

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

SEDE JAÉN



**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DEL EDIFICIO
HOSPITAL PRIVADO JAÉN DE LA CIUDAD DE JAÉN
CAJAMARCA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR:

BACH. EDIN NAVARRO CIEZA

ASESOR:

ING. MANUEL URTEAGA TORO

JAÉN - CAJAMARCA - PERÚ

2014

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA CIVIL – SEDE JAEN**



**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DEL EDIFICIO
HOSPITAL PRIVADO JAÉN DE LA CIUDAD DE JAÉN -
CAJAMARCA**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

Presentado por:

Bachiller EDIN NAVARRO CIEZA

Asesor: Ing. MANUEL URTEAGA TORO

Jaén – Cajamarca - Perú

2014

COPYRIGHT © 2014 by

EDIN NAVARRO CIEZA

Todos los derechos reservados

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso por ofrecerme salud e inteligencia y permitirme ver cada día el hermoso mundo que nos rodea.

A mis queridos padres Adriano y Antonia, que tienen la receta mágica para ser los consejeros, guías y maestros modelo.

A mis queridos hermanos Orlando, Milagros y Nora, por su confianza, apoyo y comprensión en el desarrollo de mi carrera y mi vida.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por la vida, la salud, el conocimiento y por atender nuestras peticiones de guiarnos por el sendero del bien.

Mi agradecimiento a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil y a la plana docente que labora en ella, que con sus enseñanzas y orientaciones hicieron posible mi formación académico - profesional.

A mi asesor Ing. Manuel Toro Urteaga por su valiosa orientación, su conocimiento y colaboración en el presente trabajo de tesis.

A mi hermosa familia, ya que dieron parte de su vida para dar vida a mis ilusiones de niño que ahora se hacen realidad

A todos mi amigos y compañeros que me apoyaron durante mis estudios universitarios.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
CONTENIDO.....	v
INDICE DE TABLAS.....	viii
INDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1. ANTECEDENTES.....	4
2.1.1. Internacional	4
2.1.2. Nacional.....	5
2.1.3. Local	5
2.2 BASES TEÓRICAS.....	6
2.2.1. Desempeño sísmico.....	6
Diseño por desempeño	7
Niveles de desempeño sísmico.....	7
2.2.2. Movimientos Sísmicos de Diseño.....	14
2.2.3. Objetivos Del Diseño Por Desempeño.....	16
2.2.4. Capacidad Estructural	17
Análisis Estático No Lineal.....	18
Curva de capacidad.....	20
Espectro de Capacidad.....	22
Espectro de Demanda.....	24
2.2.5. Respuesta Sísmica Inelástica De Edificaciones Usando Técnicas Espectrales.....	26
2.2.6. Estimación de la Respuesta Inelástica mediante Espectros de Demanda- Capacidad.....	29
2.2.7. Métodos Para Estimar El Punto De Desempeño.....	35
➤ Método del espectro de Capacidad (MEC).....	36
➤ Método del coeficiente de desplazamientos (MCD).....	37
➤ Método N2 (MN2).....	37

2.3 DEFINICION DE TERMINOS BASICOS.....	38
2.3.1 Capacidad.....	38
2.3.2 Demanda.....	38
2.3.3 Espectro de Capacidad.....	38
2.3.4 Espectro de Demanda.....	38
2.3.5 Nivel de Desempeño.....	38
2.3.6 Curva de Capacidad.....	39
2.3.7 Punto de Desempeño	39
2.3.8 Análisis Pushover.....	39

CAPÍTULO III: MATERIALES Y METODOS

3.1. LOCALIZACIÓN	40
3.2. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA	41
3.3. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	42
3.3.1. Características no lineales de los materiales.....	43
3.3.2. Curvas de Esfuerzo-Deformación de Materiales.....	43
3.3.3. Obtención del Espectro de Respuesta.....	44
3.3.4. Modelo de la estructura	47
3.3.5. Diagramas Momento-Curvatura y Momento-Giro.....	49
3.3.6. Rotulas Plásticas.....	50
3.4. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	53
3.4.1. Análisis Pushover.....	54
3.4.2. Niveles Sísmicos.....	55
3.4.3. Presentación de resultados.....	58

CAPÍTULO IV: ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. METRADO DE CARGAS DE LA ESTRUCTURA.....	60
4.2. PROCESAMIENTO MODAL DE LA ESTRUCTURA.....	66
4.3. CURVAS DE CAPACIDAD DE LA ESTRUCTURA.....	68
4.3.1. Fuerza Cortante en la Base del Edificio.....	68
4.3.2. Curva de Capacidad para el Sismo en Dirección del Eje X.....	72
4.3.3. Curva de Capacidad para el Sismo en Dirección del Eje Y.....	75
4.4. PUNTOS DE DESEMPEÑO SÍSMICO.....	77
4.4.1. Puntos de Desempeño para Sismo en X.....	78
4.4.2. Puntos de Desempeño para Sismo en Y.....	78
4.5. NIVELES DE DESEMPEÑO ALCANZADOS POR LA ESTRUCTURA.....	78
4.5.1. Niveles de Desempeño Para los Sismos Aplicados en la Dirección X.....	79
4.5.2. Niveles de Desempeño Para los Sismos Aplicados en la Dirección Y.....	81

4.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	83
4.6.1. Niveles de Desempeño de la estructura.....	83
4.7. CONTRASTACION DE HIPOTESIS.....	84
 CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1. CONCLUSIONES.....	85
5.2. RECOMENDACIONES.....	86
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	87
 ANEXO 01.....	
ANEXO 02.....	89
ANEXO 03.....	93
	96

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Tabla 2.1. Estados de daño y niveles de desempeño (SEAOC, 1995).....	09
Tabla 2.2. Rangos de desplazamientos en cada nivel de desempeño.....	10
Tabla 2.3. Nivel de desempeño de la edificación.....	13
Tabla 2.4. Movimientos sísmicos de diseño.....	15
Tabla 2.5. Nivel de desempeño de la estructura.....	17
Tabla 2.6. Valores para el factor de modificación del amortiguamiento.....	31
Tabla 2.7. Tipos de Comportamiento Estructural.....	32

CAPÍTULO III: MATERIALES Y METODO

Tabla 3.1. Factor de importancia.....	45
Tabla 3.2. Factor de Reducción sísmica.....	46
Tabla 3.3. Sismos de diseño y su aceleración asociada	56
Tabla 3.4. Equivalencias de la Norma Peruana con la propuesta del IBC.....	57
Tabla 3.5. Rango de desplazamientos en cada nivel de desempeño.....	59
Tabla 3.6. Nivel de desempeño de la estructura.....	59

CAPÍTULO IV: ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Tabla 4.1. Resumen de cargas muertas en vigas principales del primer piso.....	60
Tabla 4.2. Resumen de cargas muertas en vigas principales del segundo piso.....	60
Tabla 4.3. Resumen de cargas muertas en vigas principales del tercer piso.....	61
Tabla 4.4. Resumen de cargas muertas en vigas principales del cuarto piso.....	61
Tabla 4.5. Resumen de cargas muertas en vigas principales del quinto piso.....	61
Tabla 4.6. Resumen de cargas muertas en vigas secundarias del primer piso.....	62
Tabla 4.7. Resumen de cargas muertas en vigas secundarias del segundo piso.....	62
Tabla 4.8. Resumen de cargas muertas en vigas secundarias del tercer piso.....	62
Tabla 4.9. Resumen de cargas muertas en vigas secundarias del cuarto piso.....	63
Tabla 4.10. Resumen de cargas muertas en vigas secundarias del quinto piso	63
Tabla 4.11. Resumen de cargas vivas en el primer, segundo y tercer piso.....	63
Tabla 4.12. Resumen de cargas vivas en el cuarto y quinto piso.....	64
Tabla 4.13. Resumen de cargas vivas en el primer, segundo y tercer piso.	64
Tabla 4.14. Resumen de cargas vivas secundarias en el cuarto y quinto piso.....	64
Tabla 4.15. Resumen de cargas.....	65
Tabla 4.16. Masa traslacional y masa rotacional.....	66
Tabla 4.17. Parámetros del Espectro según Norma E-030.....	69
Tabla 4.18. Valores de la aceleración espectral y de los coeficientes de amplificación.....	69

Tabla 4.19. Características Estructurales de la edificación según la Norma E.030....	71
Tabla 4.20. Valores de los representativos de la curva de capacidad (eje X).....	72
Tabla 4.21. Límites de los rangos elástico y plástico según la curva de capacidad (Eje X).....	74
Tabla 4.22. Rangos de desplazamiento para cada nivel de desempeño.....	74
Tabla 4.23. Desplazamientos para cada nivel de desempeño.....	74
Tabla 4.24. Valores de los representativos de la curva de capacidad (eje Y).....	75
Tabla 4.25. Límites de los rangos elástico y plástico según la curva de capacidad (Eje Y).....	76
Tabla 4.26. Valores de desplazamiento para cada nivel de desempeño.....	77
Tabla 4.27. Niveles de Desempeño Alcanzados por Edificaciones Esenciales para los sismos indicados.....	77
Tabla 4.28. Coeficientes sísmicos para cada tipo de sismo.....	77
Tabla 4.29. Puntos de desempeño (dirección X) para los sismos indicados.....	78
Tabla 4.30. Puntos de desempeño (dirección Y) para los sismos indicados.....	78
Tabla 4.31. Desplazamiento de los puntos de desempeño alcanzados para cada sismo (Eje X).....	79
Tabla 4.32. Rangos de desplazamiento para cada nivel de desempeño (Sismo en X).....	79
Tabla 4.33. Comparación entre el desempeño alcanzado por la estructura y el objetivo del desempeño (Eje X).....	81
Tabla 4.34. Desplazamiento de los puntos de desempeño alcanzados para cada sismo (Eje Y).....	81
Tabla 4.35. Rangos de desplazamiento para cada nivel de desempeño (Sismo en Y).....	81
Tabla 4.36. Comparación entre el desempeño alcanzado por la estructura y el objetivo del desempeño (Eje Y).....	83

INDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Figura 2.1.	Sectorización la curva de capacidad (Fernández, 2006).....	10
Figura 2.2.	Esquema del proceso del análisis estático No lineal.....	19
Figura 2.3.	Patrones de Carga Lateral.....	20
Figura 2.4.	Desplazamientos de entrepiso y nudo de control.....	21
Figura 2.5.	Acción de Cargas de Gravedad sobre la estructura.....	21
Figura 2.6.	Representación del Análisis Incremental de Cargas Laterales y de la Curva de Capacidad.....	22
Figura 2.7.	Secuencia para la obtención del Espectro de Capacidad.....	23
Figura 2.8.	Espectro de Demanda.....	25
Figura 2.9.	Secuencia para la obtención del Espectro de Demanda.....	26
Figura 2.10.	Espectro de demanda del terremoto de mayo 1970 – Perú (Fernández, 2006).....	27
Figura 2.11.	Espectro de aceleración elástico de la Norma Peruana (Fernández, 2006).....	27
Figura 2.12.	Espectro de demanda de la Norma Peruana (Fernández, 2006).....	28
Figura 2.13.	Intersección del espectro de capacidad y espectro de demanda sísmica en el rango elástico (Fernández, 2006).....	28
Figura 2.14.	Derivación del amortiguamiento (ATC – 40, 1996).....	30
Figura 2.15.	Reducción del Espectro de Demanda Elástico (Fernandez, 2006).....	33
Figura 2.16.	Reducción del espectro elástico de demanda por amortiguamiento equivalente (Fernández, 2006).....	34
Figura 2.17.	Intersección de líneas de período secante y espectros de demanda reducidos (Fernández, 2006).....	34
Figura 2.18.	Intersección del Espectro de Capacidad y el EDAV (Fernández, 2006).....	35

CAPÍTULO III: MATERIALES Y METODO

Figura 3.1.	Ubicación departamental y Provincial de la investigación.....	40
Figura 3.2.	Ubicación distrital de la investigación.....	41
Figura 3.3.	Curvas Esfuerzo-Deformación $f_c=210$ kg/cm ² . Acero de refuerzo ASTM615 Gr 60.....	43
Figura 3.4.	Definición de placas en sección designer en el Sap2000 v14.....	48
Figura 3.5.	Definición de columnas y vigas en Sap2000 v14.....	49
Figura 3.6.	Diagrama de Momento-Curvatura generado mediante SAP2000.....	49
Figura 3.7.	Identificación de respuestas límites en: (a) viga. (b) Columna. (c) en muro de concreto controlado por flexión (FEMA, 2000).....	51

Figura 3.8. Generación de rotulas plásticas para Vigas (M3).....	52
Figura 3.9. Generación de rotulas plásticas para columnas (P-M2-M3).....	53
Figura 3.10. Análisis Pushover.....	54
Figura 3.11. Espectro del IBC.....	56
Figura 3.12. Espectro elástico de la Norma Peruana.....	57
Figura 3.13. Definición de los sismos de diseño: espectro Norma E-030(izquierda) y sismos de diseño según IBC(derecha).....	58

CAPÍTULO IV: ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Figura 4.1. Modo Fundamental de Vibración.....	66
Figura 4.2. Modo de Vibración 2.....	67
Figura 4.3. Modo de Vibración 3.....	67
Figura 4.4. Espectro de respuesta calculado.....	70
Figura 4.5. Curva de capacidad de la estructura (sismo en dirección X).....	73
Figura 4.6. Curva de capacidad de la estructura (sismo en dirección Y).....	76

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo evaluar el desempeño sísmico del edificio hospital privado Jaén, Edificio de 05 niveles con un sistema estructural consistente en placas y pórticos, construido el 2011. El desempeño se determinó por escalas o niveles tomados de instituciones como el ATC (Applied Technology Council) y el SEAOC (Structural Engineers Association Of California) mediante el documento emitido por el comité Visión 2000. Considerando las características y propiedades de las secciones y materiales que componen la estructura, se procedió a modelarla usando el programa SAP2000. Se realizó un análisis estático no lineal de tipo Pushover donde se determinó las fuerzas cortantes y los desplazamientos asociados a éstas; además se obtuvo la curva de capacidad de la estructura señalando así los desplazamientos de fluencia y de colapso, para luego asociarlos a los niveles de desempeño. Los resultados de la evaluación indican que, en el eje X, la estructura se encuentra en el nivel operacional frente a un sismo frecuente y un nivel funcional para los sismos ocasional, Raro y muy raro; en el eje Y se obtienen los mismos resultados que se han obtenido en el eje X. Es necesario desarrollar un análisis no lineal en el tiempo, utilizando registros de tiempo – historia de sismos, puesto que brinda información más certera para predecir la respuesta estructural y verificar el diseño.

