

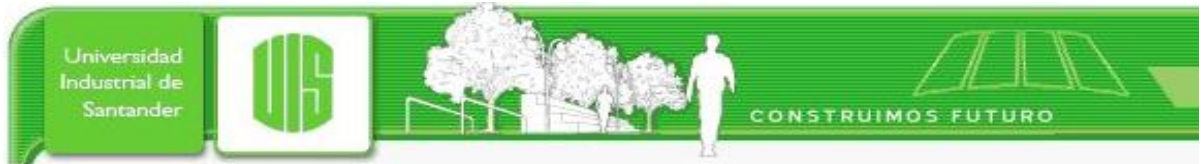
**MATERIAL DIDACTICO Y AUDIO VISUAL PARA LA ASIGNATURA DE
DISEÑO DE HORMIGON ARMADO I**

ROSEMBERG BALLESTEROS ALVAREZ

ALVARO JAVIER DIAZ RUBIO



**UNIVERSIDAD INDUTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2013**



**MATERIAL DIDACTICO Y AUDIO VISUAL PARA LA ASIGNATURA DE
DISEÑO DE HORMIGON ARMADO I**

**ROSEMBERG BALLESTEROS ALVAREZ
ALVARO JAVIER DIAZ RUBIO**

**Tesis de Grado presentada como requisito parcial para otorgar el título
de Ingeniero Civil**

**Director
LEOCADIO RICO PRADILLA
Ingeniero Civil, MSc**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2013**



DEDICATORIA

A Dios por sus bendiciones,

Y llenarme de paciencia y fortaleza a lo largo de mi carrera

A mi mamá por su amor, sus palabras de aliento

*Y por ser un ejemplo de tenacidad y responsabilidad, siempre has querido lo mejor para mi y lo estoy logrando,
gracias a ti.....te amo con todo mi corazón*

A mi padre por apoyo y buen ejemplo, durante toda mi formación, gracias por todas las bases y principios que me inculcaste.....siempre te veré como el mejor ejemplo de fortaleza y honestidad.....eres mi ídolo y modelo a seguir.

A mis hermanas y amigos que estuvieron en todo este largo proceso

Su apoyo fue de gran importancia, cuando se presentaron dificultades, siempre estuvieron presentes.

A mis profesores por formarme, y hoy ser un gran profesional en la rama de la ingeniería.

Álvaro Javier Díaz



A mi madre MARTHA CECILIA ALVAREZ, a mi padre ROSEMBERG BALLESTERO CUBIDES, a mi hermano JUAN SEBASTIAN BALLESTEROS mi familia querida; por su apoyo incondicional, por estar unida siempre, por los buenos consejos, la buena crianza, las correcciones hechas y por su afecto.

A mi tía MARTA porque a pesar de sus limitaciones me alegra la vida con sus pequeños detalles y su compañía

A mi abuela LEONOR, por ser como es, un ejemplo de ser humano

A WENDY YURANY BECERRA por aguantarme y por ser mi compañerita de vida

A mis amigos por haber sido una compañía constante a lo largo de toda la carrera y así haber hecho más cálido el paso por la universidad.

A LUKAS fiel amigo.

Rosemberg Ballesteros Alvarez



TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	14
1 OBJETIVOS DEL PROYECTO	15
1.1 Objetivo General.....	15
1.2 Objetivos específicos	15
2 DIFICULTADES ENCONTRADAS DE LA ASIGNATURA	15
3 DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA DESARROLLADA EN FLASH.....	17
3.1 ¿Qué es Flash Player?	17
3.2 Uso de la aplicación desarrollada.	17
4 CONTENIDO DE LA APLICACIÓN.....	23
4.1 Coeficientes utilizados.	23
4.2 Introducción y materiales.	24
4.2.1 Procedimiento de diseño de edificaciones de concreto armado.	24
4.2.2 Materiales del concreto.	24
4.2.3 Dosificación del concreto.	25
4.2.4 Resistencia del concreto.	25
4.2.5 Propiedades mecánicas del concreto.....	26
4.2.6 Teoría a la resistencia.....	28
4.3 Análisis y diseño a flexión de vigas.	29
4.3.1 Comportamiento de vigas de concreto reforzado sometida a flexión.	29
4.3.2 Distribución de esfuerzos rectangulares (teoría de Whitney)	32
4.3.3 Tipos de fallas de los elementos sometidos a flexión.....	33
4.3.4 Vigas doblemente reforzadas	34
4.3.5 Análisis de elementos de sección T sometidos a flexión.....	36
4.4 DISEÑO A CORTANTE	38
4.4.1 Resistencia al cortante.....	39
4.4.2 Cálculo del refuerzo a cortante.	40
4.5 DISEÑO A TORSIÓN	41
4.5.1 Cuando despreciar los efectos de torsión.	41
4.5.2 Elementos estáticamente indeterminados:.....	42
4.5.3 Elementos estáticamente determinados:	43
4.5.4 Sección apta.	43
4.5.5 Cálculo del refuerzo a torsión.	44
4.5.6 Refuerzo longitudinal necesario para torsión.	44
4.6 LONGITUD DE DESARROLLO Y EMPALMES DE REFUERZO	44
4.6.1 Desarrollo de barras y alambres corrugados a tracción.	45
4.6.2 Desarrollo de barras y alambres corrugados a compresión.	45
4.6.3 Desarrollo de ganchos estándar en tracción.	45



4.6.4 Empalmes del refuerzo46

4.7 COLUMNAS47

4.7.1 Columnas de concreto reforzado47

4.7.2 Columnas de concreto reforzado sometidas a fuerza axial48

4.7.3 Análisis de compatibilidad de deformaciones y diagrama de interacción48

5 CONCLUSIONES50

BIBLIOGRAFÍA.....52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Muestra del video de introducción.....	18
Figura 2. Aspecto del menú principal.	18
Figura 3. Muestra del submenú dentro de un tema.	19
Figura 4. Barra de navegación.	19
Figura 5. Botón volver al inicio.	19
Figura 6. Botón siguiente y atrás.....	20
Figura 7. Acción del mouse sobre un coeficiente.	20
Figura 8. Botón reproducir video.	20
Figura 9. Ventana de video.	21
Figura 10. Botón mostrar tabla.....	21
Figura 11. Ventana con la información de la tabla.	21
Figura 12. Ventana con la información de la tabla.	22
Figura 13. Ventana con la información de la tabla.	22
Figura 14. Curva esfuerzo deformación del concreto en compresión.	26
Figura 15. Curva esfuerzo deformación del concreto en compresión.	29
Figura 16. Viga con refuerzo longitudinal.	30
Figura 17. Variación de los esfuerzos y deformaciones por el método aplicado...30	
Figura 18. Sección transformada no fisurada de una viga.....	32
Figura 19. Distribución real y rectangular equivalente de esfuerzos.....	33
Figura 20. Distribución de deformaciones para los diversos tipos de fallas.	34
Figura 21. Esfuerzo y deformación de una viga doblemente reforzada.	35
Figura 22. Ancho efectivo del ala de las vigas T	36
Figura 23. Secciones transversales efectivas para vigas T	37
Figura 24. Esfuerzo en las alas de una viga T.	37
Figura 25. Esfuerzo en el alma de una viga T.....	38
Figura 26. Agrietamiento por cortante.	38
Figura 27. Agrietamiento por cortante y flexión.	39
Figura 28. viga de borde indeterminada donde el torque puede ser reducido	42
Figura 29. Viga de borde determinada donde el torque no puede ser reducido ...	43
Figura 30. Detalles de barras dobladas para desarrollar gancho estándar.....	46
Figura 31. Excentricidad de una columna	48
Figura 32. Esfuerzo y deformación de una columna con excentricidad.	49
Figura 33. Diagrama de interacción de una columna	50



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Notas de estudiantes en el primer semestre del año 2013	16
Tabla 2. Dosificación para distintas resistencias	25
Tabla 3. Longitud de desarrollo para barras corrugadas	45



RESUMEN

TITULO:

MATERIAL DIDACTICO Y AUDIO VISUAL PARA LA ASIGNATURA DE DISEÑO DE HORMIGÓN ARMADO I.

Autores:

Ballesteros Alvarez, Rosemberg
Díaz Rubio, Álvaro Javier**

PALABRAS CLAVES:

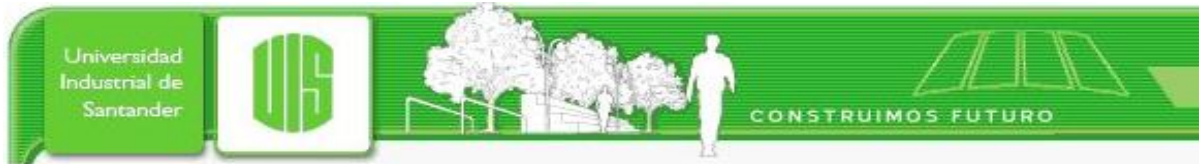
Flash Player, Cortante, Torsión, Flexión, Longitud de desarrollo, Longitud de traslapo, Hormigón Armado, Action Scrip 3.0.

CONTENIDO:

Por medio del uso de las Tecnologías de la información y la Comunicación (TIC), las cuales se basan en el conjunto de recursos digitales para procesar, almacenar y transmitir información, permitió crear a través de Macromedia Flash Player el "MATERIAL DIDACTICO Y AUDIOVISUAL PARA LA ASIGNATURA DE DISEÑO DE HORMIGÓN ARMADO I", el cual ensambla toda la información básica propia de la asignatura de Diseño de Hormigón Armado I Sustentado con la norma sismo resistente colombiana NSR-10.

En el CD adjunto se encuentra la Aplicación donde podemos ver que la materia se dividió en 5 grandes capítulos: Capitulo de introducción, Capitulo de diseño a flexión, capitulo de diseño a cortante y torsión, Capitulo de longitud de desarrollo y Capitulo de Columnas. Con esta Aplicación el estudiante podrá consultar el material desde cualquier dispositivo electrónico capaz de soportar archivos .exe (computadores de escritorio, computadores portátiles, dispositivos como tabletas) recordando y así reforzando lo visto en las clases presenciales, además de esto la aplicación desarrollada cuenta con ejercicios solucionados paso a paso que muestran incluso los pasos de simplificación aritmética y ejercicios propuestos para que el estudiante desarrolle sus habilidades. Es necesario tener en cuenta posibles futuros cambios a la presente norma de diseño que se puedan presentar

** Facultad de Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Ing. Leocadio Rico Pradilla



ABSTRACT

TITLE:

MATERIAL DIDACTICO Y AUDIO VISUAL PARA LA ASIGNATURA DE DISEÑO DE HORMIGÓN ARMADO I.

AUTHORS:

Ballestero Alvarez, Rosemberg
Díaz Rubio, Álvaro Javier**

KEY WORDS:

Flash Player, shear, torsion, bending, development length, Reinforced Concrete, Action Scrip 3.0.

DESCRIPTION:

Through the use of Information Technology and Communication (ICT) , which are based on the set of digital resources to process , store and transmit information, allowed to create through Macromedia Flash Player the " EDUCATIONAL AND AUDIOVISUAL EQUIPMENT cOURSE DESIGN OF CONCRETE I " , which assembles all the very basic information about the subject of Reinforced Concrete Design I Sustained with earthquake resistant Colombian NSR -10 standard.

