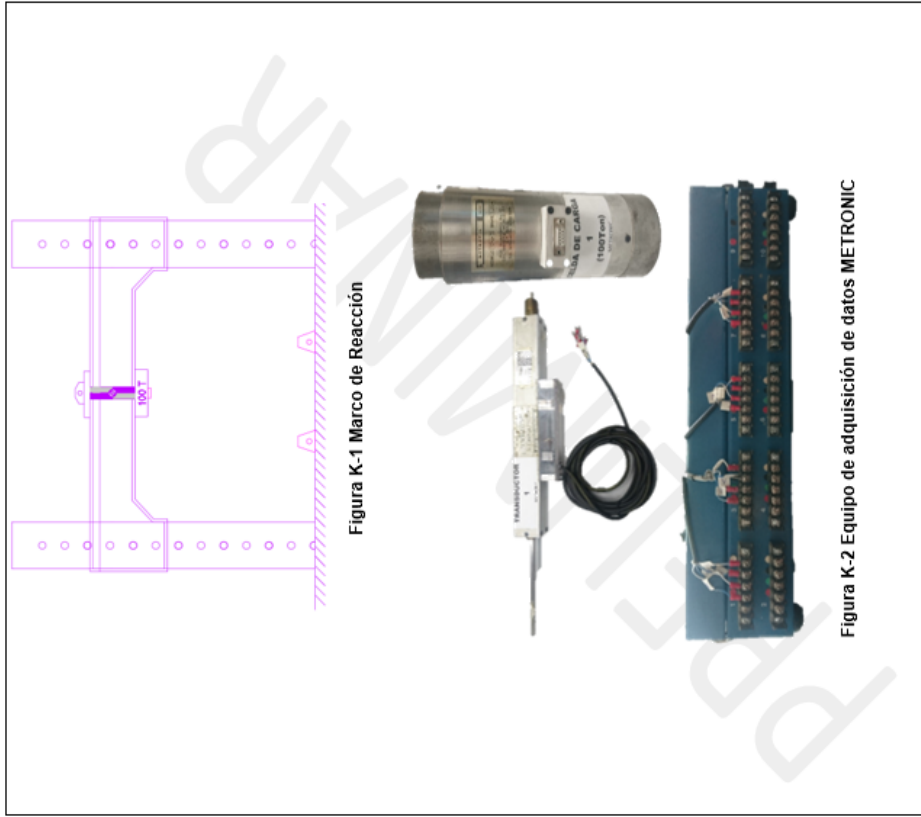


Figura K-1 Marco de Reacción

Figura K-2 Equipo de adquisición de datos METRONIC

**FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

MATERIAL	
<b>MATERIAL DE TRABAJO</b>	<b>MATERIAL DE APOYO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marco de Reacción</li> <li>• Viga de concreto armado con mínimo de 28 días de edad</li> <li>• <del>DataLogger</del> METRONIC</li> <li>• Celda de carga (100Ton)</li> <li>• Transductor LVDT 100mm</li> <li>• Visual-Log</li> <li>• Mesa de trabajo</li> <li>• Flexómetro</li> <li>• Desarmadores</li> <li>• Montacargas</li> <li>• Sistema de apoyos para vigas simplemente apoyadas</li> <li>• Viga de carga de acero</li> <li>• Acrílico</li> <li>• Marcador amarillo</li> <li>• Nivel laser</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoja de la práctica</li> <li>• Cámara fotográfica</li> <li>• Manual de Tecnología del Concreto</li> </ul>
<b>EQUIPO DE SEGURIDAD/ PROTECCIÓN PERSONAL</b>	<b>EQUIPO DE SEGURIDAD ADICIONAL</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Casco de seguridad</li> <li>• Guantes</li> <li>• Lentes de protección</li> <li>• Faja para cargar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Botas de seguridad</li> </ul>

**ACTIVIDADES A REALIZAR POR EL ALUMNO**

En la figura K-3 de describe los componentes del montaje del ensaye, cada paso y dispositivo es descrito a continuación:

**O. Colocación del sistema de apoyos:** El sistema de apoyos que se muestra en la siguiente figura comprende un apoyo articulado y una unión simple para ensayar los elementos viga como sistemas simplemente apoyados, estos se deberán armar y colocar de acuerdo a las demandas del ensaye. La dimensión estándar para estas prácticas es de 200cm entre ambos apoyos a centros de sección. Dichos apoyos (articulado y simple) se colocarán cada uno sobre un muerto de acero para poder hacer la prueba a un nivel sobre el suelo comodamente apreciable para el espectador. Una vez terminado esto se procederá a unir los muertos de acero a través de 4 barras de acero para contener las reacciones horizontales y evitar que los apoyos se volteen durante la aplicación de carga

**P. Colocación de la viga:** sobre los apoyos se colocará las vigas de concreto reforzado a través del polipasto con el que cuenta el marco de reacción, se deberá poner particular atención en centrarlo de acuerdo a lo especificado en la práctica. Una vez colocada la viga se marcará sobre la fachada principal de esta todo el acero de refuerzo con un marcador color amarillo, esto con la finalidad de conocer la ubicación de las grietas con respecto al refuerzo. Véase como ejemplo la Figura K-3.