Palabras clave: Nivel de Desempeño – sismo – Pushover – curva de capacidad – curva de demanda – capacidad estructural – punto de desempeño.

ABSTRACT

The present investigation have as objective evaluate the seismic performance of the building private hospital Jaen, building of 05 levels with a structural system consisting of plates and porticoes, constructed 2011. The performance was determined by scales or levels taken from institutions as the ATC (Applied Technology Council) and the SEAOC (Structural Engineers Association of California) through the document issued by the Vision 2000 committee. Considering the characteristics and properties of the sections and materials that compose the structure, one proceeded to shape it using the program SAP2000. There was realized not linear static analysis of type Pushover where one determined the cutting forces and the displacements associated with these; also there was obtained the curve of capacity of the structure indicating this way the displacements of fluence and of collapse, besides to associate them at the performance levels. The results of the evaluation indicate that, in the axis X, the structure is in the operational level opposite to a frequent seism and a functional level for the occasional, Rare and very rare seisms; in the axis Y there are obtained the same results that have obtained in the axis X. Is necessary to develop a non-linear analysis in the time, using records of time - history of seisms, since it provides more accurate information to predict the structural response and check the design.

Key words: Level of performance – seism – Pushover - curve of capability – Curve of request – Structural capability - Point of performance.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

Nuestro país se encuentra ubicado en una zona de alta sismicidad, estando las estructuras expuestas cotidianamente a la acción sísmica, siendo necesario que el estado, la sociedad y el gobierno le den mayor importancia al peligro sísmico en el Perú, preparando a la población y mejorando nuestras Normas de Estructuras.

El alto nivel de sismicidad en nuestra ciudad nos permite reconocer que nuestras estructuras deben ser diseñadas y evaluadas de manera más rigurosa, y es que nuestras normas de diseño sismorresistente se vuelven cada vez más rigurosas. De manera que surge la necesidad de evaluar un edificio existente, como lo es el Hospital Privado Jaén de la ciudad de Jaén, cuya evaluación está basada en el desempeño sísmico. Este tipo de edificaciones, como lo es el hospital privado Jaén, representan un patrimonio económico y social de gran importancia ya que deben mantener su función y operatividad después de un fuerte terremoto.

Hoy en día es conocida la tendencia mundial de incorporar la nueva metodología de diseño sísmico basado en desempeño, de interés en el diseño de estructuras nuevas y existentes; la cual, busca llegar a concebir estructuras con un comportamiento dinámico predecible para cualquier nivel de demanda sísmica que llega a solicitarla, permitiendo ciertos estados límites de daño. Las edificaciones usualmente se diseñan utilizando análisis elásticos a pesar de que la mayoría experimentarán deformaciones inelásticas durante sismos severos. Los diseños modernos basados en desempeño requieren procedimientos para predecir el comportamiento real de estructuras en tales condiciones.

El Hospital Privado Jaén, así como todas las clínicas, hospitales y edificaciones de tipo esenciales (como lo define el R.N.E.) de esta ciudad ha sido diseñada con la normas que rigen nuestro país, normas como las de sismorresistente, las cuales solo consideran un nivel de amenaza sísmica para el cual la edificación no debería colapsar, pero no ha sido evaluada de tal manera

que nos permita apreciar un esquema de comportamiento sísmico. En tal sentido es importante desarrollar el estudio del desempeño sísmico de este tipo de edificio ante diferentes niveles de amenaza sísmica.

El problema principal que se plantea en la presente investigación nos orienta a la siguiente interrogante: ¿Cuál es el nivel de desempeño sísmico del Edificio Hospital Privado Jaén frente a diferentes tipos de movimiento sísmico?; de la cual se plantea como hipótesis que la estructura se encuentra en un nivel de seguridad, ante la ocurrencia de diferentes tipos de movimiento sísmico.

En la ciudad de Jaén no se han realizado estudios concernientes al desempeño sísmico de las edificaciones que existen, sobre todo de las edificaciones de tipo A (Esenciales) como Hospitales, Clínicas, Centros Educativos, estaciones de Bomberos y Policía; dichas edificaciones, debido al pleno desarrollo de nuestra ciudad, se nota cada vez más una mayor su demanda; por lo que es de suma importancia realizar esta investigación, el cual servirá como un medio para evaluar el comportamiento del edificio del Hospital Privado Jaén ante la ocurrencia de los diferentes sismos que se pueden presentar, más aun si se trata de una estructura de este tipo (edificación de tipo A), el cual debe garantizar la seguridad y mantener su funcionamiento durante todo el tiempo de un movimiento sísmico. Asimismo se puede afirmar que la presente investigación será una gran herramienta que ofrezca los conocimientos necesarios y ser un punto de partida para llevar a cabo evaluaciones de las edificaciones que son de importancia en la ciudad de Jaén, tanto las existentes como las proyectadas; y de tal manera que determinando los posibles daños se podrá tomar medidas y dar recomendaciones para reforzamiento estructural de las estructuras ya existentes.

La presente investigación estará orientada a la determinación del nivel de desempeño sísmico del edificio de Hospital Privado de Jaén, ubicado en la esquina de las calles Cap. Quiñones N° 225 y Diego Palomino N° 1704, en el Cercado de la ciudad de Jaén-Cajamarca, cuyo sistema estructural está compuesta por un sistema dual comprendido de pórticos y muros de concreto armado (placas de concreto armado) de 05 niveles.

El objetivo principal de la investigación es evaluar el desempeño sísmico del Hospital Privado Jaén frente a diferentes tipos de movimiento sísmico.

La presente tesis de investigación está estructurada de la siguiente manera:

En el capítulo II se presenta el marco teórico, el cual está dividido en tres partes: la primera consiste en antecedentes a nivel internacional, nacional y local; la segunda presenta las bases teóricas usadas en esta investigación; y la tercera presenta la definición de los términos básicos.

En el capítulo III se presenta los materiales y métodos que se han usado. En primer lugar se describe la localización de la investigación, luego se menciona una breve descripción de la edificación y sus componentes estructurales. Se describe también el procedimiento que se ha realizado en esta investigación y finalmente se presenta al tratamiento que se ha utilizado en los datos.

En el capítulo IV se presenta el análisis y discusión de resultados obtenidos y todos los detalles de la investigación.

Las conclusiones y recomendaciones se presentan en el capítulo V.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

El avance tecnológico ha incitado al desarrollo de innovadoras tendencias de diseño sísmico por ello se realizaron numerosos estudios para la generación de criterios que dieran origen a nuevos procedimientos de diseño basado en el desempeño, sus inicios se mostraron con el documento presentado por Applied Technology Council (ATC) en 1996, posteriormente se realizaron diversos estudios a cargo de la Structural Engineers Association of California (SEAOC) EN 1996 y teniendo entre los estudios más recientes los de Federal Emergency Management (FEMA) del 2002 (Bardales, 2010).

En años recientes, se han desarrollado algunos métodos simplificados de evaluación sísmica basados en desempeño, entre los cuales se pueden mencionar el propuesto en los documentos FEMA 273 y 274 (FEMA, 1997 a y b) donde se describe un método aproximado de evaluación sísmica que consiste en obtener los desplazamientos inelásticos máximos en los entrepisos de los marcos a partir de los desplazamientos elásticos máximos modificados por un grupo de factores. Posteriormente se propusieron nuevos métodos los cuales construyen la curva de capacidad de una estructura a partir de la combinación de respuestas modales. En el informe FEMA-440 publicado por FEMA (2005), se presentan descripciones detalladas de estos y otros métodos empleados en la evaluación sísmica de marcos planos de concreto reforzado (Barradas, 2008).

En diversos países del mundo se han realizado estudios de estructuras utilizando esta metodología de evaluación basada en el desempeño sísmico, a continuación se mencionarán algunos de ellos:

2.1.1. Internacional

Morales y colaboradores (2006) realizaron el estudio de evaluación de tres edificios de la biblioteca de la Universidad de El Salvador, constituido por sistema de pórticos; con tres estados de daño; cuyos resultados fueron los siguientes: para los estados de colapso y de daño severo la estructura tiene un comportamiento aceptable y para un esto de daño limitado la estructura tiene un comportamiento elástico.

Carrillo (2007) desarrolló un trabajo sobre la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de estructuras utilizando un diseño por desempeño sísmico en un edificio de seis niveles ubicado en la ciudad de Acapulco, el edificio era de oficinas y fue cambiado a hospital, lo que implica un cambio de uso y una revisión con la nueva demanda sísmica, para esto se determinaron las curvas de capacidad correspondiente.

2.1.2. Nacional

Muñoz y colaboradores (2001) en su estudio del desempeño sismorresistente de los colegios modernos, se analizaron edificios escolares construidos antes y después de la norma peruana sismorresistente de 1997. Los resultados que se obtuvieron muestran que los colegios diseñados y construidos de acuerdo con los requerimientos del código 1997 mostraron un excelente comportamiento durante el terremoto de Atico $M_w=8.4$ en el 2001 y además se espera que tenga un comportamiento aceptable durante sismos de mayor magnitud. En cuanto a los edificios escolares tradicionales, diseñados antes de 1997, los resultados muestran que son estructuras vulnerables.

Fajardo (2012) en su estudio de un hospital que consta de 6 edificios, dentro de estos, el edificio principal cuenta con 3 bloques de 14 pisos (Bloques A, B, C). Se concluye que la estructura necesita mejorar su rigidez, ya que la albañilería existente no sería competente para este fin.

2.1.3. Local

Bardales (2010) en su estudio del Desempeño Sismorresistente realizó una evaluación de un edificio cuyos resultados obtenidos muestran que la estructura alcanza el Nivel Operacional para Sismo Frecuente, Nivel Funcional para Sismo Ocasional, Nivel de Resguardo de vida para Sismo Raro y Nivel de Colapso para Sismo Muy Raro.

Chunque (2013) realizó el estudio del Nivel de Desempeño Sísmico del Edificio "A" de la Universidad Privada del Norte – Sede Cajamarca. Los resultados muestran que la capacidad estructural del edificio presenta gran

resistencia y buena ductilidad frente a cargas laterales. Además su punto de desempeño se encuentra por debajo al de sismos frecuentes.

Merino (2013) en su estudio de Desempeño sismorresistente de un edificio, cuyos resultados indican que la estructura alcanza un desempeño bueno para los sismos aplicados tanto en la dirección Y como en la dirección X.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. DESEMPEÑO SÍSMICO

El nivel de desempeño describe un estado límite de daño. Representa una condición límite o tolerable establecida en función de los posibles daños físicos sobre la edificación, la amenaza sobre la seguridad de los ocupantes de la edificación inducidos por estos daños y la funcionalidad de la edificación posterior al terremoto. El nivel de desempeño es una expresión de la máxima extensión del daño, donde se considera tanto la condición de los elementos estructurales como la de los elementos no estructurales y su contenido, relacionado con la función de la edificación. Los niveles de desempeño suelen expresarse en términos cualitativos de la significación pública (impacto en ocupantes, usuarios, etc.) y en términos técnicos ingenieriles para el diseño y evaluación de edificación existentes (extensión del deterioro, degradación de elementos estructurales y no estructurales, etc.) [SEAOC, 1995].

El desempeño sísmico representa una condición límite o tolerable establecida en función de tres aspectos fundamentales:

- 1) Los posibles daños físicos sobre los componentes estructurales y no estructurales.
- 2) La amenaza sobre la seguridad de los ocupantes de la edificación, inducida por estos daños.
- 3) La funcionalidad de la edificación posterior al terremoto. (SEAOC VISION 2000 Committee, 1995), (ATC, 1996).