The accompanying CD is the application where we can see that the subject is divided into 5 main chapters: Introduction Chapter, Chapter of flexural design , shear design chapter and torsion Chapter of development length and Chapter of Columns . With this application the student may consult the material from any electronic device capable of supporting files. Exe (desktops, laptops, devices such as tablets) remembering and reinforcing seen in classes, in addition to this application has developed solved step by step exercises that show even the steps of arithmetic and simplification proposed exercises for the student to develop their skills. It is necessary to take into account possible future changes to this design standard that may arise

** Facultad de Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Ing. Leocadio Rico Pradilla



INTRODUCCIÓN

Diseño de hormigón armado I es una asignatura esencial dentro del programa de ingeniería civil de la UIS, por esta razón algunos de los temas vistos en el desarrollo de la misma además de importantes son un poco tediosos a la hora de entenderlos en su totalidad, lo cual lleva a que muchos estudiantes aprueben la materia con notas bajas, terminen cancelando e incluso perdiéndola, pero lo más importante dejando de aprender conceptos cruciales para las siguientes materias de la línea de estructuras y para la vida profesional.

El presente trabajo pretende mejorar el modelo pedagógico actual de clases presenciales usualmente dadas en la asignatura, brindando un apoyo audiovisual por medio del cual se ayudara al estudiantado a comprender todos los conceptos básicos de la asignatura de forma más dinámica.

Esta herramienta, permitirá al profesor darse a entender de una manera más fácil y llevar un ritmo óptimo donde todos los estudiantes se podrán adaptar mejor y avanzar de acuerdo al programa estipulado de la asignatura.

El material de apoyo para los estudiantes cuenta con animaciones, gráficos y ejercicios resueltos, que por nuestra experiencia vivida como estudiantes sabemos que ayudaran a mostrar más allá de la simple teoría; como se ven y como trabajan los elementos estructurales de concreto armado que se estudian en la asignatura.

Para un mejor entendimiento de la materia, se decidió ordenar el contenido en 5 grandes temas:

- Tema 1: Introducción y materiales
- Tema 2: Análisis y diseño a flexión
- Tema 3: Efecto de cortante y torsión
- Tema 4: Longitudes de desarrollo y empalmes del refuerzo
- Tema 5: Columnas

Esta herramienta describe requisitos de diseño dados en la norma sismo resistente colombiana NSR-10 para el diseño de estructuras en hormigón armado.



1 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.1 Objetivo General

- Crear y desarrollar material audiovisual sobre la materia Diseño de hormigón armado I.

1.2 Objetivos específicos

- Identificar las dificultades que se presentan a la hora de comprender los conceptos e ideas fundamentales de la asignatura.
- Diseñar el material audiovisual a modo de presentaciones, de tal manera que pueda ser usado por el docente y así ayude a dinamizar las clases con los temas de la materia debidamente sustentado con la norma sismo resistente NSR-10.
- Elaborar material virtual de apoyo extra clase que cuente con: resumen de las clases, deducción detallada de ecuaciones sobresalientes, animaciones, ejercicios desarrollados paso a paso, y problemas propuestos.
- Mostrar de manera interactiva (videos) como calcular los elementos estructurales en programas especializados como el SAP 2000 o ETABS y como realizar despieces de los mismos en AutoCAD.

2 DIFICULTADES ENCONTRADAS DE LA ASIGNATURA

Los estudiantes de ingeniería civil de la UIS, piensan que las asignaturas por las cuales se destaca nuestra escuela, son las correspondientes a la línea de estructuras, el empeño y tiempo dedicado a ellas es mucho mayor que para otras asignaturas del plan y a veces se tiene la idea de que estas poseen mayor dificultad.

Por medio de nuestra experiencia como estudiantes, al haber aprobado todas las asignaturas de estructuras, con la opinión de otros alumnos que la cursaron y otros que actualmente la cursan pudimos identificar algunas dificultades que se presentan a la hora de estudiar la materia. Una de las más grandes es la de



comprender los conceptos dados por la norma sismo resistente colombiana NSR-10. Al momento de empezar a leer sus numerales, muchos de los estudiantes afirmaron que la norma transmite poca claridad y esto genera confusión, produciendo problemas a la hora de presentar los parciales de cada tema.

Haciendo un análisis estadístico de las notas obtenidas por cada estudiante de un conjunto de grupos de semestres pasados, se observó que aunque los resultados son muy variados nos indica que un gran porcentaje de estudiantes no obtiene buenos resultados en el primer parcial, en el cual se evalúan los temas de introducción a la materia y diseño a flexión. Ya para el segundo parcial donde se evalúan por lo general los temas de diseño a cortante, diseño a torsión y longitud de desarrollo se observó la misma tendencia desfavorable en las notas de los estudiantes.

Finalmente para el último corte se observó una evidente mejoría en las notas.

Tabla 1. Notas obtenidas por los estudiantes en el primer semestre del año 2013

Parcial No.	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Parcial 1	%	%	%
notas < 2	97,14	91,43	29,17
$2 \leq \text{notas} < 3$	0,00	0,00	41,67
$3 \leq \text{notas} < 4$	2,86	2,86	4,17
notas ≥ 4	0,00	5,71	25,00
Parcial 2			
notas < 2	37,14	31,43	41,67
$2 \leq \text{notas} < 3$	20,00	8,57	33,33
$3 \leq \text{notas} < 4$	37,14	28,57	25,00
notas ≥ 4	5,71	31,43	0,00
Parcial 1			
notas < 2	20,00	17,14	16,67
$2 \leq \text{notas} < 3$	54,29	42,86	41,67
$3 \leq \text{notas} < 4$	17,14	14,29	33,33
notas ≥ 4	8,57	25,71	8,33

Con la tabla anterior y gracias al director del presente trabajo de grado, que nos facilitó parciales presentados por grupos de semestres resientes, se pudo encontrar de manera más directa, los problemas que tienen los estudiantes cuando se enfrentan a los parciales comúnmente planteados en todos los semestres.

Los problemas encontrados fueron:



- Mala interpretación en los numerales de la norma NSR.10.
- Malas bases en conceptos básicos de asignaturas pasadas
- Poca comprensión de las ecuaciones planteadas para cada tema.

Ya identificados los problemas que tienen los estudiantes con la asignatura, creamos un material completo que los ayudara a comprender de una mejor manera lo estudiado en clase y obtener buenos resultados.

3 DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA DESARROLLADA EN FLASH.

3.1 ¿Qué es Flash Player?

Es un programa en forma de reproductor multimedia creado por Macromedia y actualmente distribuido por Adobe Systems.

Trabaja sobre "fotogramas" y está destinado a la producción y entrega de contenido interactivo para diferentes audiencias. Nos permite entregar la aplicación desarrollada en un formato .exe que denota un fichero ejecutable (un programa) para el sistema operativo de Microsoft Windows.

En Flash se pueden crear y manipular gráficos vectoriales con manejo de código mediante un lenguaje de scripting llamado ActionScript3.0. En la elaboración de la herramienta utilizamos la versión del software CC.

3.2 Uso de la aplicación desarrollada.

En primera instancia cuando abrimos el programa encontraremos un corto video de introducción y presentación de la aplicación, en la cual se encuentra los nombres de los creadores, director del proyecto y nombre de la asignatura.

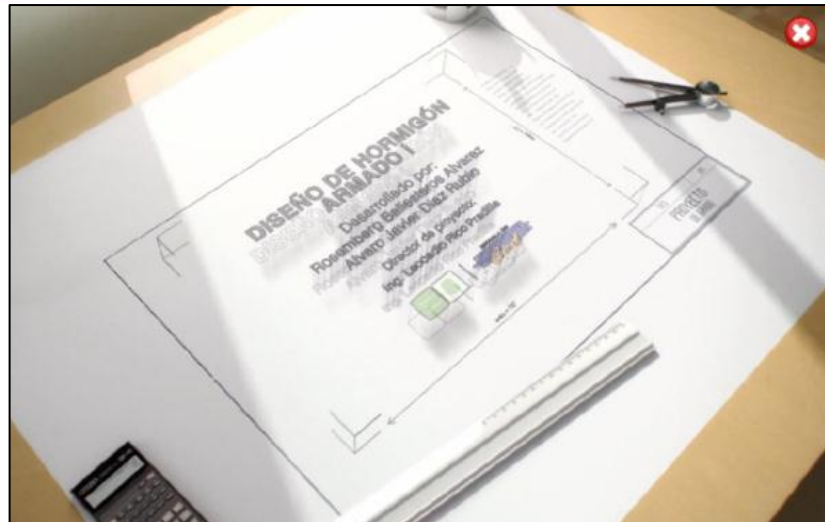


Figura 1. Muestra del video de introducción.

Podemos omitir el video de introducción dando click en el icono “x” ubicado en la parte superior derecha para avanzar. A continuación encontraremos el menú principal de la aplicación, donde hay cinco pestañas con los temas tratados en la asignatura.



Figura 2. Aspecto del menú principal.

Al hacer click en alguno de los temas se dirigirá a este y mostrara un submenú con los capítulos correspondientes a cada tema, de esta manera se podrá acceder rápida y fácilmente a cualquier contenido específico que se quiera consultar.

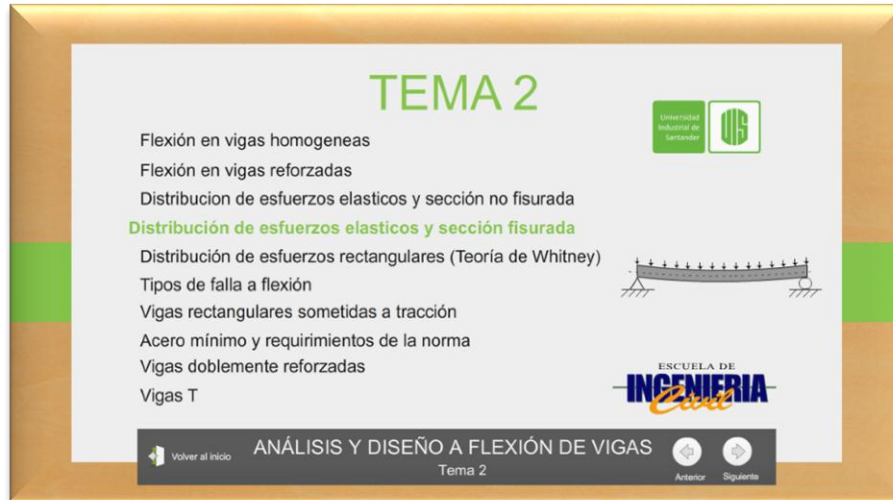


Figura 3. Muestra del submenú dentro de un tema.

En la parte izquierda del submenú se puede observar una animación correspondiente al tema seleccionado.

Después de haberle dado click al capítulo que queremos repasar se conducirá a este y mostrara el contenido, en esta nueva ventana podremos encontrar en la parte inferior una barra de navegación que nos permitirán desplazarnos a través de la aplicación.



Figura 4. Barra de navegación.

La barra de navegación cuenta con 3 botones los cuales son:

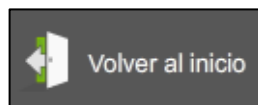


Figura 5. Botón volver al inicio.

