

**CUANTIFICACIÓN DE LA VARIACIÓN DEL NIVEL DE DAÑO DE UN EDIFICIO
DE ALTURA MEDIA POR EL CAMBIO DEL ESPECTRO DE DISEÑO EN LA
NORMA COLOMBIANA.**

**RAFAEL ANDRÉS BARRAGÁN ACEVEDO
CAROLINA URIBE GARCIA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2012

**CUANTIFICACIÓN DE LA VARIACIÓN DEL NIVEL DE DAÑO DE UN EDIFICIO
DE ALTURA MEDIA POR EL CAMBIO DEL ESPECTRO DE DISEÑO EN LA
NORMA COLOMBIANA.**

**RAFAEL ANDRÉS BARRAGÁN ACEVEDO
CAROLINA URIBE GARCÍA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Director
GUSTAVO CHIO CHO
Ingeniero Civil, Ms.C, Ph.D.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2012

*A Dios y la Virgen por su fortaleza para afrontar las dificultades
A mis padres que siempre creyeron en mí y me apoyaron en todo mi proceso
A mi hermana por sus consejos
Y a mis amigos por su apoyo y Motivación*

Rafael Andrés Barragán Acevedo

*“Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado
Un esfuerzo total es una victoria completa “*

*A la memoria de mi madre que desde el cielo guía mi camino,
A mi padre por su comprensión y confianza,
A mis hermanos Lady, Andrés y Paola mi motivación y razón de ser,
A Dios por las bendiciones recibidas*

CAROLINA URIBE GARCIA

AGRADECIMIENTOS

A nuestro director de proyecto Ingeniero Gustavo Chio Cho por su constante apoyo y dedicación.

Al ingeniero Alexis Vega por su colaboración.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. CONCEPTOS BASICOS	19
1.1 GENERALIDADES	19
1.2 DEFINICIONES	19
1.2.1 Sismos	19
1.2.2 Intensidad sísmica	21
1.2.3 Magnitud sísmica	23
1.3 SISMICIDAD EN COLOMBIA	24
1.4 CRITERIOS DE DISEÑO SÍSMICO	25
1.4.1 Efectos en las estructuras	26
1.4.2 Espectros De Respuesta	27
1.5 DAÑOS CAUSADOS POR SISMOS.	29
1.6 MODIFICACIONES EN LA NORMA SISMO RESISTENTE NSR-10	30
1.6.1 Zona de amenaza sísmica y movimientos sísmicos de diseño	30
1.6.2 Requisitos generales de diseño sismo resistente	32
1.6.3 Evaluación e intervención de edificaciones construidas antes de la vigencia de la presente versión del reglamento.	33
1.6.4 Procedimiento no lineal estático de plastificación progresiva “pushover	33
2.CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES	34
2.1 EDIFICACIONES	34
2.1.1 Descripción De Las Edificaciones	34
2.1.2 Edificación Modelo N°1	35
2.1.3 Edificación Modelo N° 2	37
2.1.4 Edificación Modelo N°3	39
3. MODELAMIENTO ESTRUCTURAL	42

3.1 GENERALIDADES	42
3.2 DESCRIPCION DEL PROCEDIMIENTO	42
3.2.1 Geometría	42
3.2.2 Materiales de Diseño	42
3.2.3 Elementos Estructurales	43
3.2.4 Asignación de Apoyos	45
3.2.5 Asignación de Elementos estructurales	45
3.2.6 Zonas Rígidas	45
3.2.7 Configuraciones de Carga	45
3.2.8 Asignación de Cargas	46
3.2.9 Asignación de Diafragmas	46
3.2.10 Rotulas Plásticas	47
3.2.11 Espectro de Respuesta	48
3.2.12 Casos de cargas para el análisis Pushover	48
3.3 METODO DE ANALISIS NO LINEAL.	52
3.3.1 Consideraciones	52
3.3.2 Curva de capacidad	53
3.3.3 Curva de demanda	54
3.3.4 Punto de comportamiento	55
3.3.5 Nivel de desempeño	56
4. ANALISIS DE RESULTADOS	60
CONCLUSIONES	63
RECOMENDACIONES	67
BIBLIOGRAFIA	68
ANEXOS	70

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Planta tipo modelo N°1	36
Figura 2. Vista modelo N°1 en SAP	36
Figura 3. Planta tipo modelo N°2	38
Figura 4. Vista modelo N° 2 en SAP	38
Figura 5. Planta tipo. Hasta el nivel 2 Modelo 3	40
Figura 6. Planta tipo. Nivel 3 a 11 Modelo 3	40
Figura 7. Vista modelo N° 3 en SAP	41
Figura 8. Propiedades del Material	43
Figura 9. Dimensiones Sección Rectangular	44
Figura 10. Refuerzo de columnas	44
Figura 11. Tipos de carga	46
Figura 12. Asignación del Diafragma	47
Figura 13. Asignación de Rotulas Plásticas	47
Figura 14. Cargas Gravitacionales	48
Figura 15. Pushover en dirección X	49
Figura 16. Aplicación de la Carga	50
Figura 17. Configuración Método de Análisis	50
Figura 18. Pushover en dirección Y	51
Figura 19. Espectro de Capacidad	54
Figura 20. Espectro de Demanda sísmica	55
Figura 21. Espectro Capacidad-Demanda (ATC-40,1996)	55
Figura 22. Diagrama momento-curvatura y criterios de aceptación (FEMA 356 2000)	59
Figura 23. Periodos de vibración de la estructura.	60
Figura 24. Espectro de aceleraciones del documento ATC-401	61

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Escala de Richter	24
Tabla 2. Información del Modelo N°1	35
Tabla 3. Información del Modelo N°2	37
Tabla 4. Información del Modelo N°3	39
Tabla 5. Niveles de desempeño de la edificación (ATC-40,1996)	57
Tabla 6. Estados de daño y niveles de desempeño (SEAOC, 1995)	58

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Espectro de capacidad vs Demanda	70
ANEXO B Rotulación de los elementos	76
ANEXO C. Tablas de resultados para el nivel de amenaza sísmica	80
ANEXO D Puntos de desempeño.	83

RESUMEN

TITULO: Cuantificación De La Variación Del Nivel De Daño De Un Edificio De Altura Media Por El Cambio Del Espectro De Diseño En La Norma Colombiana^{*}

AUTORES: Rafael Andrés Barragán Acevedo^{**}
Carolina Uribe García

PALABRAS CLAVES: Nivel de Daño, Espectro de respuesta, Análisis estático no-lineal, Curva Pushover

CONTENIDO:

En respuesta a las tragedias en víctimas y daños materiales en Colombia, en 1997 se expidió la ley 400 por medio de la cual se regulo el tema de sismo resistencia de las edificaciones colombianas y con base en la potestad reglamentaria de la ley se expidió el reglamento de construcción sismo resistente NSR-98. Debido a que la vulnerabilidad sísmica constituye la causa mayor de tragedias y colapsos de estructuras ante eventos naturales no predecibles, se han desarrollado actualizaciones en la norma, aspectos importantes para la correcta aplicación de la misma y que suscitan el nuevo reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10.

Con el fin de analizar el comportamiento que tendrían las estructuras bajo la amenaza sísmica y conociendo que la mayoría de las construcciones se realizaron siguiendo los criterios de la NSR-98 se decide realizar un estudio comparativo del nivel de comportamiento de las edificaciones de pórticos y/o muros en concreto reforzado diseñadas con la Norma anterior y con la nueva Norma Sismo Resistente NSR-10 y de esta manera encontrar las falencias de las construcciones que no cumplen con los criterios que se imponen en la norma NSR-10 o ver, si el tipo de riesgo que se presenta se ha incrementado. Se convierte en nuestro propósito estudiar los cambios instaurados en la norma referente al análisis del comportamiento sísmico no lineal de una edificación utilizando el espectro de diseño para un grupo de edificaciones con características semejantes y de acuerdo a la nueva información sismológica y tectónica de la amenaza sísmica nacional recopilada en los diferentes mapas.

^{*}Proyecto de grado

^{**}Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Gustavo Chio Cho, IC, Ph.D

ABSTRACT

TITLE: Quantification Of Changes In Level Of Damage To A Building Height For Change Media Spectrum Of Design In The Colombian Standard *

AUTHOR: Rafael Andrés Barragán Acevedo **
Carolina Uribe García

KEY WORDS: Damage Level, Response spectrum, Nonlinear static analysis, Pushover curve

DESCRIPTION:

response to the tragedies victims and material damage in Colombia in 1997 was issued through law 400 which regulated the issue of earthquake resistance of buildings in Colombia and based on the regulatory power of the law was issued regulations earthquake resistant construction NSR-98. Because the seismic vulnerability is the major cause of tragedy and collapse of structures with unpredictable natural events have been developed in the standard updates, important aspects for the proper implementation thereof which give rise to the new regulation Colombian earthquake resistant construction NSR-10.

In order to analyze the behavior that would have the structures under seismic hazards and knowing that most buildings were made following the criteria of the NSR-98 was decided to conduct a comparative study of the level of behavior of buildings frames and / or reinforced concrete walls designed with the earlier standard and with the new Standard Seismic Resistant NSR-10 and thus find the weaknesses of the buildings that do not meet the criteria imposed on the LVD-10 and see if the type of risk presented has increased. It becomes our purpose to study the changes instituted in the rule concerning the analysis of nonlinear seismic behavior of a building using the design spectrum for a group of buildings with similar characteristics and according to new information seismologic and tectonic earthquake hazard collected in the different national maps.

*Undergraduate Research Project

**Physical Mechanical Engineering Faculty. Civil Engineering School. Director: Gustavo Chio Cho, CE, Ph.D

INTRODUCCIÓN

Los efectos causados por los terremotos están considerados dentro de las grandes catástrofes naturales que azotan a la humanidad. Estos han mostrado la acción devastadora dejando pérdidas en vidas humanas, destrucción del medio ambiente y capacidad perturbadora sobre los procesos productivos y la actividad social del país.

El diseño de estructuras basadas en la resistencia sísmica, tienen como objetivos básicos evitar el colapso de las estructuras durante sismos de gran intensidad, presentados en la vida útil de la estructura, y preservar la estabilidad de las edificaciones sosegando los daños significativos en sismos de baja o media intensidad. No obstante, los deficientes resultados han puesto en evidencia que la confiabilidad del diseño sísmico no solo era menor que la que se esperaba, sino que presenta grandes inconsistencias entre estructuras que tienen un mismo sistema estructural. Es así, como nace la necesidad de replantear los procedimientos actuales de diseño sísmico y en aras de obtener mejores resultados en Colombia se actualizó la norma de diseño sismo resistente, adoptando nuevos esquemas de seguridad que permitan desarrollar técnicas constructivas más confiables cumpliendo las cada vez más complejas necesidades de la sociedad moderna.

El diseño basado en el desempeño sísmico consiste en la selección de esquemas de evaluación apropiados que permitan el dimensionamiento y detalle de los componentes estructurales, no estructurales y contenidos, de manera que, para unos niveles de movimientos determinados y con ciertos niveles de fiabilidad, los daños en la estructura no deberán superar ciertos estados límite. No solo se involucran aspectos relacionados con el diseño, sino que también considera todas aquellas actividades necesarias tanto para el proceso constructivo, como para las

tareas de mantenimiento, que permiten que las estructuras exhiban un desempeño sísmico predecible cuando se ven afectadas por sismos de diferente severidad.

1. CONCEPTOS BASICOS

1.1 GENERALIDADES

La sismología se basa en el estudio de las causas de los sismos, de caracterizarlos y dentro de lo posible predecirlos. La ingeniería sísmica, se encarga del análisis y diseño de las construcciones sometidas a las sollicitaciones producidas por los desplazamientos del terremoto, causados por los sismos. Estos movimientos, traducidos en vibraciones se deben a desplazamientos bruscos que dan lugar a la liberación de grandes cantidades de energía almacenada en las rocas, que se manifiesta en forma de ondas vibratorias que se propagan a la largo de la corteza terrestre producto de las grandes presiones que los flujos de magma ejercen sobre la corteza terrestre que supera los esfuerzos de fricción entre la placas.

1.2 DEFINICIONES

1.2.1 Sismos. Son temblores producidos en la corteza terrestre como consecuencia de la liberación repentina de energía en el interior de la tierra. La energía se trasmite a la superficie en forma de ondas sísmicas que se propagan en todas las direcciones, produciendo movimientos que conllevaran a otros mayores o menores y que pueden afectar de manera directa en la respuesta de las edificaciones ante la excitación sísmica. El tamaño de un terremoto puede determinarse en base al cálculo de la energía liberada, es decir de su magnitud y su intensidad.

El terremoto se origina en el foco o hipocentro; este punto se puede situar a 700 km, hacia el interior de la superficie terrestre. El epicentro es el punto de la superficie terrestre más próximo al foco del terremoto. Las vibraciones pueden ser

apenas apreciables hasta las de carácter catastrófico. En todo este proceso se generan 4 tipos de ondas de choque, dos se clasifican como ondas internas (viajan por el interior de la tierra) y las otras dos son superficiales. Las ondas internas se subdividen en primarias o P y secundarias o S:

Onda P: Las ondas compresionales son las que se transmiten cuando las partículas del medio se desplazan en la dirección de propagación, produciendo compresiones y dilataciones en el medio. Esta es la más veloz de todas las ondas sísmicas, 5 km/s en las rocas graníticas cercanas a la superficie, y alcanza más de 11 km/s en el interior de la tierra, por lo tanto es la primera en llegar a cualquier punto y en ser sentida y registrada por los sismogramas. De ahí su nombre de onda Primera o P que en inglés se asocia con push que significa empujón o empujar.

Ondas S: Las ondas de corte o de cizalla, son aquellas en las cuales las partículas del medio se desplazan perpendicularmente a la dirección de propagación, por lo que están asociadas con deformaciones del terreno de tipo cizalla. La onda S es más lenta que la onda P. Usualmente la onda S tiene mayor amplitud que la onda P, y se siente más fuerte que ésta.

El efecto de los sismos sobre las estructuras depende de las características dinámicas tanto de la estructura como del movimiento. Las características dinámicas del movimiento son variables; dependen de la distancia epicentral, la profundidad focal y la magnitud del sismo, así como del tipo de terreno en que estén desplantadas las estructuras.

Las características de interés del movimiento son la duración, la amplitud y la frecuencia, refiriéndose la magnitud a los máximos valores que se alcanzan durante un sismo, ya sea de desplazamiento, velocidad o aceleración del suelo y la frecuencia al número de ciclos oscilación del movimiento por unidad de tiempo.

Las características geológicas pueden tener gran efecto sobre los resultados locales de un sismo. Los terremotos violentos y destructores se evidencian en sitios de menor resistencia de la corteza terrestre y por lo general, a todo movimiento violento le siguen otras más débiles denominadas replicas. Las vibraciones de los terremotos se propagan a velocidades diferentes en materiales distintos; los efectos en roca y en materiales no consolidados son diferentes. En general, en terremotos firmes la frecuencia es más alta que en terremotos blandos, lo que indica que el número de ciclos de oscilación del terreno por unidad de tiempo es mayor, sintiéndose el movimiento mucho más violento y rápido que en los terrenos blandos, donde es más lento pero los desplazamientos y la duración total suelen ser mucho mayores en el terreno blando.

La amplificación sísmica también juega un papel fundamental; el tipo de suelo y la topografía, modifican la amplitud de las sacudidas. Un frente de ondas en la roca suele tener altas frecuencias y en consecuencia alta energía. Cuando las ondas pasan a los depósitos sobre yacientes se amplifican: luego, bajando la frecuencia aumenta la amplitud, pues la energía trata de conservarse. En depósitos mal consolidados, de más de 10 m de espesor, como los rellenos, las vegas de los ríos, depósitos de cenizas volcánicas y valles conformados en antiguos lagos, la intensidad del terremoto (E. Mercalli) puede incrementarse en un grado, e incluso otro medio grado más cuando el nivel freático está a menos de 10 metros de profundidad. Sobre colinas relativamente pronunciadas, sobre el relieve, por efectos de esbeltez, la fuerza sísmica puede incrementarse hasta en un 50%.

1.2.2 Intensidad sísmica¹. La intensidad de un sismo es una medida de los efectos que éste produce en un sitio dado, es decir, de las características del terreno y del potencial destructivo del sismo en un lugar en particular y en lo concerniente a sus efectos en las construcciones. Las intensidades varían en

¹ BAZÁN, Enrique y MELI, Roberto, Diseño Sísmico de Edificios, Editorial LIMUSA, México, 1998.

grados desde I al XII y un buen ejemplo de este tipo de escala los es la MSK-1964 (Escala Internacional Macro sísmica o Mercalli Modificada).