Diseño por Desempeño

El Diseño Sismorresistente basado en Desempeño (DS-BD) es una concepción de ingeniería estructural que predice y evalúa con un aceptable nivel de confianza las demandas y capacidades estructurales, para asegurar los diferentes niveles de desempeño que se requieran, de acuerdo a las características de una determinada obra, de sus componentes y de sus contenidos, asegurando la calidad de la construcción y el mantenimiento a largo plazo. Los niveles de desempeño se expresan en estados de daño correspondientes a condiciones límites.

Su fundamentación general, es mucho más amplia y rica que la anotada en normas o códigos, donde una provisión es resuelta directamente por los propios dueños, en lugar de aplicar una prescripción tradicional preestablecida.

Como elementos alternativos, es posible establecer objetivos apropiados, niveles de desempeño y criterios de aceptación. La diferencia, es que ahora se cuenta con herramientas de cálculo que permiten evaluar y predecir el comportamiento estructural, los diferentes niveles de desempeño y tener una visión más completa de todas las etapas que puede cumplir una edificación. Además, el DS-BD puede: refinar los códigos de diseño, proporcionar una opción válida para tener niveles de desempeño, mejorar la evaluación y restauración de los edificios existentes, racionalizar la estimación de las pérdidas, mejorar la evaluación post-sísmica y aumentar la eficiencia de la investigación en ingeniería sismorresistente (Holmes, 2000).

Niveles de desempeño

Propuesta VISION 2000

La Propuesta del Comité VISION 2000 (SEAOC, 1995) define cuatro niveles de desempeño identificados a través de los siguientes calificadores:

- a. **Operacional:** Corresponde a un nivel en el cual no ocurren esencialmente daños. La edificación permanece completamente segura para sus ocupantes. Todo el contenido y los servicios de la edificación permanecen funcionales y disponibles para su uso. En general no se requieren reparaciones.
- b. **Funcional:** en este nivel se presentan daños moderados en los elementos no estructurales y en el contenido de la edificación, e incluso algunos daños leves en los elementos estructurales. El daño es limitado y no compromete la seguridad de la estructura para continuar siendo ocupada inmediatamente después del sismo, no obstante, los daños en algunos contenidos y componentes no estructurales pueden interrumpir parcialmente algunas funciones normales. En general se requieren algunas reparaciones menores.
- c. **Seguridad:** está asociado a la ocurrencia de daños moderados en elementos estructurales y no estructurales, así como en algunos contenidos de la construcción. La rigidez lateral de la estructura y la capacidad de resistir cargas laterales adicionales, se ven reducidas, posiblemente en un gran porcentaje, sin embargo, aún permanece un margen de seguridad frente al colapso. Los daños producidos pueden impedir que la estructura sea ocupada inmediatamente después del sismo, con lo cual, es probable que sea necesario proceder a su rehabilitación, siempre y cuando sea viable y se justifique desde un punto de vista económico.
- d. **Próximo al colapso:** la degradación de la rigidez lateral y la capacidad resistente del sistema compromete la estabilidad de la estructura aproximándose al colapso. Los servicios de evacuación pueden verse interrumpidos por fallas locales, aunque los elementos que soportan las cargas verticales continúan en funcionamiento. Bajo estas condiciones, la estructura es insegura para sus ocupantes y el costo de su

reparación puede no ser técnicamente viable desde un punto de vista económico.

En el informe presentado por el comité VISION 2000 se incluye una descripción exhaustiva de los niveles permisibles de daño asociados a cada uno de los cuatro niveles de desempeño para varios sistemas y subsistemas del edificio, los componentes del sistema resistente a cargas verticales y laterales, así como los componentes secundarios y no estructurales (arquitectónicos, eléctricos, mecánicos, etc.). La Tabla 2.1 resume las principales características asociadas a estos niveles de desempeño y su relación con los estados discretos de daño.

Tabla 2.1. Estados de daño y niveles de desempeño (SEAOC, 1995)

Estado de daño	Nivel de Desempeño	Características principales
Despreciable	Operacional	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo. Las instalaciones continúan prestando servicios y funciones después del sismo.
Ligero	Funcional	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 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: SEAOC, 1995

Desde el punto de vista estructural, los niveles de desempeño corresponden a sectores definidos de la curva de capacidad de la estructura. Para sectorizar la curva de capacidad debe encontrarse fluencia efectiva para definir el tramo elástico e inelástico de la estructura. El tramo inelástico de la curva de capacidad se divide en cuatro sectores definidos por fracciones de Δp las cuales se asocia un nivel de desempeño.

Este criterio de evaluación, propuesto por el comité VISION 2000 del SEAOC propone que para cada nivel de desempeño le corresponde un rango de desplazamiento en el techo de la estructura. Estos se detallan en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Rangos de desplazamientos en cada nivel de desempeño

NIVEL DE DESEMPEÑO	RANGO DE DESPLAZAMIENTO
Operacional	$(0) - (\Delta FE)$
Funcional	$(\Delta FE) - (\Delta FE + 0.3\Delta p)$
Seguridad	$(\Delta FE + 0.3\Delta p) - (\Delta FE + 0.6\Delta p)$
Cerca al colapso	$(\Delta FE + 0.6\Delta p) - (\Delta FE + 0.8\Delta p)$
colapso	$(\Delta FE + 0.8\Delta p) - (\Delta FE + \Delta p)$

ΔFE : Desplazamiento correspondiente al punto de Fluencia Efectiva
 Es el desplazamiento en el rango inelástico de la estructura
 Δp : Rango Plástico

Fuente: SEAOC, 1995

La Figura 2.1. Muestra la propuesta del Comité Visión 2000 del SEAOC, el cual indica la sectorización de la curva de capacidad de la estructura.

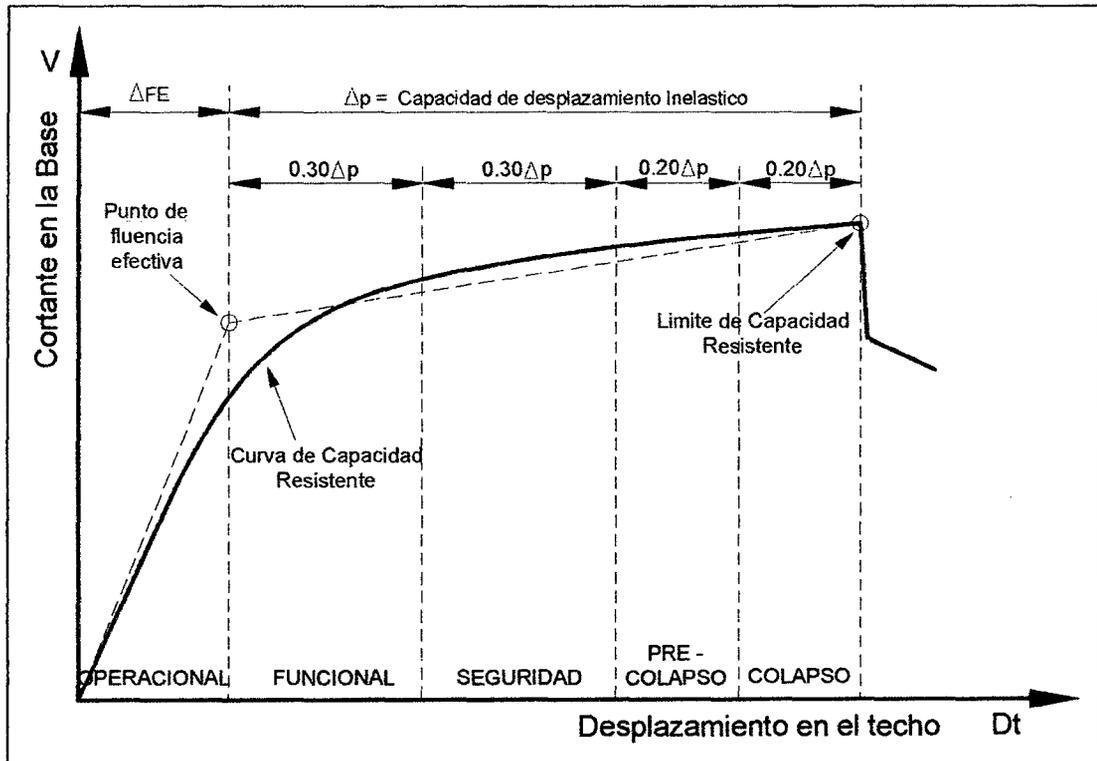


Figura 2.1. Sectorización la curva de capacidad (Fernández, 2006)

Propuesta ATC-40

La propuesta del ATC-40 (1996) especifica separadamente el nivel de desempeño para la estructura y el nivel de desempeño para los componentes no estructurales de manera que su combinación conduce a la definición del nivel de desempeño de la edificación.

Nivel de desempeño para los componentes estructurales

Describen los posibles estados de daño sobre la estructura.

SP-1. Inmediata ocupación; el sistema resistente a cargas verticales y laterales permanece prácticamente inalterado, el peligro a la vida es despreciable y la edificación se mantiene funcionando en su totalidad.

SP-2. Daño controlado; corresponde a un estado de daño que varía entre las condiciones límite de inmediata ocupación y seguridad. La vida de los ocupantes no está en peligro aunque es posible que sean afectados.

SP-3. Seguridad; pueden haber ocurrido daño significativo en la estructura, sin embargo, la mayoría de los elementos estructurales se mantienen. Amenaza a la vida de los ocupantes interiores y exteriores e incluso, puede haber afectados.

SP-4. Seguridad limitada; corresponde a un estado de daño que varía entre las condiciones límite de seguridad y estabilidad estructural, con alto peligro para los ocupantes.

SP-5. Estabilidad estructural; corresponde a un estado de daño en el cual el sistema estructural está en el límite de experimentar un colapso parcial o total. Existe un elevado peligro para ocupantes y transeúntes.

SP-6. No considerado; no corresponde con un nivel de desempeño de la estructura, sino con una condición en la cual sólo se incluye una evaluación sísmica de los componentes no estructurales.

Nivel de desempeño para los componentes no estructurales

Describen los posibles estados de daño de los componentes no estructurales.

NP-A. Operacional; después del sismo, los sistemas, componentes y elementos no estructurales permanecen sin daño y funcionando.

NP-B. Inmediata ocupación; los sistemas, componentes y elementos no estructurales permanecen en su sitio, con pequeñas interrupciones que no comprometen o limitan su funcionamiento. Se mantiene un estado de seguridad para los ocupantes.

NP-C. Seguridad; contempla considerable daño en sistemas, componentes y elementos no estructurales, pero sin colapso o interrupción de los mismos que pueda atentar seriamente contra los ocupantes.

NP-D. Amenaza; incluye importante daño en los sistemas, componentes y elementos no estructurales, pero sin colapso de los grandes y pesados elementos que pongan en peligro a grupos de personas.

NP-E. No considerado; no corresponde con un nivel de desempeño de los componentes no estructurales, sino con una condición en la cual sólo se incluye una evaluación sísmica de los componentes estructurales.

Nivel de desempeño de la edificación

Describen los posibles estados de daño para la edificación. Estos niveles de desempeño se obtienen de la apropiada combinación de los niveles de desempeño de componentes estructurales y de los componentes no estructurales. En la Tabla 2.3 se muestra la combinación propuesta en el ATC-40.

Tabla 2.3. Nivel de desempeño de la edificación

Niveles de desempeño no estructural	Niveles de desempeño estructural					
	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	SP6
NP-A	1-A Operacional	2-A	NR	NR	NR	NR
NP-B	1-B Ocupación Inmediata	2-B	3-B	NR	NR	NR
NP-C	1-C	2-C	3-C Seguridad	4-C	5-C	6-C
NP-D	NR	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E	NR	2-E	3-E	4-E	5-E Estabilidad Estructural	No Aplicable

NR: combinación No Recomendada

Fuente: ATC, 1996

Esta combinación representa el comportamiento global del edificio. No obstante, entre ellas es posible distinguir cuatro niveles de desempeño fundamentales para una estructura, los cuales han sido resaltados en la tabla 2.2 y se describen a continuación:

Operacional 1-A: los daños estructurales son limitados y los daños en los sistemas y elementos no estructurales no impiden que la estructura continúe funcionando con normalidad después del sismo. Adicionalmente, las reparaciones que son necesarias no impiden la ocupación del edificio, por lo cual este nivel se asocia con un estado de funcionalidad.

Ocupación inmediata 1-B: corresponde al nivel de desempeño más utilizado para estructuras esenciales, como es el caso por ejemplo de los hospitales. Se espera que los diferentes espacios y sistemas de la estructura puedan seguir siendo utilizados después del sismo, a pesar de que pueden ocurrir algunos daños en los contenidos. Se mantiene la seguridad de los ocupantes.

Seguridad 3-C: la probabilidad de pérdidas de vidas humanas es prácticamente nula. Este nivel corresponde al desempeño esperado de la estructura con la aplicación de los códigos

corrientes. Se presentan daños limitados en los elementos estructurales y algunos elementos no estructurales como acabados y fachadas, entre otros, pueden fallar, sin que esto ponga en peligro la seguridad de los ocupantes.

Estabilidad estructural 5-E: el margen de seguridad del sistema resistente de cargas laterales se encuentra prácticamente al límite y la probabilidad del colapso ante la ocurrencia de posibles réplicas es bastante alta, no obstante, el sistema de cargas verticales continúa garantizando la estabilidad del edificio.