El cual nos llevara al menú inicial donde se muestran los 5 temas principales.

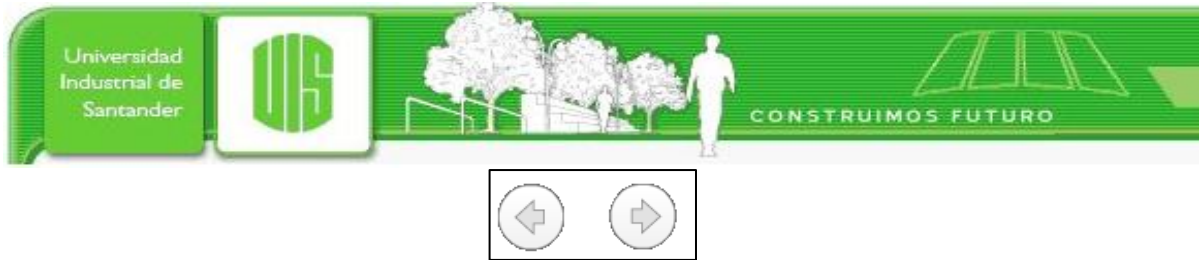


Figura 6. Botón siguiente y atrás

Los cuales como su nombre lo indican permiten avanzar o retroceder cuando el usuario haya terminado de leer un artículo específico y quiera continuar con el siguiente, esta acción también puede realizarse utilizando las flechas del teclado para una navegación más cómoda.

Una vez dentro de cada capítulo, nos encontraremos con las definiciones y procedimientos necesarios para llevar a cabo el correcto diseño de elementos estructurales, en el proceso de mostrar toda la información, el estudiante tendrá la posibilidad de interactuar con distintos elementos uno de estos son las ecuaciones, en las cuales tendrá la posibilidad de conocer el significado de cada coeficiente pasando el mouse sobre él.

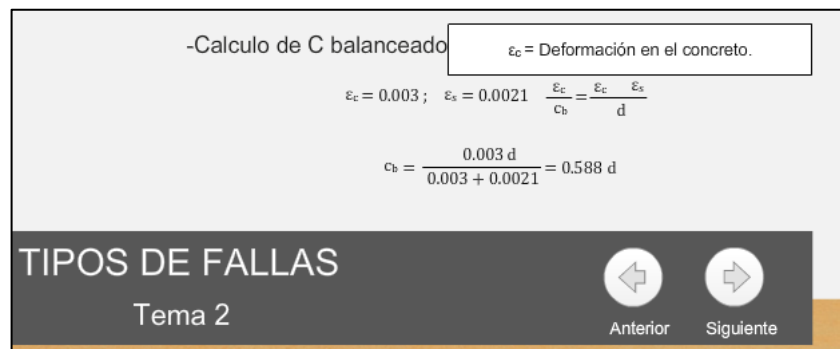


Figura 7. Acción del mouse sobre un coeficiente.

En algunos temas de la aplicación encontraremos otros botones correspondientes a videos y tablas, que complementaran al estudiante de mejor manera.



Figura 8. Botón reproducir video.

Al hacer click en el botón reproducir video, se abrirá una ventana con el video seleccionado referente al tema en cuestión.



Figura 9. Ventana de video.

En la materia, es muy recurrente el uso de tablas de la norma sismo resistente NSR-10. La aplicación trae las tablas de mayor importancia Para acceder a ellas podemos dar click en el botón mostrar tabla:



Figura 10. Botón mostrar tabla

Tabla A.4.2-1
Valor de los parámetros C_t y α para el cálculo del periodo aproximado T_a

Sistema estructural de resistencia sísmica	C_t	α
Porticos resistentes a momentos de concreto reforzado que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al veno sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.047	0.9
Porticos resistentes a momentos de acero estructural que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al veno sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.072	0.8
Porticos armados de acero estructural con diagonales excéntricas restringidas a pandeo.	0.073	0.75
Todos los otros sistemas estructurales basados en muros de rigidez similar o mayor a la de muros de concreto o mampostería. Alternativamente, para estructuras que tengan muros estructurales de concreto reforzado o mampostería estructural, pueden emplearse los siguientes parámetros C_t y α , donde C_w se calcula utilizando la ecuación A.4.2-4.	$\frac{0.0062}{\sqrt{C_w}}$	1.00

$$C_w = \frac{100}{A_B} \sum_{i=1}^{n_w} \left(\frac{h_n}{h_{wi}} \right)^2 \frac{A_{wi}}{1 + 0.83 \left(\frac{h_{wi}}{h_{wi}} \right)^2}$$

Ecuación A.4.2-4

Figura 11. Ventana con la información de la tabla.

También se encontraran algunas imágenes que debido al tamaño de estas fue complicado plasmarlas completamente en la aplicación. Por esta razón al pasar el mouse sobre ellas cambiaran automáticamente su tamaño para poder ser apreciadas de una mejor manera.

En este caso, se adiciona refuerzo en la zona de compresión, dado como resultado una viga que se denomina doblemente reforzada es decir, un refuerzo a compresión al igual que a tensión.


Se tienen dos consideraciones al momento de trabajar con estas clases de vigas, una es cuando el acero a tensión y compresión fluye y la otra es cuando el acero de compresión no fluye.

Acero a tensión y a compresión, ambos en el esfuerzo de fluencia

Si el acero a tensión, A_s en una viga doblemente reforzada es igual o menor que A_{st} , la resistencia de la viga puede calcularse dentro de límites aceptables, sin tener en cuenta las barras de compresión.

La resistencia de una viga así reforzada va a estar controlada por la fluencia a tensión, y en general, la presencia de las barras a compresión va a estar afectada muy poco el brazo de palanca del momento resistente.

Esfuerzo y deformación de una viga doblemente reforzada



En la Figura anterior, en la cual aparece la sección transversal de una viga rectangular con acero a compresión A'_s localizada a una distancia d' desde la cara de compresión y con un acero a tensión A_s al nivel de la altura efectiva d , se supone que inicialmente tanto A_s como A'_s alcanzan el esfuerzo de fluencia f_y en el momento de falla.

Volver al inicio

VIGAS DOBLEMENTE REFORZADA

Tema 2

Anterior

Siguiente

Figura 12. Ventana con la información de la tabla.

En este caso, se adiciona refuerzo en la zona de compresión, dado como resultado una viga que se denomina doblemente reforzada es decir, un refuerzo a compresión al igual que a tensión.

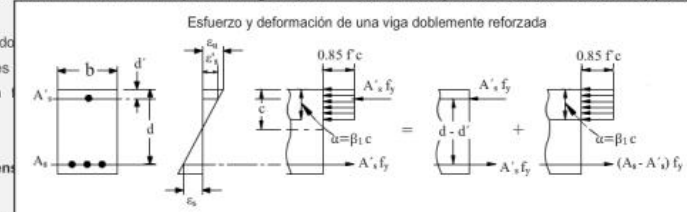
Se tienen dos consideraciones al momento de trabajar con estas clases de vigas, una es cuando el acero a tensión y compresión fluye y la otra es cuando el acero de compresión no fluye.

Acero a tensión y a compresión, ambos en el esfuerzo de fluencia

Si el acero a tensión, A_s en una viga doblemente reforzada es igual o menor que A_{st} , la resistencia de la viga puede calcularse dentro de límites aceptables, sin tener en cuenta las barras de compresión.

La resistencia de una viga así reforzada va a estar controlada por la fluencia a tensión, y en general, la presencia de las barras a compresión va a estar afectada muy poco el brazo de palanca del momento resistente.

Esfuerzo y deformación de una viga doblemente reforzada



En la Figura anterior, en la cual aparece la sección transversal de una viga rectangular con acero a compresión A'_s localizada a una distancia d' desde la cara de compresión y con un acero a tensión A_s al nivel de la altura efectiva d , se supone que inicialmente tanto A_s como A'_s alcanzan el esfuerzo de fluencia f_y en el momento de falla.

Volver al inicio

VIGAS DOBLEMENTE REFORZADA

Tema 2

Anterior

Siguiente

Figura 13. Ventana con la información de la tabla.

4 CONTENIDO DE LA APLICACIÓN.

4.1 Coeficientes utilizados.

γ = Factor de mayoración de carga aplicado a las cargas de diseño. [-]

ϕ = Factor de reducción de resistencia. [-]

λ = Factor de modificación que tiene en cuenta las propiedades mecánicas reducidas del concreto de livianos, relativa a los concretos de peso normal de igual resistencia a la compresión. [-]

ϵ_c = Deformación en el concreto. [-]

ϵ_s = Deformación en el acero. [-].

A_{cp} = Área encerrada por el perímetro exterior de la sección transversal de concreto. [mm²]

A_g = Área bruta de la sección de concreto. [mm²]

A_l = Área de refuerzo longitudinal para torsión [mm²]

A_o = Área bruta encerrada por la trayectoria del flujo de cortante $A_o = 0,85A_{oh}$ [mm²]

A_{oh} = Área encerrada por el eje del estribo [mm²]

A_{st} = Área total de acero [mm²]

A_t = Área de una rama del estribo [mm²]

A_{vmin} = Área mínima de refuerzo para cortante con un espaciamiento s . [mm²]

b_w = Ancho del alma de la viga o diámetro de la sección circular. [mm]

d = Distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal en tracción. [mm].

E_s = Modulo de elasticidad del refuerzo y el acero estructural. [MPa]

E_c = Modulo de elasticidad del concreto. [MPa]

f'_c = Resistencia especificada a la compresión del concreto del concreto. [MPa]

f_y = Resistencia a la fluencia del refuerzo longitudinal [MPa]

f_{yt} = Resistencia especificada a la fluencia de los estribos. [MPa]

n = E_s/E_c se conoce como la relación modular. [-]

N_u = Carga axial mayorada normal a la sección transversal que ocurre simultáneamente con V_u o T_u . [N]

Q_d = Cargas de diseño. [N]

P_{cp} = Perímetro exterior de la sección transversal de concreto. [mm]

P_h = Perímetro del eje del refuerzo transversal cerrado más externo, dispuesto a torsión. [mm]

s = Espaciamiento medido de centro a centro de los estribos. [mm]

S_n = Resistencia nominal. [MPa]



T_u = Torsión mayorada [N.mm]

T_n = Resistencia nominal a la torsión [N.mm]

T_n = Resistencia nominal a la torsión [N.mm]

V_c = Resistencia nominal al cortante proporcionada por el concreto. [N]

V_s = Resistencia nominal al cortante que proporciona el acero de refuerzo a cortante. [N]

V_u = Esfuerzo cortante mayorado [N].

4.2 Introducción y materiales.

La aplicación inicia con una introducción a la materia y con conceptos básicos vistos anteriormente en otras asignaturas como: la mecánica de sólidos y caracterización de materiales. Estos son fundamentos necesarios para la comprensión del comportamiento del hormigón armado.

4.2.1 Procedimiento de diseño y construcción de edificaciones de concreto armado.

El procedimiento de diseño y construcción de edificaciones de concreto, comprende los estudios geotécnicos, arquitectónicos y estructurales [3].

