

**DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE CAPACIDAD DE UNA PANTALLA DE
CONCRETO REFORZADO MEDIANTE EL SOFTWARE OPENSEES**

**HAROLD YESID CARDENAS TIRADO
JULIAN ANDRES NIÑO ORTEGA**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2017**

**DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE CAPACIDAD DE UNA PANTALLA DE
CONCRETO REFORZADO MEDIANTE EL SOFTWARE OPENSEES**

**HAROLD YESID CARDENAS TIRADO
JULIAN ANDRES NIÑO ORTEGA**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**DIRECTOR
ROBINSON MANTILLA GARCIA**
Ingeniero Civil

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2017**

**DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE CAPACIDAD DE UNA PANTALLA DE
CONCRETO REFORZADO MEDIANTE EL SOFTWARE OPENSEES**

**JULIAN ANDRES NIÑO ORTEGA
HAROL YESID CARDENAS TIRADO**

DIRECTOR

ROBINSON MANTILLA GARCÍA

**PROFESOR FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

VOBO _____

Proyecto de grado para optar por el título de ingeniero civil

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO
BUCARAMANGA**

2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

BUCARAMANGA, JULIO 2017

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso por permitirnos lograr este importante objetivo en nuestras vidas.

A nuestros padres que inculcando su amor, sabiduría, comprensión y confianza nos dieron la oportunidad de formarnos como profesionales en esta prestigiosa institución.

A Cindy Estévez y Mafe Muñoz por su incondicional y desinteresado apoyo, estando siempre de la mano con amor durante nuestro proceso de formación.

Harold Yesid Cárdenas Tirado

Julián Andrés Niño Ortega

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios por habernos dado la fortaleza, vida, salud y éxito para cumplir con esta bonita etapa de nuestra vida

A nuestros padres por toda su colaboración, esfuerzo y compromiso brindándonos el cariño, ánimo, tolerancia y comprensión que nos dieron la fortaleza para seguir adelante en las adversidades del camino

Al ingeniero PhD Gustavo Ospina por su colaboración incondicional durante todo el proceso de desarrollo del proyecto, por su amabilidad y su buena actitud ofreciéndose siempre a resolver todas nuestras inquietudes.

A nuestro director de proyecto el ingeniero especialista Robinson Mantilla por su dedicación, tiempo, sabiduría, transmitir sus conocimientos con paciencia, sencillez y además de esto siempre mostrando su apoyo, compartiendo su conocimiento y guiándonos por el camino del trabajo y la responsabilidad.

A todo el cuerpo de docentes de la facultad de ingeniería Civil que con dedicación nos forjaron en calidad con sentido humano, disponiendo para nosotros de su tiempo y experiencia.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
1 OBJETIVOS	15
1.1 OBJETIVOS GENERAL.....	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
2 ESTADO DEL ARTE	16
3 MARCO TEÓRICO	18
3.1 MUROS ESTRUCTURALES	18
3.2 PROCEDIMIENTO GENERAL NO LINEAL ESTÁTICO DE PLASTIFICACION PROGRESIVA “PUSH-OVER” ..	19
3.3 METODO DE ANALISIS DINAMICO	21
3.3.1 <i>MÉTODO DE ANALISIS DINÁMICO CRONOLÓGICO</i>	21
3.4 SOFTWARE OPENSEES.....	21
3.5 MATERIALES DEL SOFTWARE OPENSEES.....	22
3.5.1 <i>CONCRETO 01</i>	22
3.5.2 <i>CONCRETO 07 – MODELO DE CHANG & MANDER’S 1994</i>	25
3.5.3 <i>ACERO 01</i>	27
3.5.4 <i>ACERO 02</i>	28
3.5.5 <i>RESUMEN DE DATOS DE CONCRETO EN OPENSEES</i>	29
3.5.6 <i>RESUMEN DATOS ACERO OPENSEES – DIACO</i>	29
4 METODOLOGÍA PARA EL MODELADO EN OPENSEES	31
4.1 PLANOS DEL MURO SELECCIONADO	32
4.2 INGRESO DE CÓDIGO	33
4.2.1 <i>Establecer los parámetros iniciales de diseño del elemento estructural</i>	33
4.2.2 <i>Define la masa y aplica la carga sísmica en el nodo libre</i>	33
4.2.3 <i>Se generan las condiciones de apoyo del nodo base donde se restringen los desplazamientos en x, y y/o la rotación en z.</i>	33
4.2.4 <i>Definición de materiales</i>	34
<i>Ejemplo1: Concrete06 & Steel01</i>	34
4.2.5 <i>Definición de fibras y secciones</i>	35
4.2.6 <i>Conversión de coordenadas</i>	37
4.2.7 <i>“zerolength”</i>	37

4.2.8	<i>"nonlinearBeamColum"</i>	38
4.2.9	<i>"loadPattern"</i>	38
4.2.10	<i>Aplicación de carga externa</i>	38
4.2.11	<i>"uniformExcitation"</i>	39
4.2.12	<i>Asignar amortiguación</i>	40
4.2.13	<i>Datos de salida</i>	40
5	CASOS DE ESTUDIO	41
5.1	TABLA RESUMEN COMBINACIONES	41
6	ANÁLISIS DE RESULTADOS	42
6.1	ANÁLISIS DE MOMENTO CURVATURA	42
6.2	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL ELEMENTO FRENTE AL SISMO	43
6.2.1	<i>CURVA DE HISTÉRESIS DC01S01</i>	43
6.2.2	<i>CURVA DE HISTÉRESIS DC01S02</i>	44
6.2.3	<i>CURVA DE HISTÉRESIS DC06S01</i>	44
6.2.4	<i>CURVA DE HISTÉRESIS DC06S02</i>	44
6.2.5	<i>CURVA DE HISTÉRESIS DC07S01</i>	45
6.2.6	<i>CURVA DE HISTÉRESIS DC07S02</i>	45
6.2.7	<i>COMPARACIÓN DE LA CURVA DE CAPACIDAD DE LAS COMBINACIONES</i>	46
6.2.8	<i>RIGIDEZ DEL ELEMENTO</i>	47
6.3	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL ELEMENTO FRENTE UNA CARGA PUNTUAL INCREMENTAL ..	48
6.3.1	<i>CURVA DE CAPACIDAD PC01S02</i>	48
6.3.2	<i>CURVA DE CAPACIDAD PC06S01</i>	49
6.3.3	<i>CURVA DE CAPACIDAD PC07S01</i>	50
6.3.4	<i>CURVA DE CAPACIDAD PC07S02</i>	51
6.3.5	<i>COMPARACIÓN DE LA CURVA DE CAPACIDAD DE LAS COMBINACIONES</i>	52
7	CONCLUSIONES	53
8	RECOMENDACIONES	53
9	REFERENCIAS	54

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 RESPUESTA DÚCTIL DE UN EJEMPLO DE MURO ACOPLADO [3]	19
FIGURA 2 RELACIÓN ESFUERZO-DEFORMACIÓN PARA EL MATERIAL CONCRETE 01	23
FIGURA 3 RELACIÓN ESFUERZO-DEFORMACIÓN PARA EL MATERIAL CONCRETE 06	24
FIGURA 4 RELACIÓN ESFUERZO-DEFORMACIÓN PARA EL MATERIAL CONCRETE 07	26
FIGURA 5 COMPORTAMIENTO HISTÉRICO DE MODELO STEEL01 CON Y SIN ENDURECIMIENTO ISOTRÓPICO	27
FIGURA 6 COMPORTAMIENTO HISTÉRICO DE MODELO STEEL02 CON Y SIN ENDURECIMIENTO ISOTRÓPICO	28
FIGURA 7 DIAGRAMA ESFUERZO – DEFORMACIÓN DE UNA BARRA DE ACERO [5]	30
FIGURA 8 MURO DE CONCRETO REFORZADO – CORTE TRANSVERSAL – VISTA SUPERIOR	32
FIGURA 9 MURO DE CONCRETO REFORZADO – VISTA ISOMÉTRICA	32
FIGURA 10 FIBRAS DE CONCRETO REFORZADO.	35
FIGURA 11 CAPAS DE CONCRETO.	36
FIGURA 12 REPRESENTACIÓN MOMENTO-CURVATURA DE UNA PANTALLA DE CONCRETO REFORZADO APLICANDO 4 DIFERENTES CARGAS AXIALES.	42
FIGURA 13 REPRESENTACIÓN DE SISMO MAULE, CHILE 2010 DE ACELERACIÓN- TIEMPO	43
FIGURA 14 REPRESENTACIÓN FUERZA – DEFORMACIÓN DE LA COMBINACIÓN DC01S01.....	43
FIGURA 15 REPRESENTACIÓN FUERZA – DEFORMACIÓN DE LA COMBINACIÓN DC01S02.....	44
FIGURA 16 REPRESENTACIÓN FUERZA – DEFORMACIÓN DE LA COMBINACIÓN DC06S01.....	44
FIGURA 17 REPRESENTACIÓN FUERZA – DEFORMACIÓN DE LA COMBINACIÓN DC06S02.....	44
FIGURA 18 REPRESENTACIÓN FUERZA – DEFORMACIÓN DE LA COMBINACIÓN DC07S01.....	45
FIGURA 19 REPRESENTACIÓN FUERZA – DEFORMACIÓN DE LA COMBINACIÓN DC07S02.....	45
FIGURA 20 CURVA DE CAPACIDAD EN CARGA- DEFORMACIÓN	46
FIGURA 21 REPRESENTACIÓN DE LA CURVA DE CAPACIDAD DE LA PANTALLA EN FUERZA – DEFORMACIÓN DE LA COMBINACIÓN PC01S02	48
FIGURA 22 REPRESENTACIÓN DE LA CURVA DE CAPACIDAD DE LA PANTALLA EN FUERZA – DEFORMACIÓN DE LA COMBINACIÓN PC06S01	49
FIGURA 23 REPRESENTACIÓN DE LA CURVA DE CAPACIDAD DE LA PANTALLA EN FUERZA – DEFORMACIÓN DE LA COMBINACIÓN PC07S01	50
FIGURA 24 REPRESENTACIÓN DE LA CURVA DE CAPACIDAD DE LA PANTALLA EN FUERZA – DEFORMACIÓN DE LA COMBINACIÓN PC07S02	51
FIGURA 25 CURVA DE CAPACIDAD EN CARGA- DEFORMACIÓN	52

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 RESUMEN DE DATOS DE CONCRETO EN OPENSEES	29
TABLA 2 RESUMEN DATOS ACERO OPENSEES – DIACO	30
TABLA 3 RESUMEN COMBINACIONES.....	41
TABLA 4 RIGIDEZ DEL ELEMENTO	47

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE CAPACIDAD DE UNA PANTALLA DE CONCRETO REFORZADO MEDIANTE EL SOFTWARE OPENSEES

AUTOR(ES): HAROLD YESID CÁRDENAS TIRADO
JULIÁN ANDRÉS NIÑO ORTEGA

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): ROBINSON MANTILLA GARCÍA

RESUMEN

Se presenta un estudio sobre un elemento estructural empotrado tipo pantalla de concreto reforzado diseñado mediante el software OpenSees, en éste se realizan comparaciones de la respuesta de la estructura frente a una carga puntual(Push Over) y una sísmica(Time History) variando entre las diferentes combinaciones de los materiales proporcionados por el software y seleccionados previamente. Se busca evaluar las deformaciones de la estructura frente a una misma magnitud de carga

**PALABRAS
CLAVES:**

PushOver, curva de capacidad, ductilidad, momento curvatura.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: DETERMINATION OF THE CAPACITY CURVE OF A REINFORCED CONCRETE SCREEN THROUGH THE OPENSEES SOFTWARE

AUTHOR(S): HAROLD YESID CÁRDENAS TIRADO
JULIÁN ANDRÉS NIÑO ORTEGA

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: ROBINSON MANTILLA GARCÍA

ABSTRACT

A study on a reinforced concrete screen structural element designed by the OpenSees software is presented, in which the structure response is compared to a Push Over and a Time History, varying between the Different combinations of the materials provided by the software and previously selected. It is tried to evaluate the deformations of the structure against the same magnitude of load.

KEYWORDS:

Pushover, capacity curve, ductility, moment curvature

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

A través del paso de los años el hombre busca mejorar su calidad de vida con lo cual intenta que las condiciones de su entorno le permitan su desarrollo. El hombre que por naturaleza busca agruparse en colonias para así poder trabajar en equipo y unir sus fuerzas hacia un objetivo común.