- I.- Terremoto imperceptible. Sólo son registrados por los sismógrafos.
- II.- Terremotos escasamente perceptibles (muy leves).
- III.- Terremoto débil, observado sólo parcialmente. Las personas más sensibles lo sienten.
- IV.- Terremoto sentido considerablemente. El evento es sentido por muchas personas.
- V.- Fuerte. Despertamiento. Sentido por todas las personas en el interior de edificios y por muchas fuera. Muchas personas durmiendo se despiertan. Hay algunos daños en edificios menos sólidos.
- VI.-Daños ligeros. Las personas se asustan y corren hacia afuera de las edificaciones. Hay daños en estructuras medias.
- VII.-Daños en edificios. Se asustan la mayoría de las personas. Hay daños sobre las estructuras. En el diseño y construcción debe ser tomada en cuenta la carga de sismo.
- VIII.-Fuentes daños en los edificios. Destrucción de edificios. Alarma general. La carga de sismo comienza a ser crítica en el diseño.
- IX.-Daño general de edificios. Pánico general. Muchos edificios se caen. La carga de sismo es la más importante en el diseño. Hay que tomar medidas especiales antisísmicas.
- X.- Destrucción general de edificios. Grandes grietas en el suelo.
- XI.-Catástrofe. Ocurren serios daños, destrucción total. Considerables deformaciones del suelo.
- XII.- Cambio de relieve. Se destruyen prácticamente todas las construcciones. Cambios radicales en la superficie del terreno.

1.2.3 Magnitud sísmica². La magnitud es una medida de la potencia del sismo, independiente del lugar donde se mide, es una medida objetiva y absoluta de la energía producida en el foco de un terremoto. Se calcula en función de la amplitud y de la frecuencia de las ondas sísmicas registradas en los sismogramas.

La escala de magnitud crece de forma semilogarítmica, de manera que el incremento de una unidad de magnitud significa un aumento de 30 en la energía liberada por ese sismo. Es decir, un terremoto de magnitud 7 es aproximadamente 30 veces mayor que uno de magnitud 6 y 900 veces mayor que uno de magnitud 5.

Una de las contribuciones más valiosas de Charles Richter fue el descubrir que las ondas sísmicas propagadas por todos los terremotos pueden proporcionar buenas estimaciones de sus magnitudes. Él consiguió los registros de las ondas sísmicas de un gran número de terremotos, y desarrolló un sistema de calibración para medición de las magnitudes. Richter demostró que cuanto mayor era la energía liberada intrínseca de un terremoto mayor era la amplitud de movimiento del terreno en una distancia dada.

La magnitud de Richter presenta inconvenientes grandes: los sismógrafos cercanos al sismo son saturados por ondas mayores a las que pueden soportar los aparatos evitando de esta forma la medición del desplazamiento máximo en tal punto.

² NEGRIN, Alexis. Comportamiento de Estructuras de Concreto, Monografía para curso de Diseño Estructural, UNITEC, Tegucigalpa, Honduras, 2007.

Tabla 1. Escala de Richter

MAGNITUD DE LA ESCALA DE RICHTER	
2.5	En general no sentido pero registrado por los sismógrafos
3.5	Sentido por mucha gente
4.5	Pueden producirse algunos daños locales pequeños
6	Terremotos destructivos
7	Terremoto importante

Fuente: Autores del proyecto

1.3. SISMICIDAD EN COLOMBIA

Colombia se encuentra en un ambiente sismo-tectónico de gran actividad, donde con ocurrencia se presentan eventos naturales como deslizamientos, sismos, que constituyen amenazas permanentes, los terremotos se convierten en fenómenos que le ocasionan al país, grandes pérdidas en vidas humanas y daños materiales.

El país se encuentra localizado en un complejo ambiente tectónico, gobernado por una junta triple producto de la unión de las placas tectónicas Nazca, Suramericana y Caribe, la deformación de esta zona de triple unión es controlada principalmente por la interacción entre las placas Nazca y Suramérica, lo cual ha hecho del país un escenario de múltiples sismos. Esta actividad se refleja en la morfología de las cadenas montañosas, las cuales están surcadas por múltiples fallas a lo largo de toda la zona andina.

En Colombia los sismos son frecuentes en la región del pacífico y andina, eventuales en el Caribe y escasos en la Orinoquía y la amazonia. En nuestro país los sismos Intraplaca son someros e intensos en la región del Pacífico y profundos y menos leves sobre la región andina. Hay singularidades en Rio sucio (Chocó) y en la región de Bucaramanga, como también fallas de gran actividad en la joven cordillera Oriental y en otras regiones del país.

Prácticamente el 90 % de la población colombiana habita en la zona andina del país, que se caracteriza por ser de amenaza sísmica intermedia y alta, casi la totalidad de la industria nacional está localizada en esta zona, aumentándose la necesidad de realizar estudios sísmicos, de los que se encarga la Red Nacional de Acelerógrafos de Colombia (RNAC)

La cual evalúa los posibles efectos de un sismo sobre una estructura, localidad y contribuye con los conocimientos de propagación de energía en nuestro territorio y la evaluación de los efectos locales de un sismo.

1.4 CRITERIOS DE DISEÑO SÍSMICO

Se establece la necesidad de diseñar las estructuras para resistir sin daños sismicidad de baja intensidad y de ocurrencia relativamente frecuente, prevenir daños estructurales y minimizar daños no estructurales que pudieran ocurrir en sacudidas ocasionales de intensidad media y evitar el colapso o daños serios en caso de sacudida del terreno de intensidad extrema, pero de probabilidad de ocurrencia muy baja. Esto obedece a motivos económicos, considerando la baja probabilidad de que se presente un sismo muy intenso, igual o mayor que el propuesto para diseño, durante la vida útil de la estructura.

Como objeto de análisis calcularemos la vulnerabilidad y el comportamiento de las edificaciones mediante un análisis Pushover. Este método de análisis estático no lineal es una técnica eficiente para estudiar la capacidad, resistencia y deformación de una estructura bajo una distribución esperada de fuerzas inerciales. Se realiza sometiendo a la estructura a un patrón de cargas laterales que se incrementa de manera monotónica hasta que la estructura alcanza su capacidad máxima. Por medio de este método es posible identificar la secuencia del agrietamiento, cedencia y fallo de los componentes, los estados límites de

servicio y la historia de deformaciones y cortantes en la estructura que corresponde a la curva de capacidad³.

1.4.1 Efectos en las estructuras. La acción de los sismos sobre las estructuras, edificaciones y obras en general es de gran importancia por la magnitud de los daños y fallos que ocasionan, las grandes pérdidas económicas y el gran número de víctimas humanas, tanto en vidas como en lesionados.

Las cargas que el sismo provoca sobre las estructuras dependen de muchos factores: las características dinámicas del evento, la zona geográfica, las propiedades del suelo y la estructura, la interacción suelo-estructura, el propio movimiento sísmico, la capacidad de liberar energía de la estructura, etc.

Los parámetros que permiten estudiar las características del movimiento y su efecto sobre la estructura son: el desplazamiento, la velocidad, la aceleración, la energía liberada etc., todos en función del tiempo. Estos datos se obtienen del procesamiento de la información registrada por instrumentos adecuados (sismógrafos, acelerógrafos, etc.), y que permiten evaluar la intensidad misma, que depende del lugar donde se tomen las mediciones y tiene relación directa con la fuerza que provoca el movimiento del terreno.

La carga de sismo, en zonas de actividad sísmica, es una de las más importantes a tener en cuenta en el diseño. La acción de un sismo sobre una estructura tiene aspectos netamente distintos que los de la mayoría de las otras acciones. La diferencia no reside tanto en las características dinámicas de la acción, si no en la relación entre el movimiento sísmico, las propiedades del suelo subyacente y las estructuras.

³ FIGUEROA, J. (1963), Isosistas de macrosismos mexicanos. Ingeniería, vol. 33, pp. 45-68.

El diseño sismo-resistente implica mucho más que la simple consideración de un conjunto de cargas estáticas que se aplican al modelo de la estructura, requiere además y principalmente, la selección de un sistema estructural idóneo y eficiente para absorber los efectos sísmicos y de un cuidado especial en la observancia de requisitos de diseño de los elementos estructurales y no estructurales. Esto implica que un diseño adecuado para soportar las acciones comunes, puede resultar totalmente inapropiado para resistir efectos sísmicos, como lo demuestran las frecuentes fallas y problemas que se tienen al utilizar sistemas constructivos desarrollados para zonas no sísmicas en otras en que estos efectos son críticos⁴.

1.4.2 Espectros De Respuesta. El acelerógrafo es un instrumento que registra los movimientos fuertes como los generados por sismos cercanos⁵. A la información suministrada por el acelerógrafo se le denomina acelerograma y esta información corresponde a los valores de aceleración horizontal registrados en las dos direcciones horizontales ortogonales y a los valores de aceleración vertical, con esta herramienta podemos tener información acerca de la velocidad del suelo y el desplazamiento en función del tiempo.

Conocidos los acelerogramas de temblores intensos es posible estimar la respuesta máxima que puede ocurrir en un instante dado. Esto puede hacerse considerando que el comportamiento de la estructura será elástico en todo el evento o bien que se incursionara en el intervalo de comportamiento inelástico a partir de un cierto valor de respuesta.

La grafica que relaciona las respuestas máximas de distintas estructuras sometidas a una misma excitación con sus periodos de oscilación recibe el nombre de espectro de respuesta. Según el tipo de comportamiento que se haya considerado se tendrán espectros de respuesta elásticos o espectros de respuesta

⁴ Óp. Cit. NEGRIN

⁵ Óp. Cit. BAZÁN y MELI

inelásticos. Normalmente estos espectros se obtienen suponiendo que las estructuras tienen distintos valores del porcentaje crítico, un pequeño valor de este es suficiente para reducir la respuesta considerablemente.

El tipo de terreno en que se haya obtenido el acelerograma es muy importante, pues las características dinámicas de la excitación varían en función de esto, en suelos firmes las vibraciones son rápidas, mientras que en suelos blandos las oscilaciones son de menor frecuencia y modifican la forma de los espectros de respuesta.

Las respuestas se dan en desplazamientos, velocidades o aceleraciones, pues a partir de ellas se puede calcular cualquier efecto que se desee conocer en las estructura, como por ejemplo momentos de volteo en la base, fuerzas cortantes en cualquier nivel, esfuerzos en alguna sección y demás.

Normalmente los acelerogramas tienen periodos que varían dentro de una banda de valores relativamente ancha; sin embargo, en cierto tipo de suelo y bajo condiciones especiales puede haber algún periodo dominante en particular.

Como interpretación física y matemática se trata un acelerograma como una función aleatoria que se analiza como compuesta por una secuencia no periódica de pulsos de aceleración.

El área de un pulso es la medida de la efectividad del mismo en producir vibraciones estructurales⁶. La amplitud del pulso se utiliza para indicar la severidad del movimiento en el suelo. Esto sería satisfactorio si la duración de los pulsos fuera similar en diferentes sismos, pero no lo es. Luego la intensidad en la fase de movimiento fuerte es caracterizada por el tamaño y la forma de los pulsos,

⁶ MALDONADO R., Esperanza y CHIO C. Gustavo. 2004. Análisis sísmico de edificaciones p. 69-70

tomando como parámetros la aceleración máxima del pulso, y la cantidad de veces que se corta el eje de las abscisas (aceleración cero). La caracterización del movimiento en el suelo también depende del número de pulsos y la duración de la fase fuerte del movimiento.

1.5. DAÑOS CAUSADOS POR SISMOS.

En general, las enseñanzas que han dejado los sismos en el mundo indican que en los sitios donde se diseña con una buena normativa sismo resistente, donde la construcción es sometida a una supervisión estricta y donde el sismo de diseño es representativo de la amenaza sísmica real de la zona, el daño es marginal en comparación con el observado en sitios donde no se han dado estas circunstancias.

No obstante, es importante resaltar que diseñar acorde con un código no siempre salvaguarda contra el daño excesivo producido por terremotos severos. Desde una perspectiva histórica, un código por sí sólo no puede garantizar la seguridad contra el daño excesivo, puesto que los códigos son reglamentos que experimentan actualizaciones continuas según los avances tecnológicos y las enseñanzas que dejan las investigaciones y estudios de los efectos causados por terremotos, que no son más que pruebas de laboratorio a escala completa.

La ductilidad y redundancia estructural han probado ser, una y otra vez, los medios más efectivos para proporcionar seguridad contra el colapso, especialmente si los movimientos resultan más severos que los anticipados por el diseño. La capacidad de soportar daños significativos permaneciendo estable se puede atribuir por lo general a la tenacidad, ductilidad y redundancia. El daño severo o colapso de muchas estructuras durante terremotos importantes es, por lo

general, consecuencia directa de la falla de un solo elemento o serie de elementos de ductilidad o resistencia insuficiente⁷.

1.6. MODIFICACIONES EN LA NORMA SISMO RESISTENTE NSR-10

1.6.1 Zona de amenaza sísmica y movimientos sísmicos de diseño. La Comisión Asesora Permanente del Régimen de Construcciones Sismo Resistentes aprobó la modificación de la NORMA SISMO RESISTENTE 2010 “NSR-10” y algunos de los cambios más relevantes, son:

Los movimientos sísmicos de diseño se mantienen con el mismo nivel de probabilidad de excedencia de 10% en un lapso de 50 años, pero se definen a través del parámetro Aa usando en la norma NSR-98 que caracteriza los movimientos sísmicos del terremoto causado por sismo relativamente cercano en el rango de periodos de vibración de las edificaciones comprendido entre 0.1 y 0.5 para edificaciones entre uno y cinco pisos de altura y un nuevo parámetro Av adicionado en la norma NSR-10 el cual caracteriza los movimientos sísmicos de sismos fuertes ocurridos a distancia moderadas a través de periodos de vibración de aproximadamente 1 s, lo cual corresponde a edificaciones de 10 pisos o más, y que permite una mejor descripción de los efectos de atenuación de las ondas sísmicas en el territorio nacional basándose en el estudio de los registros acelerógrafos obtenidos en sismos fuertes y que condujo al cambio de las formas espectrales a utilizar en el reglamento NRS-10 para tener en cuenta los parámetros Aa y Av. A diferencia del Reglamento NSR-98, ahora se presentan también, además del espectro de aceleraciones, los espectros de velocidades y de desplazamientos.

Dentro de los estudios realizados para la modificación de la norma, está el análisis de la máxima aceleración horizontal en cada una de las capitales de los

⁷ Revista Noticreto, Julio-septiembre 1995, Edición No. 36.

departamentos, inferida de la localización y magnitud de los sismos, que arrojó como resultado el establecimiento de unas aceleraciones máximas esperadas para el período de retorno promedio que fija el Reglamento NSR-10 definidas por métodos determinísticos. Los valores encontrados se utilizaron en la producción de los mapas que se incluyen en la norma.

En cuanto a la definición de las zonas de amenaza sísmica se mantendrán iguales a las contenidas en la norma NSR-98, pero su caracterización en el reglamento NSR-10 será, el mayor valor de A_a y A_v a diferencia de la norma anterior que se hacía únicamente usando el parámetro A_a .

La norma NSR-10 actualizo la información sobre los efectos locales, es decir la amplificación de las ondas sísmicas debida al suelo subyacente de la edificación y los efectos de sitio se definen ahora según los coeficientes F_a y F_v , los cuales afectan la zona de períodos cortos 0.1 s y períodos medios del espectro 1 s respectivamente.

El coeficiente de importancia, el cual enfatiza su valor en el diseño sismo resistente de aquellas edificaciones indispensables como la son aquellas de atención a la comunidad que deben funcionar durante y después de un sismo, fue actualizado y modificado en los grupos de uso (I, II, III y IV), donde ahora se incluyen a las edificaciones escolares dentro del grupo de uso III, según las tendencias mundiales.

Se actualizaron los requisitos para el uso de familias de acelerogramas como alternativa de diseño sismo resistente a los espectros, para que fuese compatible con la definición de la amenaza sísmica del Reglamento NSR-10.

También se ajustaron y actualizaron los requisitos aplicables al estudio de microzonificación sísmica y se adiciona una nueva sección en la norma NSR-10,

dedicada a regular la elaboración de estudios de sitio particulares para determinar los efectos de amplificación en edificaciones cuya importancia o tamaño así lo ameriten.

1.6.2 Requisitos generales de diseño sismo resistente. Para la configuración estructural de una edificación se incluye un factor de castigo por falta de redundancia del sistema estructural para evitar el diseño de estructuras vulnerables sísmicamente.

Se adiciona un parámetro para tratar los elementos estructurales que no están en capacidad de disipar energía en el rango de respuesta inelástico, que se conoce como *coeficiente de sobre resistencia* Ω_0 . Se actualizó y se incluyó en todas las tablas, donde se regulan los sistemas estructurales permitidos, las alturas según la zona de amenaza sísmica y los grupos de uso donde pueden utilizarse (A.3-1 a A.3-4).

Se permite el uso de aisladores en la base y disipadores de energía fijando los parámetros y requisitos para su uso, de tal forma que se pueda utilizar en el país técnicas modernas con todas las garantías del caso, pero se prohíben los sistemas de estructura rígida apoyada sobre una estructura con menor rigidez los cuales han tenido muy mal comportamiento en numerosos sismos en todo el mundo y en Colombia.

Se modernizan los requisitos de análisis, tanto estático como dinámico, donde se incluyen procedimientos no-lineales

Para el Método de la fuerza horizontal equivalente se modifica el límite máximo del período fundamental de vibración en función del período aproximado para los diferentes sistemas estructurales de resistencia sísmica, a diferencia del Reglamento NSR-98 que prescribía un valor único.