Enfocándonos más en el diseño estructural se deben seguir los siguientes pasos dados en el A.1.3-1 de la norma sismo resistente NSR-10:

- Paso 1** Pre-dimensionamiento y coordinación con otros profesionales.
- Paso 2** Evaluación de las solicitaciones definitivas.
- Paso 3** Obtención del nivel de amenaza sísmica y los valores de A_a y A_v .
- Paso 4** Movimientos sísmicos de diseño.
- Paso 5** Características de la estructuración y del material estructural empleado.
- Paso 6** Grado de irregularidad de la estructura y procedimiento de análisis.
- Paso 7** Determinación de las fuerzas sísmicas
- Paso 8** Análisis sísmicos de la estructura.
- Paso 9** Verificación de derivas
- Paso 10** Combinación de las diferentes solicitaciones
- Paso 11** Diseño de los elementos estructurales.

4.2.2 Materiales del concreto.

El concreto es uno de los materiales más importantes de una construcción, sus características mecánicas provienen de la mezcla de los diversos materiales que la conforman (cemento portland, agregado fino, agregado grueso y agua), cada



uno de estos posee características específicas que dan como resultado una mezcla óptima de concreto.[4]

4.2.3 Dosificación del concreto.

[1,2,4] Se conoce como dosificación del concreto a las proporciones apropiadas de los materiales que lo conforman para obtener la resistencia y durabilidad requerida.

Una forma de conocer la nomenclatura de una dosificación, es que siempre se nombra de la más fina, a la más gruesa; el primer número representa entonces el cemento, luego el agregado fino (la arena) y luego el agregado grueso (el triturado).

Las dosificaciones para elaborar concreto en obra son:

Tabla 2. Dosificación para distintas resistencias

Dosificación.	Resistencia en PSI.	Resistencia en MPa.
1:3:3	2100	14,7
1:2:4	2500	17,5
1:2:3	3000	21
2:2:5	3500	24,5
1:2:2	4000	28

4.2.4 Resistencia del concreto.

4.2.4.1 Resistencia a la compresión.

[2] La resistencia a la compresión del concreto se halla a través del ensayo de un cilindro estándar de 15cm de diámetro y 30cm de alto, este cilindro se prueba a los 28 días, sin embargo este periodo puede alterarse si se especifica.

En la prueba el cilindro es cargado a un ritmo uniforme de 2.45 Kg/cm²/s la resistencia a la compresión se denomina $f'c$ y se define como el promedio de la resistencia de como mínimo dos probetas tomadas de la misma muestra.

4.2.4.2 Resistencia a la Tensión.

[1] La resistencia a la tensión del concreto es baja y no se tiene en cuenta para cálculos en el diseño estructural. Sin embargo esta ayuda a disminuir los agrietamientos que se pueden producir por la influencia de tensiones inducidas por restricciones estructurales, cambios volumétricos u otros fenómenos. Generalmente el valor de la capacidad a la tensión se encuentra alrededor del 9% de la capacidad a compresión en concretos de peso y resistencia normal.

Las resistencias más comunes son las dadas en la **Tabla 2**.

4.2.5 Propiedades mecánicas del concreto.

4.2.5.1 Relación esfuerzo – deformación del concreto a compresión.

[2,1] En la siguiente figura se muestran curvas esfuerzo – deformación para concretos normales de diversas resistencias a la compresión.

Las gráficas tienen una rama ascendente casi lineal cuya pendiente varía de acuerdo a la resistencia y se extiende hasta aproximadamente 1/3 a 1/2 de f_c y posteriormente adopta la forma de una parábola invertida cuyo vértice corresponde al esfuerzo máximo.

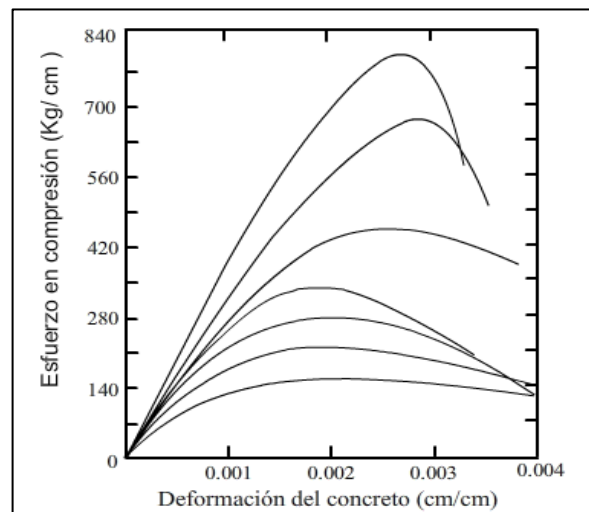


Figura 14. Curva esfuerzo deformación del concreto en compresión.



4.2.5.2 Módulo de elasticidad

[3] El módulo de elasticidad de un material es un parámetro que mide la variación de esfuerzo en relación a la deformación en el rango elástico. El módulo de elasticidad E_c , para concretos de peso normal puede tomarse como $4700\sqrt{f'_c}$ de acuerdo a la NSR-10.

4.2.5.3 Refuerzo en acero para el concreto.

Debido a la baja resistencia del concreto a la tensión, se suministra acero en él, para resistir los esfuerzos de tensión. Ahora bien, el acero también se utiliza para recibir la compresión en vigas y columnas y permitir el uso de secciones más pequeñas; así mismo sirve para otros fines como Controlar las deformaciones debidas a la temperatura, la contracción, y distribuye la carga al concreto y al resto del acero de refuerzo.

Se utiliza también para amarrar entre sí a otros refuerzos (traslapos) dándole continuidad al refuerzo.

La mayoría de los refuerzos son en forma de varillas o de alambres. Sus superficies pueden ser lisas (aunque este ya no se usa) o corrugadas.

4.2.5.4 Refuerzo en acero para el concreto.

Debido a la baja resistencia del concreto a la tensión, se suministra acero en él, para resistir los esfuerzos de tensión. Ahora bien, el acero también se utiliza para recibir la compresión en vigas y columnas y permitir el uso de secciones más pequeñas; así mismo sirve para otros fines como Controlar las deformaciones debidas a la temperatura, la contracción, y distribuye la carga al concreto y al resto del acero de refuerzo.

Se utiliza también para amarrar entre sí a otros refuerzos (traslapos) dándole continuidad al refuerzo.

La mayoría de los refuerzos son en forma de varillas o de alambres. Sus superficies pueden ser lisas (aunque este ya no se usa) o corrugadas.

4.2.5.5 Refuerzo corrugado.

[1,5] Para lograr una acción efectiva del refuerzo es esencial que el acero y el concreto se deformen en forma conjunta, es decir, es necesario que haya una adherencia suficientemente fuerte entre los dos materiales para asegurar que no haya movimientos relativos entre las barras de refuerzo y el concreto circundante.

Esta unión se produce por la fuerte adhesión química que se desarrolla en la interface acero-concreto, por la rugosidad natural de la superficie de las barras de refuerzo laminadas en caliente y por los resaltes superficiales poco espaciados que se forman en las barras de refuerzo con el fin de proveer un alto grado de entrelazamiento entre los dos materiales.

4.2.6 Teoría a la resistencia.

[1] Para dimensionar adecuadamente la sección de un elemento estructural de concreto con la cantidad adecuada de refuerzo, de manera que su resistencia sea la adecuada para soportar las fuerzas resultantes, de ciertos estados hipotéticos de sobrecarga, se plantea utilizar cargas considerablemente mayores, que las cargas que se esperan actúen realmente durante el servicio, teniendo en cuenta las diversas fuentes de incertidumbre que se tienen, tales como:

- La variabilidad de las cargas, ya que estas pueden diferir de las supuestas.
- El acero de refuerzo puede no estar en la posición especificada.
- El comportamiento estructural real puede diferir del supuesto, debido a las limitaciones del conocimiento.
- Las características y dimensiones reales de los materiales puede diferir de las especificadas.

Estas requieren un margen de seguridad (M) tal que:

$$M = S - Q > 0 \quad (1)$$

En la práctica resulta más conveniente introducir coeficientes de seguridad parciales con respecto a cargas especificadas en el reglamento, los cuales exceden considerablemente los valores promedio. Se pueden replantear los requisitos de seguridad a través de la siguiente ecuación:

$$\phi S_n \geq \gamma Q_d \quad (2)$$

4.3 Análisis y diseño a flexión de vigas.

Las vigas son elementos estructurales usados en las edificaciones, para soportar cargas y proporcionarle estabilidad a la estructura. Para diseñarlas es necesario conocer los esfuerzos a los que se encuentra sometido.

Estas se deforman de tal manera que cualquier punto en una sección transversal entre los apoyos se desplazan en la dirección que lo hacen las cargas. Estos desplazamientos se denominan deflexiones.

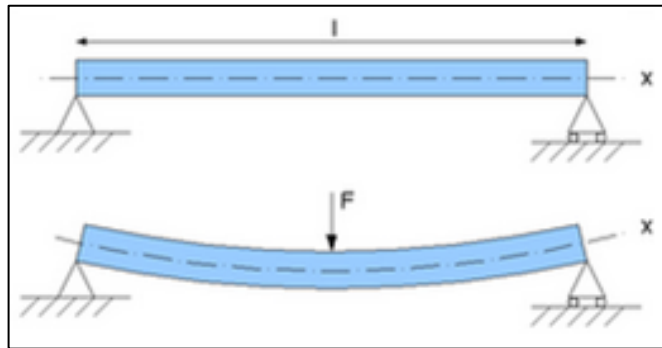


Figura 15. Curva esfuerzo deformación del concreto en compresión.

4.3.1 Comportamiento de vigas de concreto reforzado sometida a flexión.

Como se mencionó en el tema resistencia del concreto, las vigas de concreto son ineficientes como elementos sometidos a flexión, como consecuencia esta fallan en el lado sometido a tensión a cargas bajas mucho antes de que se desarrolle la resistencia completa del concreto en el lado a compresión.

Por esta razón, se colocan barras de acero de refuerzo en el lado sometido a tensión tan cerca como sea posible del extremo de la fibra sometida a tensión, conservando en caso una protección adecuada del acero contra el fuego y la corrosión llamada recubrimiento.

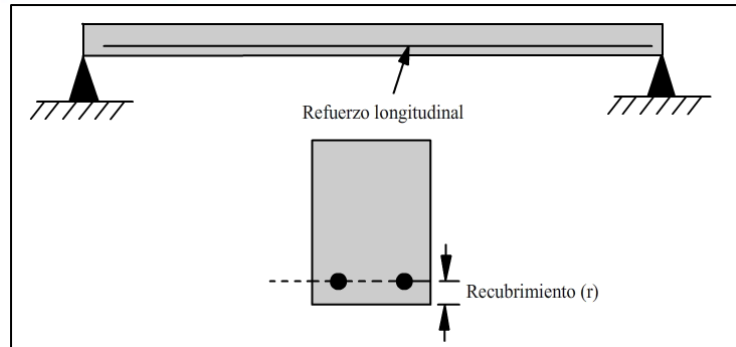


Figura 16. Viga con refuerzo longitudinal.

En una viga así reforzada, la tensión es causada por los momentos flectores y es resistida principalmente por el acero de refuerzo, mientras que el concreto usualmente es capaz de resistir la compresión correspondiente.

