



**UNIVERSIDAD POPULAR AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE PUEBLA**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

---

**VIGAS DIAFRAGMA**

Trabajo de Investigación  
que para obtener el Título de

**INGENIERO CIVIL**

Presenta:

**Rodrigo Saradàn Franklin Aguilar**

Puebla, Pue., México

Septiembre de 2002



**UPAEP – Secretaría General**

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyła**

**Tesis Digitales Restricciones de uso:**

**DERECHOS RESERVADOS ©**

**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de textos, imágenes, gráficas, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Puebla, 10 de Septiembre de 2002

**M.I. Gerardo de J. López Arciga**  
**Responsable del Programa de Ingeniería Civil**  
**Presente**

Le informo que el alumno **Rodrigo Saradán Franklin Aguilar**, matrícula 70336, ha desarrollado el trabajo "Vigas diafragma", como requisito para la presentación de su examen profesional.

Dicho trabajo cumple con los objetivos establecidos al inicio del mismo, por lo cual no existe ningún inconveniente de mi parte en certificar su conclusión satisfactoria y autorizar su impresión.

Quedo a sus órdenes para cualquier aclaración.

**Atentamente,**

**"La cultura al servicio del pueblo"**

**M.I. José Manuel Cuatlatyotl Sarmiento**  
**Asesor**

## AGRADECIMIENTOS.

A mi Dios, que me ayuda a buscar ser una persona  
correcta y permitirme vivir feliz con mis seres  
queridos.

A mis padres, Faustino H. Franklin L. y Juana L. Aguilar H., que  
con su amor y apoyo incondicional me han formado en lo que soy.

A mis hermanos, Hírám, Markus, Juan Manuel, Rosalba, César,  
Salomé y Nadia, con los que he pasado los mejores días de mi vida.

A Marycarmen, Michi gracias por tu amor y comprensión.

Al M.I. José Manuel Cuatlayotl Sarmiento, por la dirección del presente trabajo.

# ÍNDICE.

<b>1. INTRODUCCIÓN.</b> .....	1
<b>1.1. OBJETIVO.</b> .....	2
<b>2. GENERALIDADES.</b> .....	3
<b>2.1 INTRODUCCIÓN.</b> .....	3
<b>1.2. CLASIFICACIÓN.</b> .....	4
<b>1.3. DEFINICIÓN.</b> .....	4
<b>3. LA VIGA DIAFRAGMA.</b> .....	7
<b>3.1 COMPORTAMIENTO.</b> .....	7
<b>3.1.1 Falla por cortante.</b> .....	9
<b>3.1.2 Falla por flexión.</b> .....	11
<b>3.1.3 Aplastamiento en el concreto.</b> .....	12
<b>3.1.4 Torsión.</b> .....	12
<b>4. DISEÑO DE LA VIGA DIAFRAGMA.</b> .....	15
<b>4.1 INTRODUCCIÓN.</b> .....	15
<b>4.2 FLEXIÓN.</b> .....	16
<b>4.3 FUERZA CORTANTE.</b> .....	17
<b>4.4 DISEÑO DE LA VIGA DIAFRAGMA.</b> .....	17
<b>4.4.1 Diseño de la viga diafragma por el             reglamento ACI 318-89.</b> .....	18
<b>4.4.2 Diseño de la viga diafragma por las Normas Técnicas             Complementarias NTC-2001.</b> .....	22
<b>4.4.3 Ejemplos de Diseño.</b> .....	28
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b> .....	34
<b>6. BIBLIOGRAFÍA.</b> .....	36
<b>ANEXO A.</b> .....	38

## **1. INTRODUCCIÓN.**

Una construcción u obra puede concebirse como un sistema, entendiéndose por sistema un conjunto de subsistemas y elementos que se combinan en forma ordenada para cumplir con determinada función. Un edificio, por ejemplo, está integrado por varios subsistemas: el de los elementos arquitectónicos para encerrar espacios, el estructural, las instalaciones eléctricas, las sanitarias, las de acondicionamiento de aire y los elevadores. Todos estos subsistemas interactúan de modo que en su diseño debe tenerse en cuenta la relación que existe entre ellos.

El subsistema estructural, estudia los elementos portantes y resistentes que determinan el sistema, como marcos rígidos, trabes, columnas, vigas, losas, etc. Este trabajo se enfoca a la viga diafragma, que es un elemento estructural que muy pocas veces es empleado en la construcción de edificaciones.

Las reducidas fuentes de información de las vigas diafragmas, han hecho que en algunas edificaciones que requieran éstas vigas, sean sustituidas por otros elementos resistentes, aumentando en ocasiones el costo y el tiempo de ejecución del proyecto.

Los reglamentos de construcción ACI 318-89 y las NTC-2001, incluyen disposiciones especiales para diseño de elementos de gran peralte o vigas diafragma, las cuales expresan en forma detallada los procedimientos de revisión y dimensionamiento.

La utilización de la viga diafragma como elemento estructural muestra otra alternativa eficiente para estructurar.

Comúnmente las vigas diafragma se encuentran especialmente cuando es necesario transferir grandes cargas concentradas de una a otra posición como en edificios de gran altura para permitir el desplazamiento de ejes de columnas, en depósitos, silos, tanques elevados rectangulares, muros de cerramiento, muros de cimentación, y en estructuras de cubierta del tipo placa plegada.

## **1.1 OBJETIVO.**

Presentar la información básica necesaria para el diseño de una viga diafragma, considerando la definición conceptual, el comportamiento estructural, así como planteamientos del diseño conforme a los reglamentos de construcción ACI 318-89 y NTC-2001.

Revisar algunas aportaciones de investigación experimental de vigas diafragma en la década 1990-2000.

## **2. GENERALIDADES.**

### **2.1 INTRODUCCIÓN.**

Es de importancia fundamental en la ingeniería la identificación de los elementos que forman a una estructura o su sistema estructural. Lo que nos permite conocer en forma cualitativa las características y el comportamiento estructural, que nos ayuda a diseñar con seguridad y economía.

Los elementos estructurales básicos son: elementos lineales, elementos planos y elementos de superficie curva.

Estos elementos nos sirven para idealizar la estructura como tal.

Dentro de los elementos lineales encontramos la viga, que es una barra sujeta a cargas normales a su eje.

## 2.2 CLASIFICACIÓN.

Las vigas se clasifican en varios grupos, dependiendo de la clase de apoyo que se utilice.

Si los soportes están en los extremos y son de pasador y otro de rodillo, se llama *simplemente apoyada*.

Si tiene sus dos extremos fijos o empotrados, se llama: *doblemente empotrada*.

Si es empotrada en un extremo y apoyada en el otro, se denomina *viga con restricción*.

Una viga empotrada en un extremo y libre en el otro se llama: *viga en voladizo*.

Si una viga sobresale de un extremo, se dice que tiene un extremo volado, por lo tanto una viga con ambos lados en volado se llama: *viga con dos voladizos*.

Si tiene apoyos intermedios a lo largo del claro, ésta viga recibe el nombre de: *viga continua*.

Además de clasificar las vigas de acuerdo al soporte, también se emplean términos descriptivos de la clase de carga; *vigas con carga concentrada* y *vigas con carga uniformemente repartida*.

Analíticamente los tipos de vigas que podemos encontrar son dos: vigas isostáticas y vigas hiperestáticas, las cuales su identificación solo sirve para el método de análisis a emplear.

## 2.3 DEFINICIÓN.

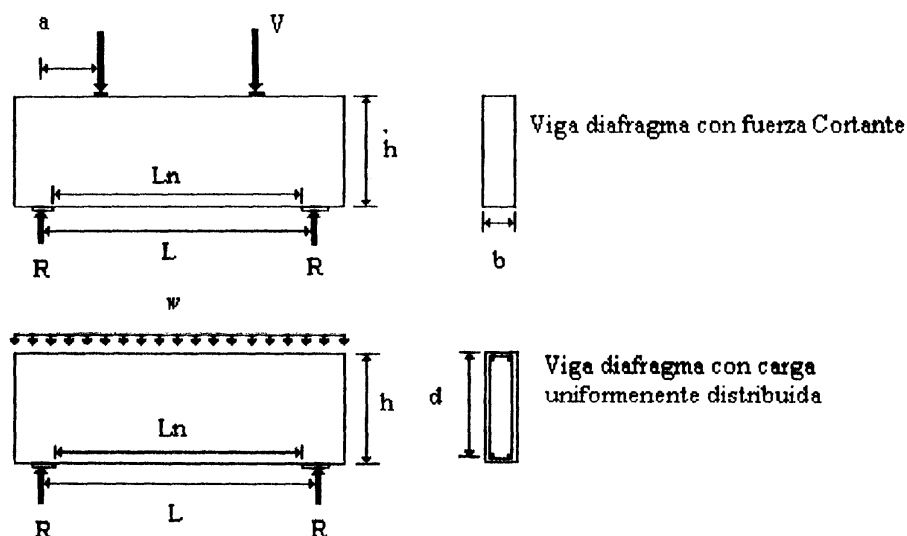
La viga diafragma, es un elemento estructural lineal, con dos dimensiones mayores a la tercera, el ancho en dirección perpendicular. La anchura mínima  $b$  de la sección está limitada por el riesgo de la inestabilidad lateral.