Por medio de sus obras de infraestructura una ciudad canaliza y aumenta su crecimiento, pues esto permite el desarrollo del comercio, las urbanizaciones para vivienda, la industria o la educación por ejemplo. Por esto la construcción es de gran importancia y su diseño implica gran responsabilidad pues de éste dependen vidas humanas.

Un episodio que marcó la historia de la construcción en Colombia fue el colapso de la etapa 6 del Edificio Space el 12 de Octubre del 2013 la cual presento fallas en su diseño estructural en cuanto a dimensionamientos y la calidad de los materiales empleados en la construcción del mismo. Este lamentable evento dejó como resultado 12 personas fallecidas.

Después de este acontecimiento se creó la ley 1796 de 2016 (Ley Antispace) que brinda protección a los compradores de vivienda, ejerce mayor control en las medidas de seguridad de las edificaciones y mayor control sobre los curadores urbanos, además de ser más rigurosos con el cumplimiento de las normas sismo resistentes, y el cumplimiento de la ley nacional 400 de 1997.

Además del edificio Space se cerraron 11 urbanizaciones más las cuales tenían características similares y a pesar de las presuntas rigurosidades en cuanto a normativas se presentó un nuevo colapso en Cartagena, el Edificio Blas de Lezo en Abril de 2017.

Por lo tanto se busca hacer un análisis profundo en cuanto al comportamiento estructural de una pantalla en concreto reforzado que varía entre las combinaciones de diferentes tipos de materiales ya seleccionados que nos proporciona el software OpenSees y se les aplica una carga sísmica y a su vez una carga puntual incremental para después poder obtener su curva de capacidad la cual nos muestra la fuerza empleada con su correspondiente deformación.

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVOS GENERAL

Determinar la curva de capacidad de una pantalla de concreto reforzado utilizando carga monotónica y dinámica mediante el software OpenSees.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

El cumplimiento del objetivo general del trabajo de grado comprende:

- Identificar las propiedades de los materiales que se utilizan en la pantalla de concreto reforzado a estudiar.
- Identificar las secciones utilizando el método de las fibras.
- Determinar la gráfica de momento – curvatura de la pantalla de concreto reforzado a ensayar.

2 ESTADO DEL ARTE

A menudo se utilizan paredes estructurales para resistir las cargas laterales aplicadas a los edificios. Históricamente, los muros estructurales han tenido mucho éxito al limitar el daño tanto a los elementos estructurales como a los no estructurales. Investigadores de la Universidad de Minnesota (UMN), Universidad Estatal de Iowa (ISU), la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez, y un ingeniero consultor del Grupo Bashaw Nakaki, Inc. en California prueban y se analizaron cinco moldeado en el lugar concreto estructural Paredes, tres paredes rectangulares y dos paredes en T. Todas las paredes fueron analizadas utilizando el paquete de elementos finitos de código abierto OpenSees. Se realizaron análisis de las paredes antes y después de la prueba para comprender las capacidades de simulación y las mejoras necesarias para mejorar la simulación y la predicción de la respuesta de las paredes estructurales. [1]

En el año 2009 Jonathan David Waugh con su tesis de grado “Nonlinear analysis of T-shaped concrete walls subjected to multi-directional displacements” para aspirar al título de PhD en Ingeniería Civil incursiono en el empleo del concreto⁰⁷ dentro del software OpenSees con el modelo de concreto propuesto por Chang & Mander en 1995. [2]

En general, el enfoque de modelado basado en fibras utilizado en esta investigación de las paredes estructurales ensayadas en la instalación MAST fue muy exitoso en capturar tanto las respuestas globales como locales tanto de paredes rectangulares como no rectangulares bajo varias cargas aplicadas.

Por otra parte en el estudio llamado “Estudio de elemento estructural para medir comportamiento ante situación sísmica” se someten 21 columnas de concreto reforzado confinado con dimensiones iguales a fuerzas a fuerza lateral cíclica y axial constante para conocer la importancia de los estribos, el ensayo se detuvo cuando

la columna no pudo sostener la carga axial total o la fuerza lateral se redujo en más del 50% de la fuerza máxima experimentada. [3]

Finalmente la columna con múltiples estribos soporta mejor la carga axial, las barras longitudinales tuvo relación directa con la resistencia lateral, al utilizar estribos la rigidez del elemento se perdió con mayor lentitud.

Como precedente en el uso del software OpenSees también se debe tener en cuenta el estudio “ [4]” desarrollado por Negar Elhami Khorasani, Maria EM Garlock y Spencer E. Quiel en septiembre del 2015 se hace uso del software aprovechando la capacidad que tiene para trabajar el acero de manera no lineal y con su modificación que permite tener en cuenta la carga térmica y su afectación sobre le elemento analizado pretende mitigar desplomes e incendios en estructuras después de un evento sísmico

3 MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan los conceptos básicos utilizados en el desarrollo metodológico, donde se describen los fundamentos relacionados con las pantallas de concreto reforzado, las cargas puntuales incrementales, las cargas dinámicas tipo sismo y los elementos estructurales ofrecidos por el software OpenSees y utilizados en el desarrollo de este proyecto.

3.1 MUROS ESTRUCTURALES

Desde hace mucho se ha reconocido la utilidad de las pantallas de concreto reforzado en la planeación de edificios multinivel.

Si los muros están estratégicamente ubicados pueden proporcionar gran resistencia a los esfuerzos laterales producidos por el viento y los sismos.

Para edificios de hasta 20 pisos el uso de paredes estructurales es a menudo una cuestión de elección. Para edificios de más de 30 pisos, las paredes estructurales pueden llegar a ser necesarios. [4]

Los criterios básicos que el diseñador intentará satisfacer son rigidez, resistencia y ductilidad. Las pantallas estructurales proporcionan un medio casi óptimo para alcanzar estos objetivos. Los edificios sostenidos por pantallas estructurales son invariablemente más rígidos que las estructuras enmarcadas, reduciendo la posibilidad de deformaciones excesivas bajo pequeños terremotos. Por lo tanto, será innecesario separar los componentes no estructurales del sistema estructural resistente a la fuerza lateral Figura 1.

La fuerza necesaria para evitar daños estructurales bajo terremotos moderados puede lograrse mediante refuerzos longitudinales y transversales debidamente

detallados, y siempre que se adopten medidas especiales detalladas, se puede lograr una respuesta dúctil confiable bajo grandes terremotos. [5]

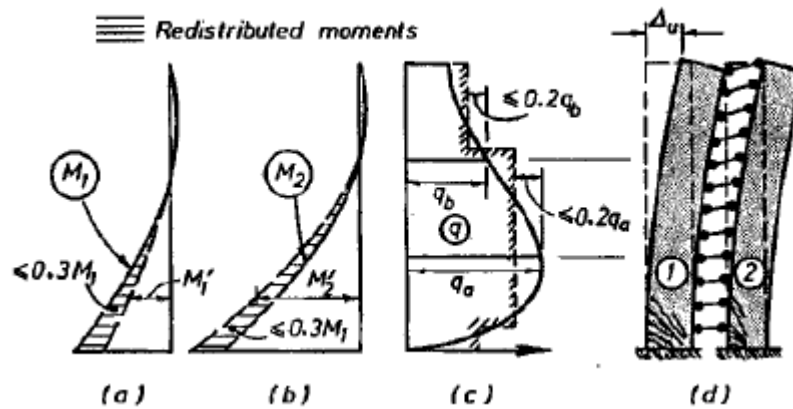


Figura 1 Respuesta dúctil de un ejemplo de muro acoplado [6]

3.2 PROCEDIMIENTO GENERAL NO LINEAL ESTÁTICO DE PLASTIFICACION PROGRESIVA “PUSH-OVER”

El análisis no lineal estático, es un procedimiento de análisis sísmico también conocido como análisis “PushOver”, o método de capacidad, o método de la curvatura de capacidad.

Este estudio no lineal se ha incluido recientemente en disposiciones de diseño y construcción de edificaciones, el procedimiento en si mismo no es nuevo y ha sido estudiado durante muchos años tanto en investigación como en aplicación de diseño, un ejemplo de esto es la implementación como metodología estándar en el diseño de estructuras para plataformas marinas para efectos hidrodinámicos.

El análisis no lineal estático corresponde a un método simplificado para evaluar directamente la respuesta no lineal de estructuras a movimientos fuertes del terreno causados por un sismo. Esta es una alternativa atractiva en comparación a los procedimientos más complejos del análisis de respuesta no lineal contra el tiempo. Se espera la consideración de esta metodología a través de su inclusión en este apéndice permitiría el desarrollo del consenso necesario para permitir una posterior integración en el reglamento como tal.

La estructura se debe analizar para la aplicación de las acciones sísmicas ocurriendo simultáneamente con los efectos de carga muerta combinadas con no menos del 25 por ciento de las cargas vivas requeridas por el diseño, reducidas como se permitía para el área de un piso individual. Las fuerzas laterales se deben aplicar al centro de la masa de cada nivel y deben ser proporcionales a la distribución obtenida de un análisis modal para el modo fundamental de respuesta en la dirección que se está considerando. Las cargas laterales se deben incrementar de manera monotonía.

El incremento de la carga lateral, se deben realizar en aumentos que sean lo suficientemente pequeños para permitir detectar cambios significativos en el comportamiento de los componentes individuales (como la fluencia, pandeo o falla). En el primer incremento en la carga lateral debe producir un comportamiento elástico; la estructura se debe diseñar para que el total de la fuerza lateral aplicada no disminuya en ningún paso del análisis para los desplazamientos del punto de control.

Las fuerzas laterales utilizadas para diseñar los elementos se deben aplicar a la masa de cada nivel y deben ser proporcionales a la distribución obtenida de un análisis modal para el modo fundamental de respuesta en la dirección que se está considerando.

3.3 METODO DE ANALISIS DINAMICO

En el capítulo 5 del reglamento sismo-resistente [7] se describe que los métodos de análisis dinámico se pueden utilizar para el diseño sísmico de todas las edificaciones. Los resultados obtenidos utilizando los métodos de análisis dinámico deben ajustarse a los valores mínimos prescritos.

Todas las metodologías de análisis dinámico que se utilicen deben estar basadas en principios establecidos de la mecánica estructural.

3.3.1 MÉTODO DE ANALISIS DINÁMICO CRONOLÓGICO

La metodología de análisis dinámico cronológico se utiliza cuando describe adecuadamente las propiedades dinámicas de la estructura y representa los movimientos sísmicos de su diseño. El modelo matemático empleado puede ser linealmente elástico o inelástico.

3.4 SOFTWARE OPENSEES

El software OpenSees es un Sistema Abierto de Simulación de Ingeniería de Terremotos, un marco de software para simular la respuesta sísmica de sistemas estructurales y geotécnicos. OpenSees ha sido desarrollado como la plataforma computacional para la investigación en la ingeniería sísmica basada en el desempeño.

Su acrónimo significa "Open System for Earthquake Engineering Simulation", OpenSees

OpenSees tiene capacidades avanzadas para modelar y analizar la respuesta no lineal de sistemas usando una amplia gama de modelos de material, elementos y algoritmos de solución. El software está diseñado para permitir simulaciones o para estudios de parámetros.

Los usuarios de OpenSees crean aplicaciones escribiendo scripts en el lenguaje de programación Tcl, cualquiera puede descartar el código fuente de manera anónima.

Antes de asumir el nombre "OpenSees", el software se llamaba simplemente "G3" en referencia al nombre del grupo de investigación PEER encargado del desarrollo de la simulación. La tesis doctoral de Frank Mackenna sobre el análisis estructural orientado a objetos paralelo formó la base para "G3".

El software OpenSees fue elegido para el desarrollo de este proyecto debido a las diversas opciones que brinda tales como trabajar los materiales de manera bilineal o trilineal y de asumir la combinación de elementos y estudiarlos como un único elemento, permitiendo así trabajar con concreto reforzado para las simulaciones

3.5 MATERIALES DEL SOFTWARE OPENSEES

Este numeral contiene una descripción e identificación de cada uno de los materiales utilizados en el desarrollo del proyecto mostrando sus códigos de acceso para el software, su gráfica que representa esfuerzo deformación y características individuales.