Los daños no estructurales no requieren ser evaluados debido al elevado nivel de daños en los elementos estructurales. No se garantiza la seguridad de los ocupantes ni transeúntes, por lo que se sugiere desalojar y, en algunos casos, demoler la estructura.

2.2.2. MOVIMIENTOS SÍSMICOS DE DISEÑO

Para permitir aplicaciones prácticas de diseño basado en el desempeño, es necesario seleccionar una serie de eventos sísmicos discretos que pueden ocurrir y que representan el rango de severidad sísmica para un desempeño particular de la estructura deseado. Estos eventos sísmicos discretos se denominan “Movimientos sísmicos de diseño”. Su definición varía de un sitio a otro, dependiendo tanto de la sismicidad de la región en la cual está localizada la estructura como de los niveles social y económicamente aceptables del daño por parte de las instituciones responsables, los propietarios y usuarios de las estructuras (Bertero, 1997). A continuación se presentan los movimientos sísmicos de diseño que deben considerarse de acuerdo al comité VISION 2000 y al ATC-40.

Propuesta del comité VISION 2000

Los movimientos sísmicos de diseño son expresados por el comité VISION 2000 en términos de un intervalo de recurrencia medio o de una probabilidad de excedencia.

El intervalo de recurrencia medio, por ejemplo 475 años, es una expresión del período promedio de tiempo, expresado en años, que transcurre entre la ocurrencia de un sismo que produce daños de una severidad igual o superior a una determinada. La probabilidad de excedencia, es decir en el ejemplo anterior 10% en 50 años, es una representación estadística de la posibilidad de que el efecto de un sismo exceda una cierta severidad durante un período de tiempo determinado expresado en años. El período de retorno “TR” (intervalo de recurrencia) puede relacionarse directamente con una probabilidad de excedencia “pe” para un número específico “t” de años, mediante la siguiente ecuación:

$$TR = \frac{t}{\ln(1 - p_e)}$$

La Tabla 2.4. muestra los intervalos de recurrencia y las probabilidades de excedencia para los cuatro movimientos sísmicos de diseño considerados por el comité VISION 2000.

Tabla 2.4. Movimientos sísmicos de diseño

Movimiento Sísmico de diseño	Intervalo de recurrencia	Probabilidad de excedencia
Frecuente	43 años	50 % en 30 años
Ocasional	72 años	50 % en 50 años
Raro	475 años	10% en 50 años
Muy Raro	950 años	10% en 100 años

Fuente: SEAOC Vision 2000 Committee, 1995

Propuesta del ATC-40

El ATC-40 utiliza tres niveles de movimientos sísmicos para el diseño de estructuras: sismo de servicio, sismo de diseño y sismo máximo. Las principales características de estos tres sismos se describen a continuación. Las siglas S, D y M hacen referencia respectivamente a Servicio, Diseño y Máximo, mientras que E, conserva la inicial de la palabra inglesa “Earthquake”.

Sismo de servicio, SE: corresponde a un movimiento del terreno que tiene una probabilidad del 50 % de ser excedido en un período de 50 años, o un período de retorno de 72 años. Éste se califica como un sismo frecuente ya que puede ocurrir más de una vez durante la vida de la estructura.

Sismo de diseño, DE: representa un movimiento sísmico poco frecuente de intensidad entre moderada y severa, y se entiende que puede ocurrir al menos una vez durante la vida de la estructura. Se define como el movimiento del terreno que tiene una probabilidad del 10 % de ser excedido en 50 años, es decir, que tiene un período de retorno de 475 años. Es el sismo raro de la propuesta VISION 2000.

Sismo máximo, ME: corresponde al máximo movimiento del terreno con una probabilidad del 5 % de ser excedido en un período de 50 años, es decir. Este nivel es utilizado para el diseño de estructuras esenciales. Corresponde al sismo muy raro.

2.2.3. OBJETIVOS DEL DISEÑO POR DESEMPEÑO

El primer paso en la ingeniería basada en el desempeño, es la selección de los objetivos del desempeño sísmico para el diseño. Estos corresponden a expresiones de acoplamiento entre los niveles de desempeño deseados para una estructura y el nivel de movimiento sísmico esperado. Para seleccionar estos objetivos, es necesario tener en cuenta factores tales como: la ocupación, la importancia de las funciones que ocurren dentro de la estructura, consideraciones económicas, incluyendo el costo de reparación y el costo de la interrupción de las actividades que se realizan en su interior, y consideraciones de la importancia de la estructura como por ejemplo una fuente de patrimonio histórico y cultural (Bertero, 1997).

Propuesta del comité VISION 2000

El comité VISION 2000 considera las estructuras en tres grandes grupos, de acuerdo a su grado de importancia durante y después de un sismo:

- Estructuras críticas que contienen cantidades de materiales peligrosos que podrían resultar en una amenaza inaceptable para un amplio sector de la comunidad.
- Estructuras esenciales que son las encargadas de todas las operaciones post-terremoto, tales como hospitales, estaciones de bomberos, policía, centros de control de emergencia, etc.
- Estructuras básicas que no están incluidas en los dos primeros grupos.

La Tabla 2.5 muestra la matriz propuesta por el comité VISION 2000 para la definir los objetivos de desempeño. Las filas corresponden a los movimientos sísmicos de diseño y las columnas a los niveles de desempeño. Los números corresponden a los tres tipos de estructuras considerados.

Tabla 2.5. Nivel de desempeño de la estructura

Movimiento sísmico de diseño	Nivel de desempeño de la estructura			
	Totalmente Operacional	Operacional	Seguridad	Próximo al colapso
Frecuente (43 años)	1	0	0	0
Ocasional (72 años)	2	1		0
Raro (475 años)	3	2	1	0
Muy Raro (970 años)	-	3	2	1

0. Desempeño inaceptable
 1. Estructuras básicas
 2. Estructuras Esenciales / riesgosas
 3. Estructuras de seguridad crítica.

Fuente: SEAOC Vision 2000 Committee, 1995

2.2.4. CAPACIDAD ESTRUCTURAL

La capacidad de una estructura depende de la resistencia y deformación máxima de sus componentes individuales. Para determinar sus capacidades más allá del límite elástico, es necesario utilizar algún tipo de análisis no lineal, como por ejemplo, el análisis estático no lineal (análisis pushover). Este procedimiento usa una serie de análisis elásticos

secuenciales, que se superponen para aproximarse a un diagrama conocido con el nombre de curva de capacidad. Esta curva relaciona las fuerzas en la base (cortante basal, V) y los desplazamientos (D) en el nivel superior de la estructura. El modelo matemático de la estructura se modifica para tener en cuenta la reducción de resistencia de los elementos que ceden. De esta forma, se aplican una serie de fuerzas.

Análisis estático no lineal (“Análisis Pushover”)

Se basa en el análisis estático considerando la respuesta no lineal de los materiales. Existen muchos métodos para efectuar este tipo de análisis como por ejemplo los propuestos por el ATC 40 y FEMA 356. Estos métodos tienen en común que las características no lineales (Fuerza-Deformación) de la estructura son representadas por la curva de capacidad.

El máximo desplazamiento que probablemente puede ser experimentado durante un sismo dado, es determinado usando espectros de respuesta inelásticos. La gran ventaja de este método con respecto al análisis lineal es que directamente tiene en cuenta los efectos de la respuesta no lineal del material (mientras que en el análisis lineal esto se debe tener en cuenta en forma aproximada) y, por lo tanto, el cálculo de las fuerzas internas y desplazamientos serán más representativos de los esperados durante un sismo.

Este procedimiento usa una serie de análisis elásticos secuenciales, que se superponen para aproximarse a un diagrama conocido con el nombre de curva de capacidad. El modelo matemático de la estructura se modifica para tener en cuenta la reducción de resistencia de los elementos que ceden. De esta forma, se aplican una serie de fuerzas horizontales, las cuales se incrementan de manera monotónica hasta que se produce el colapso efectivo de la estructura. El análisis estático no lineal es una técnica simple y eficiente para estudiar la capacidad, resistencia deformación, de una estructura bajo una distribución esperada de fuerzas inerciales.

Este análisis se realiza sometiendo a la estructura a un patrón de cargas laterales F_i que se incrementan de manera monotónica hasta que la

estructura alcanza su capacidad máxima. Utilizando este procedimiento, es posible identificar la secuencia del agrietamiento, fluencia y fallo de los componentes, los estados límites de servicio y la historia de deformaciones y cortes en la estructura que corresponde a la curva de capacidad (Figura 2.2).

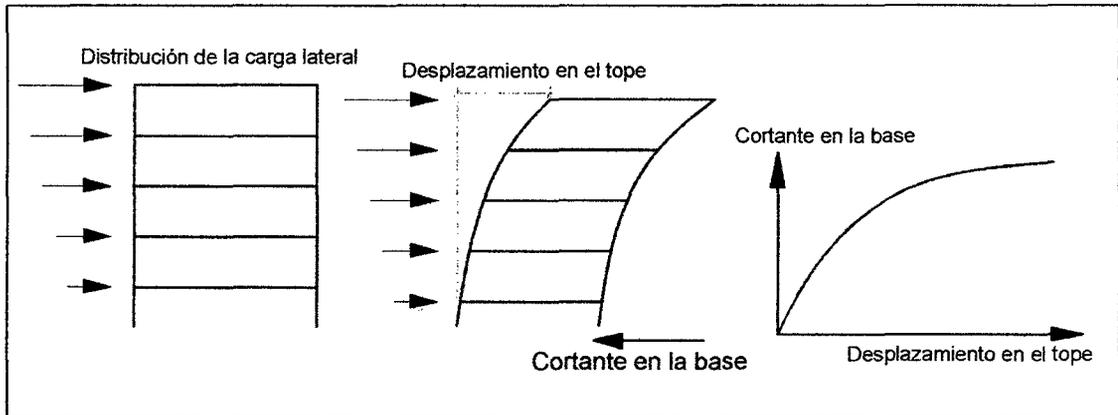


Figura 2.2. Esquema del proceso del análisis estático No lineal.

La forma de la distribución de las fuerzas laterales, constante, lineal, parabólica, etc., aplicada a una estructura, influye en la determinación de la curva de capacidad. Considerando que no existe un único patrón de cargas, una solución práctica puede ser utilizar por lo menos dos distribuciones diferentes y definir la curva de capacidad como la envolvente de los resultados obtenidos con ambas distribuciones (Fajfar, 2000).

Es importante tener en cuenta que, aunque este procedimiento se basa en los desplazamientos y trata la no linealidad, tiene algunas limitaciones fundamentales que deben ser consideradas en la aplicación e interpretación de los resultados obtenidos.

Existe un consenso general en que el daño estructural es una función tanto de la deformación como de la energía. El procedimiento utilizado en el análisis pushover implícitamente asume que el daño depende sólo de la deformación lateral de la estructura, despreciando los efectos de duración y disipación de la energía acumulada. Por lo tanto, la aplicabilidad de esta medida del daño es algo simplista,

particularmente para estructuras no dúctiles, cuyos cíclicos histeréticos inelásticos presentan un fuerte estrechamiento y una forma errática.

- El análisis pushover se centra sólo en la energía de deformación de una estructura, con lo cual, este procedimiento puede conducir a despreciar la energía asociada a las componentes dinámicas de las fuerzas, es decir, la energía cinética y la energía de amortiguamiento viscoso.
- Los efectos de torsión producidos por las variaciones de resistencia y rigidez no pueden ser considerados con un análisis pushover, debido a que es un análisis en dos dimensiones.
- El patrón de cargas sólo considera fuerzas sísmicas laterales e ignora por completo la carga sísmica vertical.
- Los cambios progresivos en las propiedades modales que ocurren en la estructura cuando experimenta cedencia no lineal cíclica durante un sismo, no son considerados en este tipo de análisis.

Curva de Capacidad

Durante el Análisis Estático No Lineal, la cortante en la base va incrementando progresivamente manteniendo constante el patrón de fuerzas sísmicas distribuido en la altura del edificio. Para conseguir una representación realista de esfuerzos sísmicos, se emplea una distribución de las fuerzas sísmicas similares, las cuales siguen la forma del modo fundamental de vibración o una distribución más sencilla, como puede ser triangular invertida, parabólica o uniforme como muestra la figura 2.3.

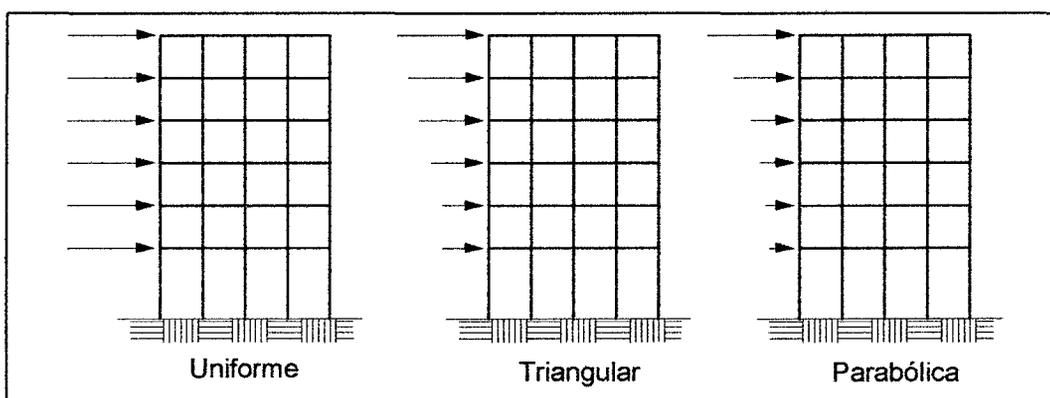


Figura 2.3. Patrones de Carga Lateral

Cuando se trata de un patrón de desplazamientos estos corresponden a un juego de desplazamientos predeterminados que se van incrementando paulatinamente. Generalmente se usan los desplazamientos provenientes de los modos significativos de vibración (Bonett, 2003). Obsérvese la figura siguiente.

