

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	1/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II

Elaborado por:	Revisado por:	Autorizado por:	Vigente desde:
Dr. Mauro P. Niño Lázaro, M.I. Héctor J. Guzmán Olguín, Ing. Emilio Saint-Martín Posada, M.I. Leonardo Flores Corona	<b>M.I. Miguel Ángel Zúñiga Bravo</b>	<b>M.I. Octavio García Domínguez</b>	<b>28 de marzo de 2017</b>

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	2/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			



	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	3/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Índice de prácticas

**Práctica No. 1 Vigas de concreto**

**Práctica No. 2 Columnas de concreto**

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	4/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Contenido

<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II .....</b>	<b>1</b>
<b>Índice de prácticas .....</b>	<b>3</b>
<b>PRÁCTICA No. 1 VIGAS DE CONCRETO. ....</b>	<b>6</b>
1.1 Objetivo:.....	6
1.2 Seguridad en la ejecución:.....	6
1.3 Consideraciones teóricas.....	6
1.4 Materiales y equipo.....	18
1.5 Desarrollo de la práctica: .....	18
1.6 Bibliografía: .....	19
<b>PRÁCTICA No. 2 COLUMNAS DE CONCRETO.....</b>	<b>22</b>
2.1 Objetivo:.....	22
2.2 Seguridad en la ejecución:.....	22
2.3 Consideraciones teóricas.....	22
2.4 Materiales y equipo.....	29
2.5 Desarrollo de la práctica: .....	31
2.6 Bibliografía: .....	34

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	5/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Práctica 1

## VIGAS DE CONCRETO

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	6/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## **PRÁCTICA No. 1 VIGAS DE CONCRETO.**

### **1.1 Objetivo:**

El alumno será capaz, al concluir esta práctica, de reconocer y definir los diferentes tipos de fallas en vigas de concreto reforzado, de acuerdo al porcentaje de acero contenido en sus secciones, tanto en tensión como en compresión.

### **1.2 Seguridad en la ejecución:**

En esta práctica, el personal del laboratorio y los alumnos no corren ningún tipo de riesgo debido a su carácter 100% demostrativa.

### **1.3 Consideraciones teóricas.**

Las vigas son elementos estructurales que transmiten cargas externas transversales a su eje, generando en ellas fuerzas cortantes y momentos flexionantes.

Se presenta un procedimiento para determinar la resistencia de elementos de concreto reforzado sujetos a flexión. Para tal efecto nos apoyaremos en las hipótesis que marcan las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (NTC-RCDF-17) que a continuación se enumeran.

Hipótesis para la obtención de resistencias de diseño, ver figuras 1.1 y 1.2.

- a) La distribución de deformaciones unitarias longitudinales en la sección transversal de un elemento es plana.
- b) Existe adherencia entre el concreto y el acero de tal manera que la deformación unitaria del acero es igual a la del concreto adyacente.

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	7/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- c) El concreto no resiste esfuerzos de tensión.
- d) La deformación unitaria del concreto en compresión cuando se alcanza la resistencia de la sección es 0.003.
- e) La distribución de esfuerzos de compresión en el concreto, cuando se alcanza la resistencia de la sección, es uniforme con un valor  $f'_c = 0.85f'_c$  hasta una profundidad de la zona de compresión igual a  $\beta_1 c$ . En donde c y otros parámetros se definen más adelante.

$\beta_1 = 0.85 ; \quad \text{si } f'_c \leq 28 \text{ MPa (280 kg/cm}^2\text{)}$ $\beta_1 = 1.05 - \frac{f'_c}{140} \geq 0.65; \quad \text{si } f'_c > 28 \text{ MPa}$ $\left( \beta_1 = 1.05 - \frac{f'_c}{1400} \geq 0.65; \quad \text{si } f'_c > 280 \text{ kg/cm}^2 \right)$
--

Fig. 1.1 Parámetro  $\beta_1$ , auxiliar para definir la profundidad del eje neutro.

La resistencia de elementos en flexión se logra calculando el momento resistente, que a su vez, se define a partir del par de fuerzas internas de compresión y tensión. Para calcular dichas fuerzas, debemos calcular los esfuerzos en ambos materiales, tomando en cuenta las hipótesis mencionadas anteriormente, que se resumen en la figura 1.2.

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	8/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

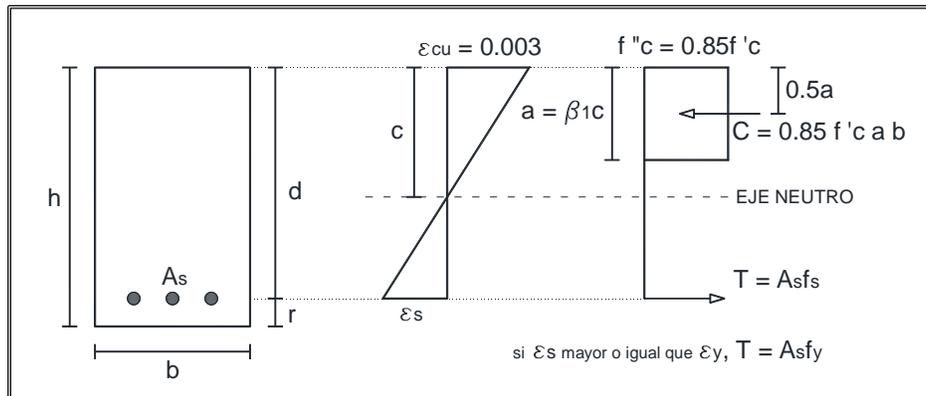


Fig. 1.2 Hipótesis de las NTC-RCDF-17 para la distribución de deformaciones y esfuerzos.