Al someter la viga a esfuerzos pequeños (hasta aproximadamente $f'_c/2$), se ha observado que el concreto se comporta casi elásticamente y las deformaciones son proporcionales a los esfuerzos. Cuando la carga se hace mayor, se verá reflejado en el diagrama de deformación de la sección, podemos observar en la siguiente figura, el desplazamiento del eje neutro hacia arriba debido al incremento del momento.

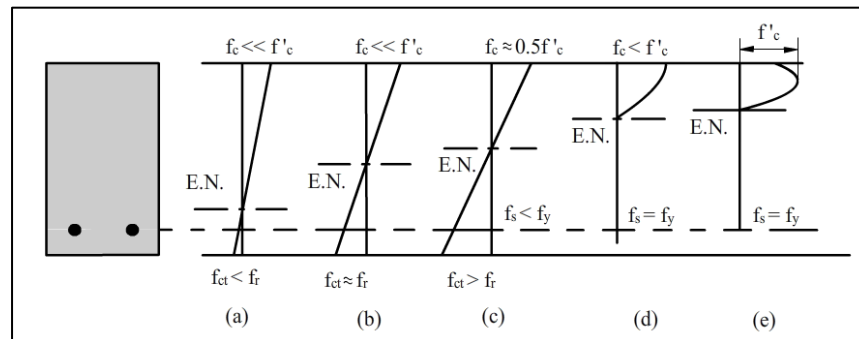


Figura 17. Variación de los esfuerzos y deformaciones por el método aplicado.

Etapa (a): Cuando la carga es pequeña los esfuerzos de compresión y tracción en la sección no superan la resistencia del concreto, por lo que no se presentan grietas. La distribución de esfuerzos en la sección es la mostrada en la parte (a) de la figura anterior.

Etapa (b): La tensión en el concreto casi alcanza su resistencia a la tracción. Antes de que se presente la primera grieta toda la sección de concreto es efectiva y el acero absorbe el esfuerzo ocasionado por su deformación. Puesto que el acero y el concreto se deforman igual por la adherencia existente entre ellos.

Etapa (c): Se alcanza el denominado momento crítico M_{cr} , bajo el cual se desarrollan las primeras grietas en la zona central de la viga, el concreto al agrietarse no resiste el esfuerzo a tracción y este es absorbido íntegramente por el refuerzo.

Podemos calcular el módulo de rotura del concreto, a partir de este valor, el concreto no trabajara a tracción.

$$f_r = 0.62\lambda\sqrt{f'_c} \quad (3)$$

La sección entonces es menos rígida pues su momento de inercia disminuye lo cual ocasiona que las deflexiones sean progresivamente mayores. En esta etapa, el concreto tiene una distribución de esfuerzos casi lineal y a su vez los esfuerzos en el concreto llegan hasta $0,5 f'_c$, conforme aumenta la carga, las grietas se van ensanchando y se dirigen hacia el eje neutro. Si se retira la carga repentinamente, las grietas se cerraran, pero si el elemento se vuelve a cargar, las grietas aparecerán rápidamente.

Etapa (d): El acero alcanza el esfuerzo de fluencia, aunque el concreto no llega a su resistencia máxima. Los esfuerzos en el concreto dejan de ser lineales y adoptan una forma aproximadamente parabólica, la deflexión en la viga se incrementan rápidamente y las grietas se ensanchan aún más.

Etapa (e): el acero entra en la fase de endurecimiento, el esfuerzo del concreto alcanza el f'_c y finalmente falla por aplastamiento.

4.3.1.1 Sección no fisurada:

[1] Mientras el esfuerzo de tensión en el concreto se mantenga por debajo del módulo de rotura, de manera que no se desarrolle grietas a tensión, la distribución de deformaciones unitarias es esencialmente la misma que en una viga elástica y homogénea. La única diferencia es la presencia de otro material, el acero de refuerzo.

Lo que nos lleva a que el área del acero puede remplazarse por un área de concreto equivalente n veces más grande permitiendo analizar el comportamiento del material como homogéneo. Esta sección es considerada como sección transformada.

Debido a que la deformación unitaria en el concreto para una carga dada es igual a la deformación a compresión en el acero.

$$\varepsilon_c = \frac{f_c}{E_c} = \varepsilon_s = \frac{f_s}{E_s} \quad (4)$$

$$f_s = \frac{E_s}{E_c} f_c = n f_c \quad (5)$$

Finalmente multiplicamos el área del acero A_s que tenemos por la relación modular n y obtenemos así la sección transformada.

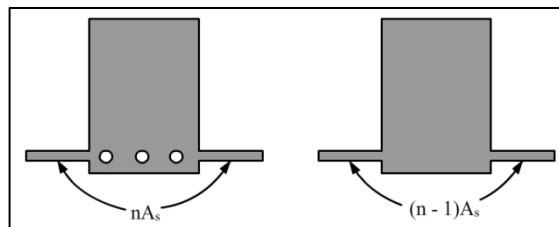


Figura 18. Sección transformada no fisurada de una viga.

4.3.1.2 Sección no fisurada:

Solo es necesario tener en cuenta el hecho de que todo el concreto sometido a esfuerzos de tensión se supone agrietado. La sección transformada consiste en que el concreto sometido a compresión está a un lado del eje, ya que este se considera no resiste esfuerzos a tensión y n veces el área del acero de tensión en el otro lado. La distancia hasta el eje neutro en este estado se expresa convencionalmente como una fracción k de la altura efectiva d . (una vez que el concreto este fisurado, el material localizado por debajo del acero se hace ineficaz; por eso d es la altura efectiva de la viga).

4.3.2 Distribución de esfuerzos rectangulares (teoría de Whitney)

[1] El uso de bloques rectangulares equivalentes de compresión proporciona facilidades matemáticas para el diseño de vigas rectangulares, La resultante de la distribución rectangular de esfuerzos propuesta por Whitney coincide con la resultante de la distribución no lineal.

Así como se ve en la siguiente figura, en donde la distribución de esfuerzos es rectangular en la zona a compresión.

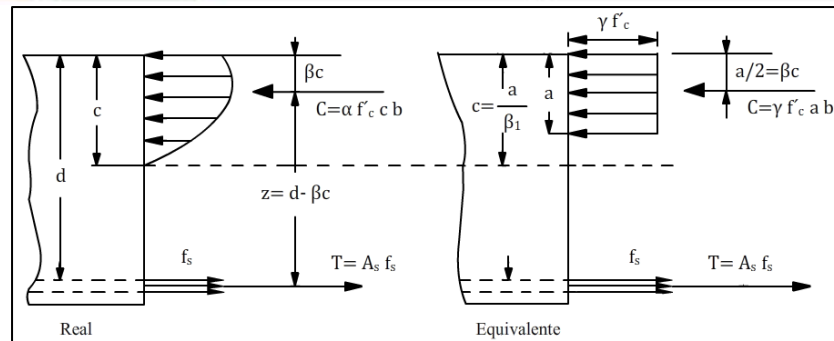


Figura 19. Distribución real y rectangular equivalente de esfuerzos.

A partir de la nueva distribución rectangular de esfuerzos, calculamos las ecuaciones de equilibrio: $C = T$

$$\gamma * f'_c * a * b = A_s f_y \quad (6)$$

Despejando la distancia a , tenemos:

$$a = \frac{A_s f_y}{\gamma * f'_c * b} \quad (7)$$

Finalmente haciendo momento desde el punto de compresión obtenemos:

$$M = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (8)$$

4.3.3 Tipos de fallas de los elementos sometidos a flexión.

Los elementos sometidos a flexión casi siempre fallan por compresión del concreto, sin embargo el concreto puede fallar antes o después que el acero fluya. La naturaleza de la falla es determinada por la cantidad de acero de refuerzo y es de tres tipos:

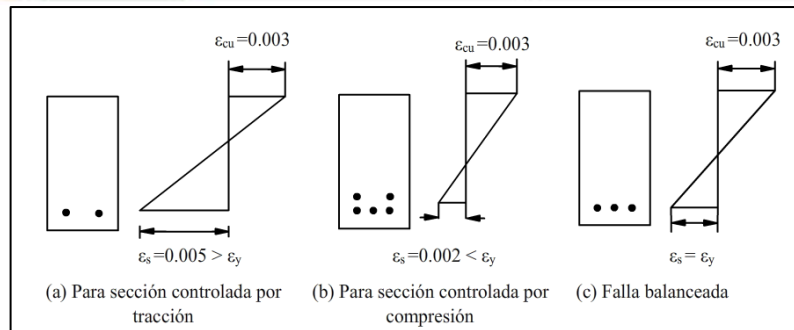


Figura 20. Distribución de deformaciones para los diversos tipos de fallas en flexión.

1) Falla por tensión (Sección sub-reforzada): En este tipo de falla, el acero fluye ($\epsilon_s = 0.005$), el elemento exhibe una falla dúctil. Se aprecian grandes deflexiones y grietas antes del colapso, lo cual alerta a los usuarios acerca de un peligro inminente de colapso.

2) Falla por compresión (Sección sobre-reforzada): En este caso, el acero no tiene oportunidad de fluir ($\epsilon_s < 0.0021$) y el concreto falla repentinamente ($\epsilon_c = 0.003$), la resistencia de una sección sobre-reforzada es mayor que la de una sección sub-reforzada de dimensiones similares, sin embargo el tipo de colapso no es conveniente porque es inminente. En el proceso de diseño de la sección se trata de evitar este tipo de falla.

3) Falla balanceada: Se produce cuando el concreto alcanza la deformación unitaria última ($\epsilon_c = 0.003$) simultáneamente con el inicio de fluencia del acero ($0.0021 < \epsilon_s < 0.005$)

4.3.4 Vigas doblemente reforzadas

[1] Si la sección transversal de una viga se limita a causa de consideraciones arquitectónicas u otras restricciones, puede ocurrir que el concreto no sea capaz de desarrollar la fuerza necesaria de compresión para resistir el momento actuante.

En este caso, se adiciona refuerzo en la zona de compresión, dando como resultado una viga que se denomina doblemente reforzada es decir, un refuerzo a compresión y otro a tensión.

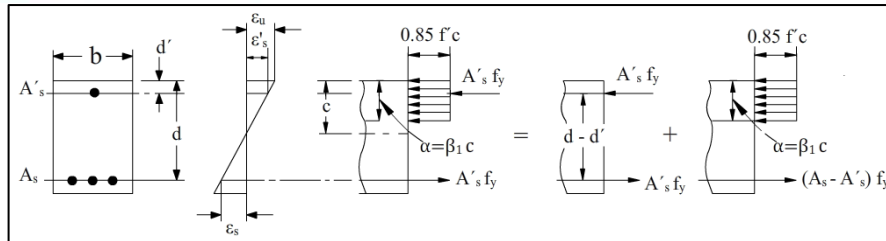


Figura 21. Esfuerzo y deformación de una viga doblemente reforzada.

En la **Figura 21**, se ve la sección transversal de una viga rectangular con acero a compresión A'_s localizado a una distancia d' desde la cara de compresión y con un acero a tensión A_s al nivel de la altura efectiva d . se supone que inicialmente tanto A_s como A'_s alcanzan el esfuerzo de fluencia f_y en el momento de falla.