**Q. Colocación de la viga de carga de acero:** esta es una viga que se coloca para distribuir la carga que los gatos hidráulicos proporcionan al elemento, es indispensable que sean dos cargas puntuales separadas proporcionalmente y simétricas a la viga, para ello se colocarán rodillos de acero sobre la viga de CR y sobre estos la viga de distribución de carga.

**R. Colocación de la celda de carga:** La celda se colocará al centro del claro de la viga de distribución de carga, una vez colocada esta, se colocarán calzas de acero para fijar las alturas del marco de reacción.

**S. Conexiones:** Una vez instalados todos los dispositivos se procede ubicar la PC, ~~data logger~~ y demás dispositivos sobre la mesa de trabajo, y a conectarse de acuerdo al manual de operación del sistema de adquisición de datos METRONIC.

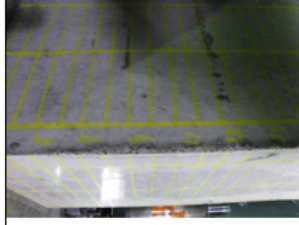


Figura K-3 Marcado del acero de refuerzo

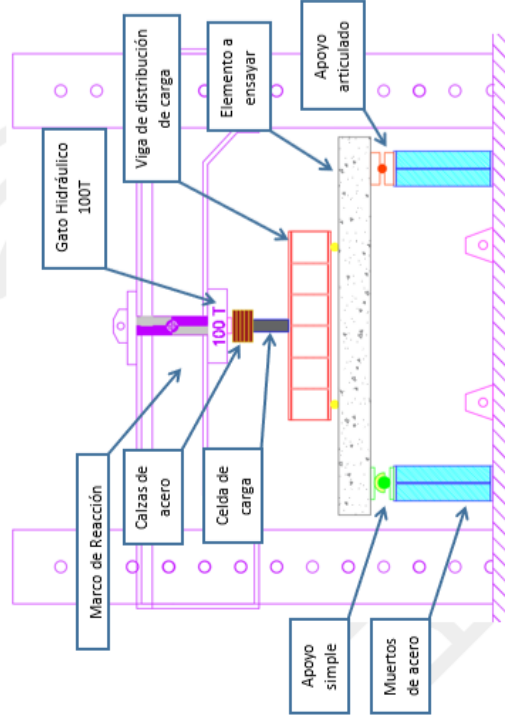



Figura K-3 Montaje de la Viga de concreto reforzado en el marco de reacción.

	Benemérita Universidad Autónoma del Estado de Puebla Facultad de Ingeniería Colegio de Ingeniería Civil		
<b>FORMATO PARA PRACTICA DE LABORATORIO</b>			

CARRERA	CLAVE	NRC	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
Ingeniería Civil	ICVM255		Diseño de Elementos de Concreto I

PRÁCTICA NO.	LABORATORIO	ESTRUCTURAS	DURACIÓN (HORAS)
1-L		Prueba de vigas de concreto reforzado a flexión - Ensaye monotónico creciente	2

**INTRODUCCIÓN**

El ensaye monotónico creciente es la prueba realizada a elementos estructurales sometidos a fuerzas que van en aumento hasta alcanzar el fallo del elemento. Durante el ensaye la aplicación de carga va a una velocidad constante, lo que permite la visualización del comportamiento del elemento y la formación de las grietas por tensión y compresión.

Para llevar el seguimiento del comportamiento durante el ensayo, le llamamos Step al momento donde el elemento alcanza una deflexión establecida y cierta carga sobre él. Es en los Steps, cuando se registran los datos de las grietas; la deflexión y la fuerza con la que alcanza esa deflexión.

**OBJETIVO DE LA PRACTICA**  
 Que el alumno analice el comportamiento de los elementos mediante la visualización y obtención de datos durante el ensaye monotónico creciente

**FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

**MATERIAL**

MATERIAL DE TRABAJO	MATERIAL DE APOYO
<ul style="list-style-type: none"> <li>Marco de Reacción</li> <li>Viga de concreto armado con mínimo de 28 días de edad</li> <li>Sistema de adquirió de datos METRONIC</li> <li>Marcadores</li> <li>Pizarra</li> <li>Etiquetas adhesibles</li> <li>Flexómetro</li> <li>Fisurómetro</li> <li>Lámpara fluorescente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hoja de la práctica</li> <li>Cámara fotográfica</li> <li>Manual de Tecnología del Concreto</li> </ul>
EQUIPO DE SEGURIDAD/ PROTECCIÓN PERSONAL	EQUIPO DE SEGURIDAD ADICIONAL
<ul style="list-style-type: none"> <li>Casco de seguridad</li> <li>Gautes</li> <li>Chaleco</li> <li>Lentes de protección</li> <li>Faja para cargar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Botas de seguridad</li> </ul>

**ACTIVIDADES A REALIZAR POR EL ALUMNO**

T. Determinar puntos equivalentes de la deflexión máxima. En esta etapa el alumno obtendrá los valores en 10 puntos con respecto a 10 ciclos de carga que se aplicarán al elemento estructural. Cada punto tendrá un valor en aumento de 1/10 de la deflexión máxima obtenida en la Práctica 1-L, es decir, el primer punto valdrá 1/10 de la deflexión máxima y así sucesivamente hasta llegar al punto 10.