En donde:

$h$  = peralte total

$d$  = peralte efectivo

$r$  = recubrimiento

$b$  = ancho

$c$  = profundidad del eje neutro medida desde la fibra extrema en compresión

$a$  = profundidad del bloque equivalente de esfuerzos

$\epsilon_{cu}$  = deformación unitaria del concreto en la fibra superior de la sección

$\epsilon_s$  = deformación unitaria del acero de refuerzo al nivel del centroide del mismo

$f_s$  = Esfuerzo actuante en el acero de refuerzo

$f_y$  = Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo

$A_s$  = Area transversal de todo el acero de refuerzo

$f'c$  = Resistencia del concreto simple a la compresión

$f''c$  = Magnitud del bloque equivalente de esfuerzos en compresión

$C$  = Fuerza de compresión en el concreto

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	9/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

T = Fuerza de tensión en el acero de refuerzo

### Tipo de fallas en vigas.

**Falla por flexión.**- Analizaremos el caso de una viga con cargas puntuales aplicadas a los tercios del claro. En el tercio central no hay fuerza cortante debida a las cargas externas y la producida por el peso propio es mínima y se despreciará. Inicialmente aparecen grietas en la zona central, las cuales son en su mayor parte verticales y perpendiculares a las líneas del esfuerzo principal en tensión. Conforme se aumenta la carga externa, se desarrollan grietas adicionales en la región central del claro y las grietas iniciales se ensanchan y extienden con mayor profundidad hacia el eje neutro, haciendo notoria la deformación de la viga. Si la viga es subreforzada, la falla ocurre en forma dúctil por fluencia del refuerzo principal longitudinal de flexión. Este tipo de comportamiento proporciona suficiente advertencia del inminente colapso de la viga.

**Falla por tensión.**- Si el porcentaje de acero de la sección es bajo, el acero alcanza el esfuerzo de fluencia,  $f_y$ , antes que el concreto alcance su capacidad máxima. La fuerza del acero,  $A_s f_y$ , permanece constante a mayores cargas. Una ligera carga adicional ocasiona una elongación plástica grande del acero a través de las grietas de flexión, lo que produce un agrietamiento ancho y un aumento en la deformación en la fibra extrema a compresión del concreto. La distribución del esfuerzo de compresión en el concreto deja de ser lineal, lo que produce un aumento en el esfuerzo medio del bloque de esfuerzos de compresión, y una reducción en la profundidad del eje neutro, puesto que se debe mantener el equilibrio de las fuerzas internas.

La reducción de la profundidad del eje neutro provoca un ligero aumento en el brazo del par de fuerzas resistidas por el concreto a compresión y el acero a tensión, y por tanto en el momento. La resistencia a la flexión de la sección (momento máximo) se alcanza cuando la deformación en la fibra extrema a compresión del concreto,  $\epsilon_c$ , es aproximadamente 0.003; y comienza el aplastamiento en la región comprimida del concreto.

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	10/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

La Fig. 1.3 muestra los cambios en la forma del bloque de esfuerzos del concreto durante la carga hasta la resistencia a flexión.

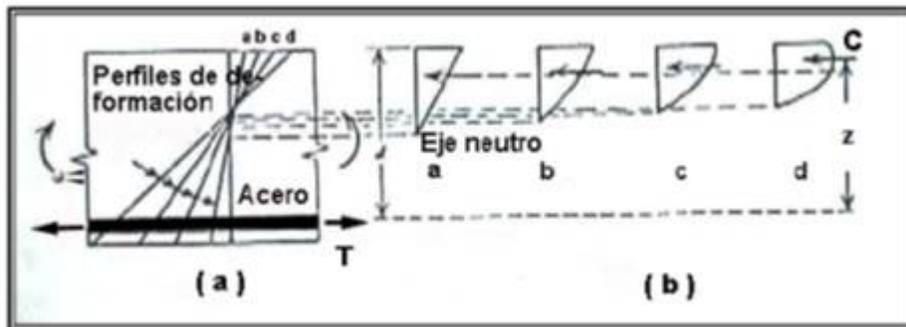


Fig. 1.3 Variación en los esfuerzos de compresión generados por flexión.

La Fig. 1.4 muestra una viga después de probarla hasta la falla. En la viga ha ocurrido una falla a flexión debida a un momento flexionante positivo. A este tipo de falla se le podría denominar más apropiadamente una “falla a tensión primaria”, ya que ésta se inicia por fluencia del acero a tensión. Sin embargo, por brevedad se utiliza el término “falla a tensión”, nótese que el acero no se fractura en la resistencia a flexión de la sección a menos que la cuantía de acero sea sumamente pequeña. Las deformaciones del acero muy altas, capaces de producir la fractura y están asociadas con profundidades sumamente pequeñas del eje neutro.

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	11/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			



Fig. 1.4 Viga ensayada con “falla a tensión”.

Para una falla a tensión,  $f_s = f_y$  y por equilibrio se debe cumplir que,

$$C = T$$

Fuerza resultante interna de tensión:

$$T = A_s f_y$$

Fuerza resultante interna de compresión:

$$C = 0.85 f'_c a b$$

**Falla por compresión.**- Si el contenido de acero sometido a tensión de la sección es grande, el concreto puede alcanzar su capacidad máxima antes de que fluya el acero. En tal caso aumenta considerablemente la profundidad del eje neutro, lo que produce un aumento en la fuerza de compresión y una reducción en el brazo del par. La resistencia a flexión de la sección se alcanza cuando la deformación unitaria en la fibra a compresión extrema del concreto es aproximadamente 0.003, entonces la sección falla repentinamente en forma frágil por aplastamiento.

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	12/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Puede haber poca advertencia visible de la falla, debido a que los anchos de las grietas de flexión en la zona a tensión del concreto en la sección de falla son pequeños, debido al bajo esfuerzo del acero.

Para una falla a compresión  $f_s < f_y$  ya que el acero permanece dentro del rango elástico. Se puede determinar el esfuerzo del acero en términos de la profundidad del eje neutro, considerando los triángulos semejantes del diagrama de deformaciones de la Fig. 1.3.

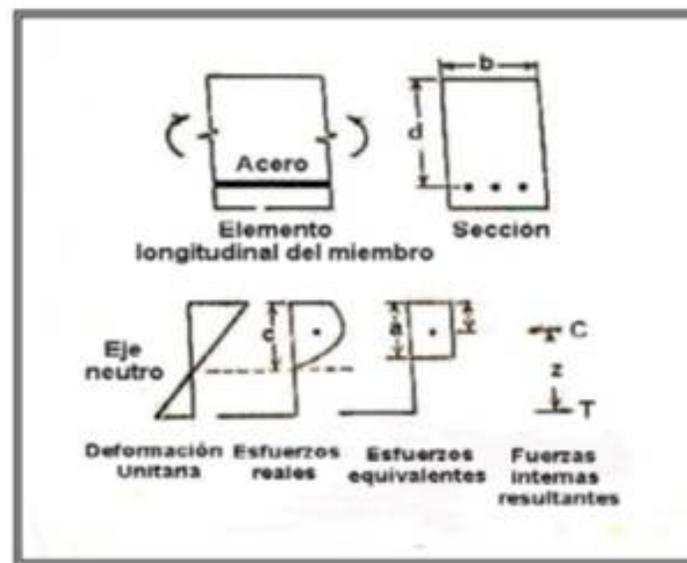


Fig. 1.5 Profundidad del eje neutro y esfuerzo en el acero.