3.5.1 CONCRETO 01

Concrete01 – Zero Tensile Strength: Este modelo de Kent-Scott-Park se utiliza para construir un elemento de concreto reforzado uniaxial con descarga lineal degradado y/o recarga de rigidez de acuerdo con el trabajo de Karsan-Jirsa y no resistencia a la tracción.

Concreto 01 trabaja únicamente a compresión

A continuación los parámetros que definen el material para su uso en el código de OpenSees:

matTag = tag número entero material de identificar

fpc = resistencia a la compresión de concreto a los 28 días

epsc0 = deformación unitaria en la resistencia máxima

fpcu = resistencia a la compresión de concreto en rotura

epsU = deformación unitaria del concreto en rotura

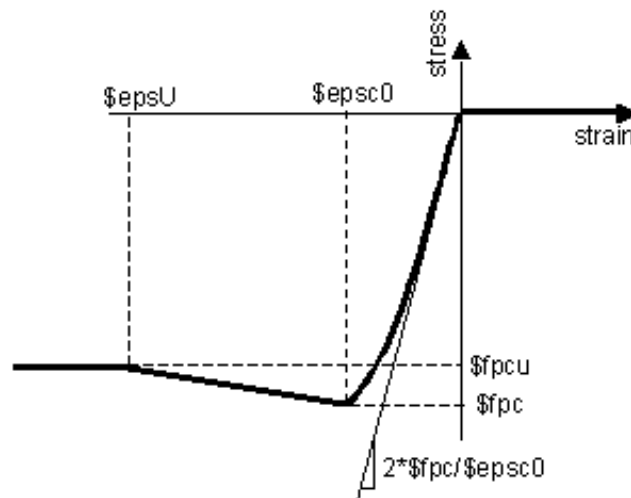


Figura 2 Relación esfuerzo-deformación para el material Concrete 01

En este material se observa que existe un esfuerzo a compresión a los 28 días y un esfuerzo ultimo y cada uno de sus puntos tiene su correspondiente deformación unitaria

Éste material se encuentra contenido dentro de la biblioteca Fedeads virtual de la universidad California en Bekerly.

CONCRETO 06

Este material se utiliza para construir una pieza de concreto con resistencia a la tracción, la tensión no lineal de rigidez y compresión basada en la curva Thorenfeld.

A continuación los parámetros que definen el material para su uso en el código de OpenSees:

matTag = Tag número de material de identificar

fc = Resistencia a la compresión de concreto (compresión es negativo)

e0 = Deformación unitaria de la resistencia a la compresión

n = Factor de forma de compresión

k = Post-pico factor de forma a compresión

α_1 = Parámetro para la definición de deformación plástica de compresión

fcr = Resistencia a la tracción

ecr = Deformación unitaria a la tensión máxima

b = Exponente de la curva de tensión de rigidez

alfa2 $[\alpha]_{-2}$ = Parámetro de deformación plástica a la tracción

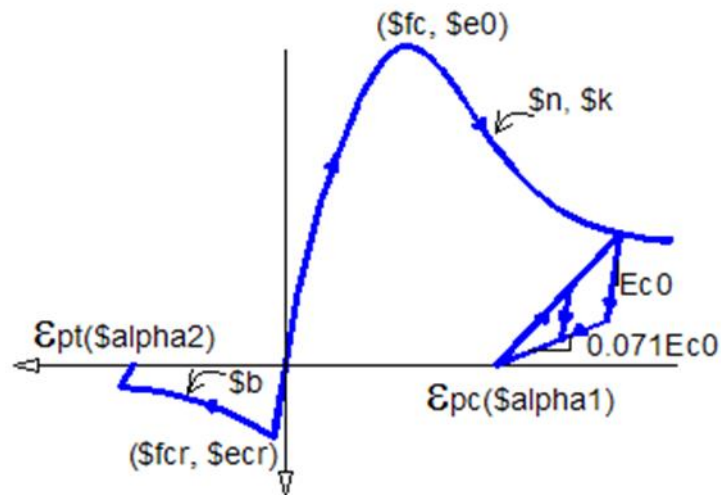


Figura 3 Relación esfuerzo-deformación para el material Concrete 06

Éste material está referenciado en el estudio Popovics, S., 1973, "A Numerical Approach to the Complete Stress-Strain Curve of Concrete", Cement and Concrete Research que consiste una serie de ecuaciones, Popovics estableció el diagrama de tensión - deformación, el resultado de ese trabajo es que la gráfica de tensión deformación calculada con sus ecuaciones son muy cercanas a las obtenidas experimentalmente.

3.5.2 CONCRETO 07 – MODELO DE CHANG & MANDER'S 1994

Concrete07 – Chang & Mander's 1994 Concrete Model: Este material se utiliza para emplear el modelo de concreto de Chang & Mander de 1994 con descarga simplificada y curva de recarga. El modelo requiere ocho parámetros para carga monotónica en material confinado y no confinado.

A continuación los parámetros que definen el material para su uso en el código de OpenSees:

mattag = Tag número entero material de identificar

fc = Resistencia a la compresión de concreto (compresión es negativo)

ec = Deformación unitaria de la resistencia a la compresión

Ec = El módulo elástico inicial del concreto

ft = Resistencia a la tracción del concreto (tensión es positiva)

et = Deformación unitaria a la resistencia a la tracción de concreto

xp = Terminio adimensional que define la deformación unitaria en la que el descenso de la línea recta comienza en tensión

xn = Terminio adimensional que define la deformación unitaria en la que el descenso de la línea recta comienza en compresión

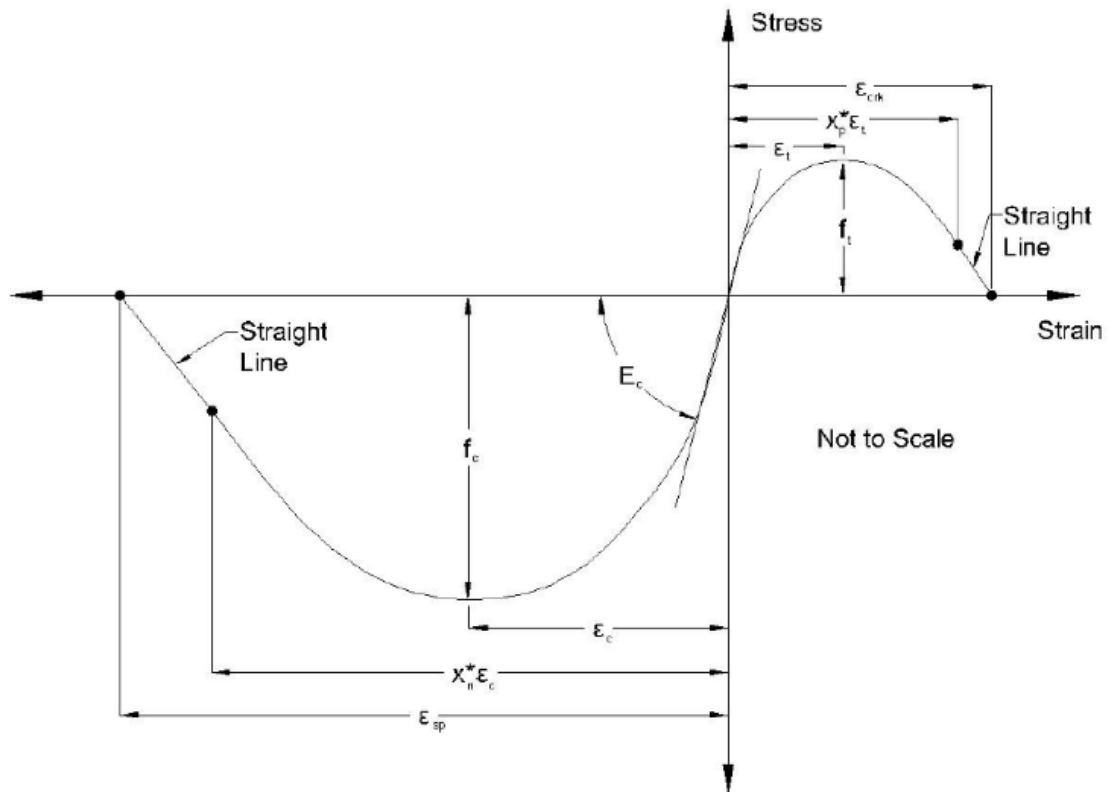


Figura 4 Relación esfuerzo-deformación para el material Concrete 07

El concreto 07 está basado en los estudios de Chang, G.A., y Mander, J.B., (1994) "Seismic Energy Based Fatigue Damage Analysis of Bridge Columns" su estudio es un modelado computacional de la capacidad de absorción de energía de una columna en un puente de concreto reforzado y también en Waugh, J., (2009) "Nonlinear analysis of T-shaped concrete walls subjected to multi-directional displacements", su estudio de tesis para PhD hace un modelado basado en fibras para los muros estructurales utilizando el modelo de concreto propuesto en 1995 por Chang y Mander en el software OpenSees.

3.5.3 ACERO 01

Steel01: Este comando se utiliza para construir un elemento de acero bilineal uniaxial con endurecimiento cinemático y endurecimiento isotrópico opcional

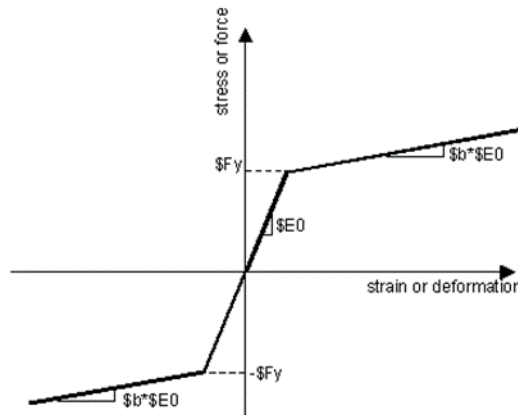


Figura 5 Comportamiento histórico de modelo Steel01 con y sin endurecimiento isotrópico

A continuación los parámetros que definen el material para su uso en el código de OpenSees:

MatTag = tag número de material a identificar

Fy = resistencia a la fluencia del acero

E0 = Modulo elástico del acero

b = Relación de endurecimiento por deformación (relación entre la tangente post-fluencia y el modulo elástico inicial)

Éste material se encuentra contenido dentro de la biblioteca Fedees virtual de la universidad California en Bekerly.

3.5.4 ACERO 02

Steel02: El modelo de acero según Giuffre-Menegotto-Pinto se utiliza para construir un elemento de acero uniaxial con endurecimiento por deformación isótropa.

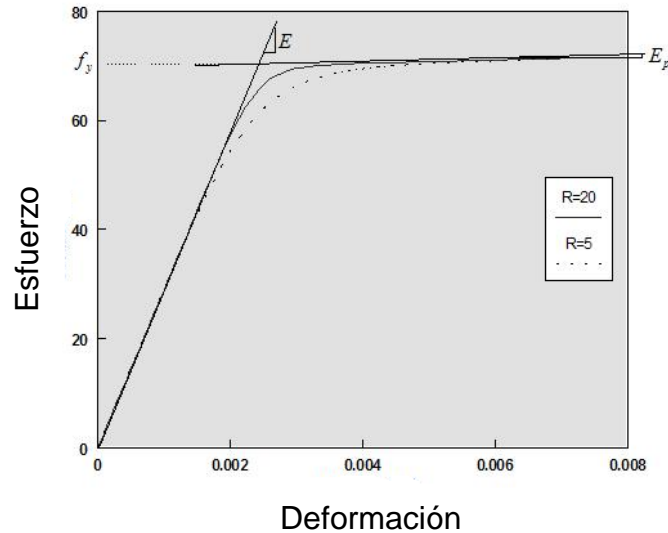


Figura 6 Comportamiento histórico de modelo Steel02 con y sin endurecimiento isotrópico

A continuación los parámetros que definen el material para su uso en el código de OpenSees:

MatTag = tag número de material a identificar

fy = resistencia a la fluencia

E0 = Modulo elástico del acero

b = Relación de endurecimiento por deformación (relación entre la tangente post-fluencia y el modulo elástico inicial)

Este material esta referenciado en el estudio de Filippou, F. C., Popov, E. P., Bertero, V. V. (1983). "Effects of Bond Deterioration on Hysteretic Behavior of Reinforced Concrete Joints" de la universidad de California en Berkeley en el cual desarrolla un modelo analítico que describe el comportamiento histerético de union

entre viga y columna de concreto reforzado teniendo en cuenta la interacción entre el acero de refuerzo y el concreto que lo recubre, la adherencia entre estos dos permite ciertos deslizamientos que son analizadas por el autor como rotaciones.