U. Una vez calculados los valores de los puntos de las deflexiones, se graficarán con respecto al ciclo de carga correspondiente.

V. Al momento de inicio del ensaye, los alumnos registrarán en pasos las cargas correspondientes para obtener los mismos valores de cada punto de deflexión. Para el registro de los pasos o "steps" para obtener los mismos valores de cada punto de deflexión.

los alumnos llenarán un formato de registro que incluirá: nombre, fecha, número de Step, punto de interés, espécimen, deflexión y fuerza aplicada.



Figura M.1

W. Con los datos que se van obteniendo del ensaye, los alumnos realizarán una gráfica Fuerza-Deflexión (P- $\delta$ ).

X. Con ayuda de una lámpara, un alumno buscará e iluminará las grietas que no se alcancen ver a simple vista en los primeros Steps, para determinar la grieta dominante. La grieta dominante será la más representativa durante el ensaye que nos indicará cuando el acero fluya.

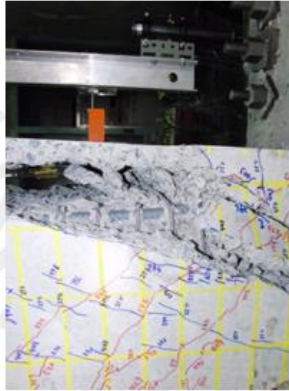
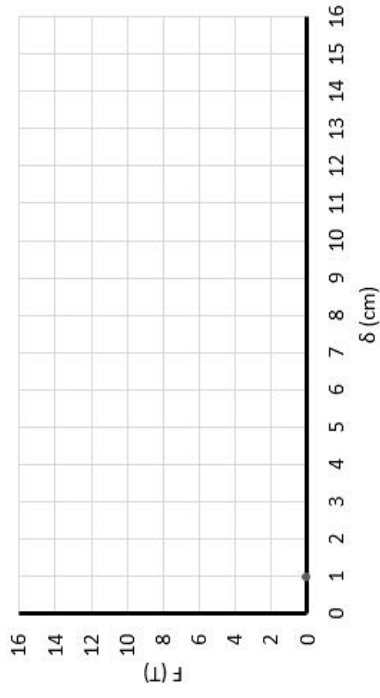
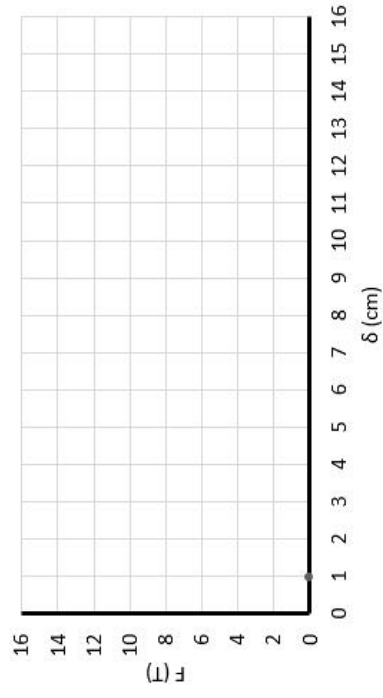


Figura M.2

Gráfica Carga-Deformación



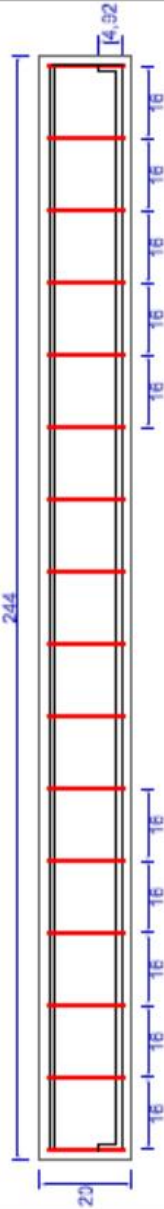

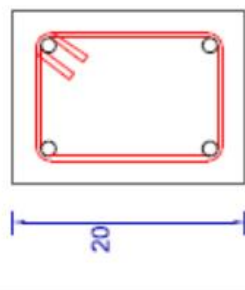
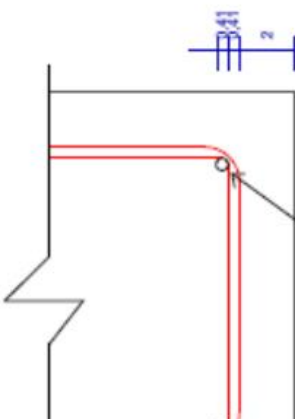
Gráfica Carga-Deformación