1.6.3 Evaluación e intervención de edificaciones construidas antes de la vigencia de la presente versión del reglamento. La norma NRS-10 modificó la forma como se califica la estructura existente, con una variación importante en la asignación de los factores ϕ_c y ϕ_e . Este cambio permite asignar comparativamente una mayor resistencia efectiva a las edificaciones más modernas y en mejor estado de mantenimiento.

Para edificaciones existentes, como las declaradas patrimonio histórico donde puede haber gran dificultad en poder cumplir las fuerzas sísmicas de diseño de estructuras convencionales, se adiciona una sección a la norma NSR-10 donde se definen unos movimientos sísmicos de diseño con un período promedio de retorno más corto correspondiente a una probabilidad de excedencia del 20% en 50 años, a diferencia de un 10% en 50 años para todas las otras edificaciones como se definió anteriormente, en estos casos se usará un espectro de diseño de seguridad limitada en función del parámetro de amenaza sísmica **A_e** obtenido también en el estudio de amenaza sísmica con su correspondiente mapas y los valores de **A_e** para las ciudades capitales de departamento y se incluyen dentro del listado para todos los municipios colombianos.

1.6.4 Procedimiento no lineal estático de plastificación progresiva “pushover”. La norma NSR-10 adicionó un capítulo a la norma dedicado al procedimiento no lineal estático de plastificación progresiva también conocido algunas veces como análisis “Pushover”, método de capacidad, o método de la curva de capacidad. Se aclara que este apéndice no es de carácter obligatorio y se incluyó con el fin de que se estudie preliminarmente a fin de adoptarlo en ediciones futuras del Reglamento si se considera conveniente.

2 .CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES

2.1 EDIFICACIONES

2.1.1 Descripción De Las Edificaciones. Durante la ejecución del análisis Cuantificación de la variación del nivel de daño de un edificio de altura media por el cambio del espectro de diseño en la norma colombiana, se emplea edificaciones que presentan características similares ubicadas en la ciudad de Bucaramanga en la zona 2 de la microzonificación elaborada por Ingeominas, 3 edificios con sistema estructural de pórticos y/o muros en concreto reforzado entre 8 y 20 pisos diseñados bajo las normas de sismo resistencia Colombiana NSR-98 Y NSR-10.

Se ejecuta el software SAP2000 para la simulación de la estructura asignando los respectivos materiales y secciones que presenta la edificación, así como las cargas distribuidas según su uso, aplicando el análisis del comportamiento no lineal a través de la curva de capacidad y demanda que el método Pushover y los parámetros del espectro de diseño me arrojan respectivamente, permitiendo encontrar el punto de comportamiento de la estructuras con el fin de evaluar el nivel de comportamiento o daño de acuerdo a los lineamientos de la metodología propuesta por el FEMA 356 y el ATC 40 y asimilar los cambios que provocara la modificación del espectro de diseño de la norma sismo de resistencia Colombiana.

El método Pushover permite evaluar la respuesta de un edificio ante una demanda sísmica por medio de la curva de capacidad; con un progresivo incremento de carga lateral aplicado a la estructura hasta que esta alcanza su capacidad máxima, se determina la relación entre las fuerzas en la base y los desplazamientos en el nivel superior de la estructura, posteriormente esta curva es representada en función de la aceleración espectral vs desplazamiento espectral a fin de comparar en forma directa la capacidad del edificio con el espectro de

demanda, que no es más que una representación gráfica de la aceleración máxima de respuesta respecto al desplazamiento máximo para un periodo y nivel de amortiguamiento dado. Una vez dado estas curvas en un mismo formato (ADRS) se pueden sobreponer e identificar la intersección de las curvas, definiendo el punto de comportamiento de la estructura con el cual se calificara el desempeño de la estructura según los diferentes niveles de amenaza sísmica presentados.

A continuación se presentan las características de las edificaciones estudiadas en el transcurso de este proyecto, con las cuales se desarrolla un modelamiento de cada edificación a partir de los planos estructurales y memorias otorgadas por la curaduría No.2 de Bucaramanga y empresa dedicadas al diseño estructural.

2.1.2 Edificación Modelo N°1

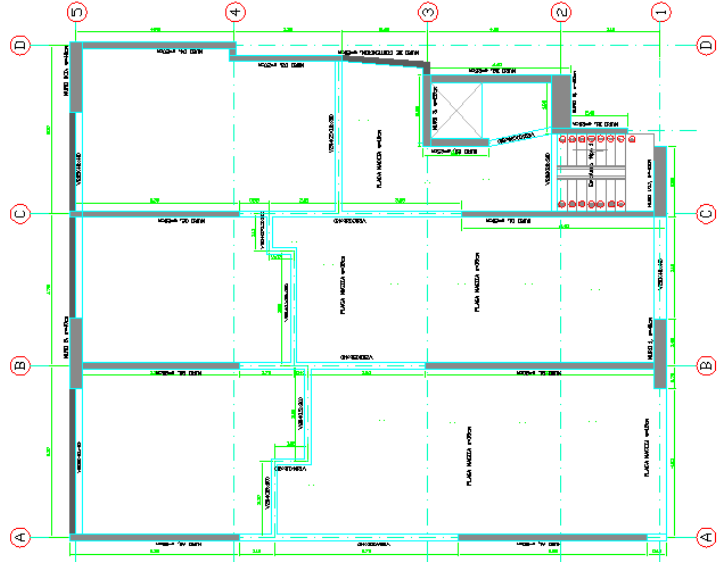
Tabla 2. Información del Modelo N°1

FICHA TECNICA	
Nombre	Edificación N° 1
Norma de diseño	NSR-98
Año de construcción	2009
Cantidad de pisos	17
Sótano	2
Altura entrepiso (m)	2.56
Sistema de resistencia sísmica	Muros estructurales
Placa	Aligerada en una dirección
Especificaciones materiales	f'c: 21 Mpa muros f'c: 21Mpa vigas y placas fy: 420 Mpa
Zona amenaza sísmica	Alta
Perfil del suelo	S2
Coefficiente Aa	0.25
Coefficiente de importancia	1
Periodo de Vibración (s)	1.4

Fuente: Autores del proyecto

2.1.2.1 Configuración Geométrica y Estructural modelo No. 1

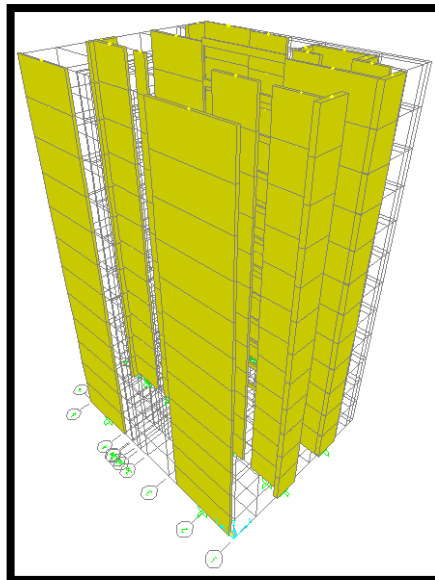
Figura 1. Planta tipo modelo N°1



Fuente: Autores del proyecto

2.1.2.2 Modelo en SAP 3D modelo No.1

Figura 2. Vista modelo N°1 en SAP



Fuente: Autores del proyecto

2.1.3 Edificación Modelo N° 2

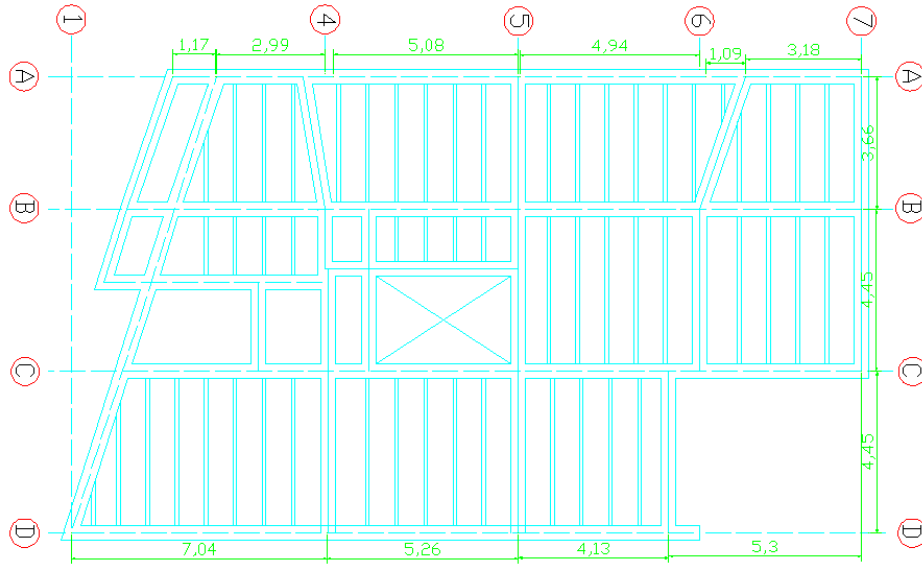
Tabla 3. Información del Modelo N°2

FICHA TECNICA	
Nombre	Edificación No.2
Norma de diseño	NSR-10
Año de construcción	2012
Cantidad de pisos	8
Sótano	2
Altura entrepiso (m)	2.9
Sistema de resistencia sísmica	Sistema Dual
Placa	Aligerada
Especificaciones materiales	f'c: 21 Mpa Columnas y muros f'c:21Mpa vigas y placas fy: 420 Mpa corrugado
Zona amenaza sísmica	Alta
Tipo de perfil del suelo	C
Coficiente Aa	0.25
Coficiente Av	0.25
Coficiente Fa	1.15
Coficiente Fv	1.55
Coficiente de importancia	1
Periodo de Vibración (s)	0.97

Fuente: Autores del proyecto

2.1.3.1 Configuración Geométrica y Estructural modelo N° 2

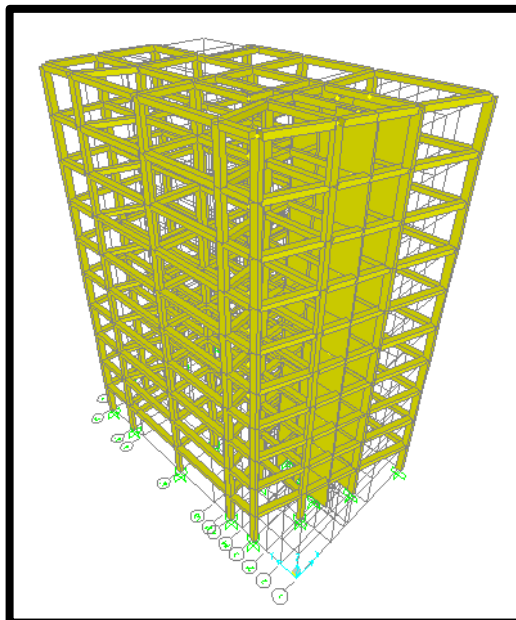
Figura 3. Planta tipo modelo N°2



Fuente: Autores del proyecto

2.1.3.2 Modelo en SAP 3D modelo N° 2

Figura 4. Vista modelo N° 2 en SAP



Fuente: Autores del proyecto

2.1.4 Edificación Modelo N°3

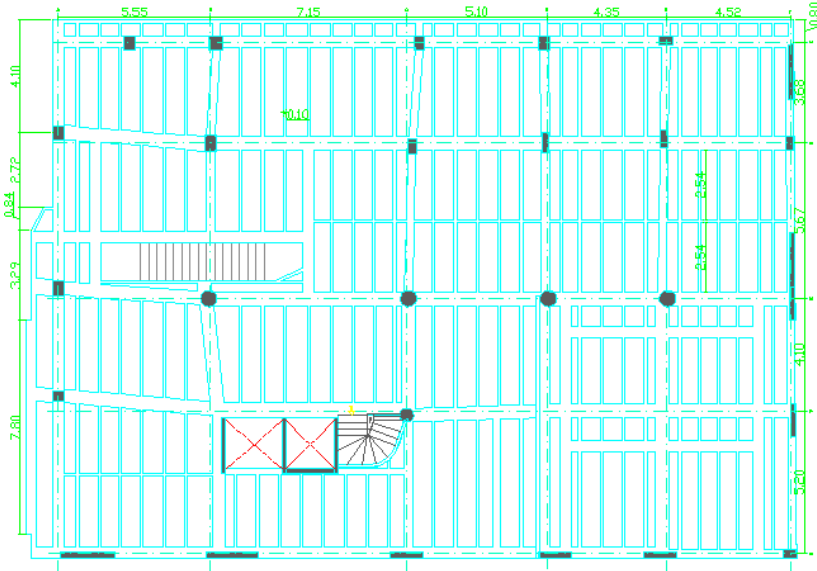
Tabla 4. Información del Modelo N°3

FICHA TECNICA	
Nombre	Edificación N°.3
Norma de diseño	NSR-98
Año de construcción	2007
Cantidad de pisos	13
Sótano	2
Altura entrepiso (m)	2.9
Sistema de resistencia sísmica	Sistema Dual
Placa	Aligerada en una dirección
Especificaciones materiales	f'c: 35 Mpa Columnas hasta 3 Piso f'c: 21 Mpa Columnas 3 a 11 Piso. fy: 420 Mpa corrugado
Zona amenaza sísmica	Alta
Tipo de perfil del suelo	S2
Coefficiente Aa	0.25
Coefficiente de importancia	1
Periodo de Vibración	1.23

Fuente: Autores del proyecto

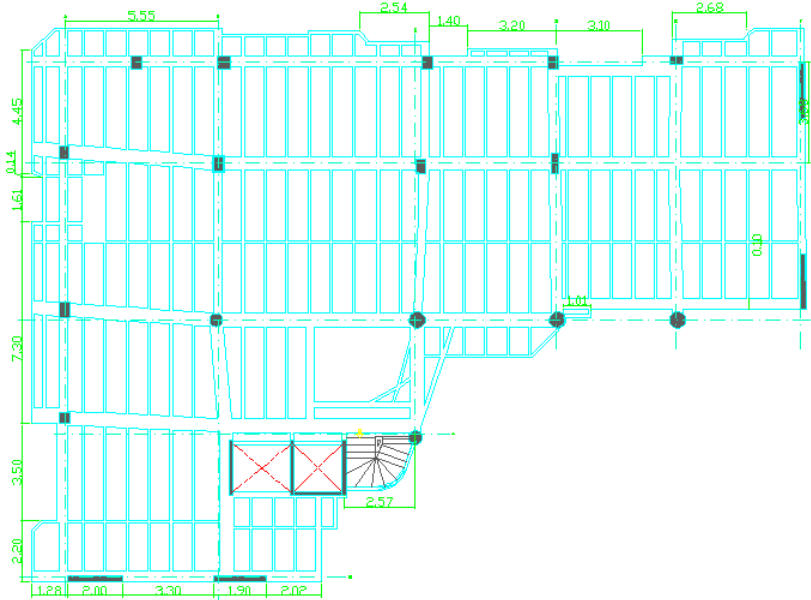
2.1.4.1 Configuración Geométrica y Estructural modelo N° 3

Figura 5. Planta tipo. Hasta el nivel 2 Modelo 3



Fuente: Autores del proyecto

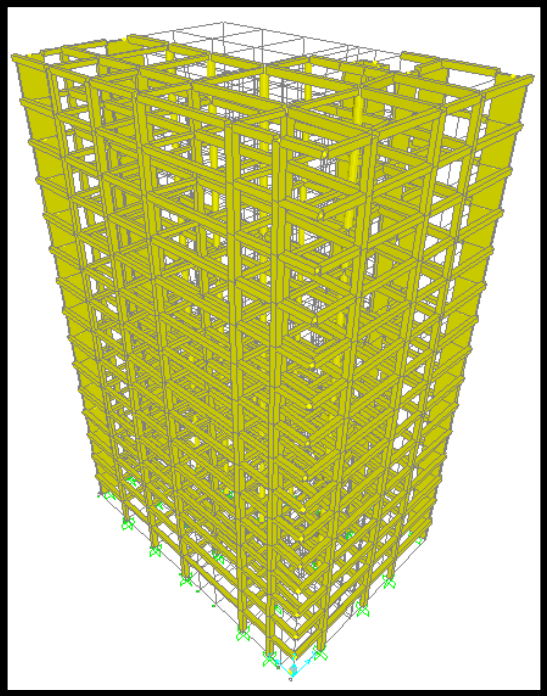
Figura 6. Planta tipo. Nivel 3 a 11 Modelo 3



Fuente: Autores del proyecto

2.1.4.2 Modelo en SAP 3D

Figura 7. Vista modelo N° 3 en SAP



Fuente: Autores del proyecto

3. MODELAMIENTO ESTRUCTURAL

3.1 GENERALIDADES

Para el desarrollo de este proyecto se escogieron tres edificaciones de 8 a 20 pisos con sistemas de configuración estructural tipo aporticada o de muros estructurales todas pertenecientes a la ciudad de Bucaramanga.

Los planos estructurales y arquitectónicos que muestran las características de las edificaciones fueron suministrados por la colaboración de diferentes entidades como la Curaduría Urbana N°2 y entidades dedicadas al diseño estructural.