Las vigas diafragma son aquellas cuya relación claro-peralte total ( $l/h$ ) es del orden de 4 o menor.

Aquellas vigas cuyo claro  $L$  sea inferior a 2.0 veces el peralte total  $h$  de la pieza si se trata de vigas simplemente apoyadas, o 2.5 veces el peralte total  $h$  si se trata de vigas continuas.

Se considera como claro  $L_n$ , a la distancia entre ejes de apoyo, mientras no se sobrepase el 1.15 del claro  $L_n$ . En contraste a una viga continua ordinaria, el peralte de la viga diafragma es comparable con su claro.

Para el estudio de las vigas diafragma se han idealizado dos maneras de representar el mecanismo de acción de las fuerzas dependiendo de su estado de carga, con fuerza cortante y fuerza uniformemente distribuida.



$V$	=	Fuerza cortante.
$a$	=	Claro de cortante medido desde el centro del apoyo a la fuerza cortante.
$h$	=	Peralte efectivo.
$L_n$	=	Claro libre de un apoyo a otro.
$L$	=	Claro efectivo.
$b$	=	Espesor de la viga.
$d$	=	Peralte efectivo de la viga
$R$	=	Reacción.
$w$	=	Fuerza uniformemente distribuida.

Figura 2.1. Viga diafragma simplemente apoyada.

Solo unos pocos Códigos Nacionales incluían diseños para vigas diafragma. Por ejemplo; los Estándares Británicos BS8110<sup>1</sup>, el Eurocódigo EC2<sup>2</sup> para diseño de estructuras de concreto.

Actualmente los documentos que contienen diseños para vigas diafragma, se encuentran en el Código ACI; ACI 318-95<sup>3</sup>, el Código Canadiense; CAN A23.3-M84<sup>4</sup>, la Guía CIRIA<sup>5</sup> de la Unión Europea, y las Normas Técnicas Complementarias (NTC-2001).

Las vigas-diafragma o vigas pared, son verdaderos muros de cerramiento que descansan sobre una cimentación continua, las deformaciones de cortante predominan sobre las de flexión y la hipótesis de secciones planas no es aceptable.

Es un elemento de alta rigidez que se emplea cuando es necesario transferir grandes cargas concentradas de una a otra posición.

Este tipo de vigas se pueden utilizar en edificios de varios niveles que permiten el desplazamiento de ejes de columnas, en silos, muros de cimentación, tanques rectangulares y muros de cortante entre otros.

---

<sup>1</sup> *Structural Use of Concrete- Part 1: Code of Practice for Design and Construction*, BS 8110: 1985, British Standards Institution, London, 1985.

<sup>2</sup> *Euro code 2: Design of Concrete Structures. Part 1, General Rules and Regulations for Buildings*, English Edition, British Standards Institution, London, 1992.

<sup>3</sup> ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (318-95) and commentary (318R-95)", American Concrete Institute, Farmington Hills, 1995.

<sup>4</sup> Canadian Standards Association, "Design of Concrete Structures for Buildings (CAN3-A23.3-M84)", CSA, Rexdale, Ontario, Dec. 1984, 281 pp.

<sup>5</sup> CIRIA, "CIRIA Guide 2: *The Design of Deep Beams in Reinforced Concrete*", Ove Arup and Partners, Construction Industry Research and Information Association, London, 1977 (Reprinted with amendments, 1984).

### **3. LA VIGA DIAFRAGMA.**

#### **3.1 COMPORTAMIENTO.**

Las vigas diafragma, a causa de las proporciones de sus dimensiones, su resistencia tiende a ser controlada por cortante.

Su resistencia a cortante tiende a ser significativamente mayor a la obtenida con las ecuaciones usuales. Como consecuencia de los altos esfuerzos cortantes, se presenta un alabeo significativo de la sección transversal.

La resistencia a cortante en vigas diafragma puede ser hasta dos a tres veces mayor a la que se obtiene en las ecuaciones convencionales del Código ACI 318-89 y las Normas Técnicas Complementarias (NTC 2001) para elementos con dimensiones normales.

La *figura 3.1* muestra la distribución de esfuerzos horizontales a flexión a mitad del claro, que tiene distintas relaciones de claro-peralte ( $l/h$ ) cuando transmiten una carga uniformemente distribuida de intensidad ( $w$ ) por longitud unitaria.

El momento a mitad del claro es:

$$wl^2/8 \quad (3.1)$$

Y el esfuerzo de la fibra extrema a mitad del claro de un tablero cuadrado  $l/h = 1.0$  es:

$$f_t = f_c = 6M/bh^2 = 0.75w/b$$

También, indica que los esfuerzos de tensión en la fibra inferior son más del doble que ésta intensidad, ya que lo mismo ocurre para la distribución de esfuerzos cortante.

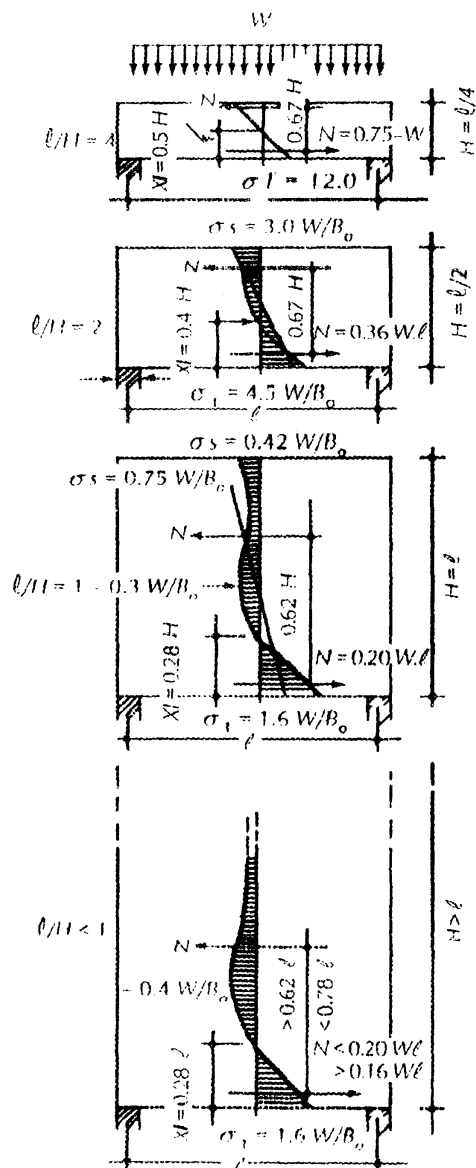


Fig. 3.1, Distribuciones elásticas de esfuerzos en vigas con diferentes relaciones ( $l/h$ ).

Los esfuerzos de flexión no se distribuyen linealmente ni en el intervalo elástico, y no se pueden aplicar los métodos usuales para el cálculo de esfuerzos y propiedades de la sección.

La resistencia a flexión puede predecirse con suficiente precisión utilizando los métodos empleados para vigas de dimensiones normales, la resistencia nominal  $M_n$ , el bloque rectangular de esfuerzos y sus parámetros pueden emplearse sin modificaciones.

Para vigas diafragma, la carga se transfiere en forma directa desde el punto de aplicación a los apoyos a través de puntales diagonales a compresión. Las grietas diagonales se forman en dirección paralela a una línea desde la carga hasta el apoyo. A causa de la orientación de los esfuerzos principales, el agrietamiento diagonal se presentará con ángulos de pendientes mayores de  $45^\circ$ .

El esfuerzo de las vigas diafragma difiere de las vigas normales, el acero principal a flexión se coloca cerca del borde de tensión, pero debido a la altura de la zona de tensión se recomienda distribuir el acero sobre el tercio inferior del elemento.

Es de importancia la adición de estribos verticales, pero tienden a ser menos efectivos que el acero horizontal en el alma, éste último es efectivo porque actúa en dirección perpendicular a la grieta diagonal, aumentando la transferencia de cortante.

Para el acero vertical en el alma, debe prestarse atención, ya que funciona como tendón para resistir las cargas suspendidas cerca del borde inferior.

### **3.1.1 Fallas por cortante.**

En las fallas por cortante, se forman grietas inclinadas antes de la falla, las cuales hacen que la viga trabaje como un arco atirantado.

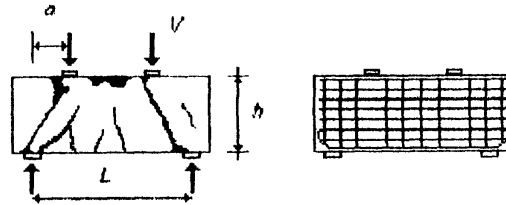


Fig. 3.2, Falla por cortante en vigas diafragma. Red de refuerzo vertical y horizontal.

Posteriormente se forman otras grietas inclinadas que definen la zona de compresión del concreto y que une a los apoyos de la viga con los puntos de aplicación de la fuerza. La zona de compresión del concreto falla al mismo tiempo que el deslizamiento por cortante de la zona no cargada de la viga, presentando rotura de la adherencia de las barras de acero longitudinales en los apoyos. La falla ocurre súbitamente produciendo un ruido sordo.