3.5.5 RESUMEN DE DATOS DE CONCRETO EN OPENSEES

En la Tabla 1 se presentan los datos de los concretos seleccionados para utilizar en el desarrollo del proyecto y se expresan en unidades de Mpa para poder hacerse una mejor comprensión del lector.

Tabla 1 Resumen de datos de concreto en OpenSees.

Propiedades/ Concreto Open Sees	01 Concrete01	06 Concrete06	07 Concrete07 – Chang & Mander's 1994 Concrete Model
F'c (MPa)	21	21	21
E (MPa)	21000	21000	21000
ec	0,002	0,002	0,002
F't (MPa)	0	2,1	2,1
et	0	0,0002	0,0002

3.5.6 RESUMEN DATOS ACERO OPENSEES – DIACO

En la Tabla 2 se presentan los datos de los aceros seleccionados para utilizar en el desarrollo del proyecto, además de un acero DIACO y se expresan en unidades de Mpa para poder hacerse una mejor comprensión del lector.

Tabla 2 Resumen datos acero OpenSees – DIACO

	Fy(Mpa)	ey	B	→	C	→	D
DIACO	420	0,002	0,008	-	0,075	-	0,13
Steel01	420	0,002	-	0,06	-	-	-
Steel02	420	0,002	0,008	-	-	-	-

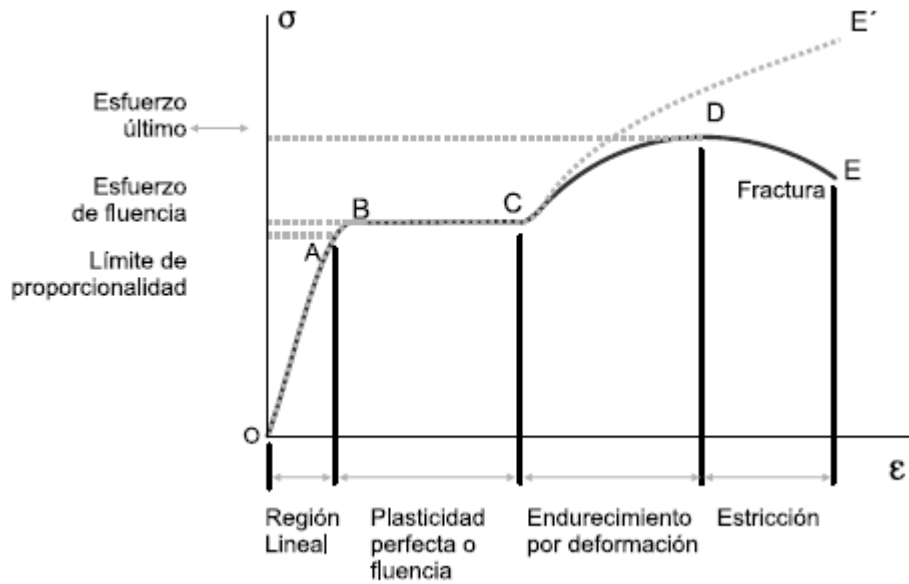


Figura 7 Diagrama esfuerzo – deformación de una barra de acero [8]

A= Límite de la proporcionalidad

B= Punto de fluencia

C= Termina la zona de fluencia

D= Resistencia ultima o máxima

E= Punto de rotura

4 METODOLOGÍA PARA EL MODELADO EN OPENSEES

El desarrollo del presente trabajo de grado considera varias etapas mediante las cuales el software OpenSees recibe los datos de entrada necesarios para la ejecución de la simulación.

Mediante el software Matlab y OpenSees, se permite simular un elemento o un conjunto de elementos estructurales, mostrando el comportamiento del material, la sección transversal y del mismo elemento; para el caso de estudio se busca obtener el comportamiento de un elemento de concreto reforzado.

El elemento estructural seleccionado es una pantalla de concreto reforzado no confinada de sección transversal 0,20 x 1,80m y 2,5m la cual se someterá a un sismo ocurrido en la región de Maule, Chile en el 2010 con una magnitud de 8.5 en la escala de Richter, tomando un PGA (coeficiente de aceleración pico en la roca) del 75%; y a una carga puntual incremental. La simulación se realizara cambiando los diferentes materiales suministrados por el software OpenSees dando como resultado seis combinaciones con el modelo de sismo y seis combinaciones con PushOver (carga puntual incremental)

4.1 PLANOS DEL MURO SELECCIONADO

A continuación el muro de concreto con sus refuerzos en diferentes vistas y corte para permitir la contextualización con el estudio desarrollado.

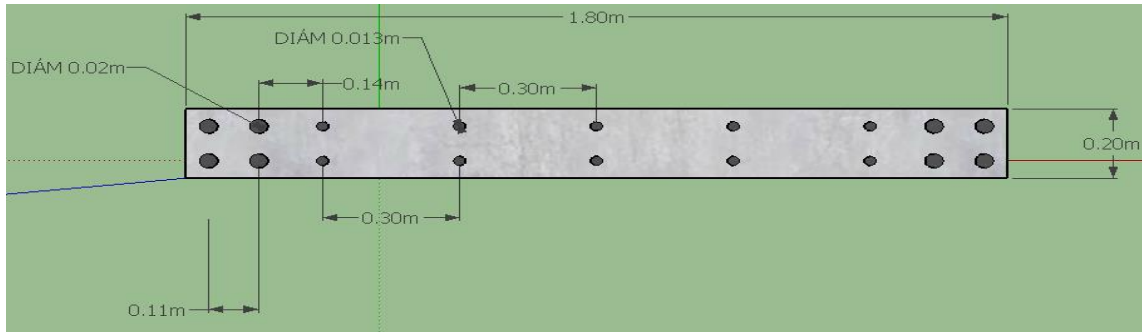


Figura 8 Muro de concreto reforzado – Corte transversal – Vista superior

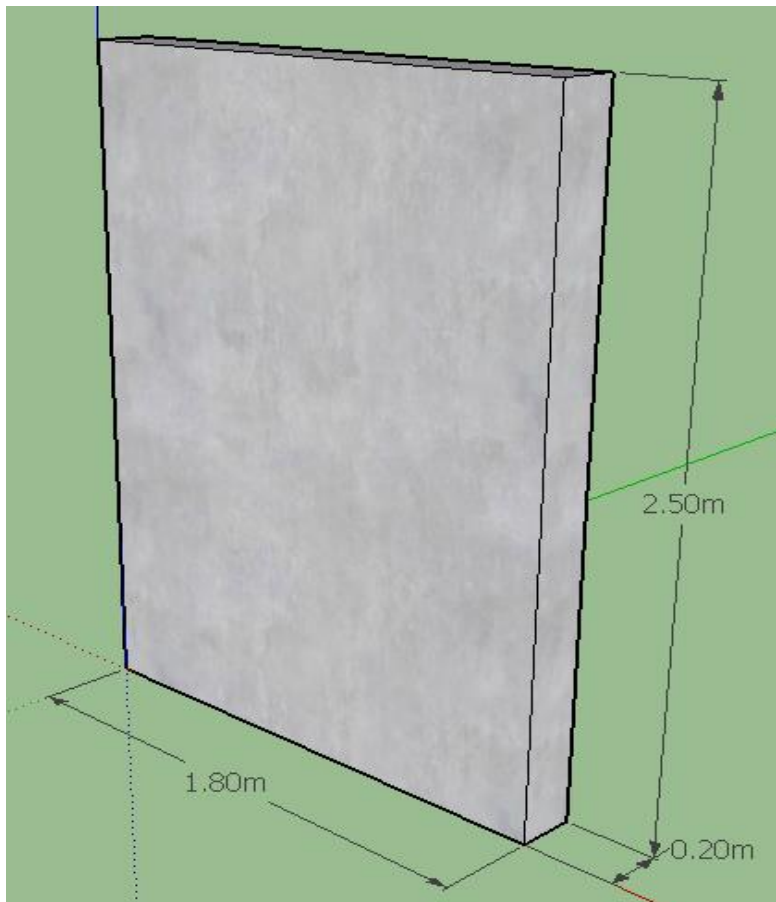


Figura 9 Muro de concreto reforzado – Vista isométrica

4.2 INGRESO DE CÓDIGO

Las unidades de trabajo establecidas son [kN, m, s]; la programación del código debe desarrollarse de manera secuencial de la siguiente forma:

4.2.1 Establecer los parámetros iniciales de diseño del elemento estructural

En éste código se establecen los parámetros iniciales tales como altura del muro, gravedad, densidad del concreto etc.

```
set Np 9; # Numero de pisos
set L 2.500; # Altura del muro
set G 9.81; # Constante de gravedad
set ro 2400.0; # Densidad del concreto
set cover 0.0500; # Recubrimiento [m]
set Width 1.8000; # Ancho del muro [m]
set Depth 0.2000; # Profundidad del muro [m]
set dampRatio 0.02; # coeficiente amortiguamiento asumido
set PGA 0.75; # coeficiente de aceleracion pico en la roca
```

4.2.2 Define la masa y aplica la carga sísmica en el nodo libre

Se define la masa a partir del volumen de la placa más su masa propia multiplicada por su densidad aplicada en el nodo 2 que se considera libre.

```
set Vol [expr $Width*$Depth*$L]
set Vafer [expr 9.0*6.0*0.22];
set M [expr ($Vol+$Vafer)*$ro]; # Masa en el nodo libre
# set M 76000.0; # Masa en el nodo libre
set sismo MauleChile.thf;
set dt $DtAnalysis; # delta-T de los datos del sismo
set np 18000; # numero de puntos del sismo
```

4.2.3 Se generan las condiciones de apoyo del nodo base donde se restringen los desplazamientos en x, y y/o la rotación en z.

Se restringen los desplazamientos y rotaciones del elemento para generar empotramiento.

```
# Condiciones de apoyo
# SPC      tag      Dx      Dy      Rz
fix        1        1        1        1
```

4.2.4 Definición de materiales

En esta etapa se definen los materiales con los que se va a simular el elemento estructural (pantalla de concreto reforzado), concreto para recubrimiento y núcleo, y el acero de refuerzo. Cada uno de los materiales requiere parámetros específicos los cuales serán suministrados por el usuario.

Ejemplo1: Concrete06 & Steel01

```
# Concreto recubrimiento
set fc -21000000.0;
set e0 -0.00200;
set n 2;
set k 1;
set alpha1 0.32;
set fcr 2100000.0;
set ecr 0.00008;
set b 4;
set alpha2 0.8;
#uniaxialMaterial "CoverConcrete": $matTag $fc $e0 $n $k $alpha1 $fcr $ecr $b $alpha2
uniaxialMaterial Concrete06 1 $fc $e0 $n $k $alpha1 $fcr $ecr $b $alpha2

# Concreto nucleo
set fc -21000000.0;
set e0 -0.00200;
set n 2;
set k 1;
set alpha1 0.32;
set fcr 2100000.0;
set ecr 0.00008;
set b 4;
set alpha2 0.8;
#uniaxialMaterial "CoverConcrete": $matTag $fc $e0 $n $k $alpha1 $fcr $ecr $b $alpha2
uniaxialMaterial Concrete06 2 $fc $e0 $n $k $alpha1 $fcr $ecr $b $alpha2

# Acero barras
# STEEL
# Reinforcing steel
set fy 420000000.0; # Yield stress
set E 200000000000.0; # Young's modulus
# tag fy E0 b
uniaxialMaterial Steel01 3 $fy $E 0.01
```

4.2.5 Definición de fibras y secciones

El área transversal de la pantalla está compuesta por una serie de fibras de concreto (derecha, izquierda, abajo, arriba, y núcleo) como se muestra en la Figura 10