**Falla balanceada.-** Para una cuantía específica de acero, éste alcanza su esfuerzo de fluencia  $f_y$  y simultáneamente el concreto alcanza la deformación a compresión de la fibra extrema de 0.003.

Se puede deducir una expresión teórica para la cuantía de acero de refuerzo en la condición balanceada  $p_b$  y compararla con la cuantía existente para conocer cómo será el tipo de falla. Si la

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	13/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

cuantía es menor que la balanceada se tendrá una falla en tensión, en caso contrario la falla será en compresión, en resumen:

Cuando  $p < p_b$  ocurre falla a tensión.

Cuando  $p > p_b$  ocurre falla a compresión.

En la figura 1.6 se muestran diferentes profundidades del eje neutro asociadas al esfuerzo actuante en el acero de refuerzo.

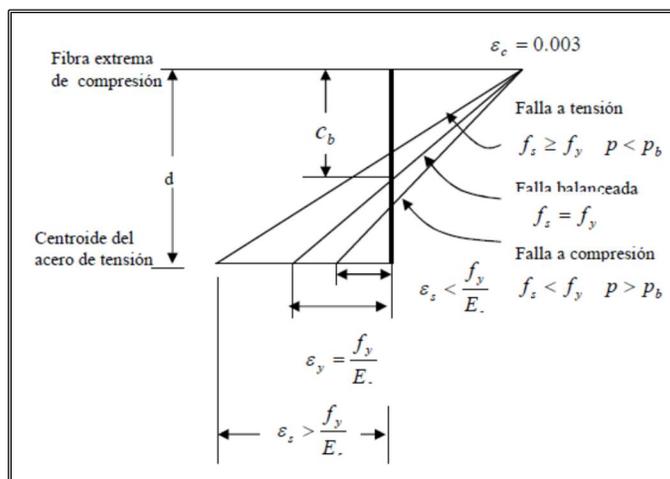


Fig. 1.6 Profundidad del eje neutro y deformaciones unitarias para fallas a tensión, balanceada y a compresión.

### Falla por tensión diagonal y cortante por flexión.

En los tramos de momentos flexionantes grandes y cortante pequeño, las grietas se desarrollan casi perpendicularmente al eje de la viga. A estas grietas se les llaman grietas de flexión. En las regiones de cortantes elevados debido a la tensión diagonal, se desarrollan grietas inclinadas como una extensión de grietas de flexión y se les llama grietas de cortante por flexión. En la Fig. 1.7 se presentan

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	14/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

los tipos de grietas esperados en una viga de concreto reforzado con o sin refuerzo por tensión diagonal.

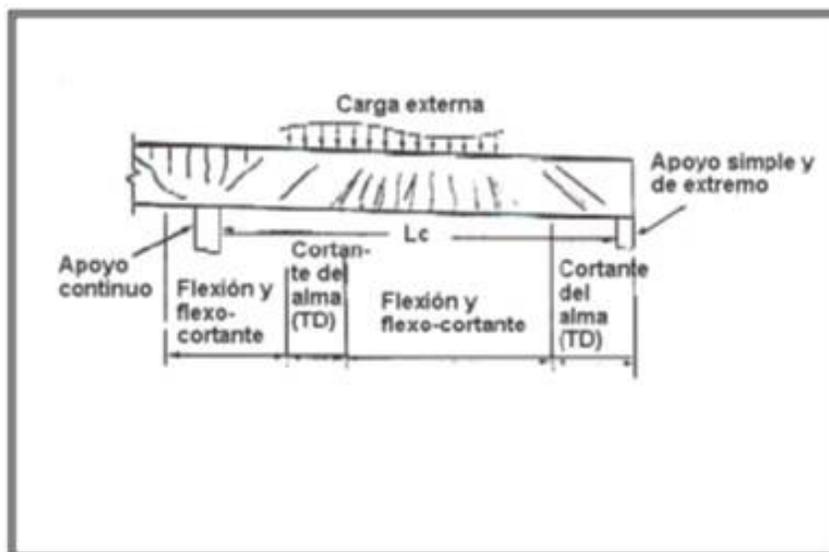


Fig. 1.7 Grietas de flexión y de cortante por flexión.

***Modos de falla de vigas sin refuerzo por tensión diagonal.***

El claro de cortante para una carga concentrada se define como la distancia entre el punto de aplicación de la carga y el paño del apoyo. Para cargas distribuidas, el claro de cortante es el claro libre de la viga. La esbeltez de la viga, esto es, su relación claro de cortante/peralte, determina el modo de falla de la viga. Fundamentalmente, ocurren cuatro modos de falla o sus combinaciones: (1) falla por flexión, (2) falla por tensión diagonal, (3) falla en compresión por cortante y (4) falla en cortante por adherencia. Cuanto más esbelta sea la viga, mayor será la tendencia hacia el comportamiento por flexión.

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	15/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

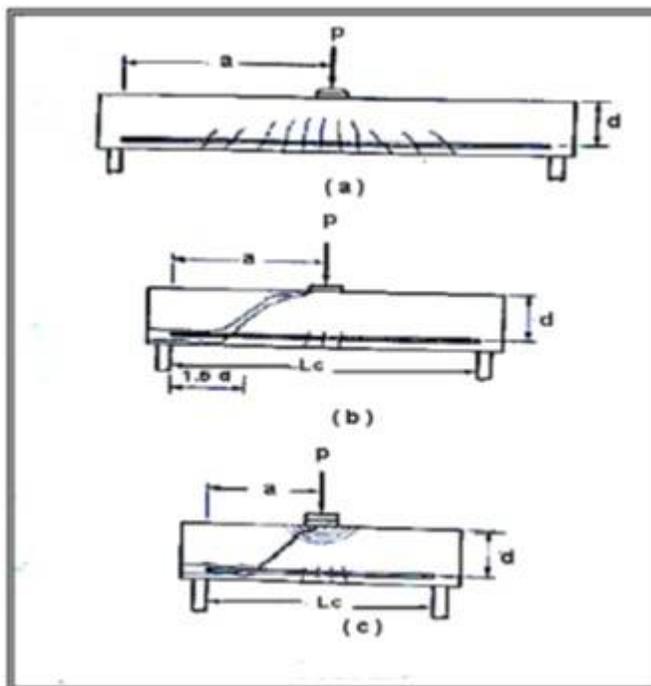


Fig. 1.8 Tipos de falla en vigas sujetas a flexión y cortante.