A pesar de contar con estribos, la grieta inclinada aparece.

Con la aparición de la grieta inclinada, las vigas diafragma presentan cierta ductilidad aún contando con pequeñas cantidades de estribos, lo que nos dice que la falla y el comportamiento son iguales a los de vigas sin estribos [Figura 3.2].

Para las vigas diafragma, se identifican comúnmente tres modos de falla: [Figura 3.3]

*La falla con desprendimiento, falla en diagonal crítica y falla de compresión por cortante.*

*La falla con desprendimiento;* normalmente existen más de una grieta inclinada, la porción de concreto entre las grietas inclinadas principales son debidas a la compresión. Este modo de falla es frágil y repentino.

Un modo de falla igualmente frágil, es el de *compresión por cortante;*

Este ocurre cuando la grieta inclinada se prolonga más hacia arriba. La falla es por aplastamiento sobre el concreto, acompañada por un ruido sordo.

*La falla en diagonal crítica,* es en comparación menos frágil, caracterizada por una grieta diagonal de un tamaño considerable marcando una línea que va desde el apoyo inferior al apoyo superior. En éste modo de falla, no se escucha ruido alguno.<sup>7</sup>

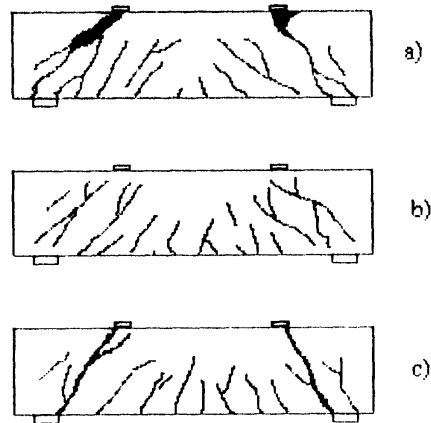


Fig. 3.3, Modos de falla; a) con desprendimiento, b) compresión por cortante, c) falla diagonal crítica.

### 3.1.2 Falla por flexión.

Como resultado al gran peralte de estas vigas, en el diseño estructural se obtienen relaciones relativamente pequeñas de refuerzo por flexión.

Debido a las fuerzas por flexión, el acero de refuerzo en la fibra inferior de la viga diafragma experimenta rotura longitudinal. Lo que nos presenta un problema al diseñar, la forma de distribuir el acero tanto vertical como horizontal, y dobleces del mismo.

El Comité ACI, muestra un enfoque más claro del comportamiento de la red de acero de refuerzo en vigas diafragma.

Revelan que incrementando la red de acero horizontal o vertical puede incrementar considerablemente la fuerza cortante última en las vigas.

Cuando la relación  $a/h$  sobrepasa 1.00, la red vertical de acero es más efectiva que la red horizontal.

Mostrando que la red de refuerzo debe diseñarse adecuadamente, ya que el acero horizontal inferior sufre rotura longitudinal posterior a las fallas del concreto.<sup>8</sup>

### 3.1.3 Aplastamiento en el concreto.

Los aplastamientos en las vigas diafragmas se forman generalmente por la falla del concreto debido a la transferencia de fuerza cortante o de flexión a lo largo y ancho de la viga.

En la *Figura 3.4*, se muestra el tipo de aplastamiento que sufre una viga con relación a su claro.

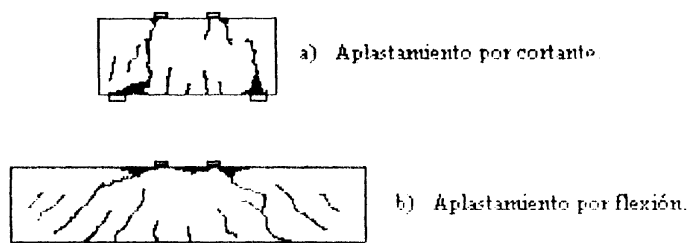


Fig. 3.4, Tipos de aplastamientos, debidos a fuerzas de cortante y flexión.

En la *figura 3.4,a*), se muestra una viga con relación baja de  $a/h$  de 0.25; el aplastamiento es caracterizado por un desprendimiento del concreto en los apoyos, seguidos por grietas diagonales que muestran la distribución de la fuerza cortante.

Para una relación de  $a/h$  entre 1.00 y 2.50 como en la *figura 3.4,b*), en aplastamiento ocurre en la fibra superior de la viga justo en el punto de aplicación de la fuerza cortante, éste aplastamiento es el resultado de que el claro es suficientemente grande y la viga al estar sometida a carga ocasiona que el acero en la fibra inferior empieza a fluir y debido a la flexión de la viga; el concreto en la fibra superior falla.

### 3.1.4 Torsión.

En la práctica, la torsión pura es raramente presente en miembros estructurales. Usualmente viene acompañada con otras acciones, flexión y cortante.

El estudio de la torsión en vigas se ha hecho mediante modelos teóricos en vigas poco peraltadas, sin embargo, para vigas diafragma, la teoría no había sido aplicada para evaluar la fuerza de torsión.

La principal distribución de esfuerzo en una viga diafragma sujeta a torsión pura es en compresión diagonal del concreto y esfuerzos de tensión.

Para vigas sujetas a torsión uniforme, el campo de transferencia de la fuerza es directamente sobre el apoyo, creando esfuerzos transversales de compresión a lo largo del eje horizontal de la viga. Estos esfuerzos transversales de compresión interactúan con los esfuerzos cortantes inducidos por torsión para formar un complicado campo de esfuerzos en la viga.

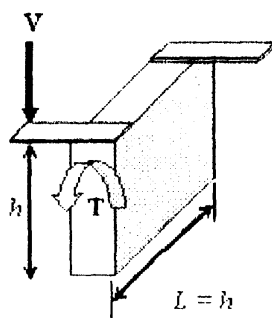


Fig. 3.5, Torsión en una viga diafragma.

Los esfuerzos de compresión transversal son máximos a lo largo de la línea de acción de la fuerza, y gradualmente disminuyendo cuando se mueve más allá la línea de acción.

Puesto que el ancho del bulbo en el campo de esfuerzo es igual a  $h/2$ , entonces para una relación de  $(L/h = 1.00)$ , un elemento a mitad del claro es sujeto a dos esfuerzos en ambos apoyos. Como  $(L/h)$  incrementa, el efecto de éste esfuerzo a compresión decrece. [Figura 3.5].

La fuerza de torsión para vigas diafragma incrementa como  $(L/h)$  decrece. Como en la figura 3.6,a). El incremento de la fuerza de torsión debido a la disminución de  $(L/h)$  es mayor para vigas con baja fuerza del concreto a compresión.

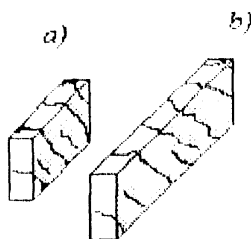


Fig. 3.6, Patrón de grietas en vigas diafragma, sujetas a fuerza de torsión.

La disminución significativa de  $(l/h)$  en vigas, incrementa la rigidez de torsión, así como la capacidad torsional.

Los efectos de la fuerza del concreto a compresión debida a la torsión, está dada por la resistencia misma del concreto ( $f'_c$ ).

La presencia de barras longitudinales en medio de la sección, contribuye al incremento de fuerza de torsión.

La presencia de barras longitudinales en medio de la sección, reduce el tamaño marginal de las grietas.

Los esfuerzos de compresión del concreto y los esfuerzos por tensión, causan la aparición de grietas diagonales a lo largo de los lados de la viga, y avanzando hacia arriba y luego hacia abajo en forma de espiral alrededor de la viga. [Figura 3.6,b)]. Las grietas en el concreto de alta resistencia en vigas diafragma tienen una característica diferente a las de concreto que no es de alta resistencia, ya que el concreto de alta resistencia es más frágil.

Al incrementar al fuerza de compresión del concreto incrementa la rigidez torsional remarcablemente al principio y aumentando marginalmente la capacidad torsional última.

<sup>7</sup> ACI STRUCTURAL JOURNAL, "Effect of Web Reinforcement on High-Strength Concrete Deep Beams", Vol.94, No. 5, September-October. Page. 578, Modes of failure.

<sup>8</sup> ACI STRUCTURAL JOURNAL, "Effect of Web Reinforcement on High-Strength Concrete Deep Beams", Vol.94, No. 5, September-October. Page. 573, Modes of failure.

## **4. DISEÑO DE LA VIGA DIAFRAGMA.**

### **4.1 INTRODUCCIÓN.**

El diseño estructural, como proceso creativo, contiene las diversas actividades que ayudan al Ingeniero Civil a definir las principales características de un proyecto. Así el proceso de diseño estructural se encarga de determinar los materiales que se utilizarán en la estructura en forma global (*Estructuración*), determinar las respuestas de la estructura ante las diferentes acciones externas (*Análisis*), revisar requisitos de seguridad y definir en detalle la estructura (*Dimensionamiento*).