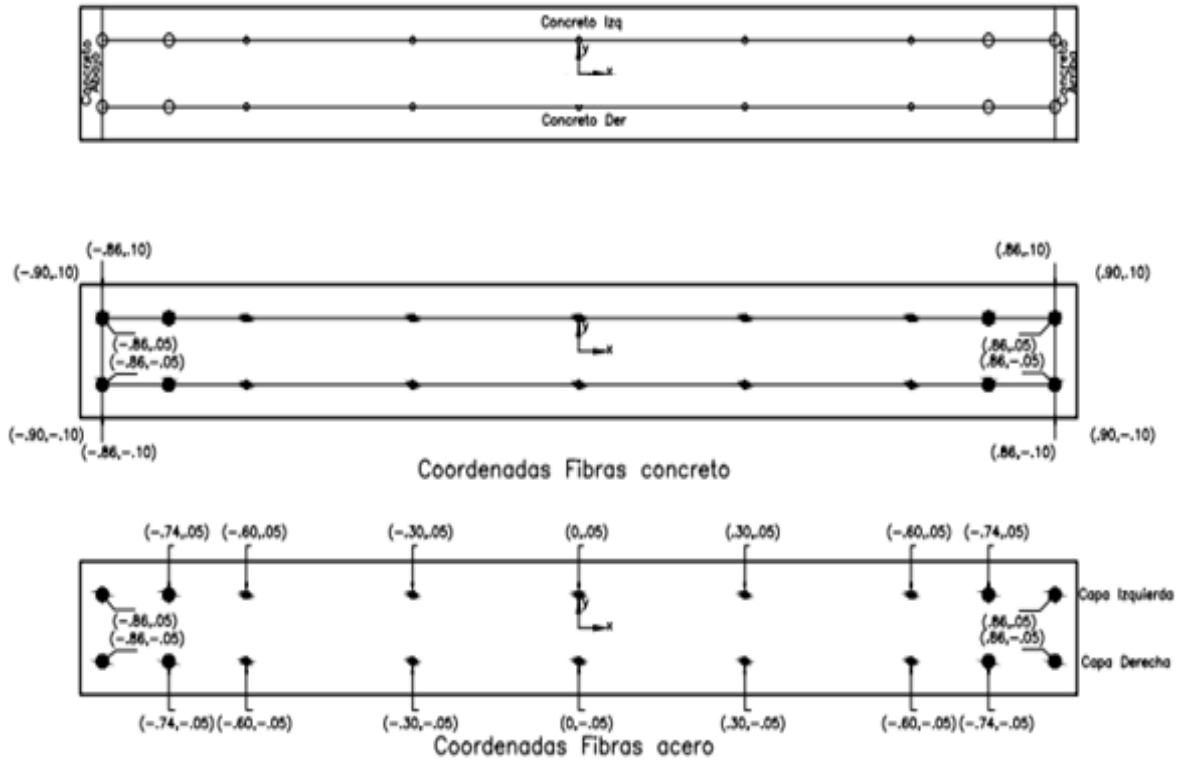


Figura 10 Fibras de concreto reforzado.

La sección transversal de la pantalla 9 capas de concreto reforzado, cada una contiene dos barras de acero las cuales varían su área y ubicación de la según la Figura 11.

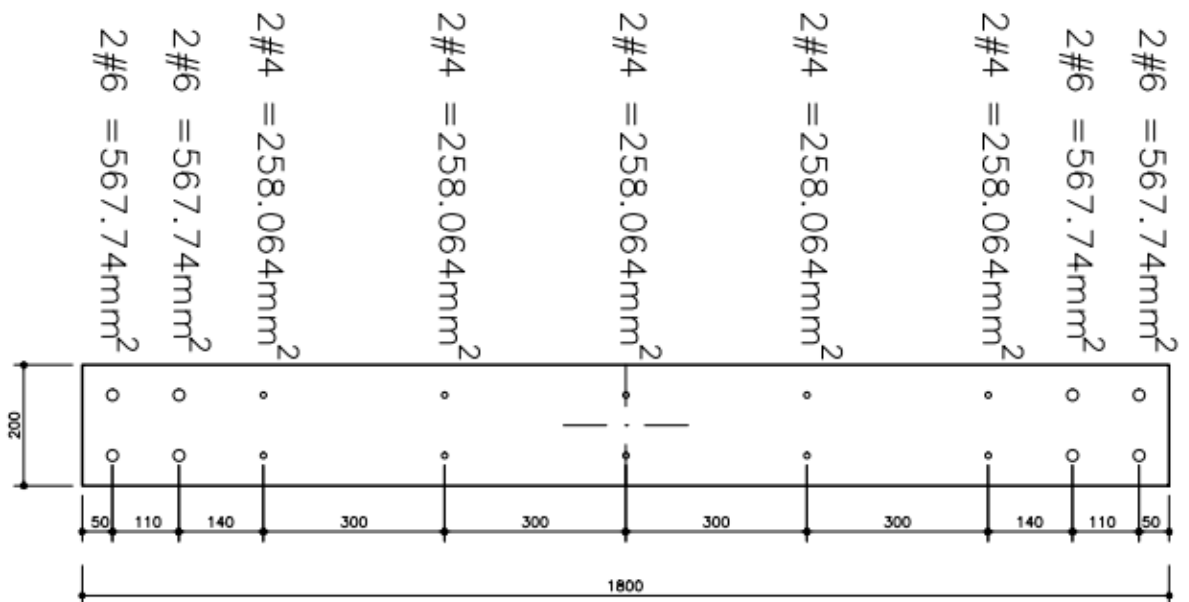


Figura 11 Capas de Concreto.

```

set FXi -850000.0; # valor de carga axial [N], en direccion X
set FYi 0.000 ; # Carga lateral estatica
set y1 0.850;
set y2 0.740;
set y3 0.600;
set y4 0.300;
set y5 -0.000;
set R1 0.0002865;
set R2 0.0001267;
set amount1 2;

```

```

# Fibras en Nucleo de concreto
patch quad      1   5  85 [expr -$Width/2+$cover] [expr $Depth/2-$cover] [expr -$Width/2+$cover]

# Fibras en Recubrimiento
patch quad      2   5  2 [expr $Width/2-$cover] [expr $Depth/2-$cover] [expr $Width/2-$cover] [e
patch quad      2   2  85 [expr -$Width/2] [expr $Depth/2] [expr -$Width/2] [expr $Depth/2-$cove
patch quad      2   5  2 [expr -$Width/2] [expr $Depth/2-$cover] [expr -$Width/2] [expr -$Depth/
patch quad      2   2  85 [expr -$Width/2] [expr -$Depth/2+$cover] [expr -$Width/2] [expr -$Dept

# Fibras para reforzamiento de acero, por capas
set zStart [expr -$Depth/2+$cover]
set zEnd [expr $Depth/2-$cover]

# LayerStraight "Line1":      matTag      numBar      areaBar      yStart      zStart      yEnd      zEnd
layer straight              3      $amount1      $R1      $y1      $zStart      $y1      $zEnd
layer straight              3      $amount1      $R1      $y2      $zStart      $y2      $zEnd
layer straight              3      $amount1      $R2      $y3      $zStart      $y3      $zEnd
layer straight              3      $amount1      $R2      $y4      $zStart      $y4      $zEnd
layer straight              3      $amount1      $R2      $y5      $zStart      $y5      $zEnd
layer straight              3      $amount1      $R2      [expr -$y4] $zStart [expr -$y4] $zEnd
layer straight              3      $amount1      $R2      [expr -$y3] $zStart [expr -$y3] $zEnd
layer straight              3      $amount1      $R1      [expr -$y2] $zStart [expr -$y2] $zEnd
layer straight              3      $amount1      $R1      [expr -$y1] $zStart [expr -$y1] $zEnd

```

4.2.6 Conversión de coordenadas

GeomTransf comando que transforma las propiedades del sistema básico a sistema global de coordenadas

```

# GeoTran      type      tag
geomTransf Linear      1

```

4.2.7 “zerolength”

Este comando construye un elemento de longitud cero, el cual teniendo dos nodos en el mismo lugar hace una representación de la relación momento – curvatura

```

# Elemento zerolength, para medir deformaciones
# Element "Column":  eleTag  NodeI  NodeJ  secTag  <-orient x1 x2 x3 y1 y2 y3>  <-doRayleigh flag>
#element zeroLengthSection  1  1  1  2  1  -orient +1.000000E+00 +0.000000E+00 +0.000000E+00 +0.000000E+00 +1.000000E+00 +0.000000E+00

```

4.2.8 “nonlinearBeamColumn”

Nos ofrece construir un elemento no lineal que permite la propagación de la plasticidad

```
# Columna con comportamiento no lineal
# Element nonlinearBeamColumn eleTag NodeI NodeJ NIP secTag geoTranTag <-mass massDens> <-iter maxIters tol>
element nonlinearBeamColumn 1 1 2 5 1 1 -mass +0.000000E+00 -iter 5 +1.000000E-12
```

4.2.9 “loadPattern”

Contiene el comando para generar las cargas y limitaciones de un solo punto patrón, es decir construir un modelo con carga axial.

```
initialize
puts "o Analysis: AxialLoadCase"
# LoadPattern "ConstantAxial": patternTag tsTag factor
pattern Plain 1 1 -fact +1.0 {
  # Load nodeTag LoadValues
  load $IDctrlNode $FXi $FYi +0.0E+00
}
```

4.2.10 Aplicación de carga externa

Para el modelo dinámico se cargaran los datos del sismo de Maule Chile 2010 y para el PushOver una carga puntual incremental.

4.2.10.1 Sismo

Se carga el archivo que contiene el código de datos de Maule Chile 2010

```
# TimeSeries "LinearDefault": tsTag cFactor
timeSeries Linear 3 -factor +1.0
# timeSeries Path $tag -dt $dt -filePath $filePath <-factor $cFactor> <-useLast> <-prependZero> <-startTime $tStart>
timeSeries Path 4 -dt $dt -filePath $sismo -factor [expr $G*$PGA]

# pattern UniformExcitation $patternTag $dir -accel $tsTag <-vel0 $vel0> <-fact $cFactor>
pattern UniformExcitation 2 2 -accel 4;
```

4.2.10.2 Carga puntual incremental (PushOver)

Se carga el archivo que contiene el código de datos de PushOver

```
# AnalysisOptn "MomentDispCtrl": Type: Static
# -----
# Constraint Handler
constraints Plain
# DOF Numberer
numberer Plain
# System of Equations
system SparseSYM
# Convergence Test
test NormDispIncr +1.000000E-06 25 0 2
# Solution Algorithm
algorithm Newton
# Integrator
integrator DisplacementControl 2 3 +5E-05 1 +5E-05 +5E-05
# Analysis Type
analysis Static

puts "Check 3"
# Record initial state of model
# -----
record

# Analyze model
# -----
analyze 2000
puts "Check 4"

source straincheck.tcl
```

4.2.11 “uniformExcitation”

Permite aplicar una excitación uniforme al modelo en una dirección determinada

```
set Mfact [expr $L*$M*$sumh];
#pattern UniformExcitation 3 3 -accel 4 -fact $Mfact;
pattern UniformExcitation 3 3 -accel 4;
```

4.2.12 Asignar amortiguación

Este comando se utiliza para asignar amortiguación a todos los elementos y nodos definidos previamente. Cuando se utiliza Rayleigh la matriz de amortiguación para un elemento o nodo, se especifica como una combinación de rigidez y matrices de amortiguación de masas-proporcional

```
# set damping based on first eigen mode
set freq [expr [eigen -fullGenLapack 1]**0.5]
rayleigh 0. 0. 0. [expr 2*$dampRatio/$freq]
```

4.2.13 Datos de salida

Se generan los archivos de deformaciones y reacciones que posteriormente serán graficados

```
# Node Recorder "DefoShape":   fileName   <nodeTag>   dof   respType
recorder Node -file Deformaciones.out -time -nodeRange 1 2 -dof 1 2 3 disp
# Node Recorder "Reacciones":  fileName   <nodeTag>   dof   respType
recorder Node -file Reacciones.out -time -node 1 -dof 1 2 3 reaction
```

5 CASOS DE ESTUDIO

Para evaluar el efecto de un sismo y una carga puntual incremental sobre una pantalla de concreto reforzado se efectuaran las siguientes combinaciones de materiales proporcionados por el software OpenSees.