### Falla por tensión diagonal.

Esta falla se produce cuando la resistencia de la viga en tensión diagonal es menor que su resistencia en flexión. La relación claro de cortante/peralte es de magnitud intermedia. Tales vigas pueden considerarse de esbeltez intermedia. El agrietamiento comienza con el desarrollo de algunas grietas finas verticales de flexión en el centro del claro, seguida por la pérdida de la adherencia entre el acero de refuerzo y el concreto que lo rodea en la región del apoyo, sin llegar a la falla. Después de esto, dos o tres grietas diagonales se desarrollan a una distancia aproximada de 1.5 a 2 veces el peralte efectivo, desde el paño del apoyo, sin suficiente advertencia de la falla inminente. Conforme dichas grietas crecen, una de las grietas diagonales se ensancha hacia el interior de una grieta principal de tensión diagonal y se extiende hacia las fibras superiores de compresión de la viga, causando falla súbita, como se observa en la Fig. 1.9. Cabe señalar que en este modo de falla, esencialmente frágil, las grietas de flexión no se extienden en forma importante, pero llegan hasta el eje neutro, con lo cual se tienen deformaciones relativamente pequeñas en el instante de la falla.

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	16/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

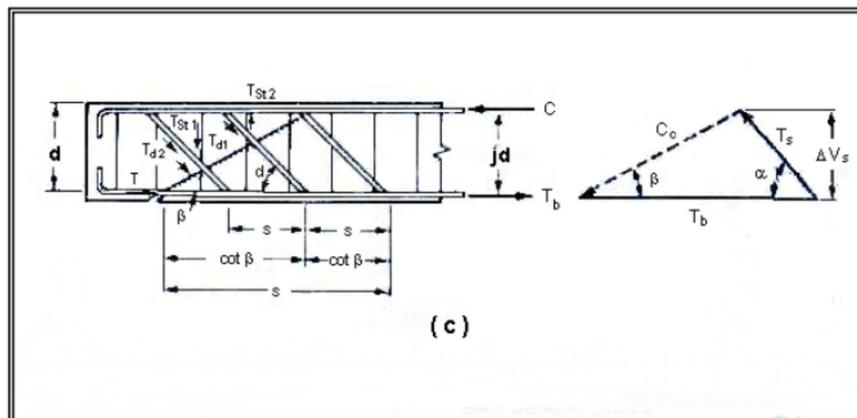
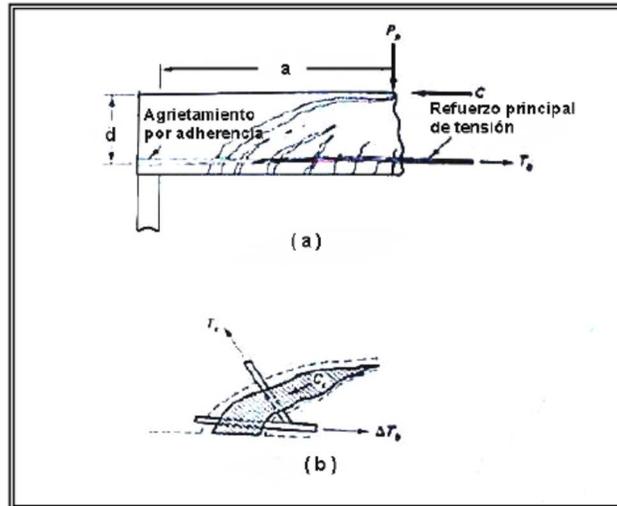


Fig. 1.9 Falla por tensión diagonal.

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	17/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### Falla en compresión por cortante.

Estas vigas tienen una relación pequeña de claro de cortante/peralte,  $a/d$ , de magnitud 1 a 2.5 para el caso de carga concentrada y menor de 5.0 para carga distribuida. Al igual que en el caso de tensión diagonal, algunas grietas finas de flexión comienzan a desarrollarse en el centro del claro y se detienen conforme ocurre la pérdida de la adherencia entre varillas longitudinales y el concreto que las rodea en la región del apoyo. Después de esto, una grieta más inclinada que la del caso de tensión diagonal se desarrolla en forma repentina y procede a propagarse hacia el eje neutro. En esta falla la grieta se estabiliza hasta que se aplasta el concreto y se produce el colapso. La falla repentina se produce en cuanto la grieta principal inclinada se une con la zona del concreto aplastado, como se muestra en la Fig. 1.9 (c). Este tipo de falla puede considerarse relativamente menos frágil que la falla por tensión diagonal, aun así es un tipo de falla frágil con advertencia limitada y un diseño como tal, se deberá evitar en su totalidad. La Tabla 1.1 resume el efecto de los valores de esbeltez en el modo de falla.

Tabla 1.1 Efecto de la esbeltez de la viga en modo de falla.

Relación claro de cortante/peralte como una medida de esbeltez <sup>a</sup>			
Categoría de la viga	Modo de falla	Carga concentrada $a/d$	Carga distribuida $l_r/d$
Esbelta	Flexión (F)	Excede 5.5	Excede 16
Intermedia	Tensión diagonal (TD)	2.5 - 5.5	11-16 <sup>b</sup>
De gran peralte	Compresión por cortante (CC)	1- 2.5	1.5 <sup>b</sup>

<sup>a</sup>  $a$  = claro de cortante para cargas concentradas

$l_r$  = claro de cortante para cargas distribuidas

$d$  = peralte efectivo de la viga

<sup>b</sup> Para una carga uniformemente distribuida se presenta una transición del efecto de viga de gran peralte

a viga intermedia.

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	18/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

### **Falla en cortante combinada con falla por adherencia.**

Cuando se flexiona la viga, tiende a presentarse un deslizamiento entre el acero de refuerzo longitudinal y el concreto que lo rodea. Se desarrollan grietas finas al centro del claro, y se detienen conforme ocurre la pérdida de adherencia entre las varillas longitudinales y el concreto en la región de apoyo. Una grieta más inclinada que la correspondiente a la tensión diagonal se desarrolla repentinamente, progresando hacia el eje neutro.

La falla se produce por adherencia, cuando esta grieta inclinada se ensancha excesivamente por el deslizamiento del acero longitudinal cerca de la región de apoyo.