Una de las principales características que debe cumplir un proyecto o una construcción son las de soportar las sollicitaciones durante las etapas de su existencia así como no sufrir fallas significativas debido a éstas últimas.

Una construcción u obra se considera como un sistema integrado por varios subsistemas, entre los subsistemas encontramos *el estructural* que se encarga de diseñar principalmente los elementos resistentes. Entre ellos tenemos las vigas.

El diseño estructural en las vigas diafragma no queda exento del proceso creativo. Para las vigas, dependiendo de la respuesta a fuerzas de cortante y flexión se determinan los materiales óptimos a utilizar, y el detallado final de la viga. Dando como resultado un elemento estructural diseñado en forma correcta.

## 4.2 FLEXIÓN.

El Código ACI especifica que para flexión, los elementos de gran peralte están definidos con relación entre el peralte total-claro mayor que 2/5 para los *claros continuos*, ó 4/5 para *claros sencillos*.

Las relaciones de refuerzo a flexión para vigas diafragma son generalmente pequeñas, por lo que se recomienda tomar en cuenta que para la relación de claro-peralte, el brazo de palanca interno es:

$$\begin{aligned} z = 0.60h & \quad \text{si } \frac{L}{h} > 1.0 \\ z = 0.60L & \quad \text{si } \frac{L}{h} < 1.0 \end{aligned} \tag{4.1}$$

Una vez determinado el valor del brazo de palanca el área de acero a flexión requerida es:

$$A_s = \frac{M}{f_y z} \tag{4.2}$$

El área de acero calculado con la fórmula (4.2), debe proporcionarse con diámetros pequeños, ya que el usar diámetros mayores y un número reducido de barras dificulta el anclaje.

En la zona de concreto a compresión los esfuerzos son pequeños, por lo que no es necesario revisarlos detalladamente.

### 4.3 FUERZA CORTANTE.

El esfuerzo cortante nominal en vigas diafragma, es mayor que el que pueden resistir las vigas largas. Debido a ésta suposición las Normas Técnicas Complementarias y el Reglamento ACI 318-89 presentan ecuaciones para calcular la resistencia a cortante así como el acero que se debe proporcionar para resistir las cargas aplicadas.

### 4.4 DISEÑO DE VIGAS DIAFRAGMA.

Para el diseño de vigas diafragma, se consideran dos enfoques.

El primero define por separado el diseño por flexión y el de cortante mediante ecuaciones empíricas contenidas en los reglamentos de construcción Código ACI 318-89 y NTC 2001. El segundo considera que la viga puede representarse como una armadura, [figura 4.1]. En éste enfoque se realizan los diseños por flexión y cortante simultáneamente. Las partes sombreadas, y las líneas diagonales indican las zonas en las que el concreto trabaja a compresión. Las líneas verticales forman los estribos que trabajan a tensión y la línea horizontal representa el acero de refuerzo longitudinal que trabaja análogamente a los estribos.

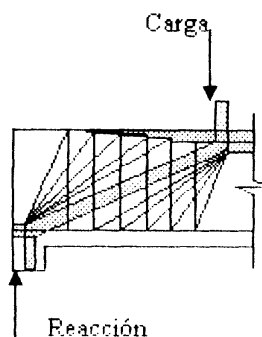


Figura 4.1. Analogía de la armadura en una viga diafragma.

Aunque éste parece ser un modelo considerablemente complejo, la armadura resulta estáticamente determinada al suponer que cada estribo está en fluencia, por lo que es posible determinar la distribución de carga entre el puntal mayor y las líneas diagonales ya que ambas trabajan a compresión...

#### 4.4.1 Diseño de vigas diafragma por el Reglamento ACI.

Para el diseño de vigas diafragma continuas y/o simplemente apoyadas, el reglamento ACI 318-89 presenta disposiciones generales para el cálculo de la resistencia a cortante en las vigas diafragma sujetas a flexión.

##### 1. Vigas diafragma simplemente apoyadas

Se calcula primeramente la fuerza cortante máxima factorizada

$$V_u = \phi V_n \quad (4.3)$$

donde:

$V_u$  es la fuerza cortante última.

$V_n$  es la fuerza cortante nominal.

$\phi$  factor de reducción, que vale 0.85.

La sección crítica se define

*Sección crítica*      $0.15L_n$      *para carga distribuida*

*Sección crítica*      $0.50a$      *para carga concentrada*

La fuerza Nominal  $V_n$  es:

$$V_n = \varphi (V_c + V_s) \quad (4.4)$$

donde

$V_c$  resistencia al cortante proporcionada por el concreto

$V_s$  resistencia al cortante proporcionada por el acero.

La resistencia cortante no debe tomarse mayor que:

$$L_n/d \leq 2 \dots V_n = 8 \sqrt{f'c} b_w d$$

$$L_n/d > 2 \dots V_n = \frac{2}{3} (10 + L_n/d) \sqrt{f'c} b_w d$$

$$L_n/d = 5 \dots V_n = 10 \sqrt{f'c} b_w d$$

La resistencia cortante  $V_c$  proporcionada por el concreto se calcula con las ecuaciones

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'c} b_w d \quad (4.5)$$

$$V_c = \left( 3.5 - 2.5 \frac{M_u}{V_u d} \right) \left( 0.5 \sqrt{f'c} + 176 \rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right) b_w d \quad (4.6)$$

para

$$\left( 3.5 - 2.5 \frac{M_u}{V_u d} \right) \leq 2.5$$

$$V_c \leq 16 \sqrt{f'c} b_w d$$

$M_u$  es el momento factorizado que se presenta en la sección crítica.

Es importante verificar que  $V_u$  sea menor que  $\varphi V_c$  [Ec. 4.5].

De lo contrario si  $V_u > \varphi V_c$ , es necesario calcular el esfuerzo del acero  $[\varphi V_s]$  y sumarlo a  $[\varphi V_c]$

La resistencia a cortante con refuerzos mínimos es:

$$V_s = (0.029 d - 0.001 L_n) b_w \frac{f_y}{12} \quad (4.7)$$

Considerando

$$A_v = 0.0015 b_w s_1 \quad (4.8)$$

$$A_{vh} = 0.0025 b_w s_2 \quad (4.9)$$

Si aún así la relación,  $V_u \leq \varphi (V_c + V_s)$  no se cumple se empleará la ecuación (4.6).

El reglamento ACI 318-89 recomienda la fórmula (4.10) cuando la relación entre la fuerza cortante externa y el valor de  $\phi V_c$  es mayor.

$$V_s = \left[ \frac{A_v}{s_1} \right] \left[ \frac{1 + L_n/d}{12} \right] + \left[ \frac{A_{vh}}{s_2} \right] \left[ \frac{11 - L_n/d}{12} \right] f_d d \quad (4.10)$$

para

$$A_v \geq 0.0015cds_1$$

$$s_1 \leq d/5 \quad \text{ó} \quad 45\text{cm}$$

$$A_{vh} \geq 0.0025bs_2$$

$$s_2 \leq d/3 \quad \text{ó} \quad 45\text{cm}$$

donde

$A_v$  = área de las barras verticales

$A_{vh}$  = área de las barras horizontales

$s_1$  = separación de las barras verticales.

$s_2$  = separación de las barras horizontales.

Se podría sugerir que para vigas diafragma simplemente apoyadas no es necesario el refuerzo por cortante, al menos que  $V_u$  exceda a  $V_c$ .

Sin embargo, el reglamento no recomienda los elementos de gran peralte sin refuerzo por cortante.

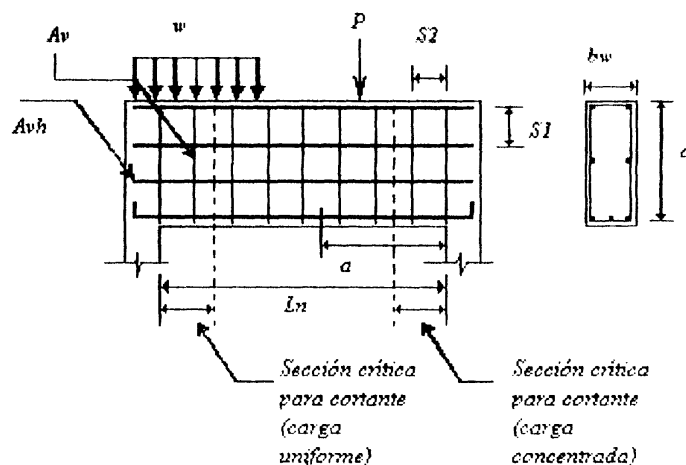


Figura 4.2 Detalle de diseño para vigas diafragma simplemente apoyada.

## 2. Vigas diafragma continuas.

El diseño por cortante para vigas diafragma continuas sujetas a flexión, es el mismo que para vigas de un claro. Para fines de análisis se emplearán nuevamente las ecuaciones [(4.3), (4.4)], y las condiciones de la fuerza cortante  $V_n$ , para vigas de un claro.

La contribución del concreto se expresa como

$$V_c = 2\sqrt{f_c} b_w d \quad (4.11)$$

$$V_c = \left( 0.5\sqrt{f_c} + 176 \rho_w \frac{V_n d}{M_u} \right) b_w d \quad (4.12)$$

Nuevamente verificar que  $V_u \leq \phi V_c$  [Ec. 4.5].