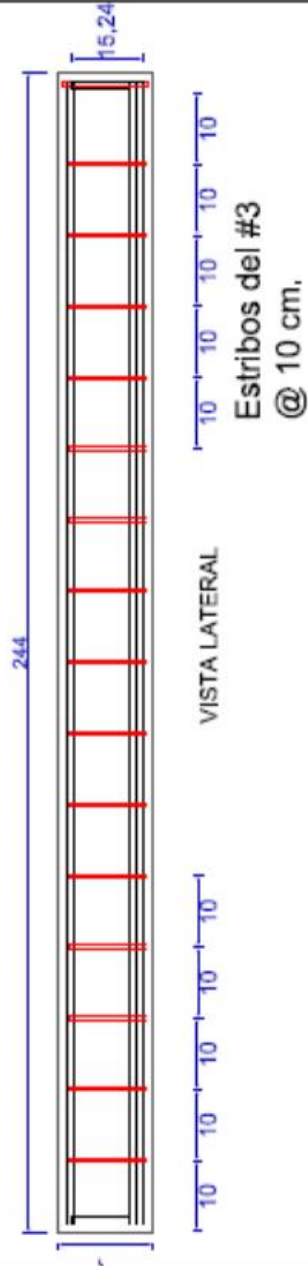
## BIBLIOGRAFÍA

- JPHT, **Toxquji**: Proposal for the design of reinforced concrete columns that carry high axial force developing ductile behavior, Yokohama National University, Japan, 2016.
- Contreras B., S.: Comportamiento y pruebas de muros de mampostería con el marco de carga de la facultad de ingeniería B.U.A.P., Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México, 2002.
- Enrique García F.: Estudio experimental del comportamiento de uniones metálicas de momento viga columna descrita por el AISC bajo carga cíclica. Tesis de Maestría, FIBUAP, Puebla, México, 2012.
- Oscar M. González Cuevas y Robles Fernández-Villegas: Aspectos **tipocapitulares** de concreto reforzado, Limusa, México, 1995.
- Thomas Pauly and Robert Park: Reinforced Concrete Structures 1st Edition, John Wiley and Sons (WIE), USA 1979.
- Nilson A.: Diseño de estructuras de Concreto, McGraw-Hill, Estados Unidos 1999
- Ruth Flores: Manual de Prácticas de Laboratorio de Tecnología del Concreto, Facultad de Ingeniería de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México, 2015.
- ACI Committee 318. American Concrete Institute (2008). Building Code Requirements for Structural Concrete, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- NTC: Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto. Reglamento de Construcción para el Distrito Federal, México, 2004.
- NTC: Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto. Reglamento de Construcción para el Distrito Federal, México, 2017.
- MMX-C-030-ONNCCCE-2004 Industria de la construcción – Agregados – Muestreo
- MMX-C-061-ONNCCCE-2001 Industria de la construcción – Cemento – Determinación de la resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos
- MMX-C-083-ONNCCCE-2002 Industria de la construcción – Concreto – Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto – Método de prueba
- MMX-C-085-ONNCCCE-2002 Industria de la construcción – Cementos hidráulicos – Método estándar para el mezclado de pastas y morteros de cementantes hidráulicos
- MMX-C-109-ONNCCCE-2004 Industria de la construcción – Concreto – Cabeceo de **especificaciones** Cilindros
- MMX-C-111-ONNCCCE-2004 Industria de la construcción – Agregados para concreto hidráulico – Especificaciones y métodos de prueba
- MMX-C-159-ONNCCCE-2004 Industria de la construcción – Concreto – Elaboración y curado de **especificaciones** en el laboratorio
- MMX-C-160-ONNCCCE-2004 Industria de la construcción – Concreto – Elaboración y curado en obra de **especificaciones** de concreto
- MMX-C-219-ONNCCCE-2005 Industria de la construcción – Concreto – Resistencia a la compresión a edades tempranas y predicción de la misma a edades posteriores – Método de prueba
- MMX-C-403-ONNCCCE-1999 Industria de la construcción – Concreto hidráulico para uso estructural
- MMX-C-407-ONNCCCE-2001 Industria de la construcción – Varilla corrugada de acero proveniente de lingote y palanquilla para refuerzo de concreto – Especificaciones y métodos de prueba
- MMX-B-293-1988 Alambre sin recubrimiento, relevado de esfuerzos, para usarse en concreto presforzado.