3.2 DESCRIPCION DEL PROCEDIMIENTO

Una vez recopilada toda la información de las edificaciones de estudio se procede a realizar el modelamiento de las mismas en el programa SAP2000, a continuación se describe de forma general todo el proceso para hacer el montaje de las edificaciones.

3.2.1 Geometría. La geometría, dimensiones y alturas de cada edificación se presentan en el capítulo 2 Descripción de los edificios. Con estos datos procedemos a realizar el dibujo de las grillas siguiendo los pasos descritos a continuación. Inicialmente ejecutamos el software Sap2000 y desde allí vamos a **File/ New Model/** escogemos las unidades apropiadas para el proyecto y luego en **Grids Only** ubicamos las grillas en coordenadas Globales.

3.2.2 Materiales de Diseño. De acuerdo a las especificaciones que se registran en los planos estructurales procedemos a crear los tipos de materiales que necesitaremos para realizar el modelamiento, para esto nos dirigimos al menú

Define/ Material/ Add New Material. A continuación se puede observar el cuadro que se despliega para adicionar los materiales.

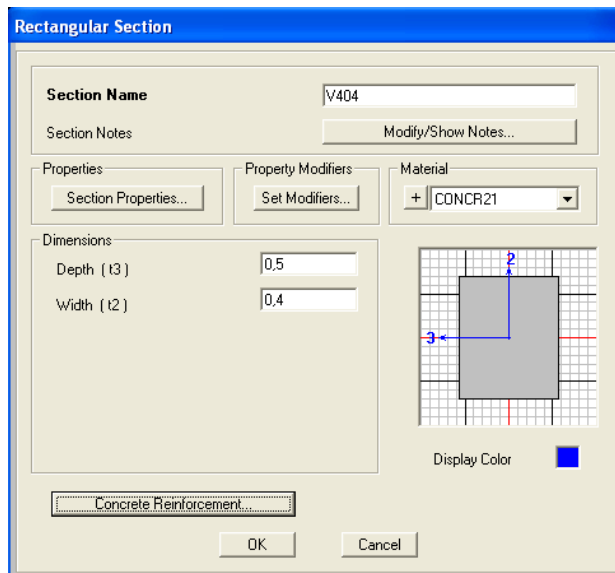
Figura 8. Propiedades del Material

Material Property Data	
General Data	
Material Name and Display Color	MAT
Material Type	Steel
Material Notes	Modify/Show Notes...
Weight and Mass	
Weight per Unit Volume	76.9729
Mass per Unit Volume	7.849
Units	KN, m, C
Isotropic Property Data	
Modulus of Elasticity, E	1.999E+08
Poisson's Ratio, U	0.3
Coefficient of Thermal Expansion, A	1.170E-05
Shear Modulus, G	76903069
Other Properties for Steel Materials	
Minimum Yield Stress, Fy	248211.28
Minimum Tensile Stress, Fu	399896
Effective Yield Stress, Fye	372316.9
Effective Tensile Stress, Fue	439885.6
<input type="checkbox"/> Switch To Advanced Property Display	
OK Cancel	

Fuente: Autores del proyecto

3.2.3 Elementos Estructurales. Ahora procedemos a dibujar los diferentes elementos estructurales, cabe aclarar que para este proyecto los autores modelaron los muros estructurales como elementos frame y no como elementos Shell. Por tanto se realiza en el menú **Define/ Section Properties/ Frame Sections/ Add New Property/ Concrete/ Rectangular** allí se establece el nuevo elemento con las dimensiones y cantidades de acero correspondientes a los planos estructurales.

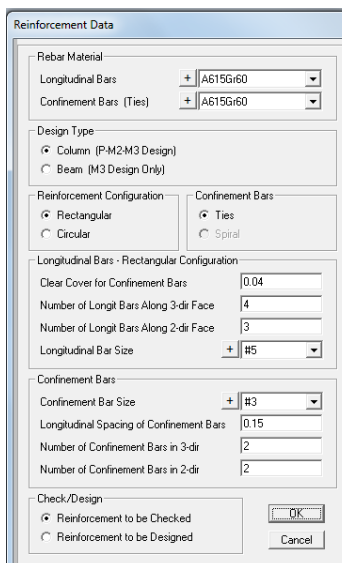
Figura 9. Dimensiones Sección Rectangular



Fuente: Autores del proyecto

Para el caso de las vigas se debe asignar el acero correspondiente en el menú **Concrete Reinforcement/ Design Type/ Beam** y para las columnas en **Concrete Reinforcement/ Design Type/ Column** activando la opción **Reinforcement to be Checked**.

Figura 10. Refuerzo de columnas



Fuente: Autores del proyecto

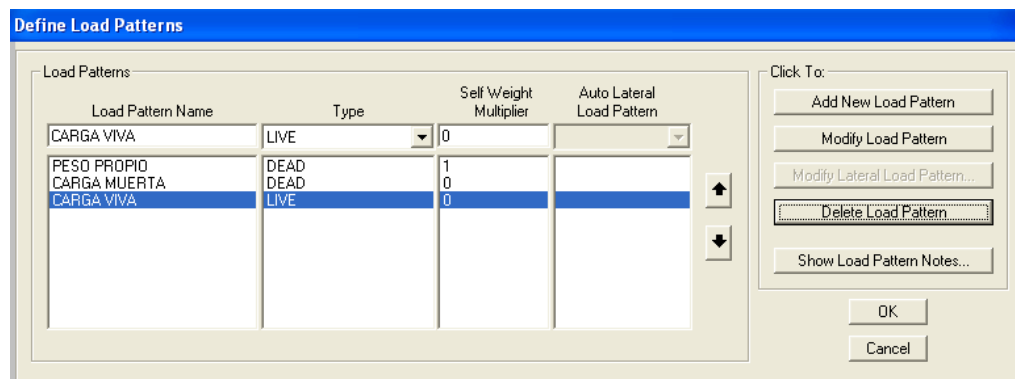
3.2.4 Asignación de Apoyos. Las condiciones de apoyos deben ser óptimas, por tanto se debe suponer cimentaciones totalmente rígidas para las columnas de los sótanos, de esta manera seleccionando los nodos iniciales de la estructura vamos al menú **Assign/ Joint/ Restrain** y activamos todas las opciones para crear los nodos con restricciones de movimiento en los ejes x,y,z (U1, U2, U3) y las restricciones de giro.

3.2.5 Asignación de Elementos estructurales. Una vez se tengan creados todas las barras se procede a seleccionar y aplicar los elementos según la geometría y características generales del modelo en el menú **Assign/ Frame/ Frame Sections** estos elementos ya se encontraban definidos anteriormente por tanto basta con escoger el tipo de elemento que se necesita asignar y aceptar.

3.2.6 Zonas Rígidas. Para la asignación de las zonas rígidas se seleccionan los elementos a los cuales se les desea aplicar y en el menú **Assign/ Frame/ End (Length) Offsets** allí se escoge la opción **Automatic from Connectivity** con un **Rigid-zone factor** de 0,5 recomendado por el documento del ATC-40 donde se supone que la estructura cuenta con nodos rígidos.

3.2.7 Configuraciones de Carga. Para definir los tipos de carga que se emplearan para el análisis de dicha estructura se procede en el menú **Define/ Load Patterns** allí se crean todas las cargas que afectaran a la estructura, vale aclarar que para la carga de peso propio en **Self Weight Multiplier** debe ir 1 debido a que el programa internamente calcula el peso de todas las secciones que fueron creadas.

Figura 11. Tipos de carga



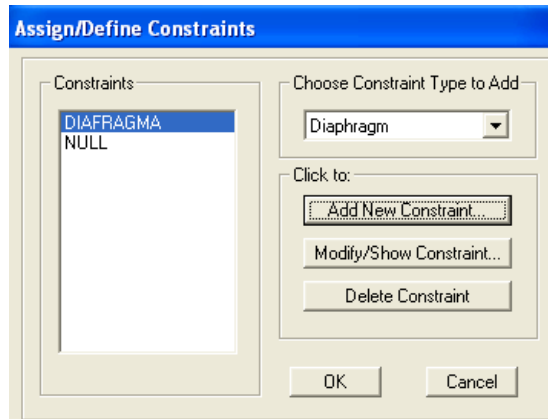
Fuente: Autores del proyecto

3.2.8 Asignación de Cargas. Las transmisión de cargas debe realizarse hacia los elementos estructurales primarios como vigas principales columnas y muros estructurales. Por tanto se debe contar con las cargas en unidades de metro lineal, o puntuales si es el caso de aplicación directa sobre un elemento.

Para realizar la asignación de las cargas por metro lineal seleccionamos los elementos a los cuales le aplicaremos las cargas posteriormente en el menú **Assign/ Frame Loads/ Distributed** se escoge el **Load pattern**

3.2.9 Asignación de Diafragmas. El diafragma busca simular la rigidez que aporta la placa a la estructura haciendo que los desplazamientos de los nodos sean iguales en cada entrepiso. Para asignarlos, se seleccionan todos los elementos del entrepiso, menú **Assign/ Joint/ Constrains/** en **Choose Constrain Type to Add** escogemos **Diaphragm/ Add New Constrain.**

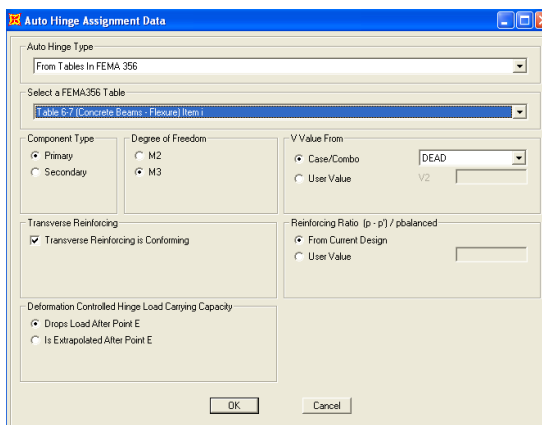
Figura 12. Asignación del Diafragma



Fuente: Autores del proyecto

3.2.10 Rotulas Plásticas. Se deben asignar los tipos de rotulas dependiendo a la sollicitación del elemento, para las vigas se asignan rotulas para el momento principal M3, y para las columnas se consideran las rotulas tipo P-M2-M3 que considera la interacción de los efectos de carga axial y momentos. Primero se seleccionan los elementos, luego se procede a Menú **Assign/ Frame/ Hinges/ Add/** este paso se hace tanto para vigas como para columnas y luego se repiten los pasos **Assign/ Frame/ Hinges/** donde se establece en **Relative distance** para 0.95 de esta manera se establecerán rotulas al inicio y final de cada elemento.

Figura 13. Asignación de Rotulas Plásticas



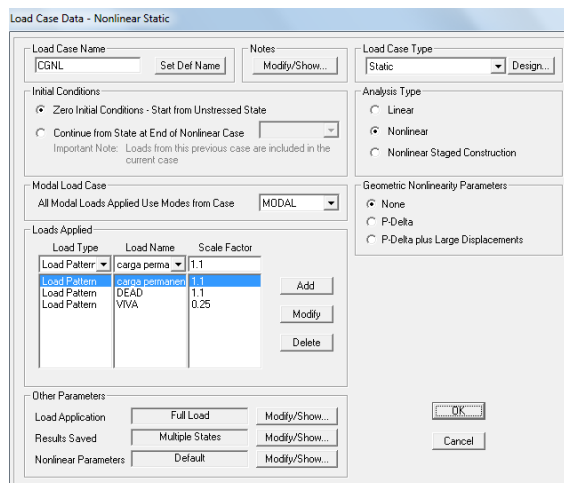
Fuente: Autores del proyecto

3.2.11 Espectro de Respuesta. Para la inclusión del espectro de respuesta vamos a **Define/ Functions/ Response Spectrum** como se desea insertar un espectro creado anteriormente se escoge en **Choose Function Type to Add/ From File/ Add New Function/ Browse** allí se carga el espectro que se tiene creado en formato txt, y se escoge el tipo de valores en el que esta, periodo o frecuencia.

3.2.12 Casos de cargas para el análisis Pushover. Se deben definir todos los tipos de análisis que se van a realizar con las cargas, para esto debemos ir al menú **Define/ Load Cases/** a continuación se presenta cada uno de ellos y la forma de definirlos.

3.2.12.1 Pushover en dirección de la gravedad: El análisis pushover aplica las cargas gravitacionales de la estructura como primero medida, para esto nos dirigimos al menú **Define/ Load Cases/ Add New Load Cases/** y asignamos el caso CGNL cargas gravitacionales no Lineales, con las siguientes condiciones mostradas en la figura. En esta aplicamos el 110% de Cargas muertas y el 25% de Cargas vivas, según el Fema 356.

Figura 14. Cargas Gravitacionales

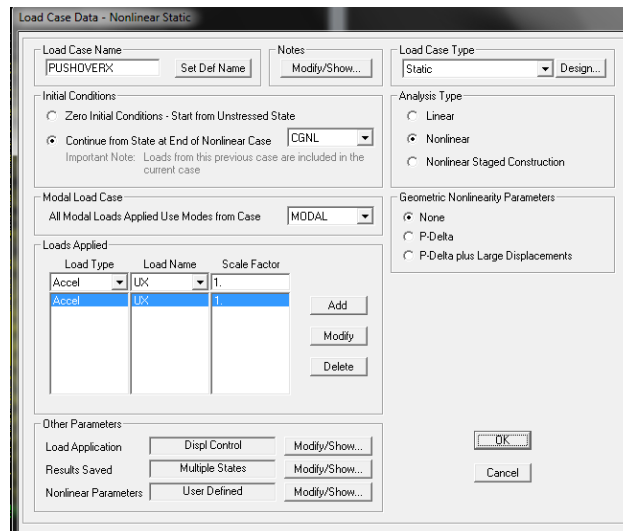


Fuente: Autores del proyecto

Para los parámetros que se muestran en la parte inferior de la figura no es necesario modificarle nada, puesto que las condiciones que ellos traen por defecto están correctas para nuestro análisis.

3.2.12.2 Pushover en dirección X: Para el caso pushover en dirección x debemos seguir los mismos pasos para las cargas gravitacionales menú Define/ Load Cases/ Add New Load Cases/ pero con condiciones iniciales que empiezan desde el caso CGNL definido anteriormente.

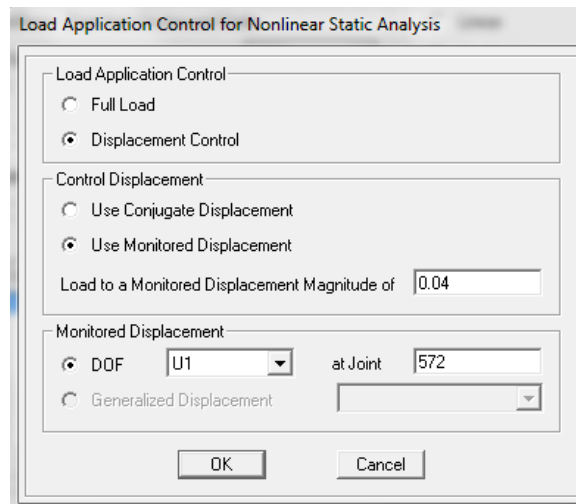
Figura 15. Pushover en dirección X



Fuente: Autores del proyecto

En los parámetros inferiores de este recuadro se deben modificar ciertos factores en **Load Application** modificamos de la siguiente manera

Figura 16. Aplicación de la Carga

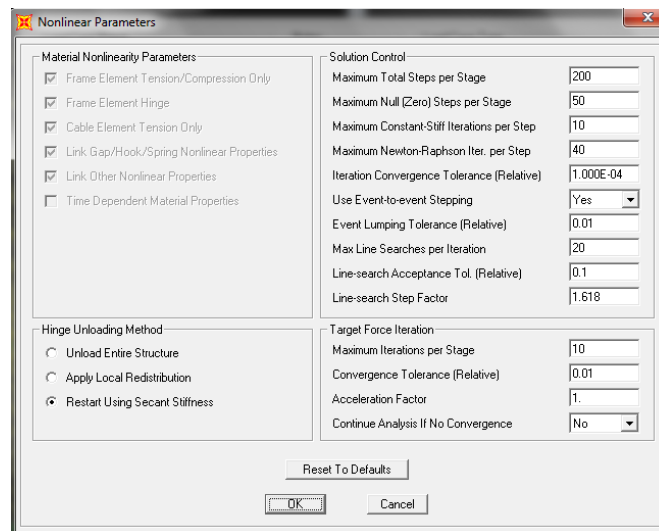


Fuente: Autores del proyecto

En **Results Saved** definimos para múltiples pasos, e igualmente para un número mínimo de pasos para guardar y un número máximo.