De lo contrario, es necesario calcular el esfuerzo del acero  $V_s = 0.0015 f_y b_w d$  y sumarlo a  $[\phi V_c]$ . Entonces la relación está dada por

$$V_u \leq \phi \left( 2\sqrt{f_c} b_w d + 0.0015 f_y b_w d \right) \quad (4.13)$$

De modo que la relación,  $V_u \leq \phi (V_c + V_s)$  no se cumple, se empleará la ecuación (4.12).

Para calcular una resistencia mayor al cortante del concreto y agregar refuerzo adicional, se usa la fórmula (4.14), lo que nos indica que se puede variar el cortante a lo largo de la longitud del claro. Al igual que para vigas ordinarias considere la proporción del refuerzo vertical y horizontal aplicando las fórmulas para  $A_v$  y  $A_{vh}$ .

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi f_y d} \quad (4.14)$$

$$s \leq \frac{d}{5}$$

En las vigas diafragma continuas, la resistencia al cortante  $V_n$  no debe tomarse mayor que:

$$\frac{L_n}{d} \leq 2 \dots \dots \dots V_n = 8\sqrt{f_c} b_w d$$

$$\frac{L_n}{d} > 2 \dots \dots \dots V_n = \frac{2}{3} \left( 10 + \frac{L_n}{d} \right) \sqrt{f_c} b_w d$$

#### 4.4.2 Diseño de vigas diafragma por Normas Técnicas Complementarias.

Si la cuantía de refuerzo es  $\rho = A_s/bd$  la resistencia a flexión de la viga diafragma se puede

$$\rho \leq 0.008$$

calcular con la expresión:

$$M_R = F_R A_s f_y z \quad (4.15)$$

##### 1. Vigas de un claro.

Para vigas de un claro, los valores del brazo de palanca interno se evalúan con las siguientes ecuaciones:

$$z = \left( 0.4 + 0.2 \frac{L}{h} \right) h \quad \text{si } 1.0 \leq \frac{L}{h} \leq 2.0$$

$$z = 0.6L \quad \text{si } \frac{L}{h} \leq 1.0$$

Para relaciones de  $(L/h)$  menor que 4.0, la resistencia del concreto está definida por:

$$V_{cR} = 0.5 F_R b d \sqrt{0.8 f_c} \quad (4.16)$$

$$V_{cR} = \left( 3.5 - 2.5 \frac{M_u}{V_u d} \right) 0.5 F_R b d \sqrt{0.8 f_c} \quad (4.17)$$

Donde  $V_{cR}$  no debe ser mayor que:  $V_{cR} \leq 1.5 F_R b d \sqrt{0.8 f_c}$

Los valores de  $M_u$  y  $V_u$  son el momento flexionante y la fuerza cortante que actúan en la sección crítica, respectivamente.

Si las cargas y reacciones no comprimen directamente las caras superior e inferior de la viga, se aplicará la ecuación (4.16) sin modificar el resultado.

De modo que si  $V_u > V_{cR}$ , luego entonces, la diferencia se tomará con refuerzo.

El refuerzo que se determine en la sección crítica se usará en todo el claro.

La sección crítica está definida por las siguientes relaciones:

*Sección crítica*  $0.15L$  *para carga distribuida*

*Sección crítica*  $0.50a$  *para carga concentrada*

En vigas donde las cargas y reacciones comprimen directamente caras opuestas. El refuerzo constará de estribos cerrados verticales y barras horizontales, cuyas contribuciones se determinan como:

1) Contribución del acero vertical.

$$V_{sv} = 0.083 F_R f_{yv} d A_v \frac{1 + \frac{L}{s_v}}{s_v} \quad (4.18)$$

donde

$A_v$  área de acero vertical comprendida en cada distancia  $s_v$

$f_{yv}$  esfuerzo de fluencia del acero  $A_v$ .

2) Contribución del acero horizontal.

$$V_{sh} = 0.083 F_R f_{yh} d A_{vh} \frac{11 - \frac{L}{s_h}}{s_h} \quad (4.19)$$

donde

$A_{vh}$  área de acero horizontal comprendida en cada distancia  $s_h$

$f_{yh}$  esfuerzo de fluencia del acero  $A_{vh}$ .

La contribución del acero de refuerzo se define como

$$V_s = V_{sv} + V_{sh}$$

La fuerza cortante última  $V_u$  no debe ser mayor que

$$V_u \leq 2 F_R b d \sqrt{0.8 f_c}$$

El refuerzo que se determine en la sección de momento máximo debe colocarse recto y sin reducción en todo el claro; debe anclarse en las zonas de apoyo de modo que sea capaz de desarrollar, en los paños de los apoyos, no menos del ochenta por ciento de su esfuerzo de fluencia, y debe estar uniformemente distribuido en una altura igual a  $\left(0.2 - 0.05 \frac{L}{h}\right)h \leq 0.2L$ , medida desde la cara inferior de la viga. [Figura 4.3].

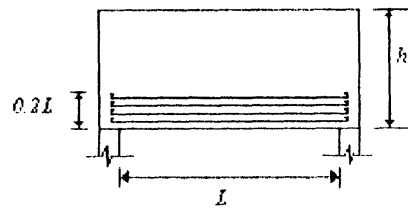


Figura 4.3. Disposición de refuerzo de flexión en una viga diafragma de un claro.

## 2. Vigas continuas.

Las vigas diafragma continuas se pueden diseñar por flexión con el procedimiento de las vigas de un solo claro;

Obteniendo los momentos resistentes como si la viga no fuera peraltada.

Calculando el área de acero con la ecuación

$$A_s = \frac{M_R}{F_R f_y z} \quad (4.20)$$

para

$$z = \left( 0.3 + 0.2 \frac{L}{h} \right) h \quad \text{si } 1.0 \leq \frac{L}{h} \leq 2.5$$

$$z = 0.5L \quad \text{si } \frac{L}{h} \leq 1.0$$

El refuerzo que se calcule con las ecuaciones [ (4.18) y (4.19) ] en la sección crítica, se usará en todo el claro de las vigas diafragma.

El refuerzo que se calcule con el momento positivo máximo de cada claro debe prolongarse recto en todo el claro en cuestión. Si hay la necesidad de hacer uniones, éstas deben localizarse cerca de los apoyos intermedios. El anclaje de este refuerzo en los apoyos y su distribución en la altura de la viga cumplirán con los requisitos de las vigas de un claro.

Al menos la mitad del refuerzo calculado para momento negativo en los apoyos debe prolongarse en toda la longitud de los claros adyacentes. El refuerzo restante negativo

máximo, en cada claro, puede interrumpirse a una distancia del paño del apoyo no menor que  $0.4h$ , ni que  $0.4L$ .

El refuerzo para el momento negativo sobre los apoyos debe repartirse en dos franjas paralelas al eje de la viga de acuerdo con lo siguiente.

Una fracción del área total, igual a  $0.5\left(\frac{L}{h} - 1\right)A_s$  debe repartirse uniformemente en una franja de altura igual a  $0.2h$  y comprendida entre las cotas  $0.8h$  y  $h$ , medidas desde el borde inferior de la viga. El refuerzo restante se repartirá uniformemente en una franja adyacente a la anterior, de altura igual a  $0.6h$ . Si  $L/h$  es menor que 1.0, se sustituirá  $L$  en lugar de  $h$  para determinar las alturas de las franjas señaladas [Figura 4.4].

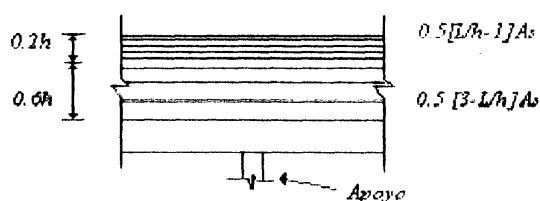


Figura 4.4, Franjas en que se distribuye el refuerzo negativo en una viga diafragma continua.

### 3. Refuerzo en los apoyos.

Para el diseño de los apoyos, las NTC, recomiendan aumentar en 10% el valor de las reacciones calculadas como si la viga no fuera peraltada.

De igual forma, las siguientes disposiciones son importantes para el correcto funcionamiento de las vigas.

Si las reacciones de la viga *comprimen* directamente se cara inferior, y ésta a su vez no está atiesada sobre los apoyos, la separación de las barras en estas zonas debe ser la mitad que en el resto de la viga. El refuerzo complementario vertical, se colocará en una franja limitada por la

sección del paño de ancho igual a  $0.2h$ , abarcando una altura de  $0.5h$  medido desde la cara inferior de la viga. Las barras complementarias horizontales que contiene al refuerzo interior de flexión, deben anclarse de modo que puedan alcanzar su esfuerzo  $f_y$ , la longitud dentro de la viga no debe ser menor que  $0.3h$ . [Figura 4.5a].