5.1 TABLA RESUMEN COMBINACIONES

Tabla 3 Resumen combinaciones

CONCRETO	ACERO	TIPO CARGA	NOMBRE COMBINACIÓN
01	01	DINÁMICO	DC01S01
01	02	DINÁMICO	DC01S02
06	01	DINÁMICO	DC06S01
06	02	DINÁMICO	DC06S02
07	01	DINÁMICO	DC07S01
07	02	DINÁMICO	DC07S02
01	01	PUSHOVER	PC01S01
01	02	PUSHOVER	PC01S02
06	01	PUSHOVER	PC06S01
06	02	PUSHOVER	PC06S02
07	01	PUSHOVER	PC07S01
07	02	PUSHOVER	PC07S02

6 ANALISIS DE RESULTADOS

En éste capítulo se presenta el análisis de los resultados obtenidos después de realizar las modelaciones y obtener la curva-capacidad de todas las combinaciones propuestas en el numeral 3.1

6.1 ANÁLISIS DE MOMENTO CURVATURA

Para el análisis de una pantalla de concreto reforzado de $f'c= 21$ MPa y $f_y= 420$ MPa y diferentes cargas axiales se observa en la Figura 12 que el elemento disminuye gradualmente la curvatura dependiendo del incremento en la carga aplicada.

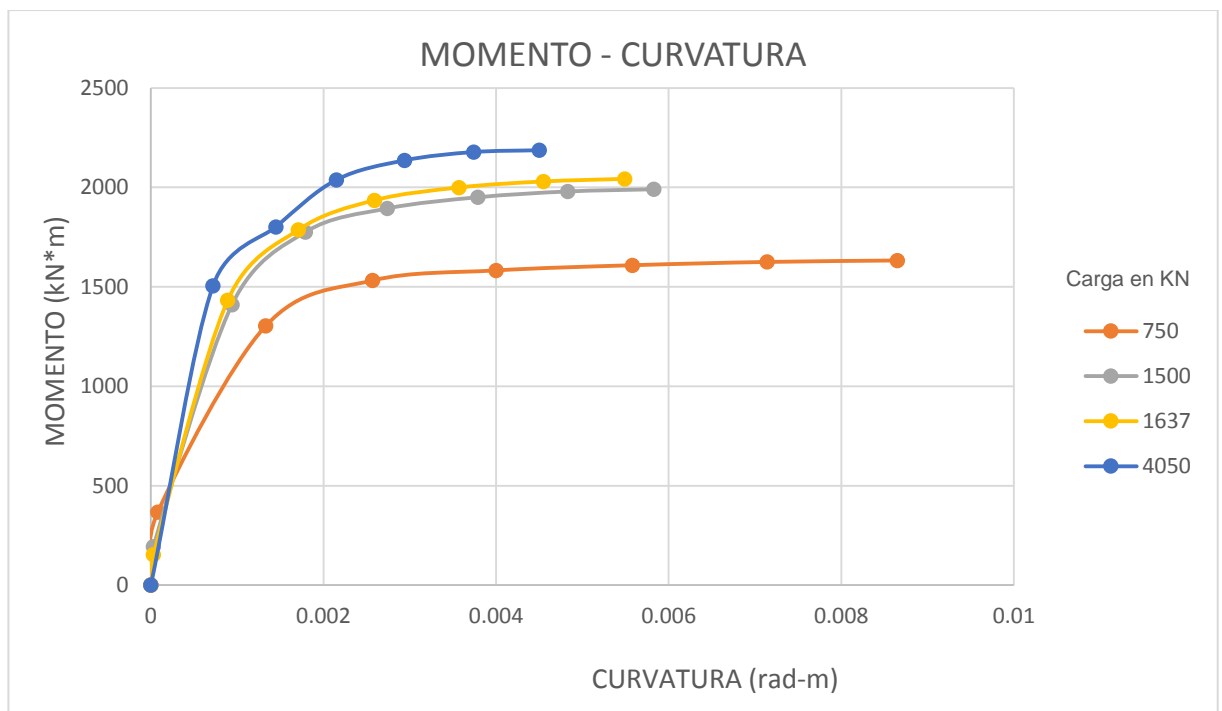


Figura 12 Representación momento-curvatura de una pantalla de concreto reforzado aplicando 4 diferentes cargas axiales.

6.2 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL ELEMENTO FRENTE AL SISMO

El sismo presentado en Chile 2010 afectó a las regiones de Maule, Valparaíso, Metropolitana de Santiago, O'Higgins, Biobío y La Araucanía; es uno de los más fuertes presentados en América y se ha tomado como referencia para aplicar sobre el elemento estructural modelado.

Se le aplicó una reducción del 25% del PGA del sismo permitiendo que todos los elementos soportaran los 180 segundos del sismo.