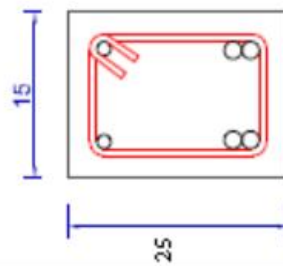
## **ANEXO 2.- PLANOS CONSTRUCTIVOS**

<p style="text-align: center;"><b>ARMEX</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>VISTA LATERAL</b></p> <p style="text-align: center;">Espiras de armex @ 16 cm.</p>	 <p style="text-align: center;"><b>BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA.</b></p> <p style="text-align: center;"><b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b></p>		
<p style="text-align: center;"><b>2 armex corridas</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>VISTA CORTE</b></p>	 <p style="text-align: center;"><b>2 armex= 0.132 cm<sup>2</sup></b></p>	<p><b>Proyecto:</b> Práctica de Vigas de Concreto Reforzado a Flexión Falla Frágil</p> <p><b>Docente:</b> Ph.D. Juan Pablo Hidalgo Toxquí, Responsable de laboratorio.</p> <p><b>Dibujante:</b> Diana Vázquez Flores.</p>	<p><b>Notas:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.- Todas las medidas están en centímetros</li> <li>2.- Espirales del número 2 cada 15 cm.</li> <li>3.- Recubrimiento de 2 cm.</li> <li>4.- Acero de refuerzo: Fy= 4200 kg/cm<sup>2</sup></li> <li>5.- Peso volumétrico del concreto en estado fresco: 2450 kg/cm<sup>3</sup></li> <li>6.- Las barras que terminan con dobleces a 90 grados deben tener tramos rectos de longitud no menor de 12 φ</li> <li>7.- No tomar medidas a escala de este plano.</li> </ol> <p style="text-align: right;">Fecha: 01/02/2018</p>

FALLA A COMPRESIÓN



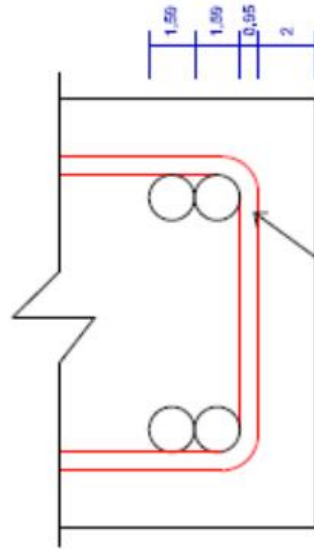
VISTA LATERAL



2 varillas #4 corridas

4 varillas #5 corridas

VISTA CORTE



paquete de 2 varillas #5 = 1,98 cm<sup>2</sup>



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA DE PUEBLA.

FACULTAD DE INGENIERÍA

Proyecto:

Práctica de Vigas de Concreto  
Reforzado a Flexión Falla a  
Compresión

Docente:

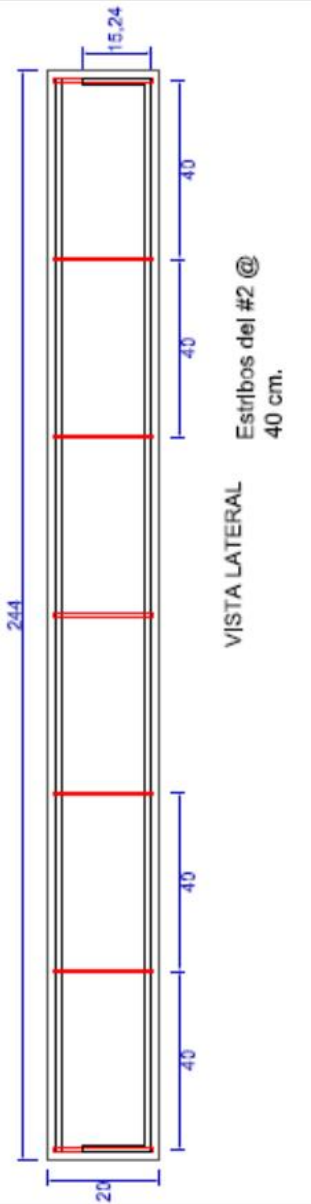

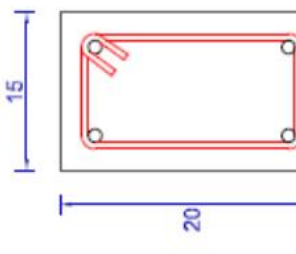
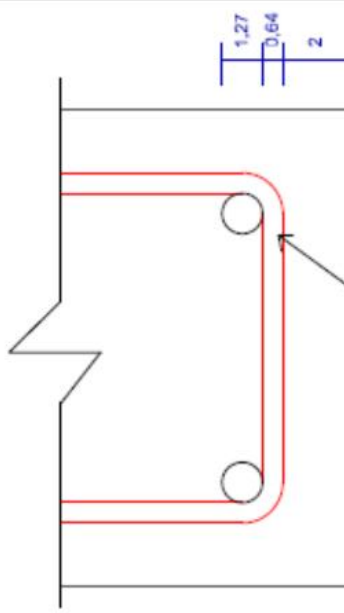
PhD. Juan Pablo Hidalgo Tavoul.  
Responsable de laboratorio.

Dibujante:

Diana Vázquez Flores.