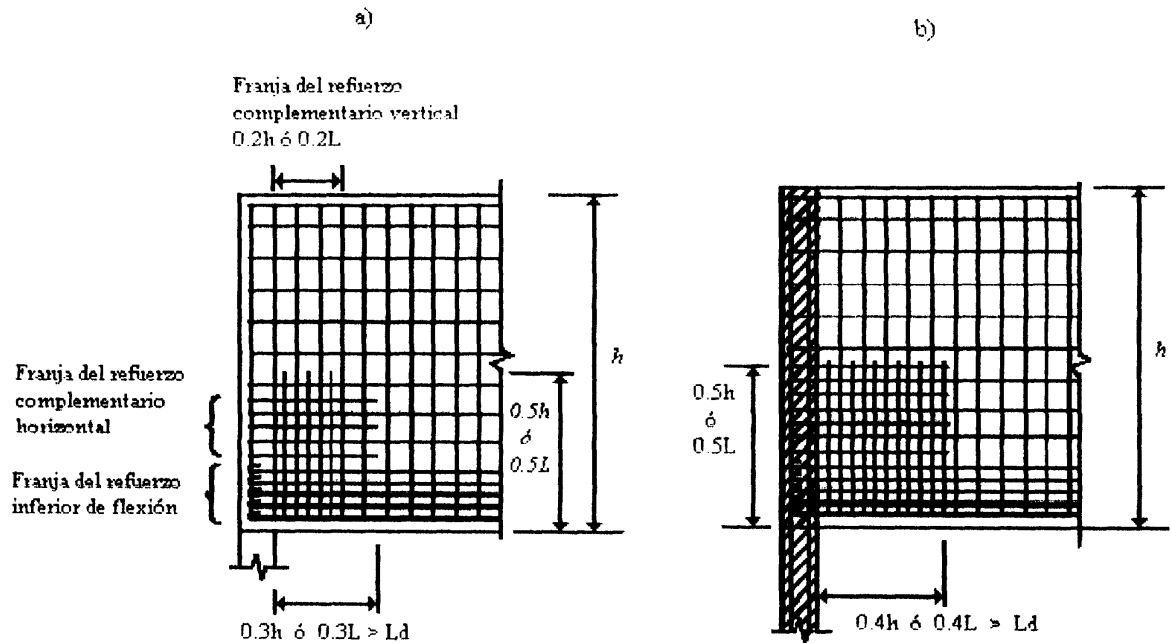


Figura 4.5. a) Refuerzo complementario en una zona de apoyo directo de una viga diafragma no atiesada. b) Refuerzo en una zona de apoyo indirecto.

Si las reacciones de la viga *no comprimen* directamente la cara inferior y ésta a su vez se transmite en el peralte o que la viga está atiesada en sus apoyos a lo largo de su peralte, se deben colocar dos mallas de barras verticales y horizontales en una zona limitada por un plano horizontal distante del borde inferior de la viga no menos de  $0.5h$ , y por un plano vertical distante de la sección del paño del apoyo no menor que  $0.4h$ . El área total de las barras verticales será la misma que la de las horizontales. [Figura 4.5b].

#### 4. Refuerzo de Vigas de acoplamiento.

Las vigas de acoplamiento, son vigas diafragma que unen muros sujetos a fuerzas horizontales en su plano,

Las NTC recomiendan el refuerzo para vigas con relación  $(l/h < 2.0)$  que unen muros sujetos a fuerzas inducidas por sismo. El refuerzo constará de dos grupos de barras colocadas simétricamente en diagonal, cada elemento diagonal estará formado de por lo menos cuatro barras sin uniones. Los lados de los elementos diagonales serán al menos de  $b/2$  de altura y  $b/5$  de ancho.

Los elementos diagonales se deberán anclar al muro respectivo a una longitud no menor de  $1.5l_d$ . Si los muros que unen tienen elementos extremos de refuerzo, la longitud de anclaje se reduce a  $1.2l_d$ .

Para determinar el área de acero longitudinal de cada diagonal se emplea la ecuación siguiente:

$$A_{sd} = \frac{V_u}{2f_R f_y \text{sen}\theta} \quad (4.21)$$

donde: el ángulo que forma el elemento diagonal con la horizontal está definido por  $\theta$ .

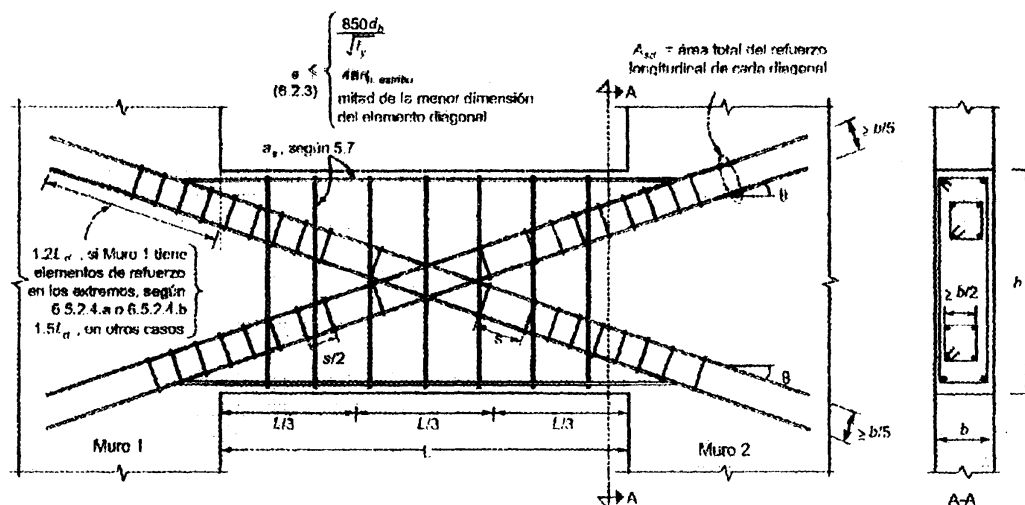
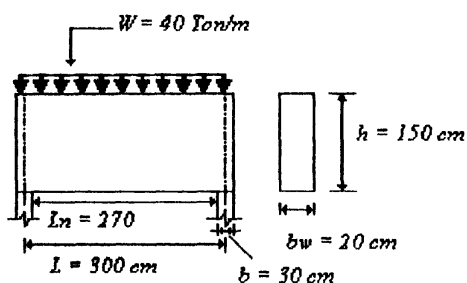


Figura 4.6. Refuerzo de una viga diafragma que une muros sujetos a fuerzas horizontales en su plano.

### 4.4.3 Ejemplos de diseño.

#### EJEMPLO 4.1

Diseño de una viga diafragma por el Reglamento ACI 318-89.



#### MATERIALES

Concreto,  $f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$

Acero,  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

$d = 136 \text{ cm}$

#### DISEÑO POR FLEXIÓN.

Verificando relación de claro-peralte con la ecuación [4.1].

$$\frac{L}{h} = \frac{300}{150} = 2.0 > 1.0$$

al ser una viga de un claro el brazo de palanca interno es

$$z = 0.60h \Rightarrow z = (0.60)(150) = 90 \text{ cm}$$

El momento a mitad del claro está dado por

$$M_u = \frac{w L^2}{8} \Rightarrow \frac{(40)(3.0)^2}{8} = 45 \text{ ton-m}$$

La fuerza cortante última es

$$V_u = \frac{w L}{2} \Rightarrow \frac{(40)(3.0)}{2} = 60.0 \text{ ton}$$

El área de acero necesaria es:

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y z} \Rightarrow \frac{(45 \text{ E}^5)}{(0.90)(4200)(90)} = 13.2 \text{ cm}^2$$

Usar 7 Ø del #5 [A<sub>s</sub> = 13.86 cm<sup>2</sup>]

### REVISIÓN POR FUERZA CORTANTE.

Considerando que la viga está sujeta a carga distribuida, la sección crítica será entonces

$$z = 0.15 l_n \Rightarrow (0.15)(270) = 40 \text{ cm} .$$

$$V_u = (60.0) - \left( w \left( z + \frac{b}{2} \right) \right) \Rightarrow 60 - 22 = 38 \text{ Ton}$$

$$M_u = 60 \left( z + \frac{b}{2} \right) - \frac{w \left( z + \frac{b}{2} \right)^2}{2} \Rightarrow 33.0 - 6.1 = 26.9 \text{ ton-m} .$$

Los valores de  $M_u$  y  $V_u$  son el momento flexionante y la fuerza cortante que actúan en la sección crítica, respectivamente.

$$\rho_w = \frac{A_s}{bd} \Rightarrow \frac{13.86}{(30)(136)} = 0.0034$$

la resistencia a fuerza cortante del concreto esta dada por la formula [4.6], entonces

$$\left( 3.5 - 2.5 \frac{26.9}{(38)(136)} \right) = 2.2 \quad \therefore 1 < 2.2 < 2.5 \quad \underline{OK}$$

$$V_c = \left( 3.5 - 2.5 \frac{26.9}{(38)(136)} \right) \left( 0.5 \sqrt{250} + (176)(0.0034) \frac{(38)(136)}{26.9} \right) (20)(136) = 54.4 \text{ Ton}$$

$$\phi V_c = (0.85)(54.4) = 46.2 \text{ Ton} \quad \therefore V_u < \phi V_c \quad \underline{\text{No se requiere refuerzo por cortante.}}$$

### REFUERZO MÍNIMO EN EL ALMA.

El refuerzo mínimo estará dado por las fórmulas [ (4.8), (4.9)]. Para refuerzo vertical y horizontal.