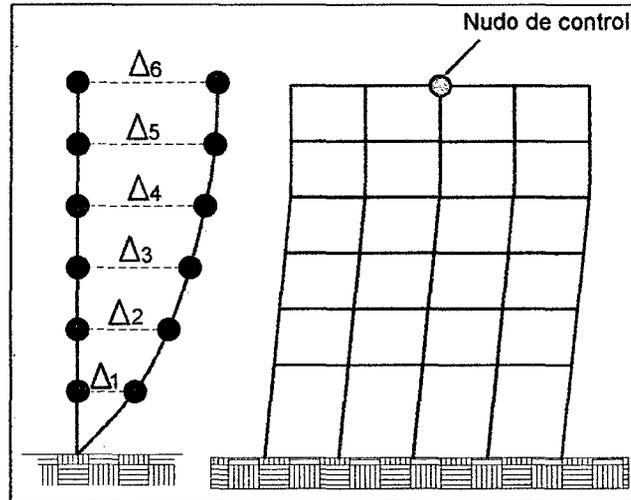


Figura 2.4. Desplazamientos de entrepiso y nudo de control

El proceso de análisis incremental se controla por un nudo determinado (generalmente en el techo, como muestra la figura 2.4), se debe indicar un valor de desplazamiento máximo hasta el cual incrementar el desplazamiento y comenzar dicho análisis partiendo del estado de esfuerzos y deformaciones provenientes de las cargas de gravedad, tal como trata de representar la figura 2.5.

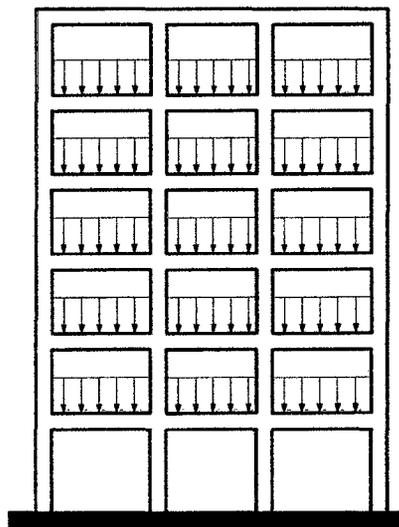


Figura 2.5. Acción de Cargas de Gravedad sobre la estructura

Durante el proceso de acciones incrementales, el desplazamiento (D_t) en el techo va creciendo y se van registrando los valores de la fuerza cortante (V) en la base de la edificación hasta alcanzar el desplazamiento lateral máximo especificado.

Como resultado del análisis incremental se obtiene la curva Fuerza-Desplazamiento (V - D_t), denominada Curva de Capacidad, la cual se representa en la figura 2.6 con algunos puntos relevantes de la misma.

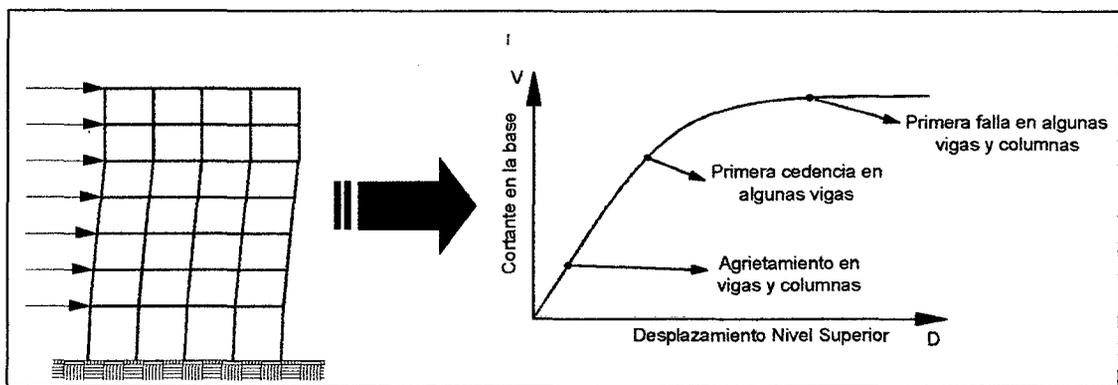


Figura 2.6. Representación del Análisis Incremental de Cargas Laterales y de la Curva de Capacidad

Espectro de Capacidad

A través de un Análisis Estático No Lineal incremental de un modelo representativo de la estructura se obtiene una curva de capacidad, la cual generalmente se representa como el cortante basal (V), obtenido para varios incrementos del estado de carga lateral, respecto al desplazamiento lateral del último nivel de la edificación (D). Esta curva consiste en una serie de segmentos de rectas de pendiente decreciente, asociados a la progresiva degradación de la rigidez lateral, la cedencia en elementos y en general al daño.

Usando propiedades modales asociadas al modo fundamental de vibración, es posible transformar la curva de capacidad a un nuevo formato ADRS (siglas del inglés "Acceleration - Displacement Response Spectra" que significa Espectro de Respuesta Aceleración - Desplazamiento, debido a que el espectro relaciona aceleración versus desplazamiento) donde se representa la aceleración espectral (S_A), respecto del desplazamiento espectral (S_D), denominado espectro de

capacidad. Para esta conversión, cada punto (V, D) de la curva de capacidad, corresponde a un punto (SA_i, SD_i) del espectro de capacidad, según las siguientes fórmulas:

$$S_{Di} = \frac{\Delta n_i}{\beta_1 \times \varphi_{1,n}} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$S_{Ai} = \frac{V_i}{\alpha_1} \dots\dots\dots (2.2.)$$

Donde:

α_1 : masa modal asociada al modo fundamental o primer modo de vibración.

β_1 : factor de participación asociado al modo fundamental.

$\varphi_{1,n}$: amplitud en el nivel n, de la forma de vibración del modo fundamental.

En la figura 2.7 nos muestra el proceso de conversión de la curva de capacidad a coordenadas ADRS.

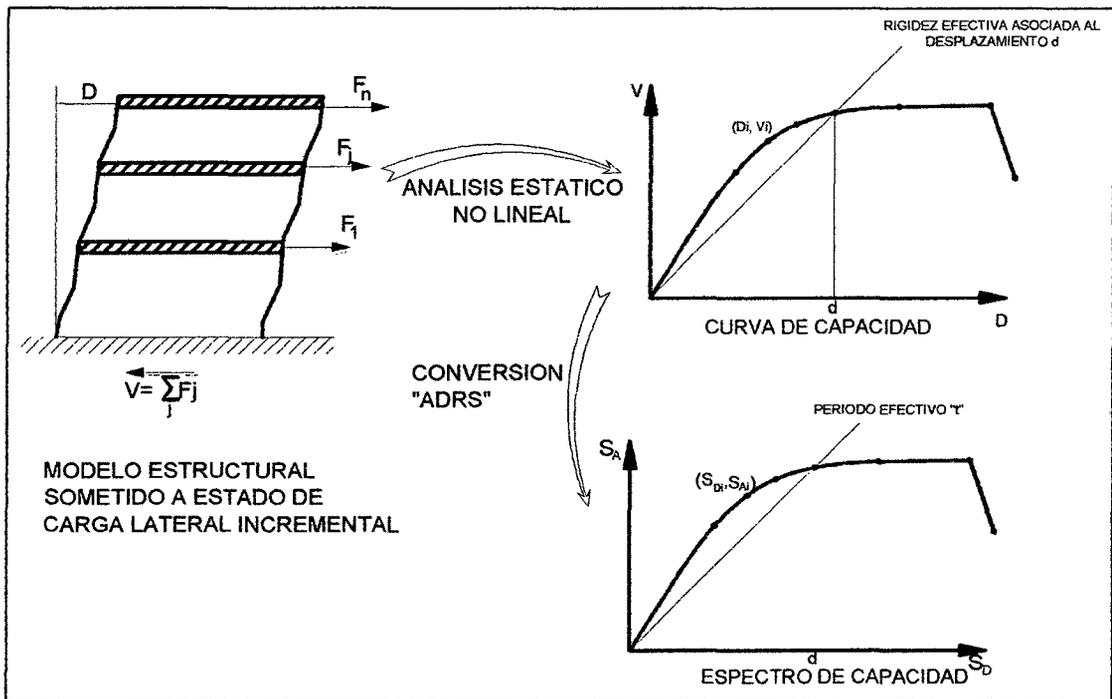


Figura 2.7. Secuencia para la obtención del Espectro de Capacidad

En esta representación, cada línea trazada desde el punto origen hasta la curva, tiene una pendiente ω^2 , donde ω es la frecuencia circular asociada a la respuesta efectiva de la estructura cuando la misma es deformada hasta dicho desplazamiento espectral. De manera que el periodo efectivo de la estructura T asociado a dicho desplazamiento espectral puede determinarse como:

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

Espectro de Demanda

Los espectros de demanda, relacionan el desplazamiento espectral SD , con la aceleración espectral SA , y se los obtiene a partir de formas espectrales que relacionan la aceleración espectral con el período.

Se define el espectro de amenaza uniforme como la curva que une las aceleraciones espectrales asociadas independientemente a cada período estructural con una probabilidad de excedencia dada en un tiempo determinado y para un cierto factor de amortiguamiento con respecto al crítico. Es decir que es la curva que une las aceleraciones espectrales asociadas al mismo período de retorno, trabajando cada período estructural independientemente.

El espectro de demanda es la base con la cual el ATC-40 o cualquier otro modelo de reducción del espectro elástico, obtiene el desplazamiento lateral máximo de una estructura trabajando con el espectro de capacidad y con el espectro de demanda.

Los espectros de demanda muestran simultáneamente los espectros clásicos de aceleración y desplazamiento en un solo gráfico, donde los ejes horizontal y vertical corresponden a valores del desplazamiento espectral (SD) y de la aceleración espectral (SA) respectivamente. Los periodos están representados por líneas inclinadas como se aprecia en la tabla 2.8

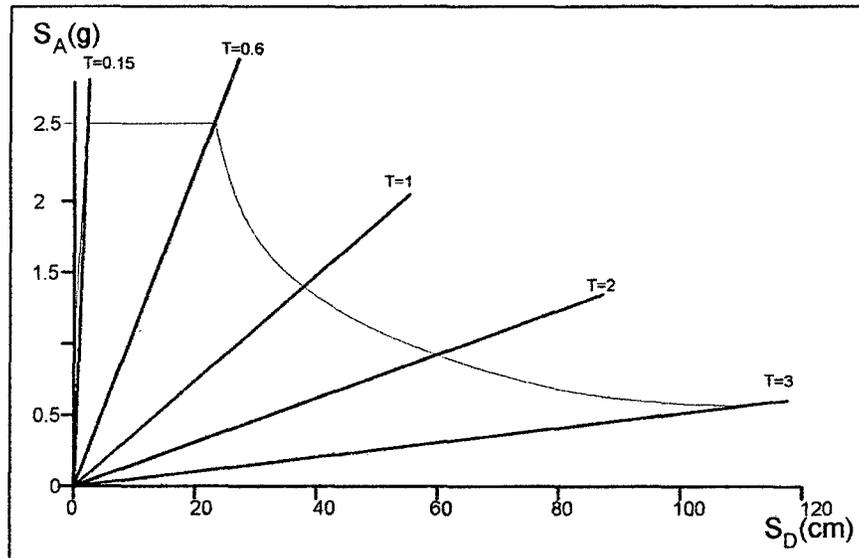


Figura 2.8. Espectro de Demanda

La demanda sísmica inicialmente se caracteriza usando un espectro de respuesta elástico de aceleración típicamente definido para un amortiguamiento del 5% el cual debe ser transformado a un formato ADRS, es decir, de aceleración espectral (S_A como una fracción de la aceleración de la gravedad) respecto el desplazamiento espectral (S_D). Para dicha conversión cada punto (S_{Ai} , T_i) del espectro de respuesta donde T_i es el periodo en segundos, corresponde a un punto (S_{Ai} , S_{Di}) del espectro de demanda, según la siguiente fórmula:

De manera que el espectro de demanda es una representación gráfica de la aceleración máxima de respuesta respecto el correspondiente desplazamiento máximo para un periodo y nivel de amortiguamiento dado. Estos valores máximos se corresponden con los valores pseudoespectrales siempre que se trate de pequeños valores del amortiguamiento.