- 1.- Todas las medidas están en centímetros
- 2.- Estribos del número 2 cada 15 cm.
- 3.- Recubrimiento de 2 cm.
- 4.- Acero de refuerzo,  $f_y = 4200$  kg/cm<sup>2</sup>.
- 5.- Peso volumétrico del concreto en estado fresco: 2400 kg/cm<sup>3</sup>.
- 6.- Las barras que terminan con dobleces a 90 grados deben tener tramos rectos de longitud no menor de 12  $\phi$ .
- 7.- No tomar medidas a escala de este plano.

Fecha: 05/02/2018

<p><b>FALLA A CORTANTE</b></p>  <p><b>VISTA LATERAL</b> Estribos del #2 @ 40 cm.</p>	 <p><b>BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA.</b></p> <p><b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b></p>
<p><b>2 varillas #4 corridas</b></p>  <p><b>VISTA CORTE</b></p>	 <p><b>2 varillas #4 = 1.27 cm<sup>2</sup></b></p>
<p><b>Proyecto:</b> Práctica de Vigas de Concreto Reforzado a Flexión Falla a Cortante</p> <p><b>Cocente:</b> PhC. Juan Pablo Hidalgo Toxquí, Responsable de laboratorio.</p> <p><b>Dibujante:</b> Diana Vázquez Flores.</p> <p>1.- Todas las medidas están en centímetros 2.- Estribos del número 2 cada 15 cm. 3.- Recubrimiento de 2 cm. 4.- Acero de refuerzo. <math>f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2</math> 5.- Peso volumétrico del concreto en estado fresco: <math>2400 \text{ kg/cm}^3</math> 6.- Las barras que terminan con dobles a 90 grados deben tener tramos rectos de longitud no menor de 12 <math>\phi</math> 7.- No tomar medidas a escala de este plano.</p> <p style="text-align: right;">Fecha: 03/02/2018</p>	



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA DE PUEBLA.

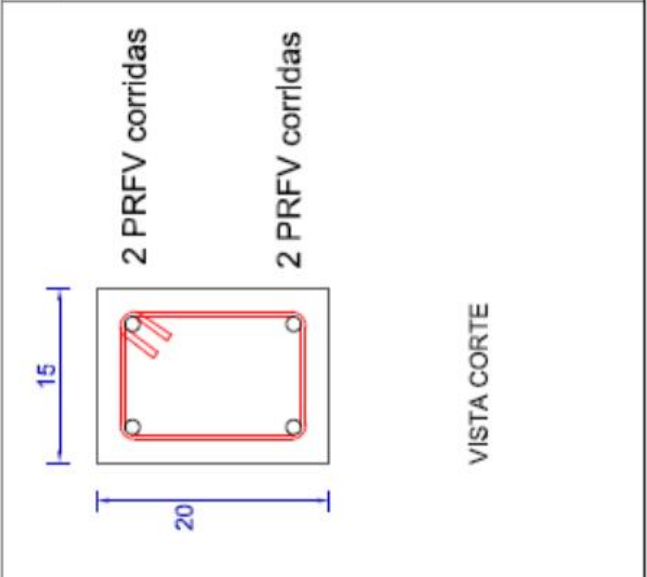
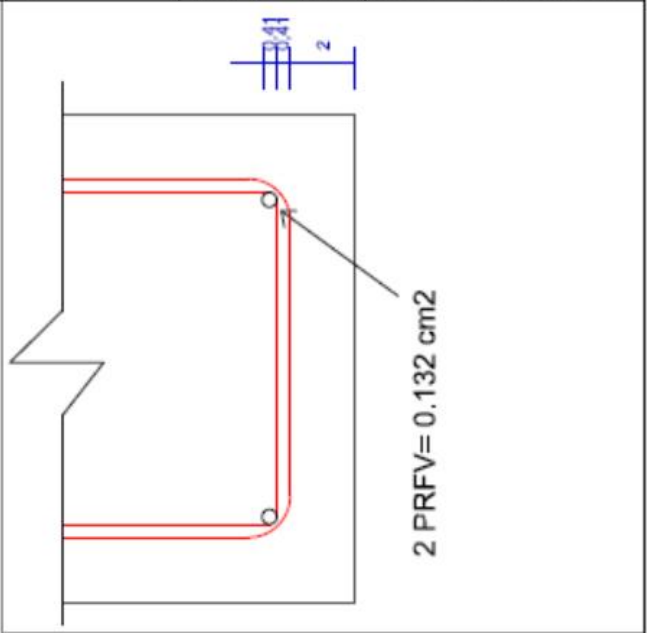
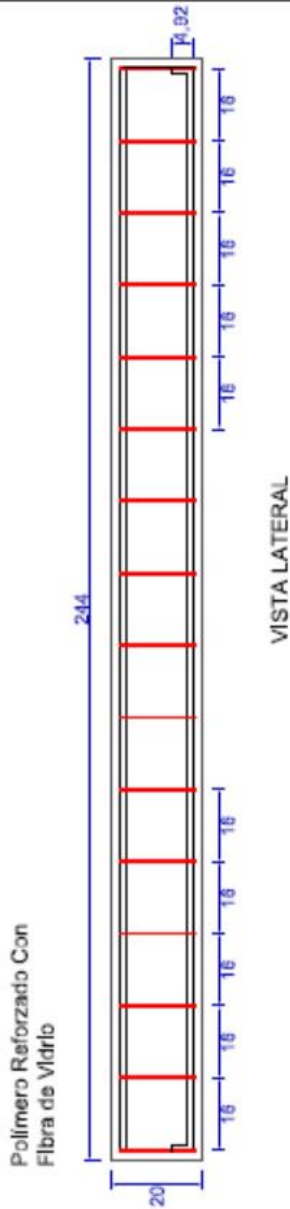
FACULTAD DE INGENIERÍA