Para calcular la separación del acero de refuerzo vertical empleamos  $A_v = 0.98 \text{ cm}^2$  (2ramas)#2.5.

$$A_v = 0.0015 b_w s_1$$

$$0.98 = 0.0015(20)s \Rightarrow s = \frac{0.98}{0.03} = 32.6 \text{ cm}$$

$$s \leq \frac{d}{5} \text{ ó } 45.0 \text{ cm} \Rightarrow s = \frac{136}{5} = 27.2 \text{ cm}$$

$$\underline{27.2 < 32.6 < 45.0 \quad \therefore \quad s = 27.2 \text{ cm}}$$

Para la separación del acero de refuerzo horizontal empleamos  $A_{vh} = 0.98 \text{ cm}^2$  (2ramas)#2.5.

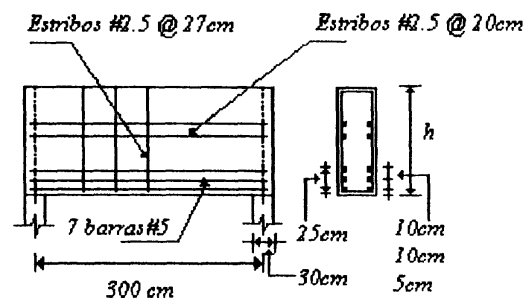
$$A_{vh} = 0.0025 b_w s_2$$

$$0.98 = 0.0025(20)s_2 \Rightarrow s_2 = \frac{0.98}{0.050} = 19.6 \text{ cm}$$

$$s_2 \leq \frac{d}{3} \text{ ó } 45.0 \text{ cm} \Rightarrow s_2 = \frac{136}{3} = 46 \text{ cm}$$

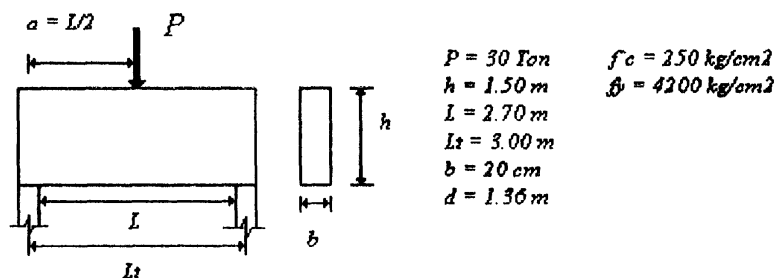
$$\underline{19.6 < 45 < 46 \quad \therefore \quad s = 20 \text{ cm}}$$

### DESCRIPCIÓN DE ARMADO.



**EJEMPLO 4.2**

Diseño de una viga diafragma por las Normas Técnicas Complementarias (NTC 2001).

**DISEÑO POR FLEXIÓN.**

$$\frac{L}{h} = \frac{270}{150} = 1.80 \Rightarrow 1.0 < 1.80 < 2.0 \text{ Ahora el brazo del par interno es:}$$

$$z = \left( 0.4 + 0.2 \left( \frac{270}{150} \right) \right) 150 = 114 \text{ cm}$$

$$V_u = \frac{30000}{2} = 15000 \text{ kg} \Rightarrow 15 \text{ Ton}$$

$$M_u = \frac{P L}{4} = \frac{(30000)(270)}{4} = 20.25 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

El área de acero necesaria

$$A_s = \frac{M_R}{F_R f_y z} = \frac{(20.25 \text{E}^5)}{(0.9)(4200)(114)} = 4.70 \text{ cm}^2$$

Usar 4 Ø del # 4 |  $A_s = 5.08 \text{ cm}^2$

### REVISIÓN POR FUERZA CORTANTE

$z = 0.5 \alpha \Rightarrow (0.5) \left( \frac{270}{2} \right) = 67.50 \text{ cm}$  Considerando que la carga es concentrada en el centro de la viga diafragma.

La carga y las reacciones comprimen directamente las caras inferior y superior de la viga diafragma. Para este estado de la viga se utiliza la fórmula [(4.17), de las NTC 2001].

$$V_{cR} = \left( 3.5 - 2.5 \left( \frac{20.25}{(15)(1.36)} \right) \right) (0.5)(0.9)(20)(136) \sqrt{(0.8)(250)} = 17.63 \text{ Ton}$$

Como  $V_u < V_{cR}$ , , No se requiere refuerzo por cortante.

### REFUERZO MÍNIMO EN EL ALMA.

El área de acero vertical y horizontal [ $A_v = 0.98 \text{ cm}^2$ ,  $A_{vh} = 0.98 \text{ cm}^2$ ], debe distribuirse de acuerdo a las disposiciones establecidas en las NTC-2001, para vigas-diafragma de un claro. En vigas donde las cargas y reacciones comprimen directamente caras opuestas. El refuerzo constará de estribos cerrados verticales y barras horizontales, cuyas contribuciones se determinan con las formulas [(4.18), (4.19)]:

$$V_{sv} = 0.083 F_R f_{yv} d A_v \frac{1 + L/d}{s_v} \Rightarrow V_u \leq V_{sv} + V_{sh}$$

$$V_u = V_{sv} \text{ y } V_u = V_{sh}$$

$$15000 = (0.083)(0.9)(4200)(136)(0.98) \left( \frac{1 + 270/136}{s_v} \right)$$

$$s_v = \left( 1 + \frac{270}{136} \right) \left( \frac{(0.083)(0.9)(4200)(136)(0.98)}{15000} \right) = 8.32 \text{ cm}$$

La separación del acero vertical es:  $s_v = 10 \text{ cm}$ .

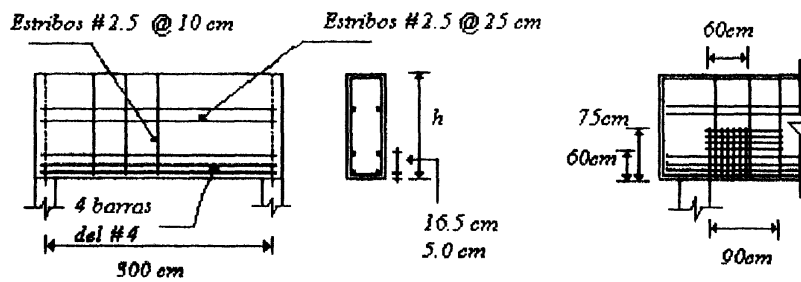
$$V_{sh} = 0.083 F_R f_{yh} d A_{vh} \frac{11 - L/d}{s_h}$$

$$s_h = \left( 11 - \frac{270}{136} \right) \left( \frac{(0.083)(0.9)(4200)(136)(0.98)}{15000} \right) = 25.13 \text{ cm}$$

La separación de acero horizontal es:  $s_h = 25 \text{ cm}$ .

El refuerzo complementario horizontal y vertical se distribuye como:

### DESCRIPCIÓN DE ARMADO.



## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

Es de gran utilidad que el Ingeniero este familiarizado con los aspectos más importantes del Diseño Estructural, con el fin de identificar de manera más precisa el tipo de elementos estructurales a utilizar, así como los procedimientos de análisis.

Es necesario identificar las diversas aplicaciones de las vigas diafragma, para poder así seleccionar el tipo, y la aplicación del método adecuado.

Para construcciones en México, es recomendable tomar en cuenta las disposiciones marcadas por las Normas Técnicas Complementarias (NTC-2001) para Vigas diafragma. Pero también no olvidarse de las disposiciones contenidas en el Reglamento ACI 318-89. Como ambas muestran enfoques basados en vigas de dimensiones normales, es de utilidad referirse a estudios realizados por el Comité ACI 318-95, el Código Canadiense CAN3-A23.3-M84, y la ACIRIA\_Guide.

En éstos estudios se muestran modelos especiales de laboratorio enfocados directamente a las vigas diafragma.

Con la información presentada en los capítulos precedentes se cumple el objetivo planteado en éste trabajo y se recomienda profundizar en el tema revisando con detenimiento los Anexos y las referencias indicadas en la bibliografía.

## 6. BIBLIOGRAFÍA.

- 1) González Cuevas Oscar, Fernández-Villegas Robles Francisco†.(2000).*aspectos fundamentales del concreto reforzado*. Tercera Edición.
- 2) Popov Egor P.. (1997). *Introducción a la mecánica de sólidos*. Segunda Edición.
- 3) Meli Piralla Roberto. (2000). *Diseño estructural*. Segunda Edición.
- 4) Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto, A.C. (1995). *Diseño de estructuras de concreto conforme al reglamento aci 318-89*. Primera edición.
- 5) Nilson Arthur H.. (1999). *Diseño de estructuras de concreto*. Duodécima Edición.
- 6) Park R., Paulay T.. (1994).*estructuras de concreto reforzado*. Primera Edición.
- 7) Páez Alfredo. (1986). *Hormigón armado \*\**. Primera Edición.
- 8) Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto, A.C. (1991). *Reglamento de las construcciones de concreto reforzado (aci 318-89) y comentarios (aci 318r-89)*. Primera Edición.