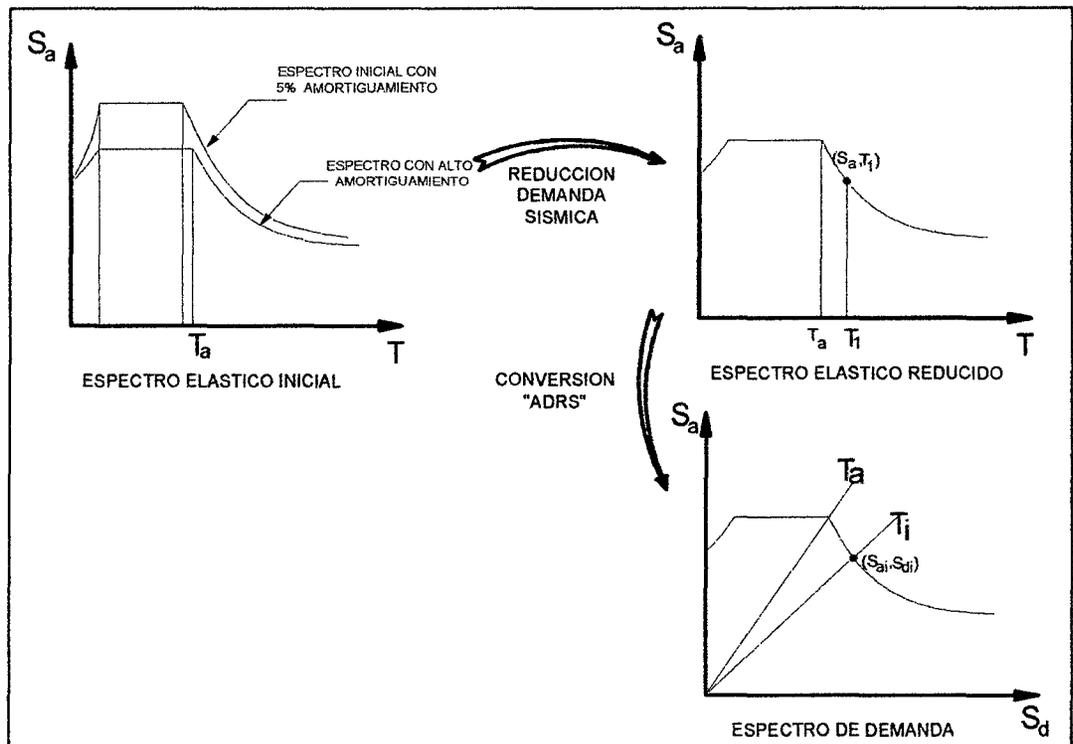


Figura 2.9. Secuencia para la obtención del Espectro de Demanda

2.2.5. RESPUESTA SÍSMICA INELÁSTICA DE EDIFICACIONES USANDO TÉCNICAS ESPECTRALES

En general, los métodos espectrales permiten estimar la respuesta máxima de una estructura ante una sollicitación sísmica representada por un espectro.

El desplazamiento y la aceleración máxima de la respuesta estructural están relacionados entre sí por las características de resistencia y rigidez lateral del edificio plasmadas en el espectro de capacidad. De este modo la respuesta estructural máxima corresponde a un punto del espectro de capacidad denominado "punto de demanda" (S_{Dd} , S_{Ad}), el cual representa la respuesta estructural.

Representación de sollicitaciones sísmicas mediante espectros de demanda

Los espectros de demanda muestran simultáneamente los espectros clásicos de aceleración y desplazamiento en un solo gráfico, donde los ejes horizontal y vertical corresponden a valores del desplazamiento espectral (S_D) y de la aceleración espectral (S_A) respectivamente. Los

periodos corresponden a rectas inclinadas. La Figura 2.10 muestra el espectro de demanda correspondiente al registro del terremoto de 1970 (norte peruano) obtenido en Lima a 300 Km del epicentro.

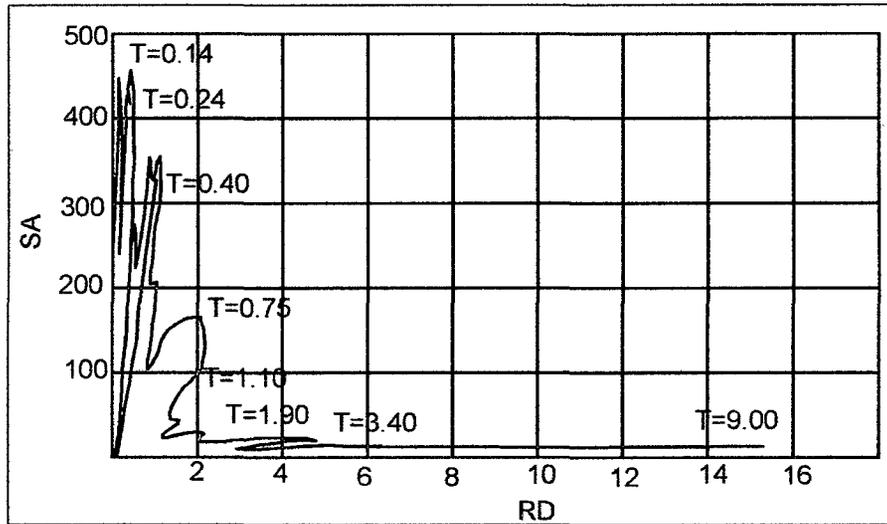


Figura 2.10. Espectro de demanda del terremoto de mayo 1970 – Perú (Fernández, 2006)

Para propósitos de análisis y diseño se usan espectros suavizados envolventes.

La Figura 2.11 muestra el espectro elástico de pseudo aceleración de la Norma Peruana, para suelo duro correspondiente a eventos con periodo de retorno de 475 años, y la Figura 2.12 muestra el mismo espectro en su forma de espectro de demanda, donde SD se obtiene de la ecuación $SD = SA/\omega^2$ siendo ω la frecuencia de la estructura.

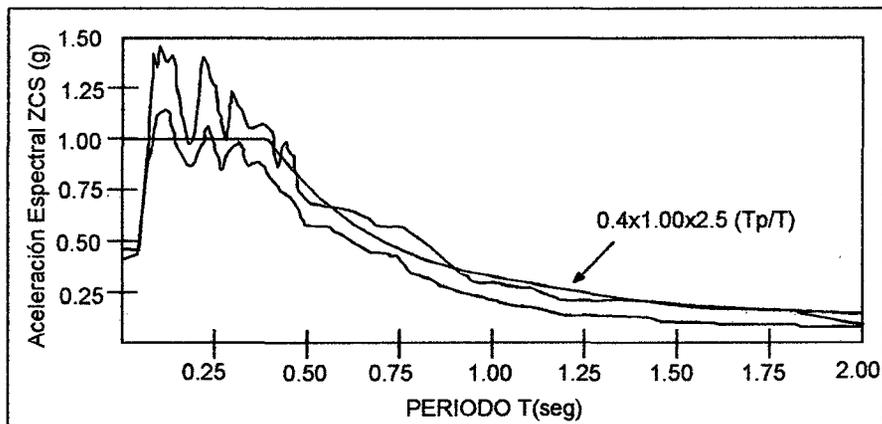


Figura 2.11. Espectro de aceleración elástico de la Norma Peruana (Fernández, 2006)

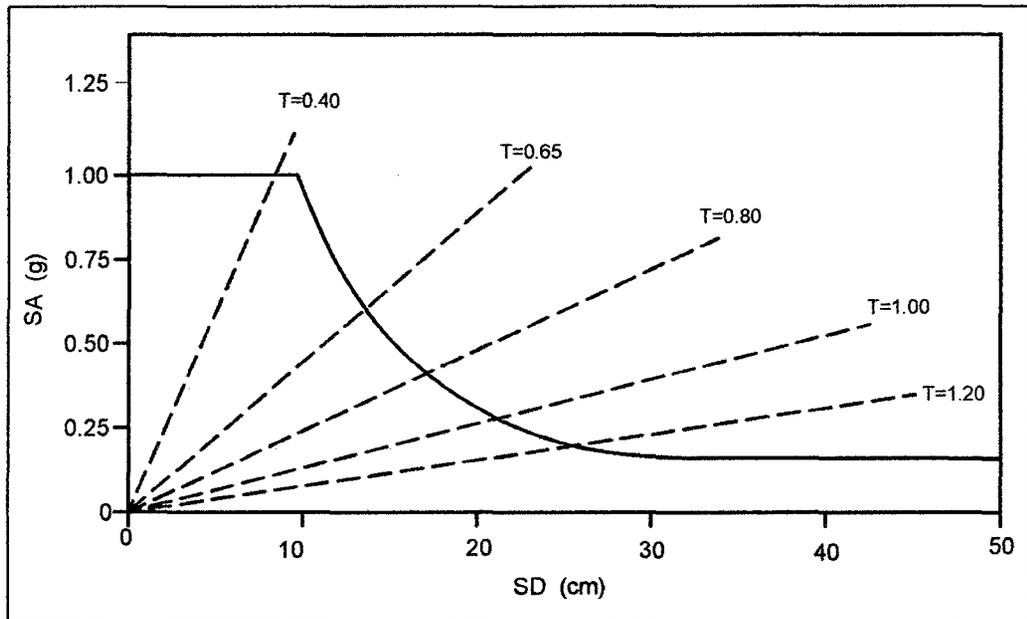


Figura 2.12 Espectro de demanda de la Norma Peruana (Fernández, 2006)

Respuesta elástica de estructuras

Los espectros de demanda contienen la respuesta máxima de diferentes estructuras elásticas para un cierto valor del amortiguamiento, mientras que el espectro de capacidad, muestra todas las combinaciones posibles de desplazamiento y aceleración a las que puede llegar una estructura en particular tanto en régimen elástico como inelástico.

Cuando se espera que la respuesta estructural se produzca dentro del rango elástico, el punto de demanda (SD_d , SA_d) puede obtenerse interceptando directamente los espectros de demanda y capacidad como se muestra en la Figura 2.13 (León y Quintana, 2004).

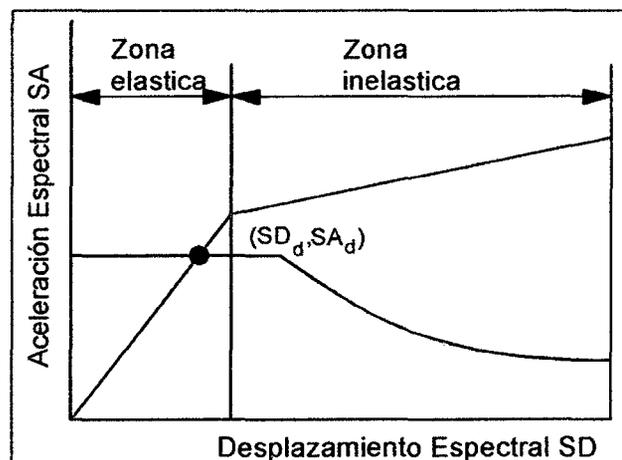


Figura 2.13 Intersección del espectro de capacidad y espectro de demanda sísmica en el rango elástico (Fernández, 2006)

Esta condición se da para sismos pequeños y edificios con una resistencia lateral tal que la estructura puede permanecer en el rango elástico.

2.2.6. ESTIMACIÓN DE LA RESPUESTA INELÁSTICA MEDIANTE ESPECTROS DE DEMANDA-CAPACIDAD

La respuesta sísmica de una estructura a un espectro de demanda determinado puede representarse por el desplazamiento del techo y la fuerza cortante en su base. A esta combinación de fuerza y desplazamiento se le denomina Punto de Desempeño. Los espectros de demanda sísmica elásticos están asociados a un amortiguamiento que no corresponde al de la estructura necesariamente. El procedimiento que se emplea para estimar el punto de desempeño, consiste en ir reduciendo el espectro de demanda elástico según el valor del amortiguamiento inelástico equivalente, el cual depende del punto de desempeño que se quiere estimar, generándose de este modo un procedimiento iterativo.

Reducción del Espectro de Demanda

Para obtener el espectro reducido se debe estimar el amortiguamiento equivalente en base al modelo bilineal del espectro de capacidad y a partir de este parámetro estimar los factores de reducción.

Estimación del amortiguamiento Efectivo:

El amortiguamiento efectivo (β_{ef}) permite estimar mediante un modelo elástico, la respuesta inelástica de una estructura. El valor del amortiguamiento efectivo depende no solo del desplazamiento inelástico, sino también de la historia misma de cargas, del sistema estructural y de su comportamiento ante ciclos de carga.