El momento resistente total puede visualizarse como la suma de dos partes. La primera parte, M_{n1} , que la proporciona el par controlado por la fuerza en el acero a compresión A'_s y la fuerza de un área equivalente de la tensión.

$$M_{n1} = A'_s f_y (d - d') \quad (9)$$

La segunda parte M_{n2} , es la combinación del acero restante a tensión $A_s - A'_s$ que actúa con el concreto a compresión:

$$M_{n2} = (A_s - A'_s) f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (10)$$

$$\text{donde } a = \frac{(A_s - A'_s) f_y}{0.85 f'_c b}$$

Luego el momento nominal resistente total es:

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} \quad (11)$$

$$M_n = A'_s f_y (d - d') + (A_s - A'_s) f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

4.3.5 Análisis de elementos de sección T sometidos a flexión.

En las estructuras de concreto armado es muy común encontrarse con elementos de sección en T, por lo general en los entresijos de los edificios y puentes. Para este tipo de secciones, el método de análisis es básicamente el mismo que el usado para secciones rectangulares. Sin embargo, es preciso analizar de manera detallada la sección del elemento.

En C.8.12 de la NSR-10, nos ofrece toda la información sobre sistemas de vigas T.

El ancho efectivo de la losa usada como ala de las vigas T no deben exceder 1/4 de la luz de la viga o 4 veces b_w , y el ancho sobresaliente efectivo del ala a cada lado del alma no debe exceder:

- 8 veces el espesor de la losa, y
- La mitad de la distancia libre a la siguiente alma.

Y el espesor del ala debe ser:

$$h_f \leq \frac{b_w}{2} \quad (12)$$

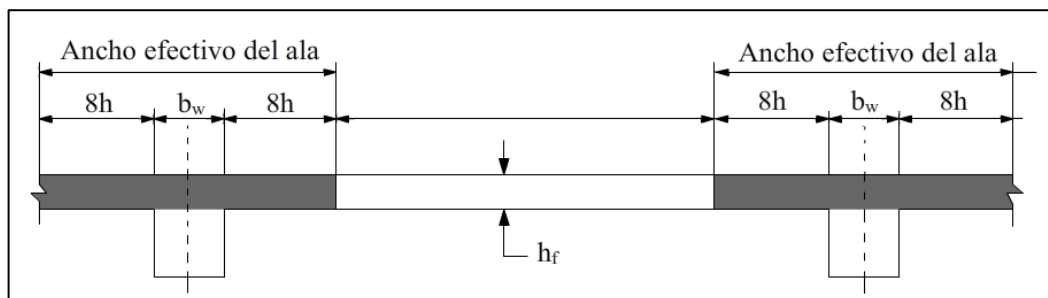


Figura 22. Ancho efectivo del ala de las vigas T

Para losas que tengan losa a un solo lado, el ancho efectivo sobresaliente efectivo del ala no debe exceder:

- a) $1/12$ de la luz de la viga
- b) 6 veces el espesor de la losa, y
- c) La mitad de la distancia libre a la siguiente alma.

4.3.5.1 Análisis de resistencia para vigas T

El eje neutro de las vigas T puede estar, bien sea en el ala o el alma, dependiendo de las dimensiones de la sección transversal, de la cantidad de acero a tensión y de la resistencia de los materiales. Si la profundidad calculada hasta el eje neutro es menor que o igual al espesor h_f de la losa, la viga puede analizarse como si fuera una viga rectangular de ancho b , el ancho efectivo el ala.

Cuando el eje neutro está en el alma, como se ve en la figura 23 a la derecha, el argumento expuesto ya no es válido. En este caso debe desarrollarse métodos que tengan en cuenta la forma real de la viga T en la zona de compresión.

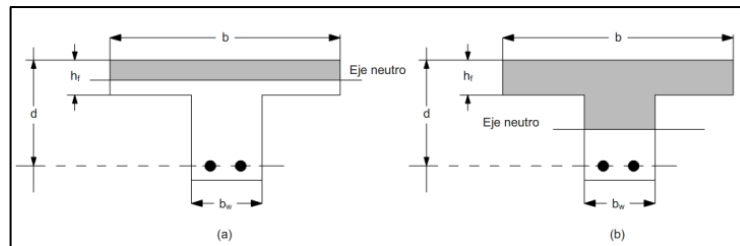


Figura 23. Secciones transversales efectivas para vigas T

El área a compresión se divide en: las alas y el alma de la viga T.

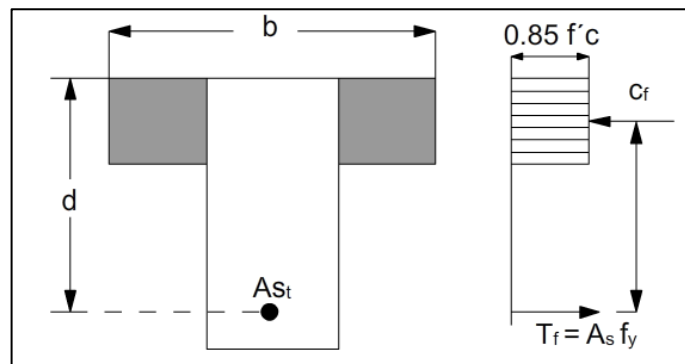


Figura 24. Esfuerzo en las alas de una viga T.

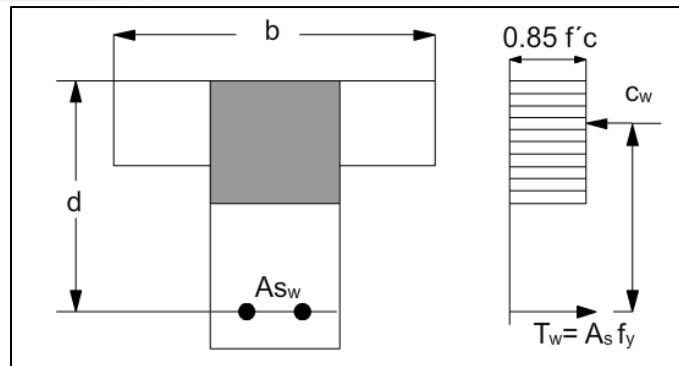


Figura 25. Esfuerzo en el alma de una viga T.

4.4 DISEÑO A CORTANTE

Como ya se mencionó en varias ocasiones en el capítulo anterior, el objetivo principal de la asignatura, es diseñar elementos estructurales de concreto que tengan un comportamiento dúctil, es decir que den aviso a las fallas que se empiezan a presentar.

La norma sismo resistente NSR-10 propone factores de seguridad mayores para diseño a cortante que los propuestos para diseño a flexión debido a que la falla a cortante es difícil de predecir en forma exacta, además si una viga presenta un diseño inadecuado del refuerzo a cortante y se sobrecarga hasta la falla, se puede presentar un colapso por cortante en forma súbita.



Figura 26. Agrietamiento por cortante.

En la mayoría de los casos los elementos de concreto armado se dimensionan para resistir las solicitaciones de flexión y posteriormente se verifica su resistencia al corte. En caso que la sección no resista el corte aplicado, se le refuerza con acero transversal.

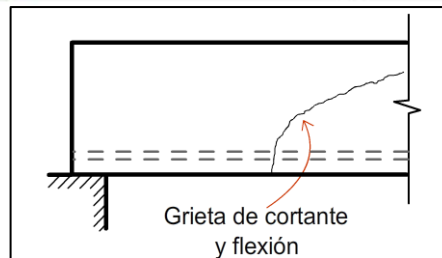


Figura 27. Agrietamiento por cortante y flexión.

4.4.1 Resistencia al cortante

[2]La resistencia al cortante se basa en un esfuerzo cortante promedio sobre toda la sección transversal efectiva $b_w d$. En un elemento sin refuerzo para cortante, este lo resiste el alma del concreto, mientras que en un elemento con refuerzo para cortante se supone que una parte este es resistida por el concreto y el resto por el refuerzo a cortante.

$$V_n = V_c + V_s \quad (13)$$

Donde V_c , para elementos únicamente sometidos a flexión y cortante, se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$V_c = 0,17 * \lambda * \sqrt{f'c} * b_w * d \quad (14)$$

Y para elementos sometidos a compresión.

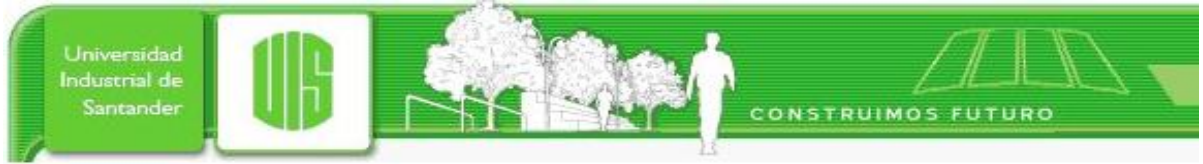
$$V_c = 0,17 * \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) * \lambda * \sqrt{f'c} * b_w * d \quad (15)$$

En el diseño a cortante nunca se debe considerar el V_s mayor a $0,66\sqrt{f'c} b_w d$. Cuando esto ocurra, se debe rediseñar la sección transversal de nuestro elemento, o se debe aumentar la resistencia a la compresión del concreto con el fin de que el V_s no supere el valor indicado.

$$V_s < 0,66\sqrt{f'c} b_w d \quad (16)$$

4.4.1.1 Resistencia al cortante proporcionada por el acero.

En la mayoría de casos, la resistencia al cortante que aporta el concreto no es suficiente para soportar los esfuerzos del cortante nominal, en tales casos se debe utilizar un refuerzo a cortante brindado por el acero (V_s), el cual consiste en:



- a) Estribos o flejes perpendiculares al eje del elemento
- b) Espirales, estribos circulares y estribos cerrados de confinamiento.

4.4.2 Cálculo del refuerzo a cortante.

Cuando V_u sea menor a $0,5 * \phi V_c$, el esfuerzo cortante es resistido en su totalidad por el concreto con un margen de seguridad adecuada en donde no es necesario el uso de estribos, sin embargo la NSR-10 nos indica que se deben colocar estribos con una separación igual al menor valor entre:

- $d/2$ En elementos de concretos no preesforzados.
- 60 Cm

4.4.2.1 Refuerzo mínimo a cortante $A_{v,min}$

[3] Cuando $V_u > 0,5 * \phi V_c$, si es necesario el uso de estribos, y se debe suministrar un área mínima de refuerzo para cortante $A_{v,min}$, excepto en:

- Zapatas y losas sólidas
- Losas nervadas de concreto con viguetas
- Vigas con h no mayor que 25 Cm
- Vigas integrales con losas con h no mayor de 60 Cm, y no mayor que el mayor de 2,5 veces el espesor de ala, ó 0,5 veces el ancho del alma.

Es necesario calcular el Área mínima de refuerzo para cortante, esta no debe ser menor a $(0,35 * b_w s) / f_{yt}$ y para hacerlo debemos conocer si nuestro elemento además de estar solicitado para esfuerzos de cortante lo está para torsión. Cuando el esfuerzo de torsión se puede despreciar podemos calcular el $A_{v,min}$ de la siguiente manera:

$$A_{v,min} = 0,0062 * \sqrt{f'_c} * \frac{b_w s}{f_{yt}} \quad (17)$$



4.4.2.2 Refuerzo a cortante V_s

Cuando V_u sea mayor a ϕV_c , el refuerzo a cortante V_s debe calcularse de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{S} \quad (18)$$

Con la anterior ecuación, podemos calcular el área del refuerzo que debemos suministrar, así como la separación S que se debe existir entre estribos.