Y por último debemos configurar en **Nonlinear Parameters** el tipo de método que queremos emplear para el análisis Pushover

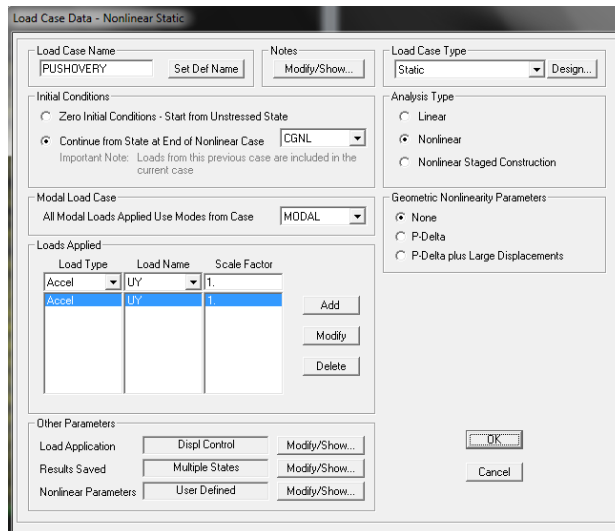
Figura 17. Configuración Método de Análisis



Fuente: Autores del proyecto

3.2.12.3 Pushover en dirección Y: Para definir el caso pushover en dirección Y nos dirigimos al menú **Define/ Load Cases/ Add New Load Cases/** y al igual que el caso anterior este parte con condiciones iniciales denotadas por el CGNL

Figura 18. Pushover en dirección Y



Fuente: Autores del proyecto

Los parámetros en la parte inferior del recuadro también se definen como en la sección anterior modificando cada uno de los pasos y definiendo las características según requiera el usuario.

En **Load Application** escogemos la opción **Displacement Control**, activamos la casilla **Used Monitored displacement** con **U2** y definiendo el nodo de estudio para nuestro análisis. En **Results Save** definimos para **Multiple States**, y en **Nonlinear Parameters** escogemos el método de análisis.

3.3 METODO DE ANALISIS NO LINEAL.

3.3.1 Consideraciones. Si una edificación es sometida a movimientos del terreno debido a sismos, se experimenta desplazamientos laterales y deformación en sus elementos. Si la amplitud es pequeña las deformaciones de los elementos permanecen en el rango elástico y usualmente no ocurren daños mientras que para respuestas de mayor amplitud, las deformaciones de los elementos exceden su capacidad elástica y la edificación experimenta daños. Para este caso la mejor estimación de la respuesta global de la estructura y de la demanda en sus componentes individuales, se obtiene con procedimientos de análisis no lineal, tales resultados son sensibles a pequeños cambios del comportamiento de sus componentes y las características del movimiento empleado. Un análisis dinámico no lineal presenta diferentes estimaciones del desplazamiento máximo, para diferentes registros cubiertos por un mismo espectro de respuesta, situación que ha propiciado el desarrollo de procedimientos simples, que permitan estimar los valores medios de la fuerza y el desplazamiento, los cuales se conocen como métodos simplificados de análisis estático no lineal⁸.

El fundamento del análisis no lineal marca su interés en la representación de las características globales de la edificación con el fin de predecir la degradación progresiva de la estructura. Existen diversos métodos de análisis estático no lineal, dentro de los que se encuentra el análisis Pushover modal propuesto por Chopra y Goel (2001), en el que se crea la curva de capacidad a partir del análisis de las propiedades de los materiales, secciones de los elementos, áreas de refuerzos y se superpone con el espectro de demanda sísmica encontrando el nivel de comportamiento de la estructura a partir de la rotulación plástica de los elementos

⁸ MELONE, Safina. Vulnerabilidad de edificaciones esenciales. Análisis de su comportamiento al riesgo sísmico. Capítulo 6. pág. 76

estructurales y donde se determina el punto de comportamiento superponiendo las curvas entre sí.⁹

La capacidad de una edificación y la demanda impuesta por un sismo son dependientes, si se incrementa la demanda, la estructura puede entrar en cedencia, la rigidez disminuye y los periodos de vibración, se alargan lo cual se evidencia en el mismo espectro de capacidad, también aumenta la energía disipada por ciclo debido a la degradación de la resistencia y rigidez.

La determinación del desplazamiento donde la capacidad y la demanda se igualan, exige un proceso iterativo. Una vez identificado el punto de desempeño para un sismo dado, se podrá decidir en función del nivel de desempeño esperado, la aceptabilidad o necesidad de intervención de la edificación.

3.3.2. Curva de capacidad. Constituye el desplazamiento lateral en función de la fuerza aplicada a la estructura, se usa para evaluar la respuesta de un edificio ante un nivel dado de aceleración espectral o demanda sísmica¹⁰.

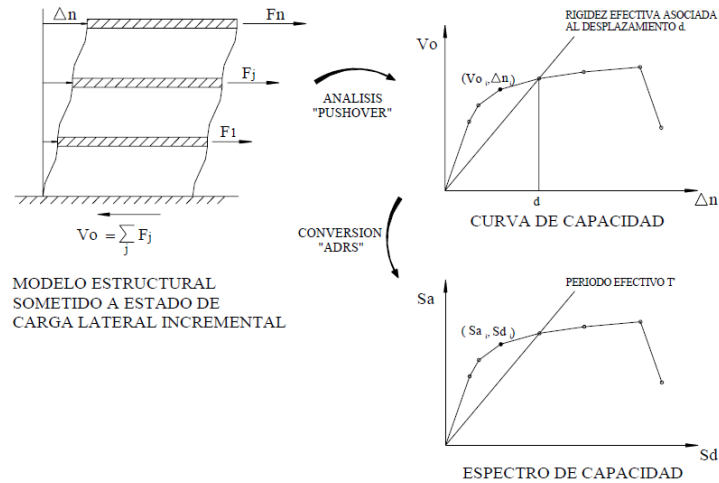
Con el método Pushover se aplica carga lateral incrementada monolíticamente a la estructura y se determina el desplazamiento del nivel superior de la estructura. Esta curva consiste en una serie de segmentos de rectas de pendiente decreciente, asociados a la progresiva degradación de la rigidez, la cedencia en los elementos y en general al daño¹¹.

⁹ DELGADO, Carlos y MANTILLA, Robinson. Estudio de vulnerabilidad sísmica y rehabilitación estructural del edificio de administración y secundaria del colegio fundación UIS en el municipio de Floridablanca

¹⁰ Ibíd. MELONE

¹¹ AREVALO, Juan y BERMUDEZ, William. Niveles de daño a partir de un análisis Pushover para una estructura aporticada de concreto reforzado, Tesis de grado. 2007.

Figura 19. Espectro de Capacidad



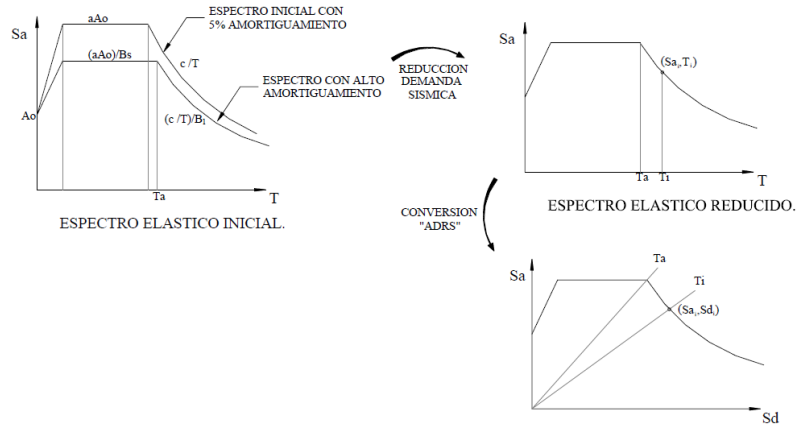
Fuente “Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico.”

La curva de capacidad encontrada en la aplicación de software SAP 2000 debe ser ajustada a un espectro de capacidad, usando propiedades modales asociadas al modo fundamental de vibración transformando la curva de capacidad a un formato ADRS. (“Acceleration displacement response spectra”), representando la aceleración espectral (S_a), respecto al desplazamiento espectral (S_d), llamado espectro de capacidad con el fin de superponerla con la curva de demanda.

3.3.3. Curva de demanda. Simboliza la probabilidad de alcanzar estado de daño específicos para un determinado nivel de respuesta sísmica. Es una representación gráfica de la aceleración máxima de respuesta respecto el desplazamiento máximo, para un periodo y nivel de amortiguamiento dado. Se consigue a través del espectro de respuesta elástico encontrado en la norma NSR-98 Y NRS-10 el cual debe ser transformado a formato ADRS, es decir aceleración espectral (S_a como una fracción de la aceleración de gravedad g) respecto el desplazamiento espectral (S_d)¹².

¹² Ibíd.

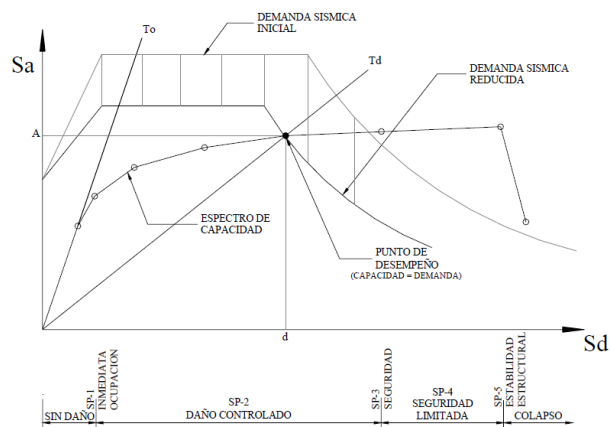
Figura 20. Espectro de Demanda sísmica



Fuente “Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico.”

3.3.4. Punto de comportamiento. Representa el desplazamiento estructural máximo esperado para una amenaza sísmica particular. Se determina superponiendo el espectro de capacidad con el espectro de demanda sísmica y será el punto donde se iguala la demanda con la capacidad de la estructura. Tal punto deberá ser clasificado dentro de los diferentes rangos conocidos de comportamiento (Performance levels).

Figura 21. Espectro Capacidad-Demanda (ATC-40,1996)



Fuente “Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico.”

El desempeño esperado de la edificación es una expresión del comportamiento deseado o del desempeño objetivo que debe ser capaz de alcanzar un edificio sujeto a un determinado nivel de movimiento sísmico. Pueden definirse múltiples niveles de desempeño esperado, los cuales varían según las características de ocupación de la edificación, la importancia de la función de sus instalaciones, y las consideraciones económicas.

3.3.5 Nivel de desempeño. Representa un estado límite de daño y se expresan en términos cualitativos de significación pública o en términos técnicos ingenieriles para las edificaciones existentes analizada bajo un análisis no lineal.

La condición limitante es determinada a partir del daño físico presentado en la edificación, la amenaza a la vida de los ocupantes debido al daño físico de la estructura y el nivel de servicio tanto de los elementos estructurales como de los no estructurales.

3.3.5.1 Propuesta ATC-40: En la clasificación presentada en la propuesta ATC-40 (1996) se tiene en cuenta por separado los elementos estructurales como de los no estructurales y su combinación induce a la definición del nivel de desempeño.

Se describen tres estado de daño: inmediata ocupación, seguridad y estabilidad estructural y dos rangos intermedios: daño controlado y seguridad limitada.

“La tabla 5 muestra las posibles combinaciones donde se identifican los cuatro niveles de desempeño de edificaciones: operacional (1-A), inmediata ocupación (1-B), seguridad (3-C) y estabilidad estructural (5-E), así como otros niveles de desempeño posible (2-A, 2-B, etc.). La designación NR corresponde a niveles de

desempeño no recomendables en el sentido que no deber ser considerados en la evaluación.¹³”

Tabla 5. Niveles de desempeño de la edificación (ATC-40,1996)

	<i>SP-1 Inmediata Ocupación</i>	<i>SP-2 Daño Controlado (rango)</i>	<i>SP-3 Seguridad</i>	<i>SP-4 Seguridad limitada (rango)</i>	<i>SP-5 Estabilidad Estructural</i>	<i>SP-6 No considerado</i>
<i>NP-A Operacional</i>	1-A Operacional	2-A	NR	NR	NR	NR
<i>NP-B Inmediata Ocupación</i>	1-B Inmediata Ocupación	2-B	3-B	NR	NR	NR
<i>NP-C Seguridad</i>	1-C	2-C	3-C Seguridad	4-C	5-C	6-C
<i>NP-D Amenaza</i>	NR	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
<i>NP-E No Considerado</i>	NR	NR	3-E	4-E	5-E Estabilidad Estructural	No Aplicable

Fuente “Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico.”

3.3.5.2. Propuesta VISION 2000: La propuesta del comité VISION 2000 (SEAOC, 1995) señala cuatro niveles de comportamiento de desempeño: Totalmente operacional, Operacional, Seguridad y pre-colapso. “En esta referencia se incluye una descripción de los niveles permisibles o tolerables de daño asociados a los cuatros niveles de desempeño indicados, para los diferentes sistemas y subsistemas del edificio, los componentes del sistema resistente a cargas verticales y laterales, así como los componentes secundarios y no estructurales. La tabla resume alguna de las principales características asociadas a estos niveles de desempeño y su relación con los estados de daño.¹⁴”

¹³ Óp. Cit. MELONE

¹⁴ Ibíd.

Tabla 6. Estados de daño y niveles de desempeño (SEAOC, 1995)

<i>Estado de daño</i>	<i>Nivel de Desempeño</i>	<i>Características principales</i>
Despreciable	Totalmente Operacional	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo. Las instalaciones continúan prestando sus servicios y funciones después del sismo.
Ligero	Operacional	Daños ligeros. Las instalaciones esenciales continúan en servicio y las no esenciales pueden sufrir interrupciones de inmediata recuperación.
Moderado	Seguridad	Daños moderados. La estructura sufre daños pero permanece estable. Seguridad de ocupantes. Algunos elementos no estructurales pueden dañarse
Severo	Pre-Colapso	Daño estructural severo, en la proximidad del colapso estructural. Falla de elementos no estructurales. Seguridad de ocupantes comprometida.
Completo	Colapso	Colapso estructural

Fuente "Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico."

3.3.5.3 Criterios de aceptación: Para la deformación correspondiente a los niveles de desempeño de la estructura se establecen siguiendo los parámetros del FEMA 356 (2000). Se definen los puntos A, B, C, D, E en el diagrama momento-curvatura que establecen los diferentes niveles de desempeño IO (ocupación inmediata), LS (Seguridad a la vida), y CP (Prevención de colapso) para los elementos estructurales.

Figura 22. Diagrama momento-curvatura y criterios de aceptación (FEMA 356 2000)

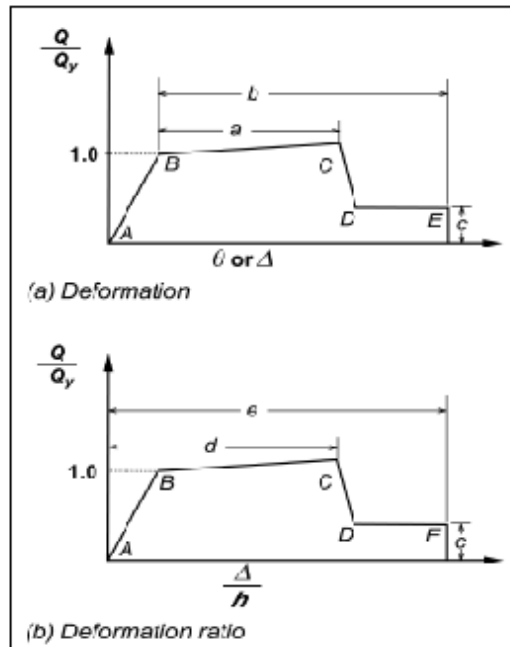


Figure 6.1 Generalized Force-Deformation Relations for Concrete Elements or Components

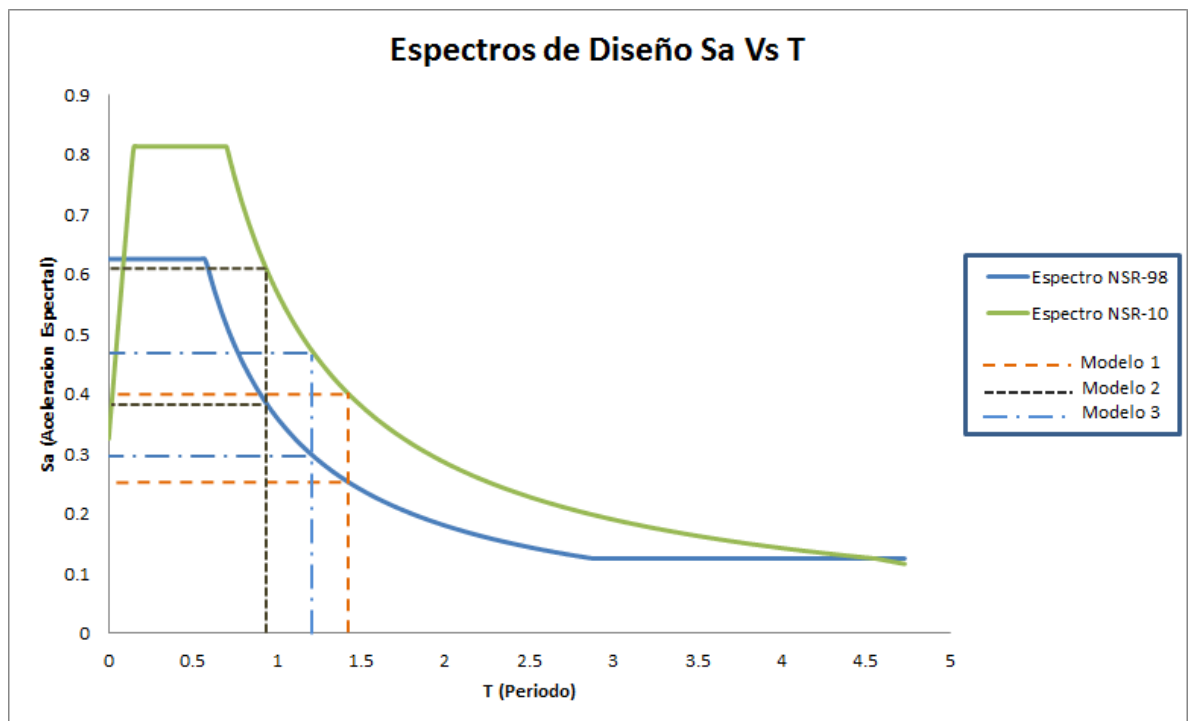
Fuente. FEMA 356, ASCE (American Society of Civil Engineers) Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings D.C, Federal Emergency Management Agency. USA 2000

4. ANALISIS DE RESULTADOS

Uno de los objetivos principales del presente proyecto es valorar el nivel de daño de las estructuras de acuerdo a los parámetros del espectro de respuesta elástico de aceleración que establece la norma NSR-10 y compararlos con los de la NSR-98. Para su respectivo análisis se tiene en cuenta las especificaciones del ATC-40 y el FEMA 356.