La parte del amortiguamiento efectivo asociado al desplazamiento inelástico es el amortiguamiento equivalente (β_{eq}), el cual a su vez, se suele interpretar como la suma de un amortiguamiento histerético (β_0) que representa las incursiones inelásticas y un amortiguamiento viscoso inherente a la estructura (generalmente se asume 5%), es decir:

$$\beta_{EQ} = \beta_0 + 0.05 \quad (2.1)$$

Para estimar el amortiguamiento histerético se plantea la equivalencia entre la energía histerética en el modelo bilineal y la energía disipada por amortiguamiento en un ciclo en el oscilador visco-elástico correspondiente (ATC-40, 1996). La Figura 2.14 muestra la energía disipada por amortiguamiento (E_D) representada por el área generada por el lazo histerético del oscilador visco-elástico ante un ciclo de cargas y la energía de deformación máxima (E_{So}) representada por el área sombreada.

$$\beta_{EQ} = 0.05 + \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{So}}$$

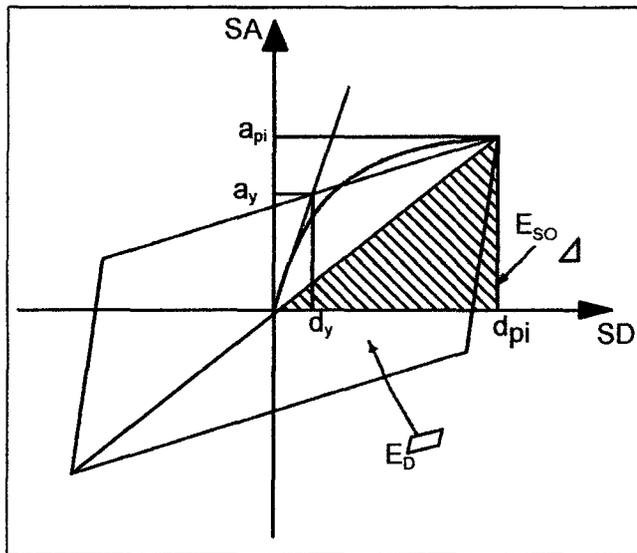


Figura 2.14. Derivación del amortiguamiento (ATC – 40, 1996)

Luego el amortiguamiento histerético (β_0) se estima como:

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{So}} \quad (2.2)$$

Chopra (1995) sugiere la siguiente expresión para calcular el amortiguamiento equivalente:

$$\beta_{EQ} = \beta_0 + 0.05 = \frac{0.637(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 0.05 \quad (2.3)$$

Con el fin de tener en cuenta las características del sistema estructural y la duración del sismo, se incluye un factor de modificación k , que afecta al amortiguamiento hysterético (ATC-40, 1996). De este modo se obtiene el amortiguamiento efectivo:

$$\beta_{EQ} = k\beta_0 + \beta_{ELASTICO} = \frac{0.637k(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 0.05 \quad (2.4)$$

Donde:

a_{pi}, d_{pi} : son las coordenadas del punto escogido del espectro de capacidad.

a_y, d_y : son las coordenadas del punto de fluencia efectiva.

k : es el factor de reducción del amortiguamiento.

β_0 : es el amortiguamiento hysterético que representa las incursiones inelásticas

$\beta_{ELASTICO}$: es el amortiguamiento elástico (normalmente se asume 5%)

El valor del factor de reducción k depende del amortiguamiento hysterético (β_0) y del tipo estructural y se puede obtener de la tabla 2.6:

Tabla 2.6. Valores para el factor de modificación del amortiguamiento

Tipo de Comportamiento Estructural	β_0 (porcentaje)	k
Tipo A	$\leq 16,25$	1,00
	$>16,25$	$1,13 - \frac{0.51(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$
Tipo B	≤ 25	0.65
	> 25	$0,845 - \frac{0.446(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$
Tipo C	Cualquier valor	0,33

Fuente: *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. ATC-40, 1996*

El tipo de comportamiento depende del comportamiento hysterético y de la sismicidad, como se muestra en la tabla 2.7

Estimación de los factores de reducción espectral, SRA y SRV :

$$SRA = \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{EQ})}{2.12} \quad SRV = \frac{2.31 - 0.411 \ln(\beta_{EQ})}{1.65} \quad (2.5)$$

El factor SR_A corresponde a la zona de aceleraciones (parte plana del espectro de demanda) y el factor SR_V a la zona de velocidades, como se indica en la Figuran 2.15. Estos factores se multiplican a las aceleraciones espectrales del espectro elástico original, a fin de obtener las aceleraciones espectrales inelásticas.

Tabla 2.7. Tipos de Comportamiento Estructural

Tipo de comportamiento estructural	CARACTERISTICAS
Tipo A	Comportamiento estructural estable: estructuras cuyo comportamiento histérico puede representarse mediante un paralelogramo. A este grupo pertenecen las estructuras con un adecuado sistema sismorresistente, sometidas a sismos de corta duración.
Tipo B	Comportamiento estructural promedio: estructuras cuyo comportamiento histérico muestra una reducción del lazo histérico respecto del modelo tipo paralelogramo. A este grupo pertenecen las estructuras con un adecuado sistema sismorresistente, sometidas a sismos de larga duración o estructuras con sistema intermedio sometidas a sismos de corta duración
Tipo C	Comportamiento estructural pobre: estructuras cuyo comportamiento muestra una gran reducción del lazo histérico respecto del modelo tipo paralelogramo debido a la degradación. A este grupo pertenecen las estructuras con un sistema sismorresistente intermedio sometidas a sismos de larga duración o estructuras con sistema pobre sometidas a sismos de corta o larga duración.

Fuente: Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, ATC-40, 1996

Para graficar el espectro reducido se debe considerar que el período que marca el fin de la plataforma de aceleración constante, denominado $T'p$ no corresponde al período Tp del espectro original y debe calcularse mediante la expresión:

$$T'p = Tp \left(\frac{SR_V}{SR_A} \right) \quad (2.6)$$

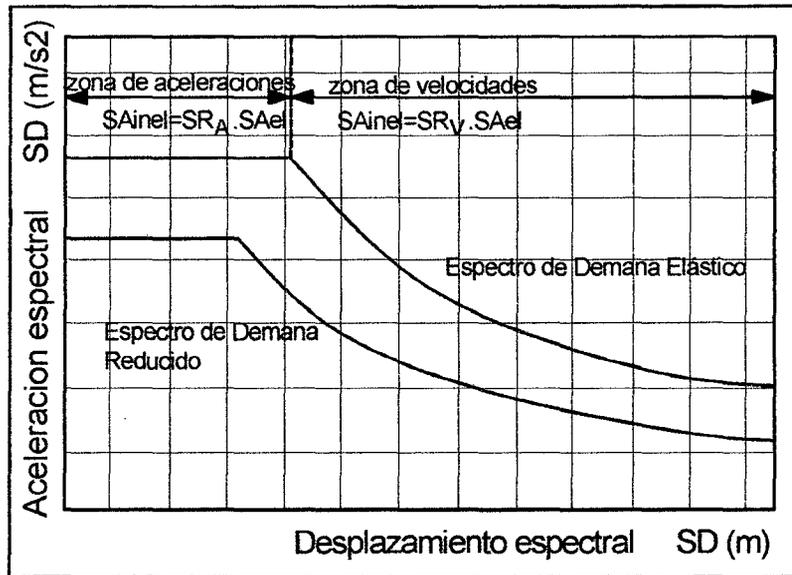


Figura 2.15. Reducción del Espectro de Demanda Elástico (Fernandez, 2006)

Procedimiento para determinar el Punto de Desempeño

El ATC-40 (1996) sugiere tres procedimientos de análisis espectral inelástico para estimar el punto de desempeño (procedimientos A, B y C). Sin embargo es una variante del procedimiento B la que es adoptada por el programa SAP2000 v14 y que permite calcular el punto de desempeño. Para determinar el punto de desempeño, debe obtenerse primero un espectro de demanda para amortiguamiento variable (EDAV). Luego el punto buscado se obtiene como la intersección del EDAV y el espectro de capacidad. Para obtener un punto del EDAV (P_o) se debe seleccionar un punto del espectro de capacidad (P_c) y se sigue el siguiente procedimiento:

- Se traza una línea radial de periodo secante que pase por el punto P_i .
- Con las coordenadas del punto P_i (SD_i , SA_i), la expresión (2.6) y las tablas 2.6 y 2.7, se calcula el amortiguamiento equivalente (β_{EQ}):
- Con el amortiguamiento equivalente (β_{EQ}) se calculan los factores SRA y SRV , para reducir el espectro de elástico de demanda:

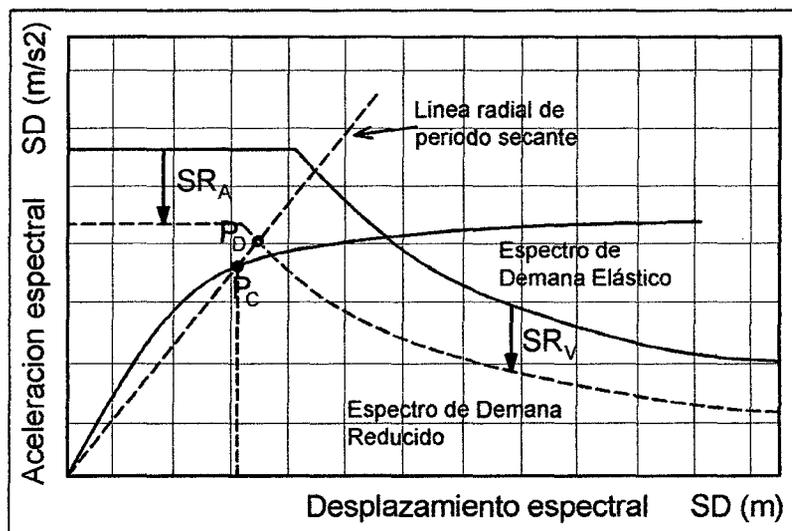


Figura 2.16 Reducción del espectro elástico de demanda por amortiguamiento equivalente (Fernández, 2006)

- El espectro de demanda reducido se intercepta con la línea de periodo secante y se obtiene un punto P'_i .
- Siguiendo el mismo procedimiento para cada punto del espectro de capacidad, se obtienen otros puntos que en su conjunto forman el EDAV.

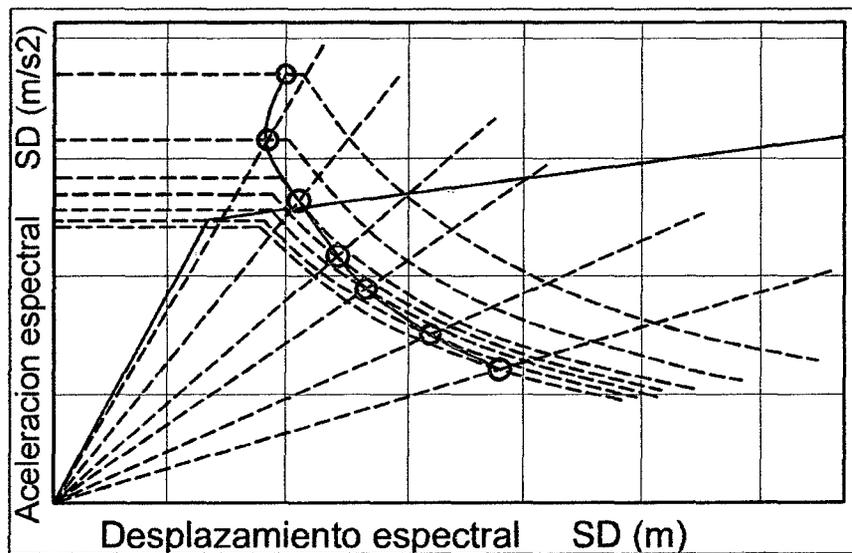


Figura 2.17 Intersección de líneas de período secante y espectros de demanda reducidos (Fernández, 2006)

- Finalmente, el punto de desempeño se obtiene por intersección del EDAV con el espectro de capacidad, como se aprecia en la Figura 2.18.

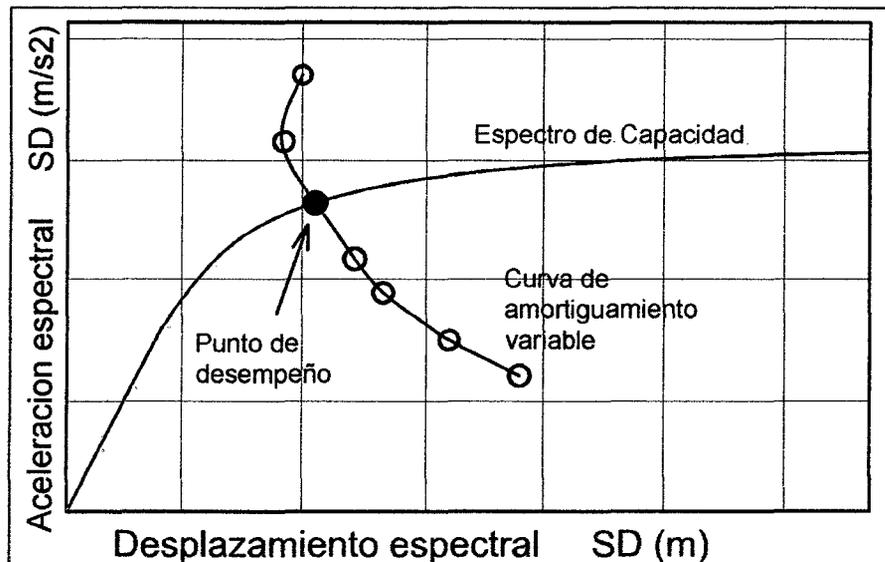


Figura 2.18 Intersección del Espectro de Capacidad y el EDAV (Fernández, 2006)

2.2.7. MÉTODOS PARA ESTIMAR EL PUNTO DE DESEMPEÑO

Una definición adecuada del punto de desempeño de una estructura es útil para el diseño de nuevas estructuras, para la rehabilitación de estructuras existentes y para el análisis de vulnerabilidad y daño sísmico. La identificación de este punto permite entender mejor el comportamiento de una estructura sometida a movimientos sísmicos de diferente intensidad y puede ser de gran ayuda para incrementar los niveles de seguridad a un bajo costo.