### **1.4 Materiales y equipo.**

- 1- Viga de concreto con falla tipo subreforzada
- 2- Viga de concreto con falla tipo sobrerreforzada
- 3- Juego de diapositivas con el tema de vigas

### **1.5 Desarrollo de la práctica:**

Para justificar objetivamente los tipos de comportamiento y falla con diferentes tipos y niveles de refuerzo en vigas, se proyectan una serie de diapositivas obtenidas con este propósito en el Instituto de Ingeniería en el año 1960, y en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de ingeniería recientemente. En estas diapositivas es posible observar en diferentes instantes el comportamiento de las vigas, hasta llegar a su falla.

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	19/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			



Fig. 1.10 Ensayo de viga con falla a compresión.

### 1.6 Bibliografía:

TÍTULO: “INTRODUCCION A LA MECÁNICA DE SÓLIDOS”

AUTOR: Egor P. Popov

EDITORIAL: Limusa

EDICIÓN: Primera

TÍTULO: “MECÁNICA DE MATERIALES”

AUTOR: Robert W. Fitzgerald

EDITORIAL: Fondo Educativo Interamericano S.A. de C.V.

EDICIÓN: Primera

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	20/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

TÍTULO: “ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO”

AUTOR. R. Park y T. Paulay

EDITORIAL. Limusa

EDICIÓN. Primera

TÍTULO: “RESISTENCIA DE MATERIALES”

AUTOR: Ferdinand L. Singer y Andrew Heredia

EDITORIAL: Harla

EDICIÓN: Tercera

TÍTULO: “CONCRETO REFORZADO”

AUTOR: Edward G. Nawy

EDITORIAL: Prentice-Hall Hispano Americana

EDICIÓN: Primera

TÍTULO: “ENSAYE E INSPECCIÓN DE LOS MATERIALES DE INGENIERÍA

AUTOR: Hamer Earl Trokell, Clement W. Wiskocil

EDITORIAL: Compañía Editorial Continental, S.A.

EDICIÓN: Quinta impresión.

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	21/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Práctica 2

# COLUMNAS DE CONCRETO

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	22/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## PRÁCTICA No.2 COLUMNAS DE CONCRETO.

### 2.1 Objetivo:

El alumno calculará experimentalmente un diagrama de interacción para columnas de concreto reforzado sujetas a flexocompresión, definiendo cada una de las partes principales que lo componen.

### 2.2 Seguridad en la ejecución:

En esta práctica se colocará una rejilla o acrílico transparente durante el ensaye del cilindro de concreto simple y todas las ménsulas de concreto reforzado, para evitar que al momento de las fallas, algún trozo alcance al personal o a los alumnos.

### 2.3 Consideraciones teóricas.

Interacción entre carga axial de compresión y momento flexionante.

Primero se establecerá el concepto de interacción al analizar la resistencia de un elemento de concreto reforzado, sujeto a la acción combinada de carga axial de compresión y momento flexionante (flexocompresión). Consideraremos únicamente elementos cortos, en los que los efectos de esbeltez pueden despreciarse.

Para abordar el problema, se puede afirmar que la carga axial de compresión  $P$ , y el momento flexionante  $M$ , guardan una estrecha relación que se puede definir como la excentricidad,  $e$ , de la carga.

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	23/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

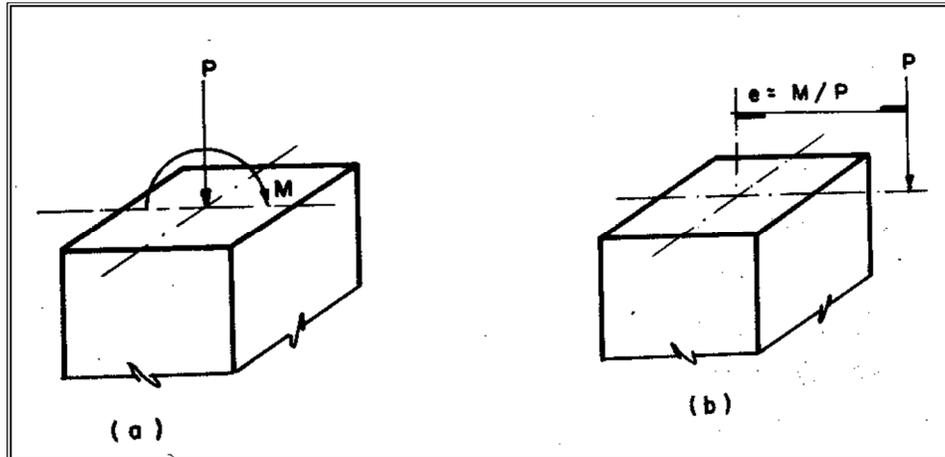


Figura 2.1 Elemento sujeto a flexocompresión.

En la figura 2.1-a se muestra la sección transversal de un elemento bajo la acción de  $P$  y  $M$ , y en la figura 2.1-b un sistema equivalente en el que la excentricidad es

$$e = M/P.$$

Cuando en una estructura  $M$  y  $P$  varían en la misma proporción en una sección transversal dada, la excentricidad  $e$ , permanece constante. Bajo estas condiciones, para una excentricidad constante y haciendo variar  $P$  de forma progresiva, uniforme y sin impacto, partiendo desde  $P=0$ , el valor de  $M$  varía en proporción directa a la variación de  $P$  (figura 2.1-b), es decir:

$$M = Pe$$

Esta igualdad representa la ecuación de una recta en la que  $M$  es función de  $P$  y  $e$  representa la pendiente de dicha recta.

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	24/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Análogamente, podríamos escoger una serie indefinida de excentricidades, para las cuales obtendremos diferentes combinaciones de  $P_R$  y  $M_R$ , desde una excentricidad  $e = 0$  en la que la resistencia está dada únicamente por la carga axial  $P_{RO}$ , hasta una excentricidad tan grande que se requiere un valor muy pequeño de  $P$  para llegar a la resistencia por flexión expresada por  $M_{RO}$  en el eje de las ordenadas. La unión de los puntos  $(P_{R1}, M_{R1})$ ,  $(P_{R2}, M_{R2})$  define a la línea  $R$  de la figura 2.2 como la resistencia del material, para un número infinito de combinaciones de  $P$  y  $M$ , a la que llamaremos “diagrama de interacción”.

En la figura 2.2 se muestra la gráfica de la ecuación anterior para una excentricidad  $e_2$  mayor que  $e_1$ .