En el grafico se muestran los espectros de respuestas anteriormente mencionados, señalando el periodo de vibración de cada estructura, con el fin de visualizar la variación que se produce con el cambio de espectro.

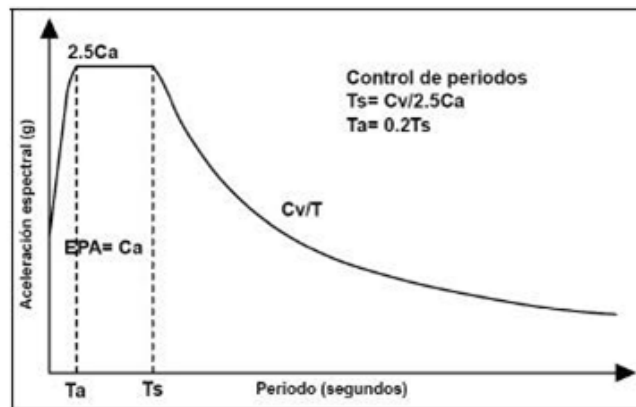
Figura 23. Periodos de vibración de la estructura.



Fuente: Autores del proyecto

Para estimar la respuesta máxima de la edificaciones analizadas y calificar de esta manera su desempeño sísmico se encuentra para cada estructura según la norma, el punto de desempeño superponiendo el espectro de capacidad con el espectro de demanda en el software SAP 2000, indicando como lo expresan las figuras del anexo A la sucesión de rotulas en la estructura dado un punto de control en la cubierta de cada edificación.

Figura 24. Espectro de aceleraciones del documento ATC-40¹



Fuente. MALDONADO RONDON, Esperanza; GOMEZ ARAUJO, Iván Darío y CHIO CHO, Gustavo. Simulación de funciones de vulnerabilidad y matrices de probabilidad de daño sísmico para edificaciones de hormigón armado en sistema pórtico.

El espectro de capacidad representativo de las edificaciones fue hallado a partir del espectro de respuesta elástico de aceleración, definido por las diferentes normas luego de ajustar el espectro al que tiene el programa a través de los coeficientes sísmicos C_a y C_v del documento ATC-40, donde C_a representa la aceleración horizontal máxima del terreno y los niveles de amenaza de la región. Una vez aplicada la carga lateral monolítica a la edificación, se puede observar como la estructura va presentando rotulas de manera progresiva según los dos esquemas de carga aplicados, el estado de carga gravitacional tomando en consideración las cargas muertas y permanentes en la estructura y una parte de la carga viva aplicada y consecutivamente una representación de las deformaciones producidas por la masa con la coordenada modal asociada a la vibración de la estructura.

En las vigas las rotulas serán de tipo M3 dado que son elementos a flexión principalmente y para las columnas y muros caracterizados como elementos tipo Frame para este proyecto serán del tipo PMM dado que son elementos sometidos a flexo-compresión.

Para cada incremento de carga se puede observar el cambio progresivo en los puntos de plastificación determinados por colores que nos muestran la evolución en la deformación de la estructura según su desempeño. (Ver anexo B).

Las tablas presentadas en el anexo C expresan los resultados de la curva de capacidad en dirección X o Y de la edificación, enseñan el desplazamiento lateral asociado al cortante basal dado en el nodo de control ubicado en la cubierta, de donde se determina el punto de desempeño para cada estructura y cuyos datos se presentan en el anexo D.

CONCLUSIONES

MODELO 1

Los resultados obtenidos para el modelo Pushover en dirección X visto en las tablas muestran el punto de comportamiento con un 100% de los elementos en el rango elástico (A-B), la estructura es estable según los parámetros de la norma NSR-98 y se mantiene en el mismo rango para la NSR-10.

Para el punto de comportamiento obtenido según Pushover en Y empleando el espectro de respuesta de la norma NSR-98 se logra apreciar que el 89.47% de los elementos se encuentra en el rango (A-B), su reacción ante un sismo aun no ingresa al rango no lineal, el 2.19% se encuentra en el rango (B-IO) aún es seguro ocupar la estructura, el 6.36% de los elementos se encuentra en el rango (IO-LS) seguridad para la vida de los ocupantes, el 0.44% en el rango (LS-CP) donde será necesario prevenir el colapso con una rehabilitación de la estructura, y finalmente 1.54% de los elementos colapsan en su totalidad.

Analizando el punto de comportamiento de Pushover en Y según el espectro de respuesta de la norma NSR-10 se obtiene el 85.96% de los elementos en el rango elástico (A-B), el 3.07% en el rango de seguridad de ocupación de la estructura (B-IO), 7.68% seguridad para la vida de los ocupantes (IO-LS), el 0.44% en el rango de prevención de colapso (LS-CP) y el 1.54% de los elementos alcanza el colapso total.

El modelo 1 diseñado con muros estructurales, muestra que uno de los factores influyentes en la respuesta de la edificación es la ubicación y distribución de los muros, dependiendo de la orientación en que actúe el sismo se puede tener una

dirección que resistirá mejor la carga sísmica que otra, la curva de capacidad será lineal y la estructura fallara de manera súbita.

MODELO 2

Según el espectro de capacidad vs el espectro de demanda en X observamos que para el caso de la norma NSR-98 se encuentra el punto de control aproximadamente en el paso 4, la estructura en total cuenta con 1260 puntos de plastificación para los cuales se analiza su desempeño, encontrándose 89.04% en el rango elástico (A-B), 8.17% supera el punto de cedencia con inmediata ocupación (B-IO), y 2.77% se halla en el rango de seguridad de la vida de los ocupantes (IO-LS).

Para el caso del espectro de capacidad vs el espectro de demanda en X según la aplicación de la norma NSR-10 esta vez se encuentra el punto de control aproximadamente en el paso 6, se analiza nuevamente su desempeño, encontrando 86.58% en el rango elástico (A-B), 9.12% en el rango seguro de ocupación inmediata (B-IO), 3.33 % se halla en el rango de seguridad de la vida de los ocupantes (IO-LS) y para este caso se encuentra 0.95% en (LS-CP) supera el límite de estabilidad estructural y necesitara prevención del colapso.

En el análisis del método Pushover en Y observamos que según la norma NSR-98 se encuentran el punto de control aproximadamente en el paso 13, donde existen para la estructura 1260 puntos de plastificación para los cuales se analiza su desempeño, encontrándose 88.73% en el rango elástico (A-B), 11.03 % presentan una cedencia con ocupación inmediata (B-IO), y 0.24% se halla en el rango de seguridad de la vida (IO-LS).

Según la aplicación de la norma NSR-10 en dirección Y esta vez se encuentra el punto de control aproximadamente en el paso 18, en el análisis de su desempeño

se observó 84.92% en el rango elástico (A-B), 11.03% presenta cedencia de los elementos con inmediata ocupación (B-IO), y 4.04 % se halla en el rango de seguridad de la vida (IO-LS).

Según los datos arrojados para el modelo de la edificación No. 2 se puede determinar que con el cambio en la norma sismo resistente el punto de comportamiento va a ser mayor lo cual indica que va a ser más exigente en cuanto al desempeño de los elementos estructurales pues habrá más elementos inestables ante la aplicación de un sismo.

MODELO 3

En el punto de comportamiento de la estructura analizado para Pushover en X según el espectro de la norma NSR-98 se logró observar que el 90.35% de sus elementos se encuentran en el rango (A-B) garantizando la estabilidad de la estructura, el 9.30% se encuentran en el rango (B-IO) y el 0.35% se encuentra en el rango (IO-LS) de seguridad de la vida de los ocupantes.

El punto de comportamiento de la estructura para Pushover en X utilizando el espectro NSR-10 es similar al de la norma NSR-98 es decir, se presenta en el mismo paso de plastificación por consiguiente los porcentajes para los elementos se mantienen 90.35% rango (A-B), 9.30% rango (B-IO) y el 0.35% en el rango (IO-LS).

Para el punto de comportamiento de Pushover en Y obtenido tras el análisis del espectro NSR-98 obtenemos un porcentaje del 89.7% de los elementos en el rango (A-B), se mantienen estables según lo definido por el fema 356, un 9.01% refleja que la estructura puede ser ocupada inmediatamente ocurre el sismo, y 1.23% indica se debe garantizar la seguridad de la vida de los ocupantes.

Para el punto de comportamiento de Pushover en Y según el espectro NSR-10 se puede observar que el nivel de exigencia aumenta, se reduce el porcentaje de elementos que están en el rango (A-B) a 88.7%, se aumenta el porcentaje de aquellos que pertenecen a la zona (B-IO) a 9.9%, y de la misma manera aumentan aquellos que indican que se debe preservar la vida de las personas (IO-LS) a 1.36%.

CONCLUSIONES GENERALES

Las modificaciones hechas al espectro de la norma colombiana ratifica que se debe realizar un mejor diseño de las estructuras, como también analizar las existentes para verificar si necesitan ser reforzadas pues si se presentara un sismo, las construcciones que se realizaron bajo los parámetros de la NSR-98 no tendrán una respuesta eficaz como aquellas que se construyen con los criterios de la norma NSR-10.

El modelo 3 correspondiente a un sistema dual, presenta una resistencia sísmica buena lo cual nos permite pensar que comparándolo con el modelo 1 correspondiente a muros estructurales, el sistema dual logra una mejor resistencia en las dos direcciones del sismo, mientras que el sistema de muros depende de la configuración de los mismos para soportar dichas cargas, lo que lo hace fuerte en una dirección pero débil en la otra.

El modelo No. 2 fue diseñado a partir de la norma en vigencia NSR-10, y en comparación con el modelo No. 3 también sistema dual pero diseñado con la norma NSR-98, presenta un punto de comportamiento mayor, concluimos que la norma NSR-10 tiene ciertas ventajas en su uso, es decir las estructuras realizadas a partir de esta norma soportarán cargas sísmicas más elevadas.

RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con este tipo de investigación para seguir estudiando la influencia de la normativa colombiana en las edificaciones existentes y así contar con las medidas necesarias que contrarresten las debilidades de las estructuras, y de esta manera asegurar la vida de las personas ante un evento sísmico que se llegase a presentar.

Se invita a emplear el análisis Pushover para la rehabilitación de estructuras debido a que es un método que permite identificar la forma de rotulación de los elementos, de esta manera aprovechando sus resultados podemos identificar los elementos a reforzar.

Es necesario realizar un estudio en el que intervengan más edificaciones de muros estructurales para poder realizar una comparación más profunda evaluando la respuesta sísmica de las diferentes edificaciones y el comportamiento según la distribución estructural.

BIBLIOGRAFIA

ARÉVALO, J.C. y BERMÚDEZ W.F. (2007), Niveles De Daño A Partir De Un Análisis Pushover Para Una Estructura Aporticada De Concreto Reforzado, Tesis de Pregrado, UIS, Bucaramanga.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá. AIS 2010

ATC 40- Applied Technology Council. Seismic evaluation and retrofit of Concrete Buildings, ATC 40. Redwood City, CA, USA: Applied Technology council, 1996. V.1.

AYCARDI, Luis E. (2010), Comparación de resultados y costos entre la NSR-10 y la NSR-98, Pca Colombia, Reunión del concreto 2010.

Computer And Structures INC. SAP 2000 Integrated software for Structural Análisis and Design Version 14.0 Analisis Reference Manual. Berkeley, USA: CSI

Federal Emergency Management Agency. Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. FEMA 356/November 2000.

FEMA 356, ASCE (American Society of Civil Engineers) Prestandar and commentary for the seismic rehabilitation of buildings D.C, Federal Emergency Management Agency. USA 2000

FORERO, Juan P. y GÓMEZ Jorge A. (2006), Comportamiento Estructural De Alternativas De Mejoramiento Sísmico. Caso de estudio: Edificios Aporticados De

8 ó Más Pisos En La Zona 2 De La Ciudad De Bucaramanga, Tesis De Pregrado, UIS, Bucaramanga.

HERNÁNDEZ, V. Aneuris. (2012), Manual de Análisis No Lineal Estático Pushover Usando SAP 2000V14, High Level Enginnering.

LINARES, O. y SÁNCHEZ O.E. (2005), Análisis Paramétrico Del Comportamiento Sísmico No Lineal De Una Estructura De Hormigón Reforzado, Tesis de Pregrado, UIS, Bucaramanga.

LOZANO, Jesús E. y ALSINA Jorge M. (2006), Evaluación De La Vulnerabilidad Sísmica En Edificaciones Aporticadas De Hormigón Reforzado Entre 3 Y 8 Pisos En La Zona 2 De La Ciudad De Bucaramanga, Tesis de Pregrado, UIS, Bucaramanga.

MALDONADO R, Esperanza. Y CHIO CHO Gustavo. Análisis sísmico de edificaciones. 1ed. Bucaramanga. Ediciones UIS, 2004.

MANTILLA, G.I. y PÁEZ J.E. (2008), Comportamiento Sísmico No Lineal De Los Edificios Con Sistema Estructural De Muros, Tesis de Pregrado, UIS, Bucaramanga.

PICÓN V. Carlos A. y VARGAS M. Diego F. Evaluación De La Vulnerabilidad Sísmica De La Sede Principal Del Colegio De Santander En Bucaramanga. Tesis de Pregrado, UIS, Bucaramanga.

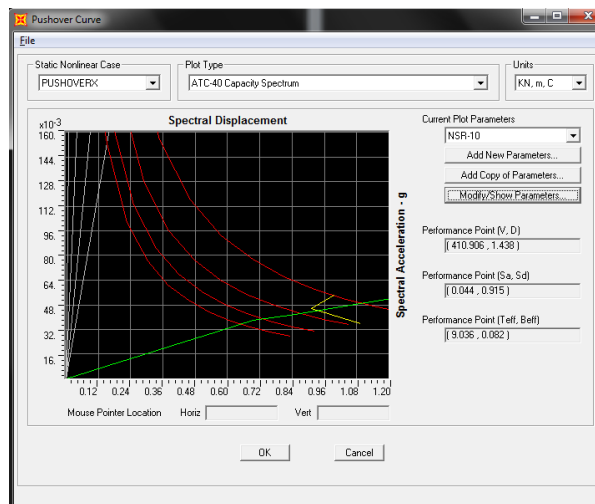
SOFTWARE

SAP-2000 Nonlinear Versión 14 Integrated Structural Análisis and Design software, Computer and Structures inc, Berkeley, California.