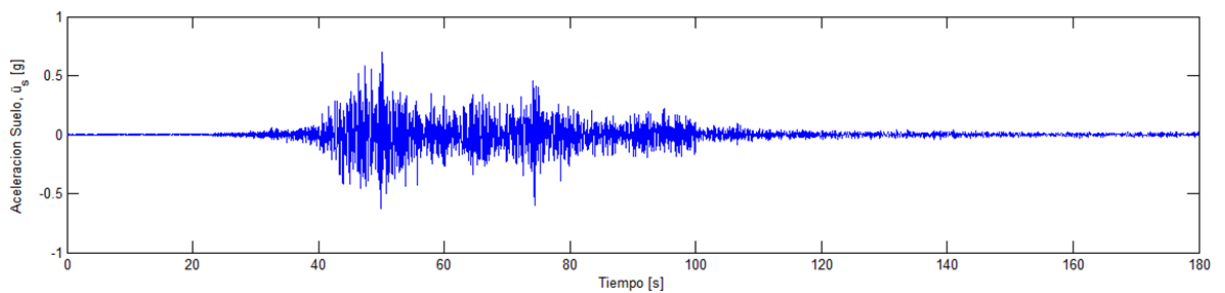


Figura 13 Representación de sismo Maule, Chile 2010 de aceleración- tiempo

6.2.1 CURVA DE HISTÉRESIS DC01S01

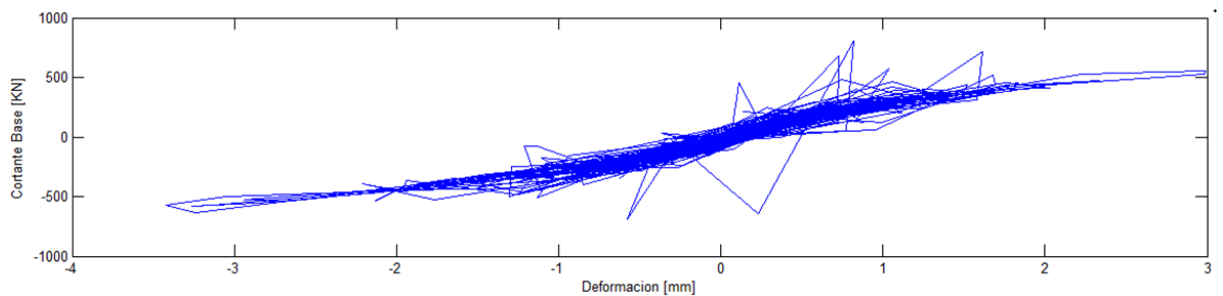


Figura 14 Representación Fuerza – Deformación de la combinación DC01S01

6.2.2 CURVA DE HISTÉRESIS DC01S02

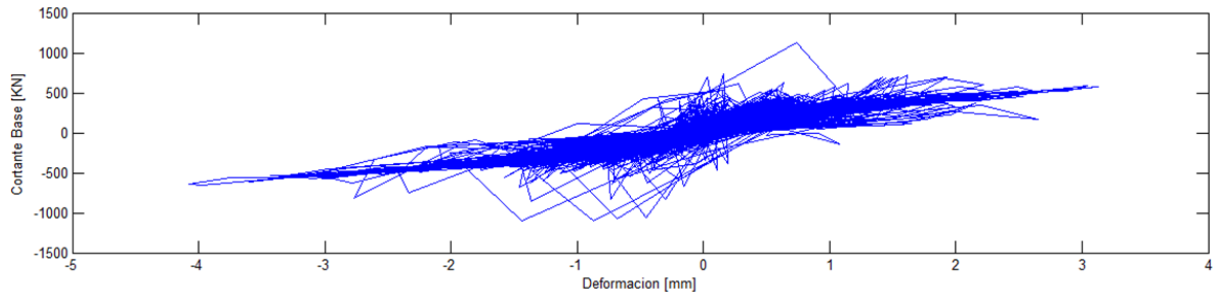


Figura 15 Representación Fuerza – Deformación de la combinación DC01S02

6.2.3 CURVA DE HISTÉRESIS DC06S01

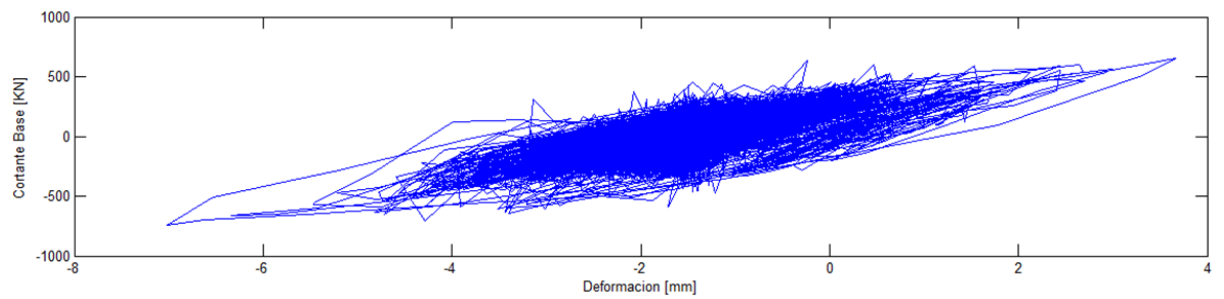


Figura 16 Representación Fuerza – Deformación de la combinación DC06S01

6.2.4 CURVA DE HISTÉRESIS DC06S02

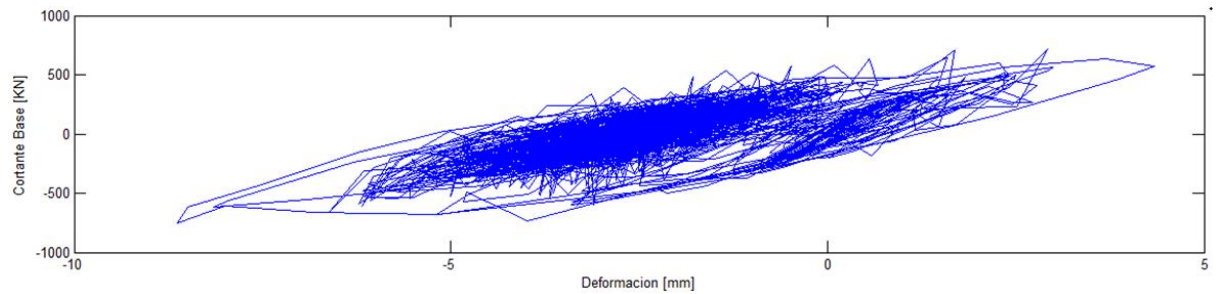


Figura 17 Representación Fuerza – Deformación de la combinación DC06S02

6.2.5 CURVA DE HISTÉRESIS DC07S01

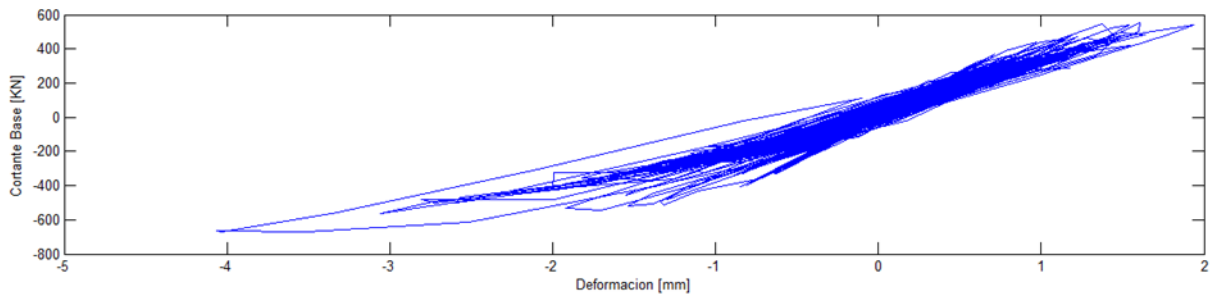


Figura 18 Representación Fuerza – Deformación de la combinación DC07S01

6.2.6 CURVA DE HISTÉRESIS DC07S02

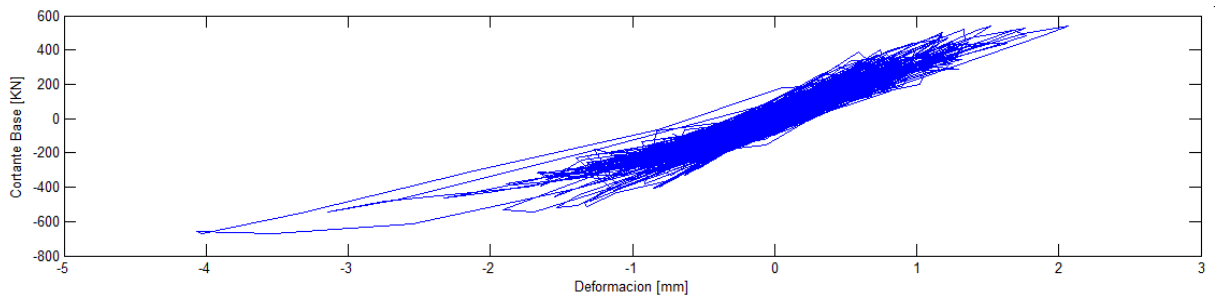


Figura 19 Representación Fuerza – Deformación de la combinación DC07S02

6.2.7 COMPARACIÓN DE LA CURVA DE CAPACIDAD DE LAS COMBINACIONES

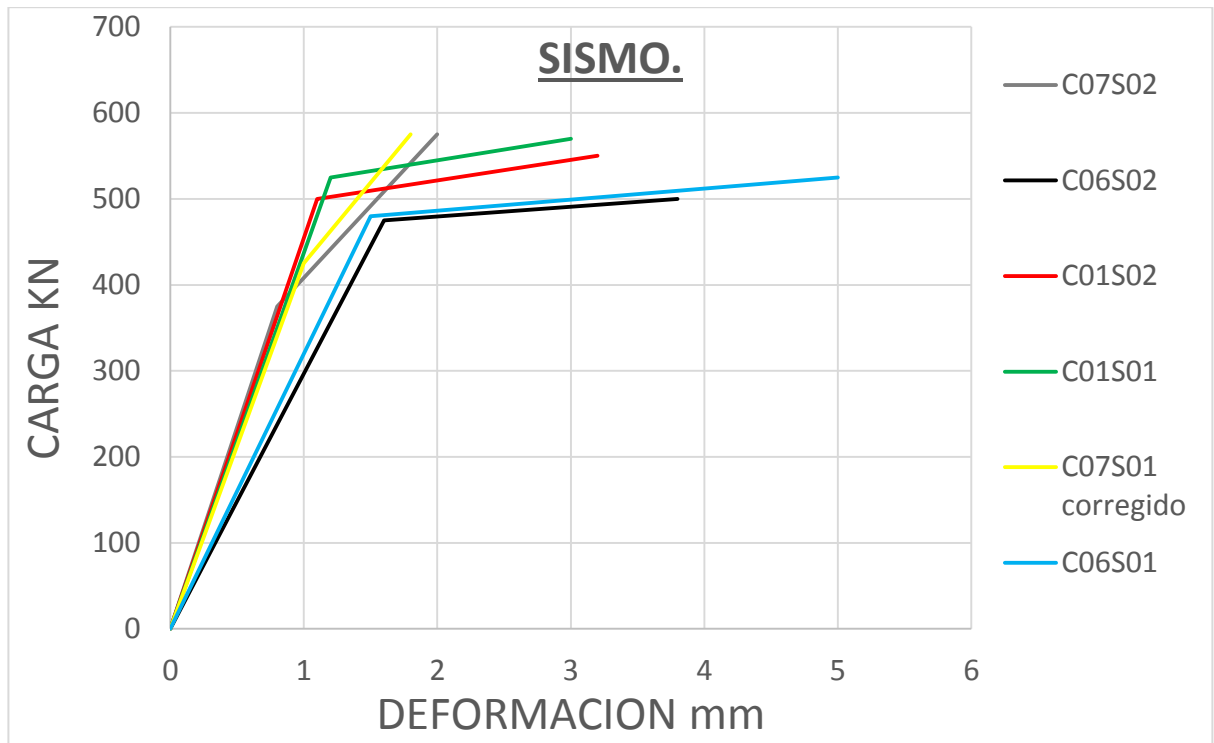


Figura 20 Curva de capacidad en Carga- Deformación

El proceso de bilinealización utilizado para los 6 modelos de carga monotónica (Pushover) expuestos a lo largo del capítulo 5.2 y condensados en la **Figura 20** se realizó teniendo en cuenta los puntos más altos de la gráfica envolvente de cada combinación por separado.

6.2.8 RIGIDEZ DEL ELEMENTO

Se aprecia la rigidez del elemento haciendo la comparación de los tres concretos utilizados y despreciando el acero con el cual se combina.

Tabla 4 Rigidez del elemento

Unidad	Rigidez	Concreto
kN/mm	437,5	Concreto 01
kN/mm	417,875	Concreto 06
kN/mm	468,75	Concreto 07

El proceso para obtener la rigidez es mediante la obtención de la pendiente, tomando 2 puntos de cada combinación utilizando la **Figura 20**

6.3 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL ELEMENTO FRENTE UNA CARGA PUNTUAL INCREMENTAL

Se aplica una carga puntual incremental sobre el elemento estructural y se obtiene la curva de capacidad para cada combinación.

6.3.1 CURVA DE CAPACIDAD PC01S02

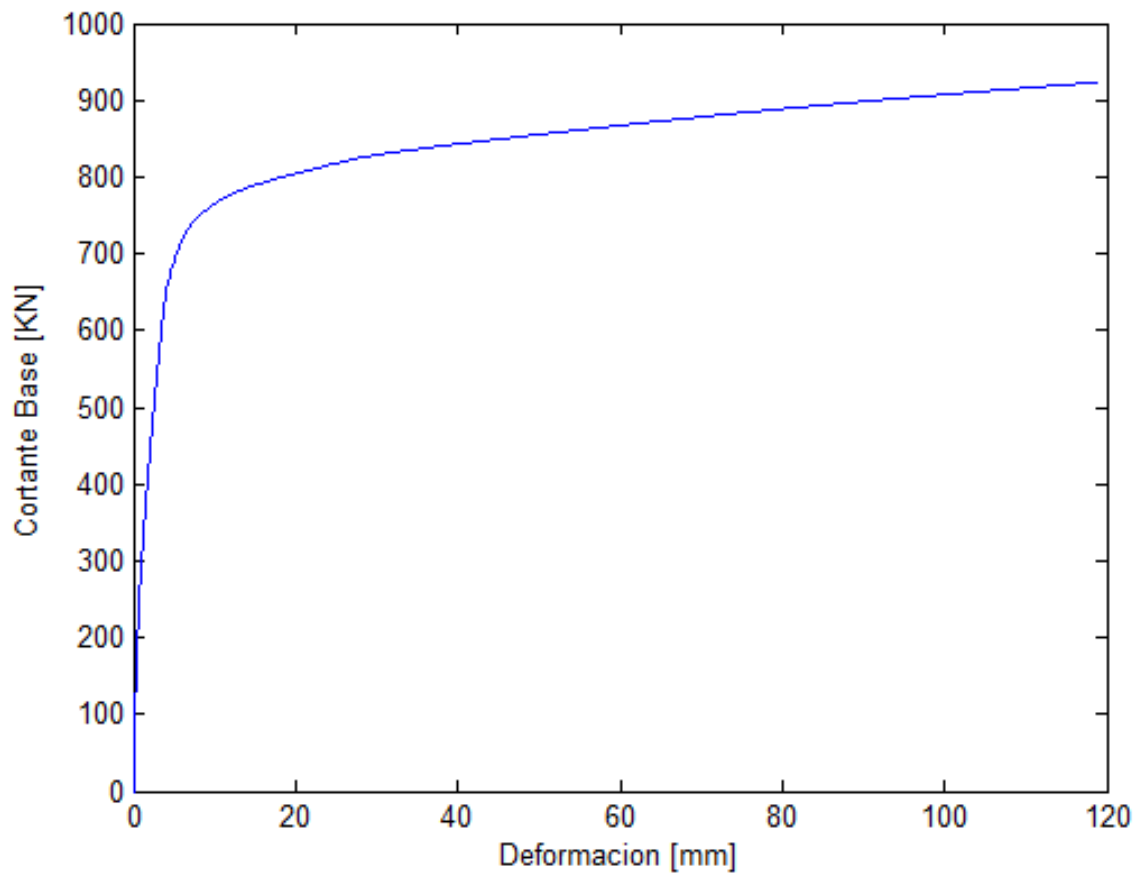


Figura 21 Representación de la curva de capacidad de la pantalla en Fuerza – Deformación de la combinación PC01S02

6.3.2 CURVA DE CAPACIDAD PC06S01

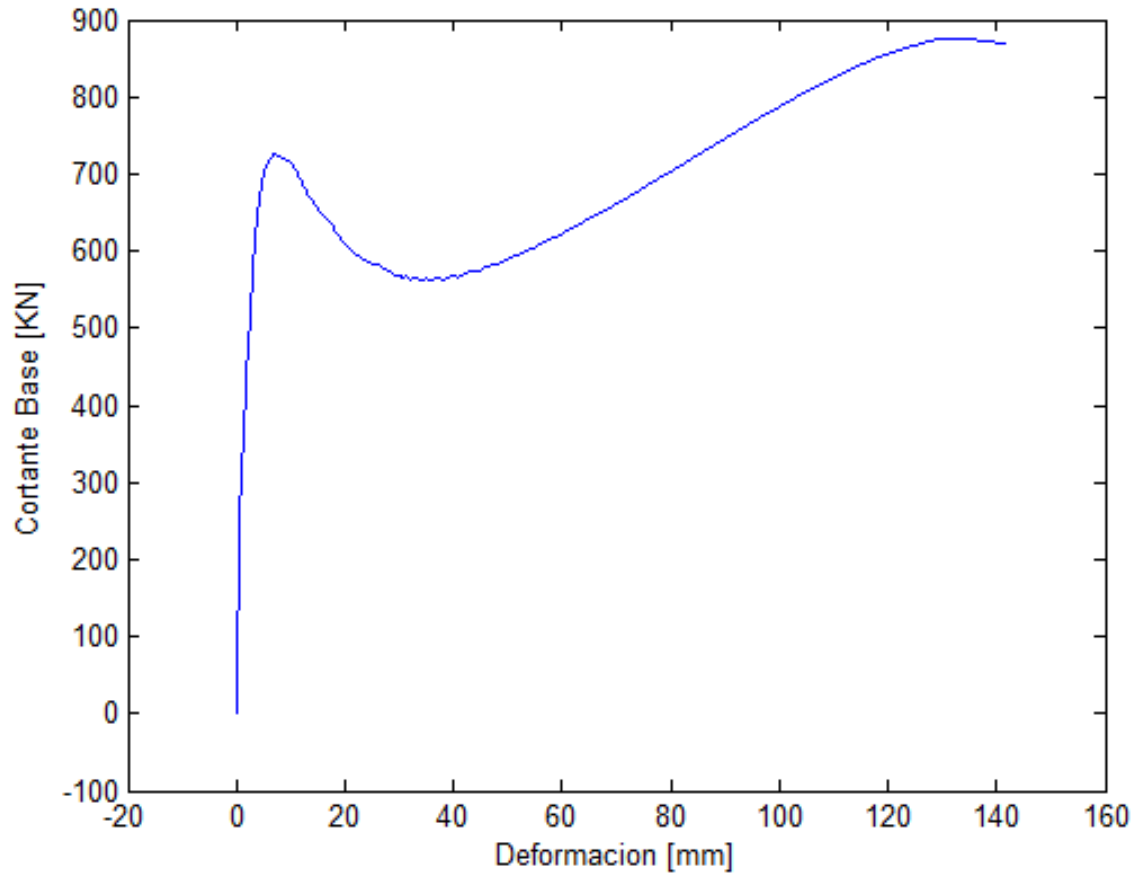


Figura 22 Representación de la curva de capacidad de la pantalla en Fuerza – Deformación de la combinación PC06S01