- 9) Propuesta de Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto. (Abril 2001). Vigas diafragma.
- 10) Ashour Ashraf F.. (1997). *Tests of Reinforced Concrete Continuous Deep Beams*. ACI Structural Journal, V.94, No. 1, January-February.
- 11) Tan Kang-Hai, Kong Fung-Kew, Teng Susanto, Weng Li-Wei. (1997). *Effect of Web Reinforcement on High-Strength Concrete Deep Beams*. ACI Structural Journal, V.94, No. 5, September-October.
- 12) Tan Kang-Hai, Kong Fung-Kew, Teng Susanto, Lu Hai-Yun. (1997). *Main Tension Steel in High Strength Concrete Deep Beams and Short Beams*. ACI Structural Journal, V.94, No. 6, November-December.
- 13) Tan Kang-Hai, Kong Fung-Kew, Weng Li-Wei. (1998). *High-Strength Reinforced Concrete Deep Beams: Shear Design Equations in North America and UK Practice*. ACI Structural Journal, V.95, No. 3, May-June.
- 14) Tan K. H, Lu H. Y.. (1999). *Shear Behavior of Large Reinforced Concrete Deep Beams and Code Comparisons*. ACI Structural Journal, V.96, No. 5, September-November.
- 15) Ashour Samir A., Samman Tamim A., Radain Talal A.. (1999). *Torsional Behavior of Reinforced High-Strength Concrete Deep Beams*. ACI Structural Journal, V.96, No. 6, November-December.
- 16) Hwang Shyh-Jiann, Lu Wen-Yao, Lee Hung-Jen. (2000). *Shear Strength Prediction for Deep Beams*. ACI Structural Journal, V.97, No. 3, May-June.

## **ANEXO A.**

### **Prueba para vigas diafragma continuas de concreto reforzado.**

*ACI STRUCTURAL JOURNAL.*

*Vol. 94, No. 1, January-February 1997.*

Los parámetros principales a considerar son claro-peralte, tipo de mallas de refuerzo y el refuerzo longitudinal principal. La malla de refuerzo vertical tiene mayor influencia de capacidad a cortante que la malla de refuerzo horizontal. La falla es iniciada principalmente por una grieta diagonal a mitad del claro, prolongada a través de el punto de aplicación de la fuerza a los apoyos. La comparación entre los resultados de la prueba y los resultados de los códigos actuales ACI Building Code (318-89) y la CIRIA Guide 2, muestran pequeñas semejanzas.

### **Efecto de la malla de refuerzo en Vigas diafragma de concreto de alta resistencia.**

*ACI STRUCTURAL JOURNAL.*

*Vol. 94, No. 5, September-October 1997.*

Los resultados de la investigación experimental sobre el comportamiento y la fuerza cortante última de 18 vigas diafragma de concreto de alta resistencia son resumidos.

La fuerza de compresión de los cilindros de concreto  $f'_c$  están entre los rangos de 500 a 850 kg/cm<sup>2</sup>. Los especímenes de prueba fueron divididos en tres series basados en la relación de claro-peralte. Cada serie consta de seis vigas con diferente arreglo de mallas de refuerzo vertical y horizontal. Las observaciones fueron hechas a mitad del claro, deflexiones, ancho de las grietas, modos de falla y fuerzas últimas. Los resultados muestran que para vigas con relación ( $L/h$ ) que excede de 1.00 y a  $d \sim 1.13$ , la mallas de refuerzo vertical es más efectiva que la malla de refuerzo horizontal. Esto también muestra que la malla de refuerzo ortogonal comprendiendo ambos refuerzos horizontal y vertical es lo más eficiente ya que se incrementa la rigidez de la viga. Restringiendo el ancho de las grietas diagonales y la fuerza cortante última.

### **Tensión principal del acero en vigas diafragma de concreto de alta resistencia.**

*ACI STRUCTURAL JOURNAL.*

*Vol. 94, No. 6, November-December 1997.*

Veintidós vigas diafragma de concreto reforzado con fuerza de compresión igual a 500kg/cm<sup>2</sup>, fueron probadas con fuerzas aplicadas en dos puntos simétricos en las caras superior e inferior de la viga. Basándose en las cuantías de acero, organizadas en cuatro grupos con  $\rho_w = 2.00$ , 2.58, 4.08 y 5.80 (en porcentaje). Y probadas para diferentes relaciones de ( $a/h$ ) de 0.25 a 2.50, equivalente a  $a/d = 0.28$  a 3.14. Esto muestra que para la relación de  $a/d$  domina los modos de falla, mientras el efecto benéfico de la cuantía de acero es más significativo para las relaciones bajas de  $a/d$ . Para  $a/d \sim 1.50$ , la influencia principal del acero declina, excepto para valores particularmente altos de 5.80, donde el incremento relativo de fuerza cortante debido a que el acero principal permanece constantemente alto, a pesar de  $a/d$ .

Los resultados de la prueba, son también comparados con predicciones basadas en los códigos actuales del ACI, el Código Canadiense y la CIRIA Guide 2.

**Vigas diafragma de concreto de alta resistencia: ecuaciones de diseño por cortante en Norte América y UK.**

*ACI STRUCTURAL JOURNAL.*

*Vol. 95, No. 3, May-June 1998.*

El uso de vigas diafragma de concreto de alta resistencia en edificios de gran altura están ganando popularidad rápidamente y empezarán a emplearse para su diseño ecuaciones apropiadas. Este papel muestra nuevamente las ecuaciones de diseño que nos da el Código ACI, el Código Canadiense y la CIRIA Guide. Una forma modificada de las ecuaciones de la CIRIA Guide es estudiada, y ésta a su vez predice valores que son comparados con valores experimentales. La comparación envuelve a 233 vigas diafragma, fuera de las cuales 57 especímenes fueron probados en casa. El estudio muestra que la ecuación modificada de la CIRIA Guide, nos da el más pequeño coeficiente de variación. La ecuación es también aplicable para un rangos comparablemente anchos  $a/d$ , fuerzas del concreto, radios de acero principal, y tipos de mallas de refuerzos.

**Comportamiento a cortante en vigas diafragma de concreto reforzado y comparación de Códigos.**

*ACI STRUCTURAL JOURNAL.*

*Vol. 96, No. 5, September-October 1999.*

Un total de 12 tamaños de vigas, largo y mediano, de especímenes con altura  $h$  igual a 500 a 1750mm y claro efectivo  $L_n$  de 1500 a 4520mm fueron probados a la falla bajo dos puntos simétricos en ambas caras de la viga. Las vigas tuvieron fuerza de compresión en los cilindros de  $f_c$  igual a 400kg/cm<sup>2</sup> y un porcentaje de 2.6 en el acero principal.

Los resultados revelaron que el esfuerzo cortante último depende del tamaño del elemento y que la ley de Bazant puede describir mejor el efecto del tamaño. Por otra parte, el esfuerzo de la grieta diagonal depende fuertemente del tamaño de la viga. Al igual que para los modos de falla, frágil para vigas largas en comparación con las vigas cortas.

Algunas explicaciones verosímiles están dadas por el aumento de tamaño en las vigas diafragma. Esto puede presentarse para diferentes razones, liberación de energía de fractura asociada con propagación de grietas en vigas de diferentes tamaños. Esto demuestra para el patrón de grietas de vigas geoméricamente similares con el mismo esfuerzo cortante, donde es obvio que la grieta fue más grande en especímenes largos.

Los 12 resultados de la prueba son entonces comparados con los códigos recientes ACI, UK CIRIA Guide 2, y el Código Canadiense. Los estudios de comparación muestran que mientras las predicciones del Código ACI no tienen margen de seguridad, y las estimaciones de la Guía CIRIA son generalmente inseguras para vigas diafragmas largas, y las predicciones en el Código Canadiense proporcionan un margen de seguridad uniforme.

### **Comportamiento torsional en vigas diafragma de concreto reforzado de alta resistencia.**

*ACI STRUCTURAL JOURNAL.*

*Vol. 96, No. 6, November-December 1999.*

Este papel presenta los resultados de una investigación relacionada con vigas diafragma de concreto reforzado de alta resistencia sujetas a torsión pura. Las variables son: la fuerza de compresión del concreto y la relación claro-peralte. La fuerza de compresión del concreto fue de 400 a 800kg/cm<sup>2</sup>, y las relaciones de ( $L/h$ ) de 1 a 5. Los radios de refuerzo longitudinal y transversal fueron constantes.

Los resultados muestran que la fuerza torsional aumenta cuando la rigidez es mayor y la relación de  $L/h$  decrece. El modelo teórico predice la fuerza torsional y las deformaciones de los elementos a lo largo de sus puntos de posagrietamiento. Las predicciones teóricas utilizan el modelo modificado subestimando la fuerza torsional para vigas con baja relación de  $L/h$ . Basándonos en los resultados de la prueba, una expresión semi-empírica fue propuesta para el