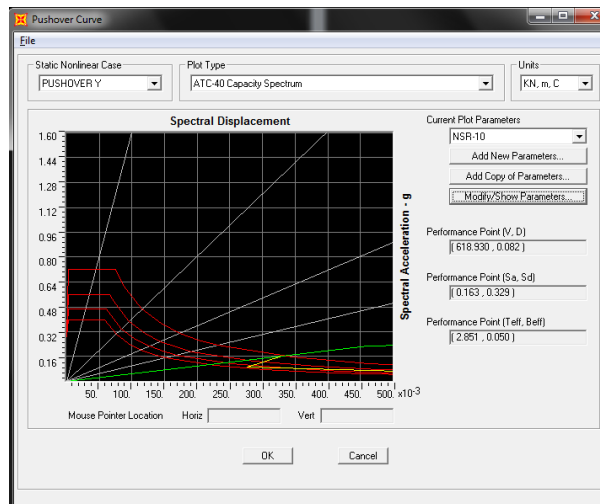
ANEXOS

ANEXO A. Espectro de capacidad vs Demanda

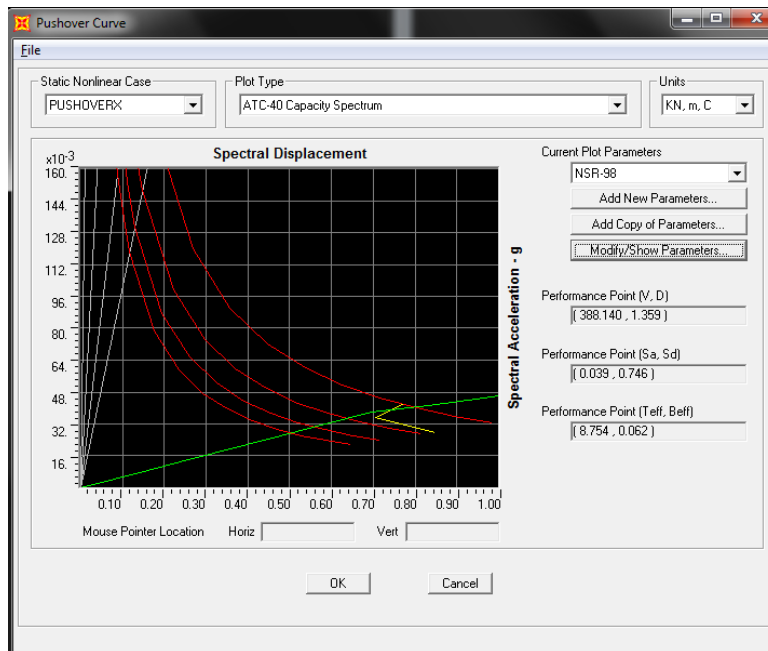
Punto de comportamiento. El punto de comportamiento o punto de desempeño es determinado directamente por el software SAP 2000, mediante la intersección del espectro de capacidad y de demanda. A continuación se presenta la información referente a este punto para cada uno de los modelos analizados.



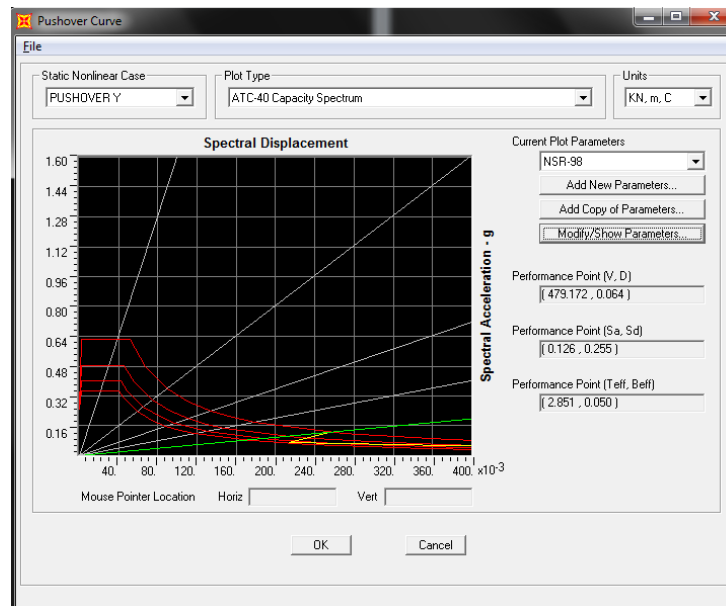
Desplazamiento de Demanda en el punto de comportamiento para el modelo 1 (sismo direccion X) NSR-10



Desplazamiento de Demanda en el punto de comportamiento para el modelo 1 (Sismo direccion Y) NSR-10



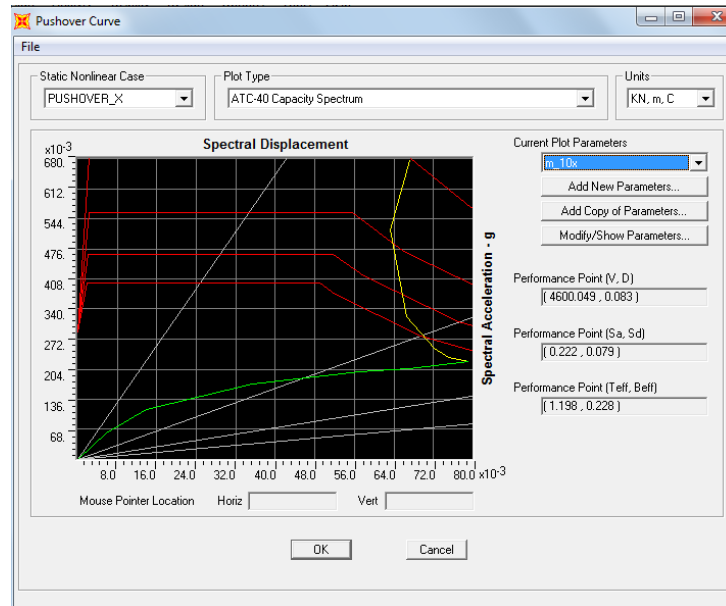
Desplazamiento de Demanda en el punto de comportamiento para el modelo 1 (sismo direccion X) NSR-98



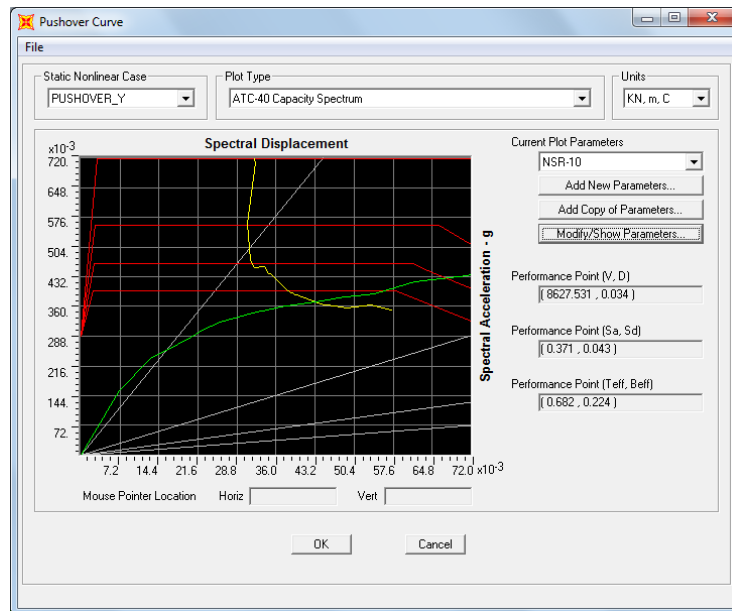
Desplazamiento de Demanda en el punto de comportamiento para el modelo 1 (Sismo direccion Y) NSR-98

Los resultados obtenidos para el análisis del pushover en X con el espectro de NSR-98 demuestran que en el punto de comportamiento no se presenta ningún tipo de rotula, por consiguiente la estructura se mantiene en el rango de A-B que indica que los elementos aún se mantienen en su rango lineal.

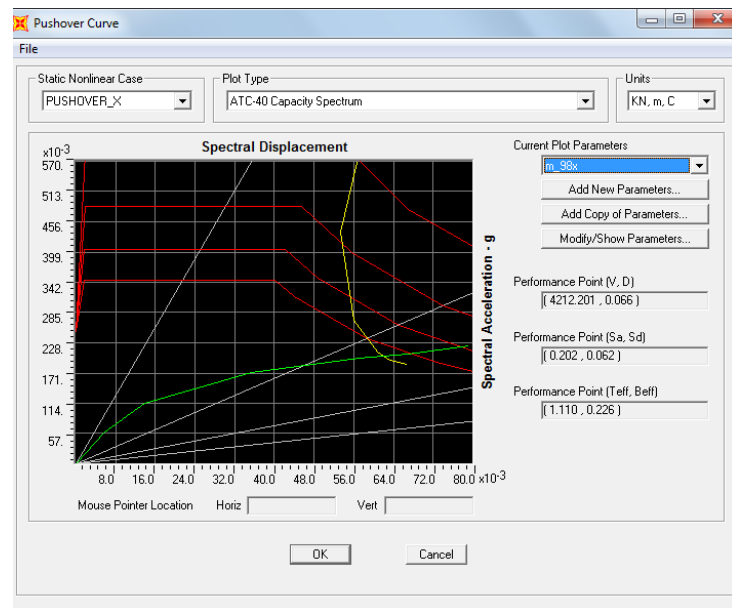
Analizando los resultados obtenidos para el punto de comportamiento de la estructura con el espectro de respuesta de la NSR-10 se destaca que aunque es mayor al conseguido por la NSR-98 en este tampoco se presenta ningún tipo de rotula clasificando sus elementos en el rango A-B.



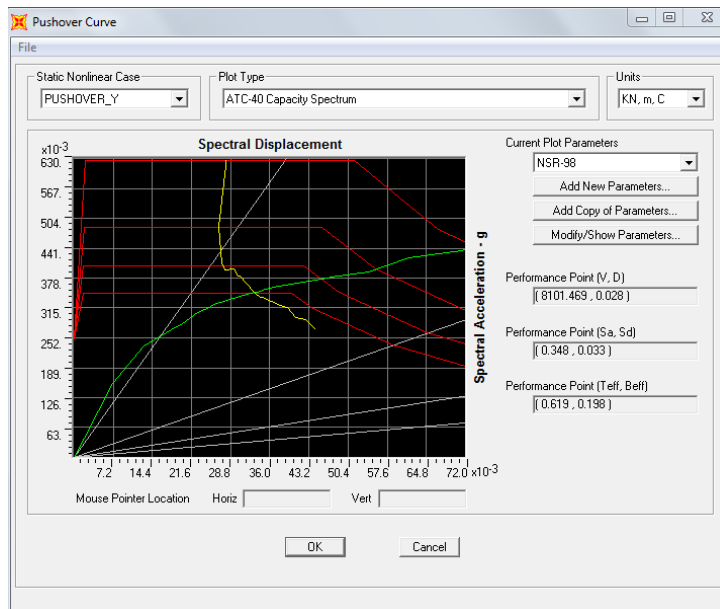
Desplazamiento de Demanda en el punto de comportamiento para el modelo 2 (Sismo direccion X) NSR-10



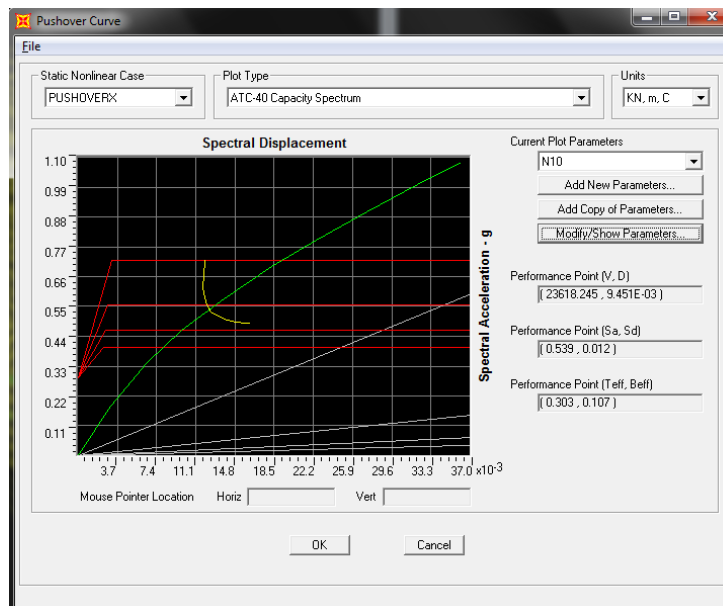
Desplazamiento de Demanda en el punto de comportamiento para el modelo 2 (Sismo direccion Y) NSR-10



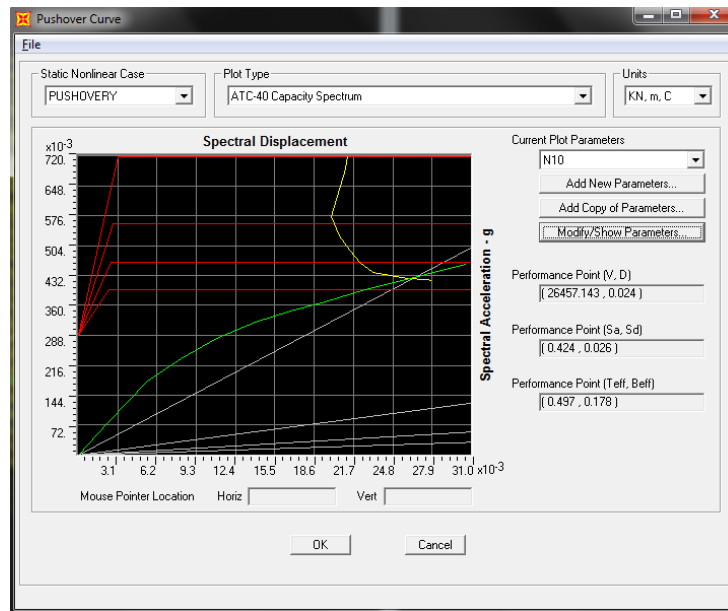
Desplazamiento de Demanda en el punto de comportamiento para el modelo 2 (Sismo direccion X) NSR-98



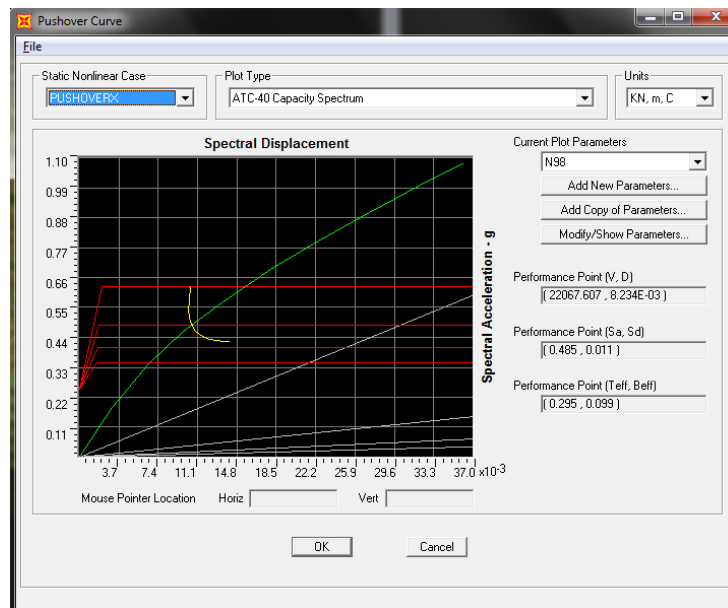
Desplazamiento de Demanda en el punto de comportamiento para el modelo 2 (Sismo direccion Y) NSR-98



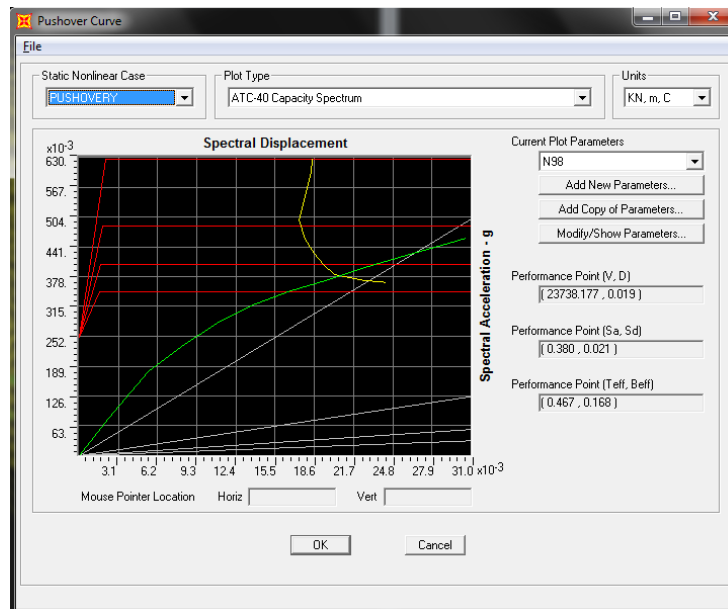
Desplazamiento de Demanda en el punto de comportamiento para el modelo 3 (sismo direccion X) NSR-10



Desplazamiento de Demanda en el punto de comportamiento para el modelo 3 (Sismo direccion Y) NSR-10



Desplazamiento de Demanda en el punto de comportamiento para el modelo 3 (sismo direccion X) NSR-98

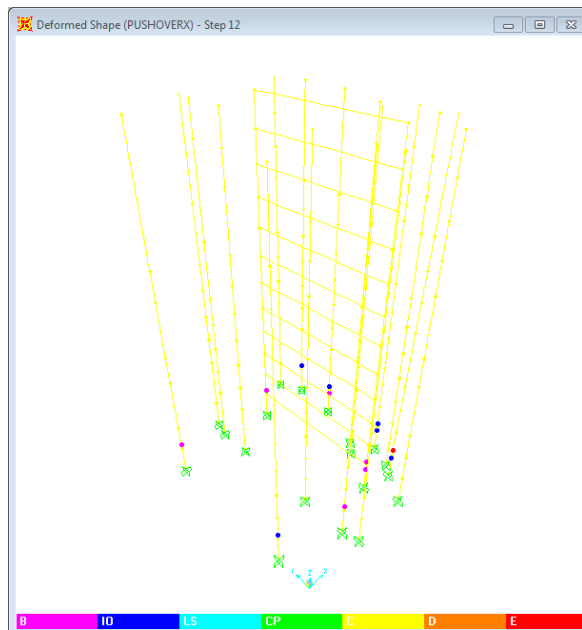


Desplazamiento de Demanda en el punto de comportamiento para el modelo 3 (Sismo direccion Y) NSR-98

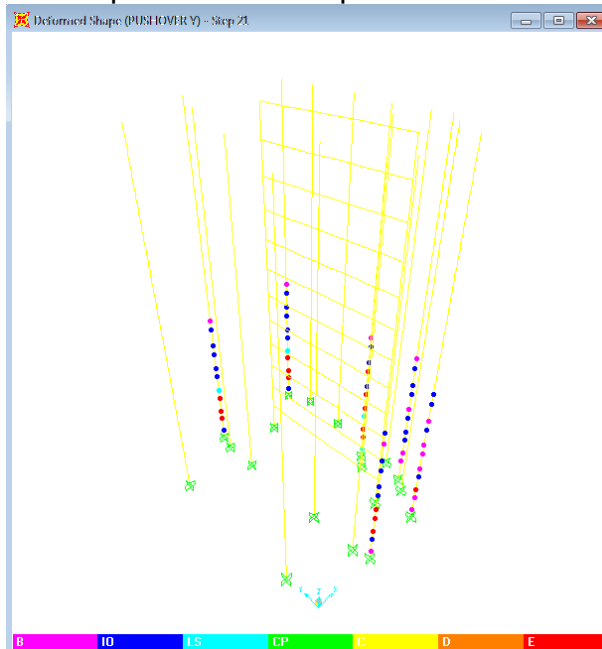
Para el análisis de Pushover en X se pudo observar que la estructura mantuvo un comportamiento similar al analizarse para cada uno de los espectros de la NSR-98 y la NSR-10, debido a que el punto de comportamiento se distanciaba en muy poco, se obtuvieron porcentajes semejantes.