Proyecto:  
Práctica de Vigas de Concreto  
Reforzado a Flexión  
Fibra de Vidrio

Docente:  
PhC. Juan Pablo Hidalgo Toxqui,  
Responsable de laboratorio.  
Dibujante:  
Diana Vázquez Hieres.

NOTAS:  
1.- Todas las medidas están en centímetros  
2.- Escibos del número 2 cada 15 cm.  
3.- Recubrimiento de 2 cm.  
4.- Acero de refuerzo,  $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$   
5.- Peso volumétrico del concreto en estado fresco:  $2400 \text{ kg/cm}^3$   
6.- Las barras que terminan con dobles a 90 grados deben tener tramos rectos de longitud no menor de 12  $\phi$   
7.- No tomar medidas a escala de este plano.

Fecha: 01/02/2018





BENEMÉRITA UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA DE PUEBLA.

FACULTAD DE INGENIERÍA

Proyecto:

Práctica de Vigas de Concreto  
Reforzado a Flexión Falla a  
Tensión

Docente:

PhD. Juan Pablo Hidalgo Toxqui,  
Responsable de laboratorio.

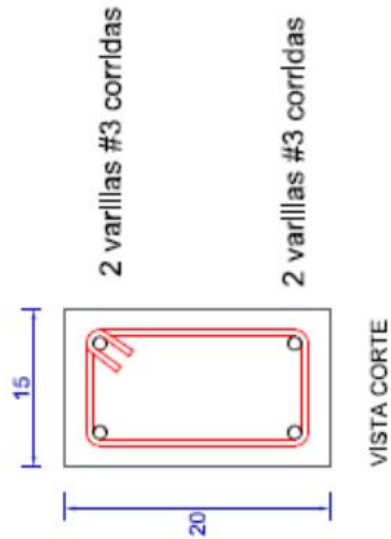
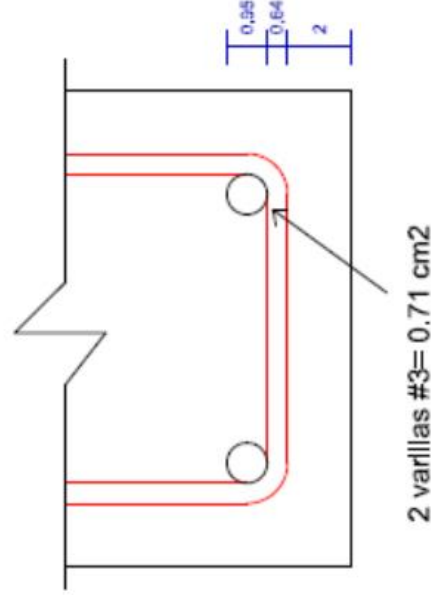
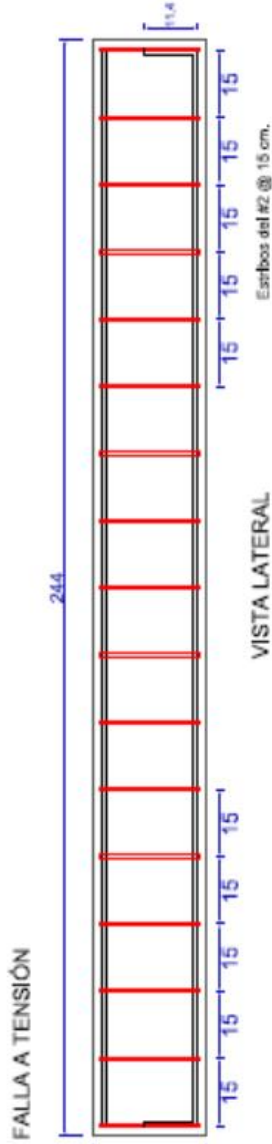
Dibujante:

Diana Vázquez Flores.

Notas:

- 1.- Todas las medidas están en centímetros
- 2.- Estribos del número 2 cada 15 cm.
- 3.- Recubrimiento de 2 cm.
- 4.- Acero de refuerzo: Fy= 4200 kg/cm<sup>2</sup>  
fresco: 2400 kg/cm<sup>3</sup>
- 5.- Peso volumétrico del concreto en estado fresco: 2400 kg/cm<sup>3</sup>
- 6.- Las barras que terminan con dobles a 90 grados deben tener tramos rectos de longitud no menor de 12  $\phi$
- 7.- No tomar medidas a escala de este plano.