6.3.3 CURVA DE CAPACIDAD PC07S01

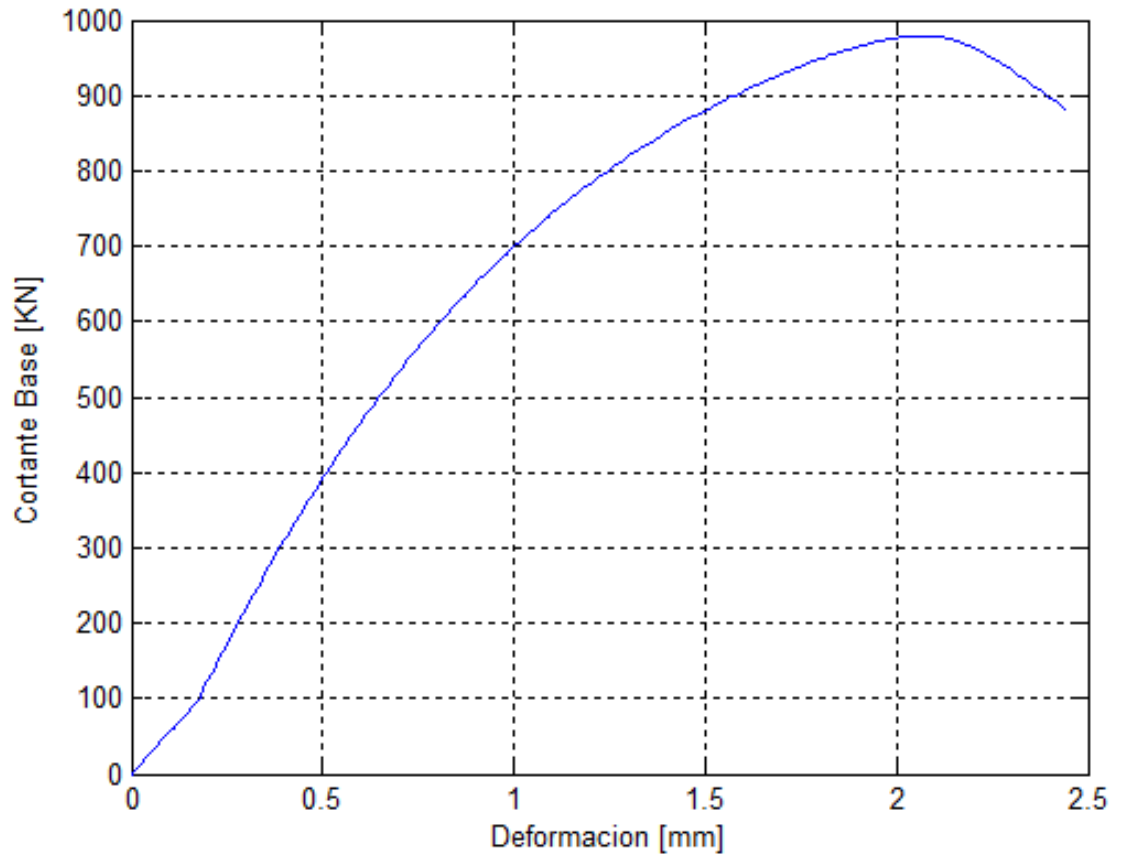


Figura 23 Representación de la curva de capacidad de la pantalla en Fuerza – Deformación de la combinación PC07S01

6.3.4 CURVA DE CAPACIDAD PC07S02

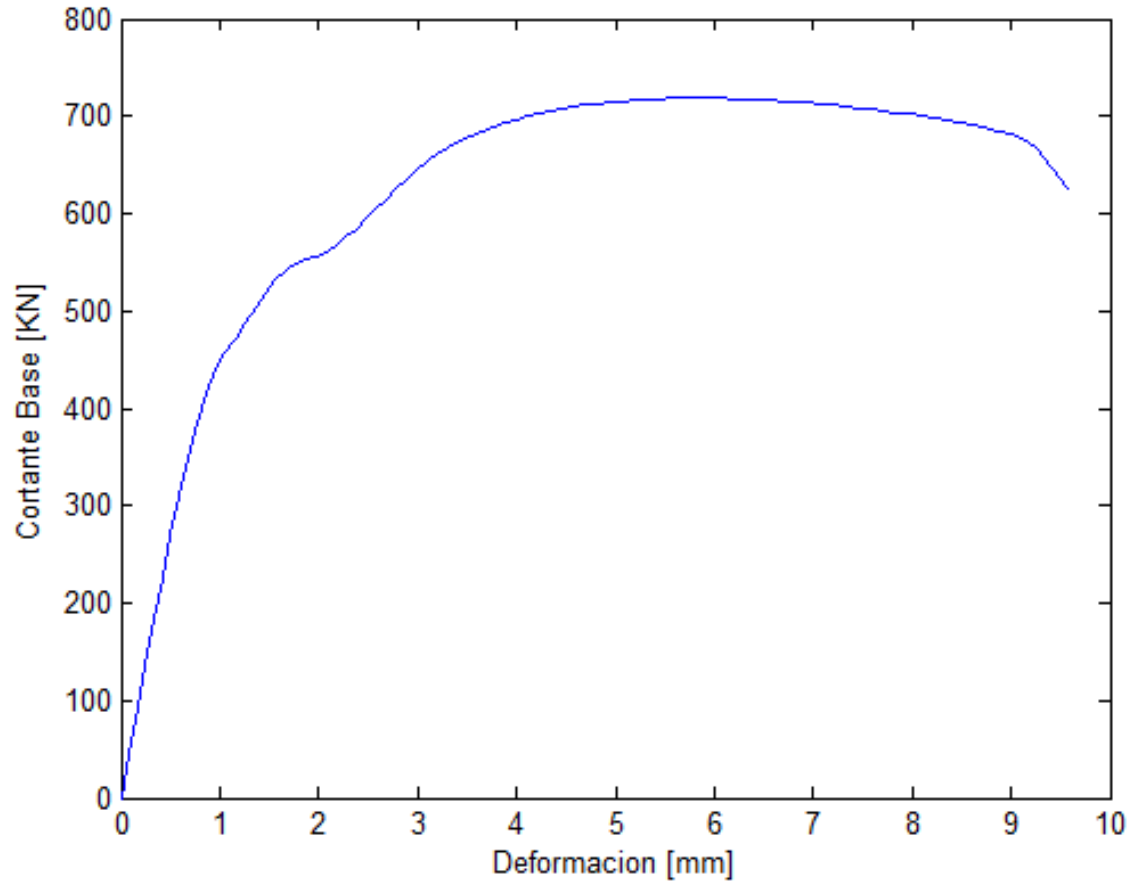


Figura 24 Representación de la curva de capacidad de la pantalla en Fuerza – Deformación de la combinación PC07S02

6.3.5 COMPARACIÓN DE LA CURVA DE CAPACIDAD DE LAS COMBINACIONES

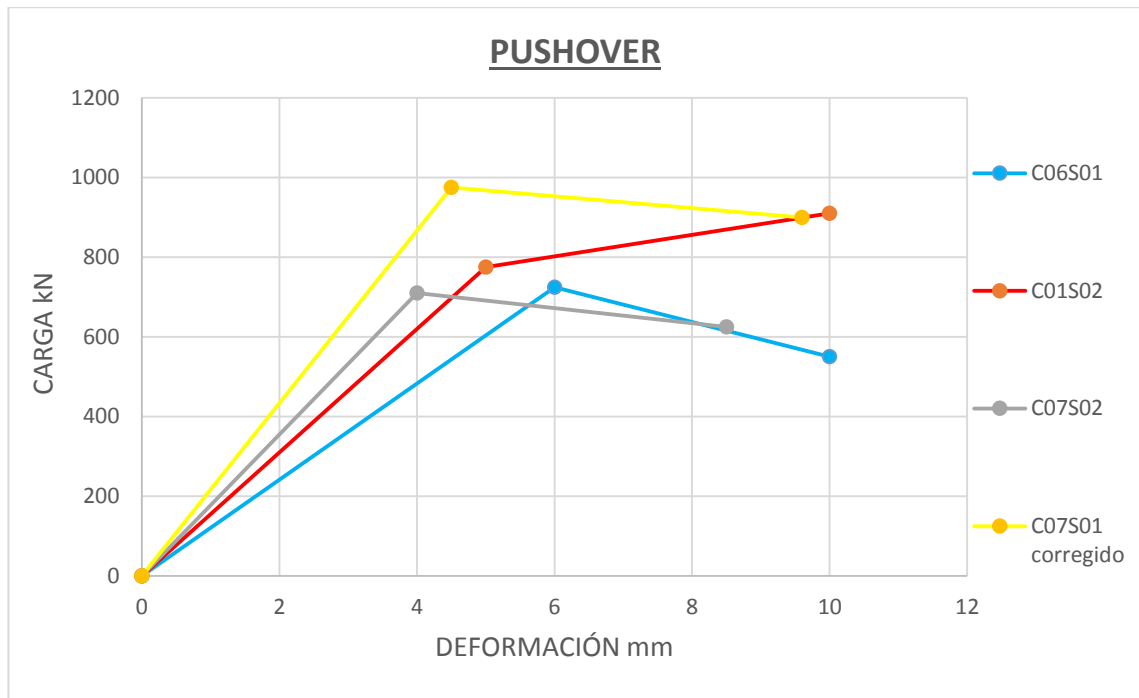


Figura 25 Curva de capacidad en Carga- Deformación

El proceso de bilinealización utilizado para los 4 modelos de carga monotónica (Pushover) expuestos a lo largo del capítulo 5.3 y condensados en la **Figura 25** se realizó teniendo en cuenta los puntos más altos de la gráfica envolvente de cada combinación por separado.

7 CONCLUSIONES

- Respecto a las deformaciones se aprecia que la combinación del concreto 06 con el acero 01 presenta la mayor de las deformaciones (5 mm) **Figura 20**, es esta combinación la que presenta la menor rigidez **Tabla 4**.
- Se aprecia que las deformaciones son similares cuando se utiliza el mismo concreto sin presentar mayor relevancia el cambio del acero. **Figura 20** y **Figura 25**.
- Se evidencia que los concretos 01 y 07 presentan mayor rigidez (437 y 468 kN/mm) que el concreto 06 (296 kN/mm) ya que tienen una pendiente más pronunciada. **Figura 20**.

8 RECOMENDACIONES

- Identificar el porcentaje de PGA del sismo evaluando individualmente cada combinación para así saber el comportamiento final del elemento y conocer su deformación final al momento de la rotura
- Realizar la modelación de la pantalla de concreto reforzado confinado para conocer el comportamiento del elemento.
- Emplear los software Matlab y OpenSees dentro del contenido programático de materias afines al uso de las aplicaciones tales como calculo numérico y lógica & algorítmica.

9 REFERENCIAS

- [1] G. B. Nakaki, «Estudio de paredes rectangulares y en teen el codigo abierto OpenSees,» 2006.
- [2] J. D. Waugh, «Nonlinear analysis of T-shaped concrete walls subjected to multi-directional displacements,» 1995.
- [3] W. Z. e. al., «Engineering Structures,» 2016, pp. 191 - 204.
- [4] M. E. G. y. S. E. Q. Negar Elhami Khorasami, «Modelado de estructuras de acero en OpenSees: Mejoras en análisis probabilísticos de incendios y riesgos múltiples,» 2015.
- [5] P. T. y. P. M.J.N., «Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Building. John Wiley,» de *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Building. John Wiley*, 1992.
- [6] U. H., «Un Nuevo Enfoque para el Análisis y Diseño de Estructuras de Hormigón Armado. Universidad de Medellín. Medellín, Colombia.,» de *Un Nuevo Enfoque para el Análisis y Diseño de Estructuras de Hormigón Armado. Universidad de Medellín. Medellín, Colombia.,* 2007.
- [7] T. P. & M. J. N. Priestley, «Seismic desing of reinforced concrete and masonry buildings,» de *Seismic desing of reinforced concrete and masonry buildings*, 1992.
- [8] A. C. d. I. Sismica, «Reglamento Colombiano de Construcccion Sismo Resistente - NSR 10,» de *Reglamento Colombiano de Construcccion Sismo Resistente - NSR 10*, 2010, p. A 67.
- [9] G. -. DIACO, «Manual de acero Gerdau - DIACO,» de *Manual de acero Gerdau - DIACO para construcciones sismo resistentes de resistencia a la tracción y capacidad de deformación*, 2012.