ANEXO B Rotulación de los elementos

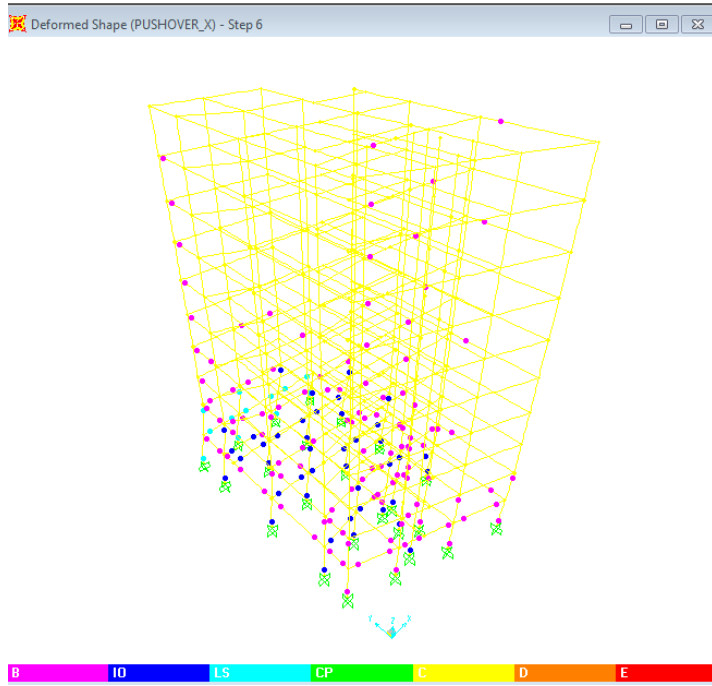
Rotulación. Se presenta de manera gráfica el estado de rotulación correspondiente a cada edificación.



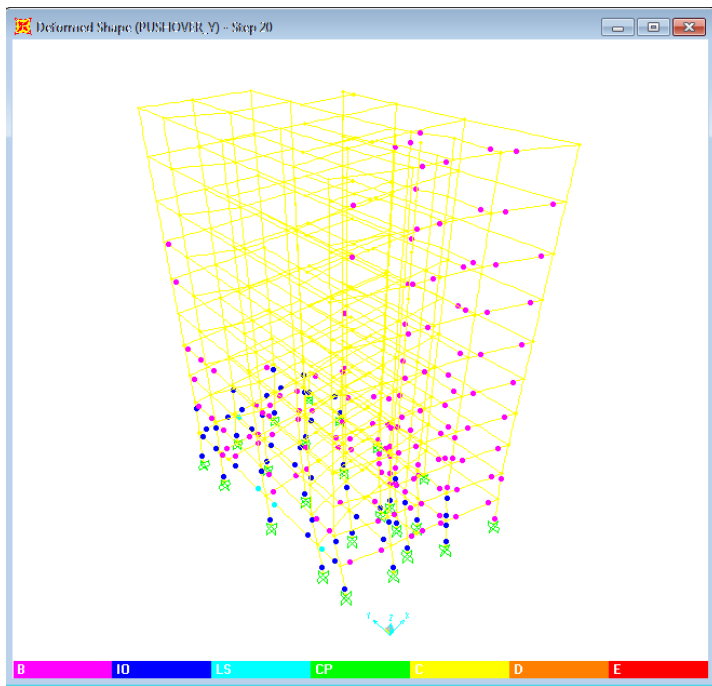
Estado de Rotulacion en el punto de desempeño en direccion X Modelo 1



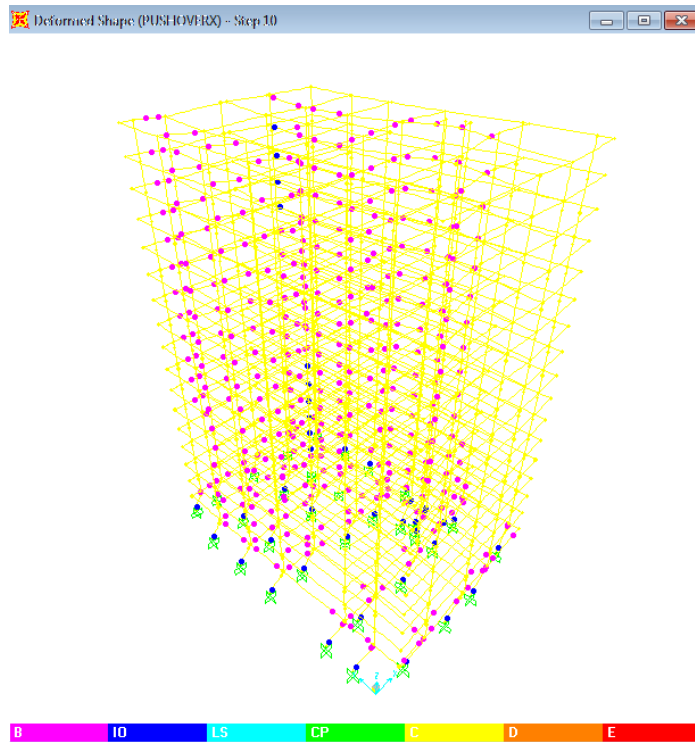
Estado de Rotulacion en el punto de desempeño en direccion Y Modelo 1



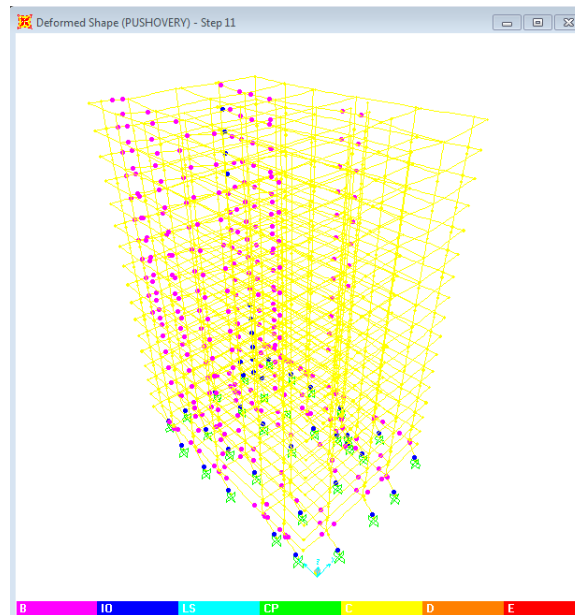
Estado de Rotulacion en el punto de desempeño en direccion X Modelo 2



Estado de Rotulacion en el punto de desempeño en direccion Y Modelo 2



Estado de Rotulacion en el punto de desempeño en direccion X Modelo 3



Estado de Rotulación en el punto de desempeño en dirección Y Modelo 3

ANEXO C. Tablas de resultados para el nivel de amenaza sísmica

TABLE: Pushover Curve - PUSHOVERX											
Step	Displacement	BaseForce	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
	m	KN									
0	-1.67E-06	0	456	0	0	0	0	0	0	0	456
1	0.149998	42.856	456	0	0	0	0	0	0	0	456
2	0.299998	85.712	456	0	0	0	0	0	0	0	456
3	0.449998	128.568	456	0	0	0	0	0	0	0	456
4	0.599998	171.424	456	0	0	0	0	0	0	0	456
5	0.749998	214.279	456	0	0	0	0	0	0	0	456
6	0.899998	257.135	456	0	0	0	0	0	0	0	456
7	1.049998	299.991	456	0	0	0	0	0	0	0	456
8	1.199998	342.847	456	0	0	0	0	0	0	0	456
9	1.311676	374.754	455	1	0	0	0	0	0	0	456
10	1.438238	410.906	450	2	3	0	0	0	1	0	456
11	1.438253	410.914	450	2	3	0	0	0	0	1	456
12	1.499998	428.546	443	6	6	0	0	0	0	1	456

Tabla De Resultados Modelo 1 Pushover X

TABLE: Pushover Curve - PUSHOVER Y											
Step	Displacement	BaseForce	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
	m	KN									
0	5.66E-06	0	456	0	0	0	0	0	0	0	456
1	0.055006	413.018	456	0	0	0	0	0	0	0	456
2	0.110006	826.036	456	0	0	0	0	0	0	0	456
3	0.115596	868.016	455	1	0	0	0	0	0	0	456
4	0.126802	952.143	447	5	3	0	0	0	1	0	456
5	0.126808	952.198	447	5	3	0	0	0	0	1	456
6	0.139303	1044.556	441	7	4	2	0	0	1	1	456
7	0.139309	1045.428	441	7	4	2	0	0	0	2	456
8	0.152629	1145.396	433	5	11	2	0	0	3	2	456
9	0.152635	1145.437	433	5	11	2	0	0	0	5	456
10	0.183395	1376.446	420	9	19	2	0	0	1	5	456
11	0.1834	1376.384	420	9	19	2	0	0	0	6	456
12	0.230316	1728.492	408	10	29	2	0	0	1	6	456
13	0.230322	1728.533	408	10	29	2	0	0	0	7	456
14	0.281254	2111.47	395	18	33	2	0	0	1	7	456
15	0.28126	2109.224	395	17	33	3	0	0	0	8	456
16	0.305331	2289.933	392	16	33	4	0	0	3	8	456
17	0.305337	2289.975	392	16	33	4	0	0	0	11	456
18	0.324146	2430.826	391	17	33	2	0	0	2	11	456
19	0.324151	2424.57	392	14	35	2	0	0	0	13	456
20	0.359167	2687.738	391	15	31	4	0	0	2	13	456
21	5.66E-06	0	391	15	31	4	0	0	0	15	456

Tabla De Resultados Modelo 1 Pushover Y

over Curve - PUSHOVER_X											
Step	Displacement	BaseForce	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
	m	KN									
0	0.000048	0	1259	1	0	0	0	0	0	0	1260
1	0.006019	1065.775	1258	2	0	0	0	0	0	0	1260
2	0.014721	2183.845	1230	30	0	0	0	0	0	0	1260
3	0.038338	3510.77	1165	94	1	0	0	0	0	0	1260
4	0.061179	4125.237	1122	103	35	0	0	0	0	0	1260
5	0.071534	4299.055	1111	109	40	0	0	0	0	0	1260
6	0.083291	4600.464	1091	115	42	12	0	0	0	0	1260

Tabla De Resultados Modelo 2 Pushover X

over Curve - PUSHOVER_Y											
Step	Displacement	BaseForce	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
	m	KN									
0	-0.000048	0	1259	1	0	0	0	0	0	0	1260
1	0.0013	885	1257	3	0	0	0	0	0	0	1260
2	0.005244	3419.643	1251	9	0	0	0	0	0	0	1260
3	0.010351	5365.509	1233	27	0	0	0	0	0	0	1260
4	0.015607	6328.597	1205	55	0	0	0	0	0	0	1260
5	0.017485	6617.753	1196	64	0	0	0	0	0	0	1260
6	0.019475	7155.986	1180	80	0	0	0	0	0	0	1260
7	0.021461	7418.874	1170	90	0	0	0	0	0	0	1260
8	0.021814	7504.815	1167	93	0	0	0	0	0	0	1260
9	0.027076	8060.393	1127	132	1	0	0	0	0	0	1260
10	0.028593	8177.719	1122	136	2	0	0	0	0	0	1260
11	0.028898	8237.244	1121	136	3	0	0	0	0	0	1260
12	0.029704	8299.794	1119	138	3	0	0	0	0	0	1260
13	0.029911	8339.803	1118	139	3	0	0	0	0	0	1260
14	0.035234	8701.505	1094	144	22	0	0	0	0	0	1260
15	0.036646	8786.745	1091	146	23	0	0	0	0	0	1260
16	0.036931	8835.883	1090	147	23	0	0	0	0	0	1260
17	0.041169	9065.202	1077	144	39	0	0	0	0	0	1260
18	0.044118	9578.175	1070	139	51	0	0	0	0	0	1260
19	0.049507	9859.982	1058	141	58	3	0	0	0	0	1260
20	0.049952	9883.59	1057	142	57	4	0	0	0	0	1260

Tabla De Resultados Modelo 2 Pushover Y

TABLE: Pushover Curve - PUSHOVERX											
Step	Displacement	BaseForce	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
	m	KN									
0	-0.000013	0	2948	204	10	0	0	0	0	0	3162
1	0.000079	345.935	2947	205	10	0	0	0	0	0	3162
2	0.0026	9672.967	2938	214	10	0	0	0	0	0	3162
3	0.005171	16115.969	2917	235	10	0	0	0	0	0	3162
4	0.007724	21418.586	2891	261	10	0	0	0	0	0	3162
5	0.010363	24780.656	2857	294	11	0	0	0	0	0	3162
6	0.01309	27447.636	2830	316	16	0	0	0	0	0	3162
7	0.01561	29647.309	2803	336	23	0	0	0	0	0	3162
8	0.018386	32065.475	2785	349	28	0	0	0	0	0	3162
9	0.021177	34408.953	2759	366	37	0	0	0	0	0	3162
10	0.023537	36299.575	2714	405	43	0	0	0	0	0	3162

Tabla De Resultados Modelo 3 Pushover X

TABLE: Pushover Curve - PUSHOVERY											
Step	Displacement	BaseForce	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
	m	KN									
0	0.000027	0	2948	204	10	0	0	0	0	0	3162
1	0.002052	4626.121	2947	205	10	0	0	0	0	0	3162
2	0.004806	10546.282	2936	215	11	0	0	0	0	0	3162
3	0.007332	14329.765	2917	234	11	0	0	0	0	0	3162
4	0.010038	17591.268	2895	256	11	0	0	0	0	0	3162
5	0.012753	20024.89	2874	276	12	0	0	0	0	0	3162
6	0.015354	21740.074	2858	284	20	0	0	0	0	0	3162
7	0.017865	23093.652	2848	283	31	0	0	0	0	0	3162
8	0.020736	24843.324	2838	285	39	0	0	0	0	0	3162
9	0.023746	26413.142	2825	295	42	0	0	0	0	0	3162
10	0.026778	28065.047	2807	312	43	0	0	0	0	0	3162
11	0.028043	28661.63	2803	316	43	0	0	0	0	0	3162

Tabla De Resultados Modelo 3 Pushover Y

ANEXO D Puntos de desempeño.

Edificación	Dirección del Sismo	Desplazamiento [m]	Cortante Basal KN	A-B	B-O	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	B-E	Total
Modelo 1 NSR-98	X	0.75	214.279	456	0	0	0	0	0	0	0	456
	Y	0.23032	1728.53	408	10	29	2	0	0	0	7	456
Modelo 1 NSR-10	X	0.9	257.135	456	0	0	0	0	0	0	0	456
	Y	0.32415	2424.57	392	14	35	2	0	0	0	13	456
Modelo 2 NSR-98	X	0.061179	4125.237	1122	103	35	0	0	0	0	0	1260
	Y	0.029911	8339.803	1118	139	3	0	0	0	0	0	1260
Modelo 2 NSR-10	X	0.083291	4600.464	1091	115	42	12	0	0	0	0	1260
	Y	0.044118	9578.175	1070	139	51	0	0	0	0	0	1260
Modelo 3 NSR-98	X	0.01036	24780.7	2857	294	11	0	0	0	0	0	3162
	Y	0.02074	24843.3	2838	285	39	0	0	0	0	0	3162
Modelo 3 NSR-10	X	0.01036	24780.7	2857	294	11	0	0	0	0	0	3162
	Y	0.02678	28065	2807	312	43	0	0	0	0	0	3162

Puntos de desempeño para las estructuras analizadas