Fecha: 01/02/2018



## **ANEXO 3.- ENCUESTA DE SALIDA**



ENCUESTA DE SATISFACCIÓN DE LA PRUEBA DE UN ELEMENTO ESTRUCTURAL EN EL LABORATORIO DE ESTRUCTURAS

Estimado estudiante, por favor selecciona con una X la opción que satisfaga a las siguientes preguntas.

Preguntas	Muy satisfecho	Bastante satisfecho	Algº satisfecho	Poco satisfecho	Nada satisfecho
1.- Se indicaron los objetivos y las características generales de la prueba al inicio			X		
2.- La explicación en el desarrollo de la prueba fue clara y concisa	X				
3.- Se resolvieron las dudas y observaciones en el desarrollo de la prueba	X				
4.- El equipo del laboratorio de estructuras que se utiliza para esta prueba considera que es el adecuado		X			
5.- La observación del ensaye te permitió comprender el comportamiento de la estructura		X			
6.- Se corroboran las hipótesis teóricas de diseño en la práctica			X		
7.- Se cumplió con el objetivo establecido al inicio del ensaye de la prueba de la viga		X			
8.- Consideras que el personal y académicos que trabajan en el laboratorio de estructuras, cuentan con los conocimientos y habilidades para esta prueba	X				
9.- Considera adecuado el apoyo económico que proporciono para la construcción del elemento estructural			X		
10.- Recomendaría que se continuara con esta prueba en la asignatura de diseño de concreto II	X				

Comentarios para el técnico que impartió la cátedra:

Que siga así, es amable, resuelve las dudas y te ayuda en lo que puedes y que te ayude.



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**COLEGIO DE INGENIERÍA CIVIL**

**ENCUESTA DE SATISFACCIÓN DE LA PRUEBA DE UN ELEMENTO ESTRUCTURAL EN EL LABORATORIO DE ESTRUCTURAS**

Estimado estudiante, por favor selecciona con una X la opción que satisfaga a las siguientes preguntas.

Preguntas	Muy satisfecho	Bastante satisfecho	Algo satisfecho	Poco satisfecho	Nada satisfecho
1.- Se indicaron los objetivos y las características generales de la prueba al inicio		X			
2.- La explicación en el desarrollo de la prueba fue clara y concisa	X				
3.- Se resolvieron las dudas y observaciones en el desarrollo de la prueba	X				
4.- El equipo del laboratorio de estructuras que se utiliza para esta prueba considera que es el adecuado	X				
5.- La observación del ensaye te permitió comprender el comportamiento de la estructura	X				
6.- Se corroboran las hipótesis teóricas de diseño en la práctica		X			
7.- Se cumplió con el objetivo establecido al inicio del ensaye de la prueba de la viga	X				
8.- Consideras que el personal y académicos que trabajan en el laboratorio de estructuras, cuentan con los conocimientos y habilidades para esta prueba	X				
9.- Considera adecuado el apoyo económico que proporciono para la construcción del elemento estructural		X			
10.- Recomendarías que se continuara con esta prueba en la asignatura de diseño de concreto II	X				

Comentarios para el técnico que impartió la cátedra:

*Excelente desempeño como docente*



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 COLEGIO DE INGENIERÍA CIVIL

**ENCUESTA DE SATISFACCIÓN DE LA PRUEBA DE UN ELEMENTO ESTRUCTURAL EN EL LABORATORIO DE ESTRUCTURAS**

Estimado estudiante, por favor seleccione con una X la opción que satisfaga a las siguientes preguntas.

Preguntas	Muy satisfecho	Bastante satisfecho	Algo satisfecho	Poco satisfecho	Nada satisfecho
1.- Se indicaron los objetivos y las características generales de la prueba al inicio	✓				
2.- La explicación en el desarrollo de la prueba fue clara y concisa	✓				
3.- Se resolvieron las dudas y observaciones en el desarrollo de la prueba	✓				
4.- El equipo del laboratorio de estructuras que se utiliza para esta prueba considera que es el adecuado	✓				
5.- La observación del ensaye te permitió comprender el comportamiento de la estructura	✓				
6.- Se corroboran las hipótesis teóricas de diseño en la práctica	✓				
7.- Se cumplió con el objetivo establecido al inicio del ensaye de la prueba de la viga	✓				
8.- Consideras que el personal y académicos que trabajan en el laboratorio de estructuras, cuentan con los conocimientos y habilidades para esta prueba	✓				
9.- Considera adecuado el apoyo económico que proporciono para la construcción del elemento estructural	✓				
10.- Recomendaría que se continuara con esta prueba en la asignatura de diseño de concreto II	✓				

Comentarios para el técnico que impartió la cátedra:

MUY SATISFECHA CON LOS CONOCIMIENTOS APRENDIDOS