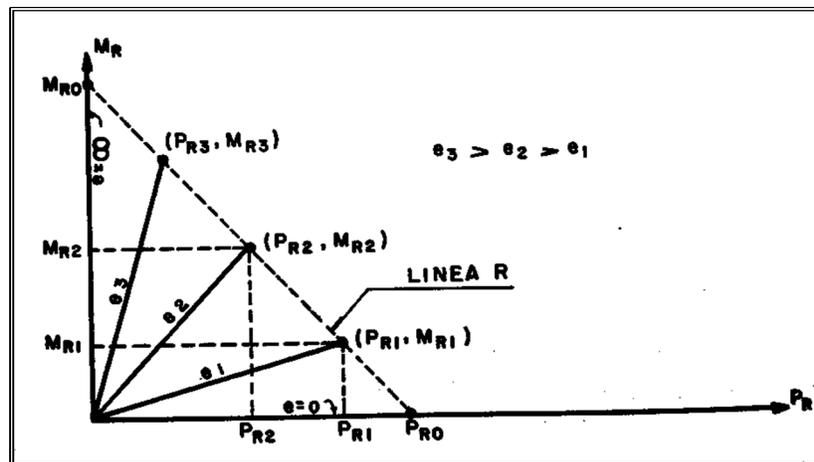


Figura 2.2 Gráfica de la ecuación  $M = Pe$ .

En esta figura se observa que el límite de cada recta lo representa la resistencia del material, es decir, cuando se presenta la falla. Los términos  $P$  y  $M$  se expresan como  $P_R$  y  $M_R$  respectivamente. Es importante mencionar que en la gráfica anterior se muestra el comportamiento de un material elástico lineal con la finalidad de comprender el concepto de diagrama de interacción. El concreto reforzado no tiene un comportamiento elástico lineal hasta la falla.

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	25/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Se concluye que un elemento puede alcanzar su resistencia bajo innumerables combinaciones de carga axial y momento flexionante. Estas combinaciones varían desde una carga axial máxima de tensión o compresión, y un momento nulo, hasta un momento en combinación con una carga axial nula.

Podríamos definir entonces al "diagrama de interacción" como el lugar geométrico de las combinaciones de carga axial y momento flexionante con las que un elemento puede alcanzar un estado de esfuerzos determinado, que generalmente es su resistencia última.

#### ***Diagramas de interacción en elementos cortos de concreto reforzado.***

Se presenta un procedimiento para determinar la resistencia de elementos cortos de concreto reforzado sujetos a flexocompresión, en los que no tienen problemas de esbeltez. Para tal efecto nos apoyaremos en las hipótesis que marcan las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (NTC-RCDF-17) que a continuación se enumeran.

Hipótesis para la obtención de resistencias de diseño, ver figura 2.3.

- a) La distribución de deformaciones unitarias longitudinales en la sección transversal de un elemento es plana.
- b) Existe adherencia entre el concreto y el acero de tal manera que la deformación unitaria del acero es igual a la del concreto adyacente.
- c) El concreto no resiste esfuerzos de tensión.
- d) La deformación unitaria del concreto en compresión cuando se alcanza la resistencia de la sección es 0.003.
- e) La distribución de esfuerzos de compresión en el concreto, cuando se alcanza la resistencia de la sección, es uniforme con un valor  $f'_c = 0.85f'_c$  hasta una profundidad de la zona de compresión igual a  $\beta_1 c$ . En donde  $c$  y otros parámetros se definen más adelante.

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	26/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

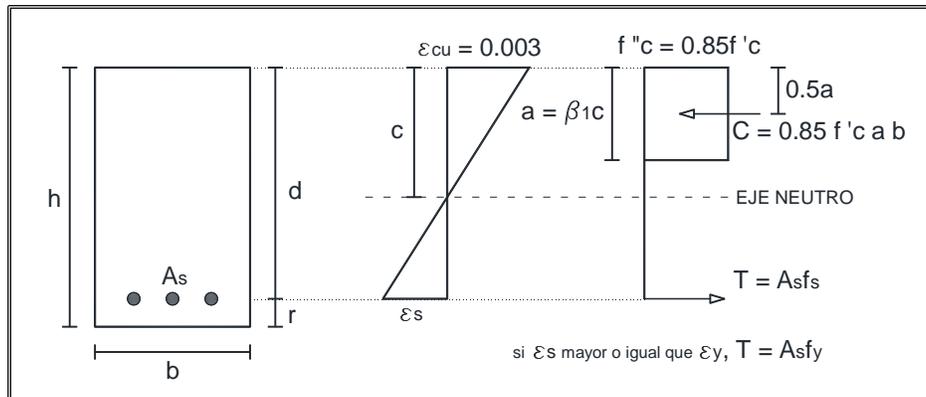


Fig. 2.3 Hipótesis de las NTC-RCDF-17 para la distribución de deformaciones y esfuerzos.

En donde:

$h$  = peralte total

$d$  = peralte efectivo

$r$  = recubrimiento

$b$  = ancho

$c$  = profundidad del eje neutro medida desde la fibra extrema en compresión

$a$  = profundidad del bloque equivalente de esfuerzos

$\epsilon_{cu}$  = deformación unitaria del concreto en la fibra superior de la sección

$\epsilon_s$  = deformación unitaria del acero de refuerzo al nivel del centroide del mismo

$f_s$  = Esfuerzo actuante en el acero de refuerzo

$f_y$  = Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo

$A_s$  = Area transversal de todo el acero de refuerzo

$f'c$  = Resistencia del concreto simple a la compresión

$f''c$  = Magnitud del bloque equivalente de esfuerzos en compresión

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	27/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

C = Fuerza de compresión en el concreto

T = Fuerza de tensión en el acero de refuerzo

El diagrama esfuerzo-deformación unitaria del acero de refuerzo ordinario, sea o no torcido en frío, puede idealizarse como se indica en la figura 2.4, en la que “ $E_s$ ” representa el módulo de elasticidad.