[3] La norma sismo resistente NSR-10 en C.21.5 para (DES), nos dice que se deben disponer estribos confinados en los lugares más críticos como: la longitud igual a dos veces la altura de la sección transversal, medida desde la cara del elemento de apoyo hacia el centro de la luz, en ambos extremos del elemento en flexión. El primer estribo cerrado de confinamiento debe estar situado a no más de 50mm de la cara del elemento de apoyo. El espaciamiento de los estribos cerrados de confinamiento debe ser el valor menor de:

- (a) $d/4$
- (b) Ocho veces el diámetro de las barras longitudinales más pequeñas.
- (c) 24 veces el diámetro de la barra del estribo cerrado de confinamiento
- (d) 300 mm.

4.5 DISEÑO A TORSIÓN

Los elementos de concreto armado sometidos solo a torsión son muy escasos. Esta solicitación generalmente actúa en combinación con flexión y corte en las vigas y las columnas. La torsión se presenta en la mayoría de los casos por compatibilidad de deformaciones en las estructuras continuas. En estos casos, la torsión no genera el colapso de la estructura pero si puede generar un agrietamiento excesivo de sus elementos.

4.5.1 Cuando despreciar los efectos de torsión.

Para iniciar con el diseño a torsión del elemento estructural, debemos conocer el valor la torsión mayorada de la sección (T_u), para calcularla podemos utilizar métodos de análisis estructural o con ayuda de algún software como ETABS o SAP 2000.

Existe un valor de torsión llamado torsión umbral definida en C.11.5.1 de la NSR-10. A partir del cual podemos evaluar si podemos o no despreciar los efectos de torsión.

Cuando el elemento estructural este sometido a una torsión T_u menor a la torsión umbral, se podrá despreciar los efectos de la torsión en el elemento, de lo contrario se deberá hacer un análisis del refuerzo en acero que se debe suministrar.

Para elementos no preesforzados se podrá despreciar el efecto a torsión cuando:

$$T_u < \phi 0.083 \lambda \sqrt{f'_c} * \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (19)$$

Para elementos no preesforzados sometidos a tracción axial o fuerzas de compresión se podrá despreciar el efecto a torsión cuando:

$$T_u < 0.083 \lambda \sqrt{f'_c} * \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) * \sqrt{1 + \frac{N_u}{0.33 * A_g * \lambda * \sqrt{f'_c}}} \quad (20)$$

4.5.2 Elementos estáticamente indeterminados:

Si nuestro elemento estructural es catalogado como indeterminado, podemos hacer una reducción del momento torsional debido a que en estructuras de este tipo se produce una redistribución de fuerzas internas.

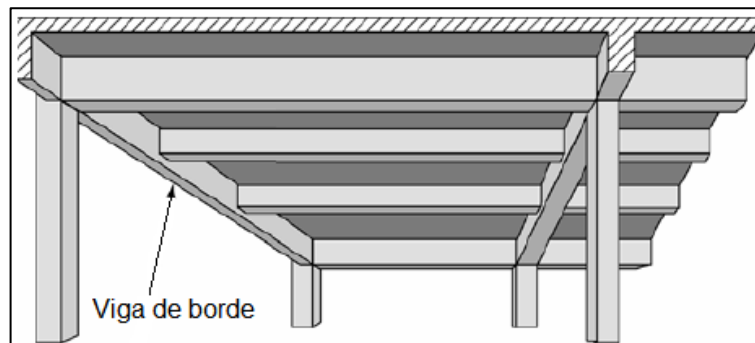


Figura 28. Ejemplo de viga de borde indeterminada donde el torque puede ser reducido

En estos casos se permite reducir el T_u máximo a los siguientes valores:

En elementos no preesforzados:

$$\phi 0.33 \lambda \sqrt{f'c} * \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (21)$$

Para elementos no preesforzados sometidos a una fuerza axial de tracción o compresión:

$$0.33 * \lambda * \sqrt{f'c} * \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) * \sqrt{1 + \frac{N_u}{0.33 * A_g * \lambda * \sqrt{f'c}}} \quad (22)$$

4.5.3 Elementos estáticamente determinados:

Si nuestro elemento estructural es catalogado como determinado, los momentos torsionales no pueden ser reducidos ya que no se produce ninguna redistribución de fuerzas internas.

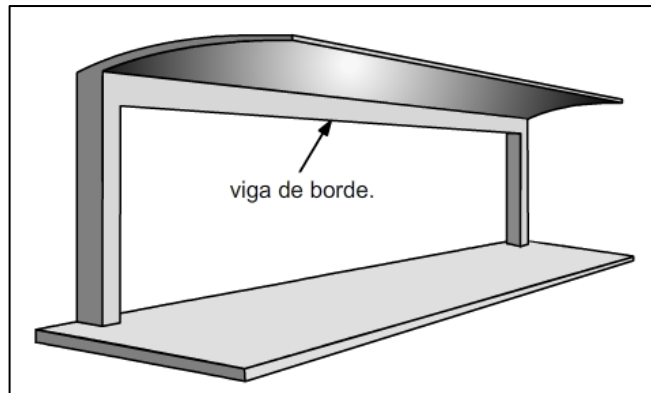


Figura 29. Ejemplo de viga de borde determinada donde el torque no puede ser reducido

4.5.4 Sección apta.

Las dimensiones de la sección transversal del elemento estructural deben además cumplir el siguiente requisito de sección apta según C.11.5.3.1 para:

(a) secciones sólidas.

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d} \right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1.7 * A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w * d} + 0.66 \sqrt{f'c} \right) \quad (23)$$

(b) secciones huecas:

$$\left(\frac{V_u}{b_w d}\right) + \left(\frac{T_u P_h}{1.7 * A_{oh}^2}\right) \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w * d} + 0.66\sqrt{f'_c}\right) \quad (24)$$

4.5.5 Cálculo del refuerzo a torsión.

Si la torsión que tenemos en el elemento estructural es mayor a la torsión umbral debemos suministrar un refuerzo en acero, el cual consiste en refuerzo longitudinal y en estribos transversales cerrados iguales a los que se utilizan en el refuerzo a cortante, esto debido a que el agrietamiento inclinado causado por torsión puede producirse en todas las caras del elemento.

En elementos no preesforzados, las secciones ubicadas a menos de una distancia d de la cara de un apoyo deben ser diseñadas por lo menos para T_u calculada a una distancia d . Si se presenta un torque concentrado dentro de dicha distancia, la sección crítica de diseño debe ser la cara del apoyo.

Por medio de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.5.** calculamos el T_n y con este, podemos hallar la separación S a la cual deben estar los estribos.

T_n debe calcularse por medio de:

$$T_n = \frac{2 * A_o * A_t * f_{yt}}{s} * \cot(\theta) \quad (25)$$

4.5.6 Refuerzo longitudinal necesario para torsión.

El área adicional de refuerzo longitudinal necesario para resistir torsión, A_l , no debe ser menor que:

$$A_l = \frac{A_t}{s} * P_h * \left(\frac{f_{yt}}{f_y}\right) * \cot^2 \theta \quad (26)$$

4.6 LONGITUD DE DESARROLLO Y EMPALMES DE REFUERZO

La longitud de desarrollo es la distancia mínima de una varilla de acero corrugado embebida en el concreto necesario para que se alcance una eficiente adherencia entre los dos materiales (concreto y acero) y así presentar las condiciones óptimas de resistencia y de fluencia que se esperan del Hormigón Armado.

En este capítulo se estudia la longitud de desarrollo de las barras de refuerzo para el concreto, además de la longitud de traslapo, que son empalmes entre dos

barras a las que se necesita garantizar continuidad y longitudes de gancho necesarias para conectar elementos estructurales y así presentar un comportamiento óptimo de una estructura.

En C.12 de la NSR-10, se encuentra todo lo referente a la longitud de desarrollo.

4.6.1 Desarrollo de barras corrugadas y de alambres corrugados a tracción.

[3] La longitud de desarrollo para zonas a tracción nunca debe ser menor de 30cm y para calcularla tenemos dos ecuaciones que dependen del diámetro de cada barra de acero y están dadas en la siguiente tabla.

Tabla 3. Longitud de desarrollo para barras corrugadas

Espaciamiento y recubrimiento	Barras No 6 o menores	Barras No 7 y mayores
Espaciamiento libre entre barras o alambres que están siendo empalmados o desarrollados no menor que db , recubrimiento libre no menor que db , y estribos a lo largo de ld no menos que el mínimo del Título C del reglamento NSR-10 o espaciamiento libre entre barras o alambres que están siendo desarrolladas o empalmadas no menor a 2db y recubrimiento libre no menor a db	$\left(\frac{f_y * \psi_t * \psi_e}{2.1 * \lambda * \sqrt{f'_c}}\right) * d_b$	$\left(\frac{f_y * \psi_t * \psi_e}{1.7 * \lambda * \sqrt{f'_c}}\right) * d_b$
Otros casos	$\left(\frac{f_y * \psi_t * \psi_e}{1.4 * \lambda * \sqrt{f'_c}}\right) * d_b$	$\left(\frac{f_y * \psi_t * \psi_e}{1.1 * \lambda * \sqrt{f'_c}}\right) * d_b$

4.6.2 Desarrollo de barras corrugadas y de alambres corrugados a compresión.

En C.12.3.1 de la NSR-10, la longitud de desarrollo para barras corrugadas y alambre a compresión l_{dc} , se debe calcular a partir de C.12.3.2 y los factores de modificación de C.12.3.3 pero l_{dc} no debe ser menor de 200mm y se calcula entre el mayor de $(0.24f_y/\lambda\sqrt{f'_c})db$ y $(0.043fy)db$. Donde 0.043 se toma en mm^2/N .

4.6.3 Desarrollo de ganchos estándar en tracción.

[1,3] La longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción que terminen en un gancho estándar l_{dh} , es igual a $(0.24\psi_e f_y / \lambda \sqrt{f'_c}) d_b$, la cual no debe ser menor a 150mm. Donde ψ_e y λ se toma como 0.75 para concretos livianos y 1.0 para concreto peso normal.

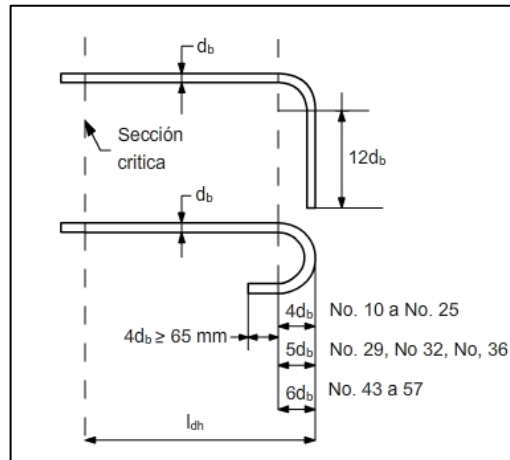


Figura 30. Detalles de barras dobladas para desarrollar gancho estándar.

El diámetro de la barra del gancho, y el primer estribo debe confinar la parte doblada del gancho, a una distancia no menor a $2d_b$ del borde externo del gancho.