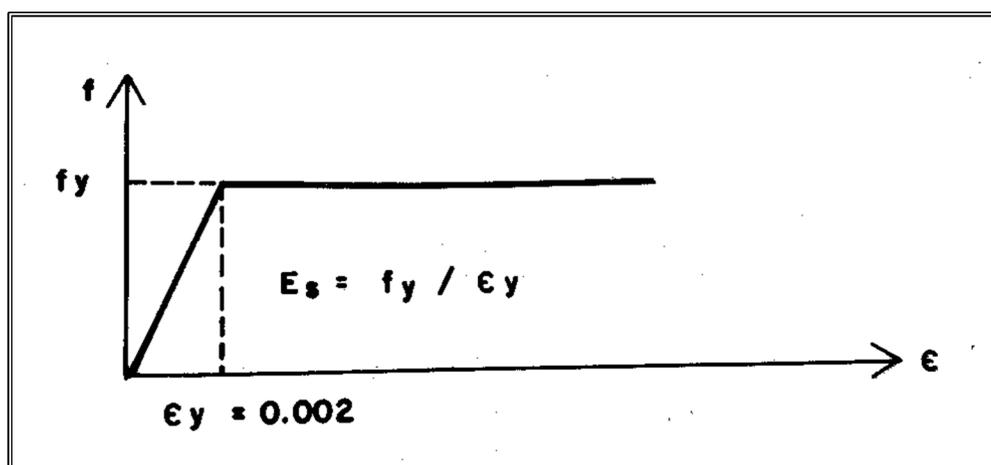


Figura 2.4 Diagrama esfuerzo-deformación unitaria idealizado para

acero de refuerzo ordinario,  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ .

Se dice que la falla es en tensión cuando el acero sujeto a tensión fluye antes de que el concreto alcance su deformación útil ( $\epsilon_{cu} = 0.003$ ), y la falla es en compresión cuando el concreto sujeto a compresión alcanza su deformación útil antes de que el acero en tensión alcance deformación de fluencia. Cuando la deformación útil del concreto se presenta simultáneamente con la deformación de fluencia del acero, se dice que la falla ocurre en una condición balanceada.

La figura 2.5 muestra un diagrama de interacción típico para una sección rectangular de concreto reforzado con acero colocado de forma simétrica en dos lechos, sujeta a carga axial y flexión en un solo plano.

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	28/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Materiales		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

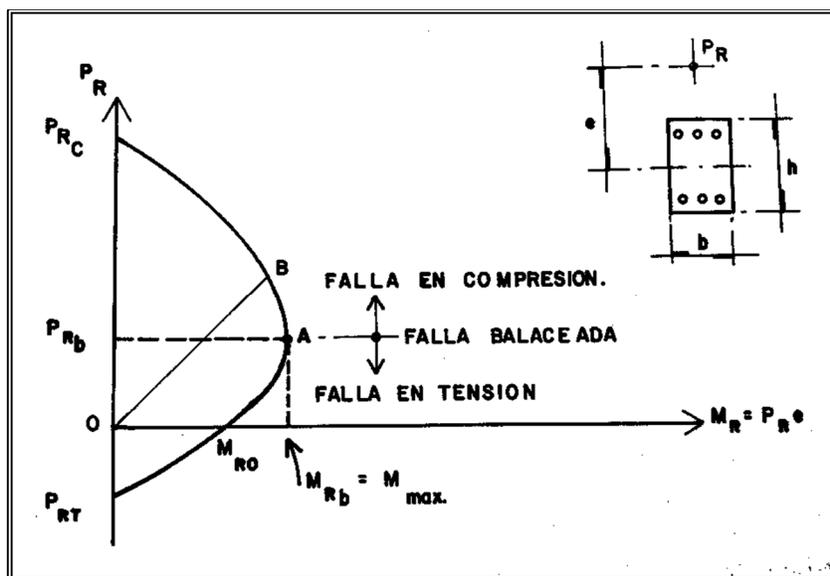


Figura 2.5 Diagrama de interacción para una sección rectangular

Cualquier punto sobre la curva del diagrama, representa una combinación de valores de carga axial y momento flexionante, con los cuales la sección alcanza su resistencia.

Obsérvese que, si la sección estuviera sujeta únicamente a carga axial de compresión y momento flexionante nulo, la carga máxima que podría aplicarse, es decir, su resistencia, correspondería al punto  $P_{RC}$ ; de la misma manera, resistencia a carga axial de tensión, queda representada por  $P_{RT}$ .

En el diagrama, el punto  $P_{RC}$  resulta mayor que  $P_{RT}$ , debido a que se considera que el concreto no aporta capacidad de tensión.

Si la sección estuviera sujeta solo a momento flexionante, el valor que esta podría resistir, sería el representado por  $M_{RO}$ ; sin embargo, el máximo momento flexionante que la sección es capaz de resistir, corresponde a una carga axial no nula.

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	29/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

El punto *A*, definido por  $M_{Rb}$  y  $P_{Rb}$ , es de singular importancia ya que representa la condición de falla balanceada de la sección. Cualquier combinación de  $P$  y  $M$ , que defina un punto en el diagrama por arriba del punto *A*, producirá una falla en compresión y, en caso contrario, falla en tensión. En la generalidad de los casos, el momento flexionante máximo que resiste una sección de concreto reforzado, sujeta a flexocompresión, es el correspondiente a la falla balanceada, esto es, en general,  $M_{Rb} = M_{MAX}$ .

## 2.4 Materiales y equipo.

- 1) Cilindros de concreto simple fabricado de acuerdo con NMX-C-083-ONNCCE-2014 (3 especímenes).
- 2) Columnas de concreto reforzado (10 x 10 x 45 cm) con armado longitudinal (4 varillas de 3/16"  $f_y = 5600 \text{ kg/cm}^2$ ) y armado transversal (estribos de 3/16"  $f_y = 5600 \text{ kg/cm}^2$  a cada 5 cm).
- 3) Columnas de concreto reforzado (10 x 10 x 45 cm) con armado longitudinal (4 varillas de 3/16"  $f_y = 5600 \text{ kg/cm}^2$ ) y armado transversal (estribos de 3/16"  $f_y = 5600 \text{ kg/cm}^2$  a cada 5 cm), y ménsulas en sus extremos (ver figura 2.6).
- 6) Máquina Universal (INSTRON, 400,000 lb)
- 7) Dispositivo para aplicar carga excéntrica

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	30/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			



Figura 2.6 Columna de concreto reforzado con ménsulas en sus extremos, para la aplicación de la carga excéntrica.

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	31/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 2.5 Desarrollo de la práctica:

Para el desarrollo de esta práctica, se realizarán 6 ensayos en total:

Ensayo No 1. Se determinará la resistencia ( $f'c$ ) del concreto simple con el que fueron coladas las columnas mediante el ensaye de un cilindro estándar de 15 cm de diámetro y 30 de longitud.

Ensayo No 2. Cálculo del punto  $P_1$  del diagrama de interacción (ver figura 2.8). Se ensayará una columna sin ménsulas para obtener el punto correspondiente a carga axial pura y momento flexionante nulo, colocando la resultante de cargas en el eje longitudinal de la columna, con una excentricidad igual a cero.

$$P = P_{max} ; M = 0 ; e = 0$$

Ensayo No 3. Cálculo del punto  $P_2$  del diagrama de interacción (ver figura 2.8). Se ensayará una columna con ménsulas para obtener un punto correspondiente a la zona de falla por compresión, por arriba del punto balanceado. Se colocará la resultante de cargas con una excentricidad de 2.5 cm respecto del eje longitudinal de la columna.

$$P \neq 0 ; M \neq 0 ; e = 2.5 \text{ cm}$$

Ensayo No 4. Cálculo del punto  $P_3$  del diagrama de interacción (ver figura 2.8). Se ensayará una columna con ménsulas para obtener otro punto correspondiente a la zona de falla por compresión, por arriba del punto balanceado. Se colocará la resultante de cargas con una excentricidad de 5 cm respecto del eje longitudinal de la columna.

$$P \neq 0 ; M \neq 0 ; e = 5 \text{ cm}$$

Ensayo No 5. Cálculo del punto  $P_4$  del diagrama de interacción (ver figura 2.8). Se ensayará una columna con ménsulas para obtener un punto correspondiente a la zona de falla por tensión, por abajo del punto balanceado. Se colocará la resultante de cargas con una excentricidad de 7.5 cm respecto del eje longitudinal de la columna.

$$P \neq 0 ; M \neq 0 ; e = 7.5 \text{ cm}$$

Ensayo No 6. Cálculo del punto  $P_5$  del diagrama de interacción. Se ensayará una columna sin ménsulas colocada de forma horizontal como viga simplemente apoyada, bajo una carga “F” concentrada al centro del claro y trabajando exclusivamente a flexión. Se registrará el momento

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	32/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

flexionante asociado a la falla ( $M_{max} = FL / 4$ ), para obtener un punto sobre el eje horizontal, donde la carga axial es nula ( $P = 0$ ). En este punto podemos considerar que la excentricidad tiende a infinito, ver figuras 2.7 y 2.8.

$$P = 0 ; M \neq 0 ; e \rightarrow \infty$$

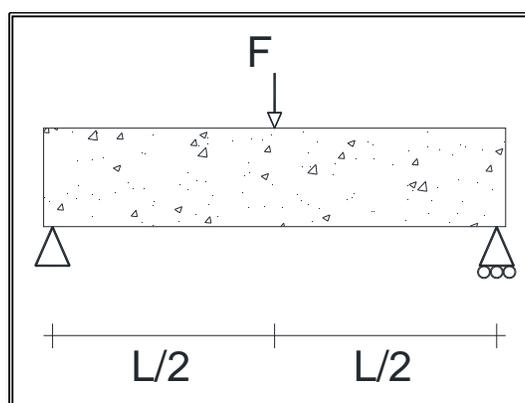


Figura 2.7 Configuración de viga simplemente apoyada con carga al centro del claro.

Finalmente se puede calcular de forma teórica el punto  $P_6$  del diagrama de interacción, que representa la resistencia de la columna a tensión pura, sin flexión, ya que de forma experimental sería muy difícil de implementar, ver figura 2.7. Conociendo la geometría y propiedades mecánicas del refuerzo, se puede multiplicar el área total de acero por su esfuerzo de fluencia para obtener dicha carga.

$$P = A_s f_y$$

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	33/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

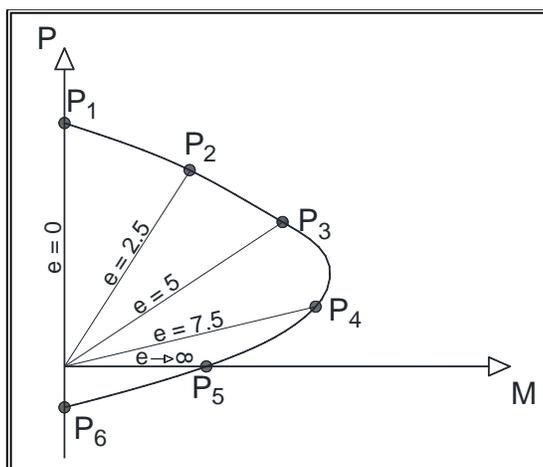


Figura 2.8 Diagrama de interacción a obtener de forma experimental.

Se llenará y graficará una tabla donde se resuman los resultados de carga axial ( $P$ ), excentricidad ( $e$ ) y momento flexionante ( $M$ ) obtenidos en los ensayos, como lo muestra la tabla 2.1.

Punto	P	e	M = Pe
	kg	cm	kg-cm
P1		0	
P2		2.5	
P3		5	
P4		7.5	
P5		$\infty$	
P6		0	

Tabla2.1 Resumen de los ensayos realizados.

Durante los ensayos de las columnas de concreto reforzado, como medida de seguridad, se deberá colocar la pantalla protectora de acrílico, para evitar que algún trozo de concreto sea lanzado hasta donde se encuentre el personal del laboratorio o los alumnos que presencian el experimento.

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	34/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 2.6 Bibliografía:

TÍTULO: “APUNTES DE MECÁNICA DE MATERIALES III”

AUTOR: Díaz Canales, Manuel

EDITORIAL: UNAM

EDICIÓN: Primera

TÍTULO: “INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE SÓLIDOS”

AUTOR: Egor P. Popov

EDITORIAL: Limusa

EDICIÓN: Primera

TÍTULO: “MECÁNICA DE MATERIALES”

AUTOR: Robert W. Fitzgerald

EDITORIAL: Fondo Educativo Interamericano S.A. de C.V.

EDICIÓN: Primera

TÍTULO: “ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO”

AUTOR: R. Park y T. Paulay

EDITORIAL: Limusa

EDICIÓN: Primera

TÍTULO: “RESISTENCIA DE MATERIALES”

AUTOR: Ferdinard L. Singer y Andrew Heredia

	<b>Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Materiales II</b>	Código:	MADO-45
		Versión:	01
		Página	35/35
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	30 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

EDITORIAL: Harla

EDICIÓN: Tercera

TÍTULO: “CONCRETO REFORZADO”

AUTOR: Edward G. Nawy

EDITORIAL: Prentice-Hall Hispano Americana

EDICIÓN: Primera