4.6.4 Empalmes del refuerzo

Para realizar traslapos entre las barras longitudinales se tiene en cuenta:

4.6.4.1 Empalmes por traslapo a tracción:

[3] La longitud mínima del empalme por traslapo en tracción debe ser la requerida para empalmes por traslapo clases A o B, pero no menor que 300 mm, donde:

Empalme por traslapo clase A: $1.0l_d$

Empalme por traslapo clase B: $1.3l_d$

La longitud de un empalme por traslapo en compresión debe ser $0.071f_y d_b$, para f_y igual a 420 MPa o menor, $(0.13f_y - 24)d_b$ para f_y mayor que 420 MPa, pero no debe ser menor a 300 mm. Para f'_c menores a 21MPa el empalme por traslapo debe incrementarse en 1/3.



4.6.4.2 Empalmes de barras corrugadas a compresión:

La longitud de un empalme por traslapeo en compresión debe ser $0.071f_y d_b$, para f_y igual a 420 MPa o menor, $(0.13f_y - 24)d_b$ para f_y mayor que 420 MPa, pero no debe ser menor a 300 mm. Para f'_c menores a 21MPa el empalme por traslapeo debe incrementarse en 1/3.

Cuando se empalman barras de diferente diámetro en compresión, la longitud del empalme por traslapeo debe ser la mayor de l_{dc} de la barra de tamaño mayor, o la longitud del empalme en compresión por traslapeo de la barra de tamaño menor.

Se permite empalmar por traslapeos barras No. 14 y No. 18 con barras de No. 36 o menores.

4.7 COLUMNAS

Una columna es un elemento axial a compresión, lo bastante delgado respecto su longitud, para que bajo la acción de una carga gradualmente creciente se rompe por flexión lateral o pandeo ante una carga mucho menos que la necesaria para romperlo por aplastamiento.

Las columnas se pueden clasificar de la siguiente forma:

- **Columnas cortas**

En las cuales la resistencia se rige por la resistencia de los materiales y por la geometría de la sección transversal.

- **Columnas esbeltas**

En las cuales la resistencia puede reducirse en forma significativa por las deflexiones laterales, es decir influyen los efectos de segundo orden y los problemas de inestabilidad del equilibrio.

4.7.1 Columnas de concreto reforzado

Se utiliza tres tipos de elementos a compresión reforzado:

1. Elementos reforzados con barras longitudinales y flejes transversales.
2. Elementos reforzados con barras longitudinales y espirales continuas.
3. Elementos compuestos a compresión reforzados longitudinalmente con perfiles de acero estructural o con tubos con o sin barras longitudinales adicionales, además de diferentes tipos de refuerzo transversal.

4.7.2 Columnas de concreto reforzado sometidas a fuerza axial

La resistencia nominal máxima en compresión, capaz de soportar una sección de concreto reforzado, corresponde a:

$$P_n = 0.85f'_c A_c + A_{st}f_y \quad (27)$$

4.7.2.1 Excentricidad equivalente para la carga de una columna

Para el análisis, se puede reemplazar la carga axial concéntrica y el momento de flexión por una carga con una excentricidad de magnitud $e=M/P$. en el caso de tener excentricidades pequeñas, entonces la sección completa está sometida a compresión y la falla del elemento se da por aplastamiento del concreto y fluencia del acero en compresión.

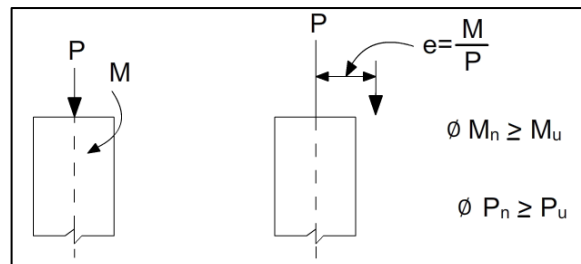


Figura 31. Excentricidad de una columna

4.7.3 Análisis de compatibilidad de deformaciones y diagrama de interacción

La distribución de deformaciones unitarias en una sección cualquiera y para un estado de falla inminente, se ilustra en la siguiente figura: y suponiendo que las secciones permanecen planas, las deformaciones en el concreto varían linealmente con la distancia desde el eje neutro. Al igual que para flexión simple, la distribución real de esfuerzos a compresión en el concreto se reemplaza por una distribución rectangular equivalente.

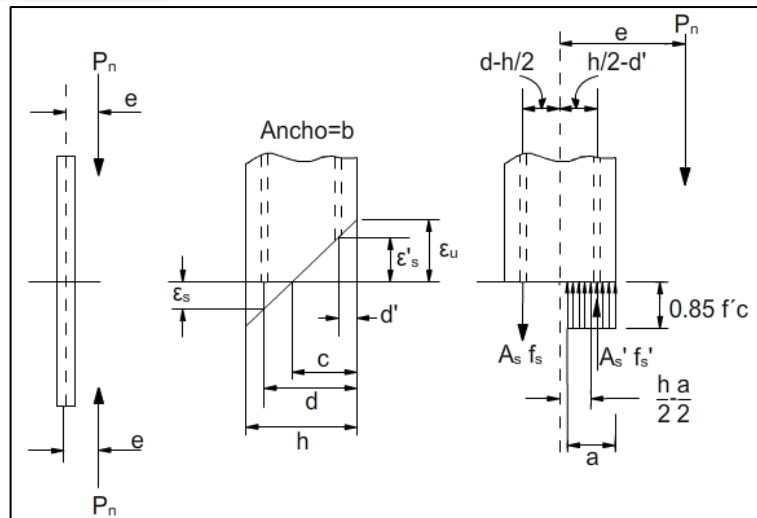


Figura 32. Esfuerzo y deformación de una columna con excentricidad.

La carga axial y el momento de flexión varían con la profundidad del eje neutro (c) desde la fibra más lejana en compresión. Los valores de P y M pueden ser graficados para así obtener los **diagramas de interacción** de momento de flexión versus carga axial de la columna.

Una vez conocidas las deformaciones y los esfuerzos en los materiales, se puede calcular la resistencia en los materiales, calculando la resistencia a la compresión y flexión de la sección transversal, aplicando las ecuaciones de la estática $\sum F=0$, $\sum M=0$, de lo cual se obtiene que para el caso de una columna rectangular con acero a compresión y en tensión, la siguiente ecuación.

$$P_n = 0.85f'_c ab + A'_s f'_s - A_s f_s \quad (28)$$

Para el cálculo del momento ya sabemos que es igual a $P_n * e$ lo cual se resume en las siguientes ecuaciones.

$$M_n = P_n * e$$

$$M_n = 0.85f'_c ab \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + A_s f_s \left(d - \frac{h}{2} \right) \quad (29)$$

Mediante estas fórmulas y con algunas pequeñas variaciones, se puede realizar el análisis para columnas con otras formas de sección transversal y con mayores cantidades o capas de acero. El análisis y el diseño en flexo-compresión para columnas se realizan mediante la construcción de diagramas de interacción de carga axial y momento de flexión, para lo cual se utilizan las formulas planteadas

anteriormente y se varía la profundidad del eje neutro (c) para obtener varios puntos (M, P). Las gráficas de momento versus carga axial tiene la forma que se muestra en la siguiente figura.

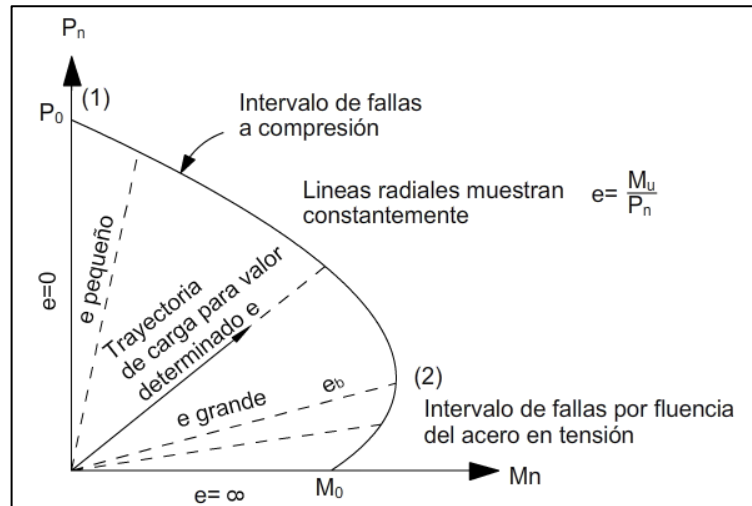
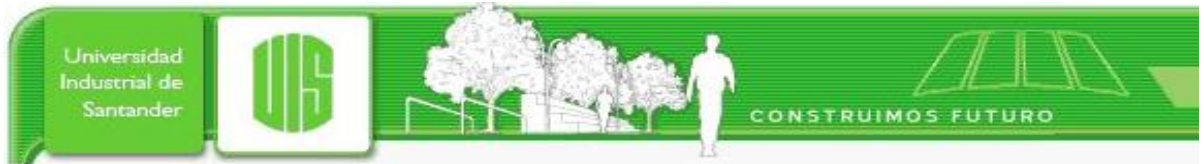


Figura 33. Diagrama de interacción de una columna sometida a flexión y carga axial combinadas.

5 CONCLUSIONES

- La aplicación desarrollada con cada uno de los temas planteados, busca la mejor comprensión a la hora de abordar cada uno de ellos y que el estudiante tenga un apoyo fuera de clase, haciendo uso de esta herramienta.
- Gracias al estudio estadístico de las notas obtenidas en semestres anteriores por un número de grupos, pudimos observar que existen grandes falencias por parte del estudiantado, ya que el porcentaje de estudiantes que aprobaron cada uno de los cortes es muy bajo, es por ello que este material realizado les será de gran ayuda para mejorar la parte académica a la hora de afrontar cada prueba impuesta por el docente.
- Cada tema está enfocado y debidamente sustentado por la norma sismo resistente colombiana NSR-10, lo cual les será de gran ayuda para los estudiantes, ya que les será más fácil buscar en ella cuando deseen consultarla.
- Los ejercicios desarrollados en la aplicación, busca que los estudiantes vean de manera más pausada y con mayor claridad todos los conceptos dados en clase.



- Los videos encontrados en la aplicación están enfocados en mostrar de manera más directa, el comportamiento de los materiales del hormigón armado y de las estructuras de concreto, como se comporta estas cuando está sometido a cargas, el porqué de las fallas del material y la capacidad de soportar las cargas cuando se hace un buen diseño.
- Las animaciones encontradas a medida que se avanza en la aplicación, generan un mayor dinamismo visual para el estudiante, explicando de mejor manera apartados de la norma NSR-10 y otros conceptos tratados en la asignatura.



BIBLIOGRAFÍA

[1] Diseño de estructuras de concreto, -Arthur H. Nilson- Duodécima edición- (2001) M Graw Hill.

[2] Diseño de estructuras de concreto, -Teodoro E. Harmsen, Tercera edición (2002)-Pontificia Universidad Católica del Perú- FONDO EDITORIAL.

[3] Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, -Título A-Título B y Título C-Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica-(2010)

[4] Como se hace el hormigón, -YouTube, -tomado el 3 de octubre de 2013, de <http://www.youtube.com/watch?v=cvt&feature=view-plytrfh57svc>

[5] Norma técnica Colombiana 2289, -Icontec