Durante los últimos años, ha habido un incremento considerable del uso del análisis estático no lineal como una herramienta para la evaluación de la resistencia y seguridad en el campo de la ingeniería sísmica. Este procedimiento se considera generalmente, más realista en la estimación de la vulnerabilidad que los procedimientos lineales ampliamente utilizados en los diferentes códigos o normativas de diseño (Kim y D'Amore, 1999). Una variedad de procedimientos de este tipo de análisis se están consolidando y han sido descritos en detalle en estudios tales como el ATC-40 y FEMA 273.

En este trabajo se describen tres de los principales métodos de análisis estático no lineal simplificados, utilizados para determinar el punto de desempeño (demanda de desplazamiento) de una estructura, estos son: el

Método del Espectro de Capacidad (MEC), el Método del Coeficiente de Desplazamiento (MCD) y el método N2 (MN2).

➤ **Método del espectro de Capacidad (MEC)**

El método del espectro de capacidad fue propuesto por Freeman (1975), como un método rápido para la evaluación del riesgo sísmico. Posteriormente fue utilizado para correlacionar movimientos sísmicos con las observaciones del desempeño de construcciones existentes (ATC, 1982). En la actualidad, el método constituye un procedimiento simple para determinar el punto de desempeño de una estructura cuando se ve sometida a movimientos sísmicos de diferente intensidad. Mediante un procedimiento gráfico, se compara la capacidad para resistir fuerzas laterales con la demanda sísmica, representada por medio de un espectro de respuesta reducido (Freeman, 1995). La representación gráfica hace posible una evaluación visual de cómo podría comportarse la estructura cuando se somete a un determinado movimiento sísmico.

La capacidad de la estructura se representa por medio de una curva que relaciona la fuerza lateral, cortante basal V , con el desplazamiento en la parte superior D . Esta curva se puede obtener mediante un análisis “pushover”. Para comparar directamente la demanda con la capacidad de la estructura, ambos parámetros se convierten a un grupo de coordenadas espectrales usando las características dinámicas del modo fundamental, que representa la estructura como un sistema de un solo Grado De Libertad (1 GDL.); a esta representación se le conoce con el nombre de espectro de capacidad. La demanda sísmica se representa por medio de un espectro inelástico en formato AD (S_a vs S_d), que considera la respuesta no lineal de la estructura. El espectro inelástico se obtiene a partir de la reducción del espectro elástico lineal, por medio de un amortiguamiento histerético equivalente (β_{eq}). Para determinar el punto de desempeño de la estructura se superponen los espectros de demanda y capacidad sísmica. Este punto debe cumplir con las siguientes condiciones:

- 1) Debe estar sobre el espectro de capacidad para representar a la estructura en un determinado desplazamiento; y.
- 2) Debe estar sobre el espectro de demanda (reducido a partir del espectro elástico) que representa la demanda no lineal en el mismo desplazamiento estructural.

En la mayoría de los casos, la determinación del punto de desempeño, requiere de un procedimiento iterativo de ensayo y error para satisfacer los dos criterios especificados. Sin embargo, actualmente existen algunos procedimientos que estandarizan y simplifican este proceso iterativo (ATC, 1996).

Método del coeficiente de desplazamientos (MCD)

El método del coeficiente de desplazamiento utiliza una versión modificada de la aproximación de desplazamientos iguales para estimar el punto de desempeño de una estructura mediante un procedimiento numérico directo. A diferencia del método del espectro de capacidad, éste no requiere convertir la curva de capacidad a coordenadas espectrales (S_a vs S_d). La aplicabilidad del método se limita a las estructuras regulares, que no presentan efectos de torsión adversos.

Método N2 (MN2)

El método N2 ha sido el resultado de un largo trabajo desarrollado por el grupo de investigación de la Universidad de Ljubljana en los últimos 15 años. Las bases de este procedimiento corresponden al modelo Q desarrollado por Saiidi y Sozen (1981). A partir de su primera versión, publicada en 1987, el método ha sido lentamente desarrollado hasta la presente versión, en la cual se utiliza el formato Aceleración-Desplazamiento (AD) y que combina las ventajas de la representación visual del método del espectro de capacidad (Freeman, 1998) con las bases físicas del espectro de demanda inelástico (Fajfar, 1999). De hecho, este nuevo formato constituye una variante del método del espectro de capacidad (MEC). Las características básicas del método son: el uso de dos modelos matemáticos separados, la aplicación del espectro de respuesta, el análisis estático no lineal (análisis “pushover”) y la elección de un modelo que considera el daño acumulado. Este

último aspecto se considera de gran importancia para el caso de estructuras existentes, las cuales frecuentemente no han sido construidas para resistencia sostenida a través de muchos ciclos de respuesta dentro del rango inelástico (Fajfar y Gaspersic, 1996). El método puede ser usado para la evaluación sísmica tanto de estructuras existentes como para el diseño de nuevas estructuras.

2.3. DEFINICION DE TERMINOS BASICOS

2.3.1. Capacidad

La fuerza final esperada (en la flexión, cortante, o la carga axial) de un componente estructural excluyendo los factores de reducción de uso común en el diseño de los elementos de hormigón. La capacidad usualmente se refiere a la fuerza en el punto de rendimiento del elemento o la curva de la capacidad de estructura. (ATC, 1996).

2.3.2. Demanda

Es la cantidad de fuerza o deformación impuesta en un elemento o componente. (FEMA 356, 2000)

2.3.3. Espectro de Capacidad

Es la gráfica de la aceleración espectral (SA) frente a la relación de desplazamiento espectral (SD) basado en la curva de capacidad. (FEMA 274, 1997).

2.3.4. Espectro de Demanda

Es el espectro de respuesta reducido utilizado para representar el movimiento del suelo en un sismo en el método de espectro de capacidad. (ATC 40, 1996).

2.3.5. Nivel de Desempeño

Estado limite los daños o condición descrita por el daño físico dentro del edificio, la amenaza a la seguridad de vida de los ocupantes debido a los daños del edificio, y del servicio post-terremoto del edificio.

El nivel de desempeño de un edificio es la combinación del nivel de desempeño estructural y el nivel de desempeño no estructural. (ATC-40, 1996).

2.3.6. Curva de Capacidad

Es la representación de la capacidad dada por la relación entre la fuerza cortante basal y el desplazamiento lateral del techo. La curva de capacidad es generalmente construida para representar la respuesta del primer modo basándose en la suposición de que éste sea el que predomina en la respuesta. (López, De Del Ruíz. 2008).

2.3.7. Punto de Desempeño

Es la intersección del espectro de capacidad con el apropiado espectro de demanda en el método del espectro de capacidad (el desplazamiento del punto de desempeño es equivalente al desplazamiento tope en el método de coeficiente) (ATC 40, 1996).

2.3.8. Análisis Pushover:

Un análisis estático incremental para determinar la relación fuerza – desplazamiento o la curva de capacidad, para una estructura o elemento estructural. El análisis consiste en aplicar cargas horizontalmente, en un patrón establecido, sobre un modelo computacional de la estructura, y graficar la fuerza cortante total aplicada y el desplazamiento lateral asociado a cada incremento, hasta que la estructura alcance una condición de estado límite o colapso (ATC-40, 1996).

CAPITULO III. MATERIALES Y METODOS

3.1. LOCALIZACIÓN

La presente investigación determinó el nivel de desempeño sísmico del Edificio Hospital Privado Jaén, ubicada en la intersección de las calles Capitán Quiñonez y Diego Palomino, Distrito de Jaén, Provincia de Jaén, Departamento de Cajamarca, Perú.

Las condiciones ambientales, climáticas y sísmicas del lugar son las siguientes:

DATUM	: WGS – 84
HUSO	: 19
ZONA	: M
Coordenadas UTM	: N: 9368371.25 E: 742595.05
Altitud sobre el nivel del Mar	: 729 m
Temperatura Ambiente	: 6 °C / 21 °C
Calificación Sísmica (RNC)	: Zona III

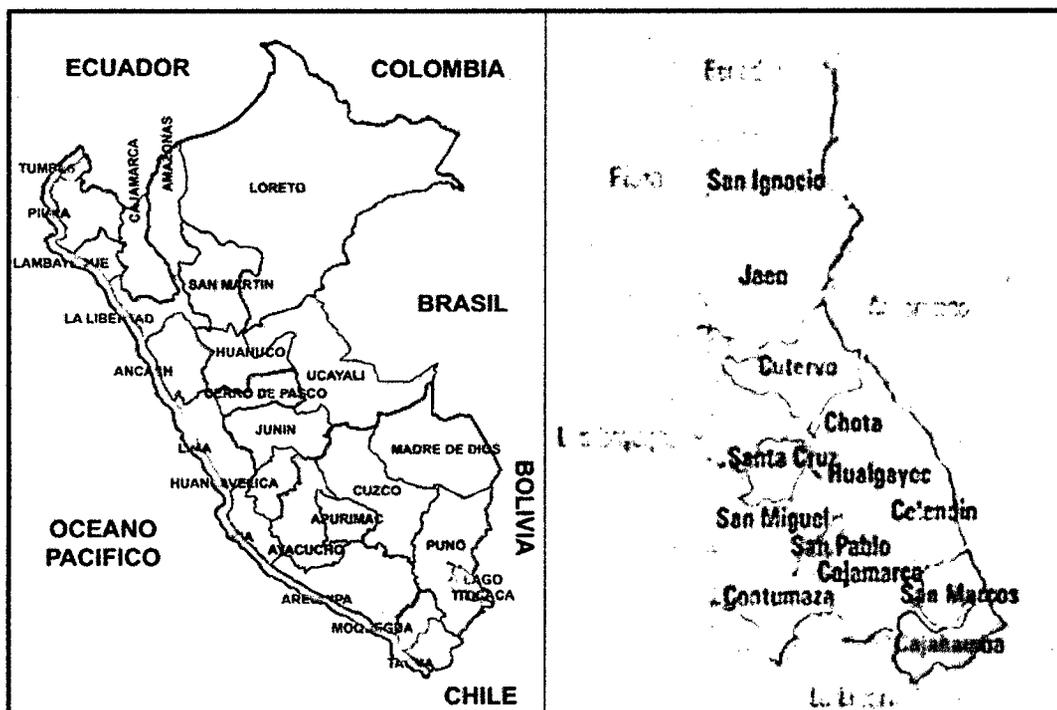


Figura 3.1. Ubicación departamental y Provincial de la investigación (fuente: proyecto edificio Hospital privado Jaén)

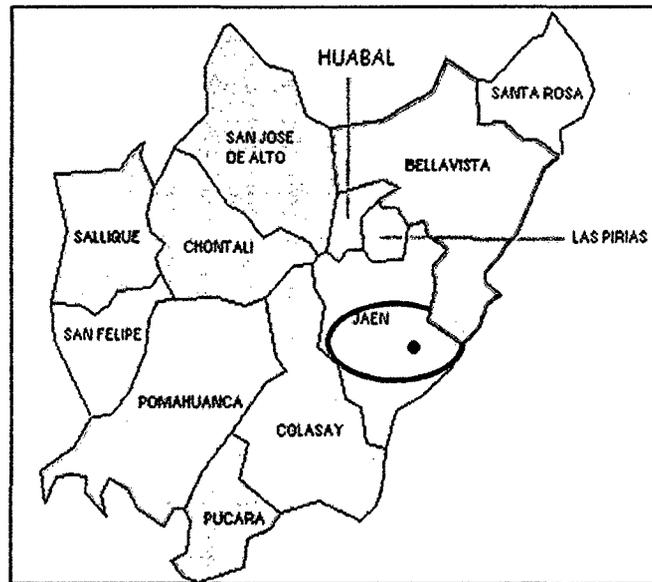


Figura 3.2. Ubicación distrital de la investigación (fuente: proyecto edificio Hospital privado Jaén)

La información necesaria para elaborar la presente investigación corresponde a los planos de construcción de la edificación, al cual se tiene acceso, especificaciones técnicas y características de materiales empleados, así como las características de la fundación.

Esta investigación utilizó como instrumento de procesamiento, simulación y análisis de la estructura, el software SAP2000 v14, para lo cual se necesita de los siguientes datos:

3.2. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

La estructura que se ha evaluado corresponde al edificio único del Hospital Privado Jaén, construida durante el año 2011. Es una estructura de cinco niveles, de tipo dual (pórticos y placas). Los entrepisos están constituidos por losas aligeradas armadas en dos direcciones y bloques de tecnoport. El techo de este edificio está formado por losa aligerada; además la conexión entre niveles es mediante escaleras de concreto armado en forma de “U” y un ascensor cuya caja de concreto armado.

Características de los Materiales:

Concreto Armado $E = 15\,100 \sqrt{f_c}$	$\gamma = 2,4 \text{ Ton/m}^3$
Acero (A615-G60) $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$	$\gamma = 7,85 \text{ ton/m}^3$
Mampostería (Solida)	$f'_m = 65 \text{ kg/cm}^2$ $\gamma = 1,8 \text{ ton/m}^3$

Acero Estructural (ASTM – A36) $F_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$ $\gamma = 7,86 \text{ ton/m}^3$ $E = 20000000 \text{ Kg/cm}^2$.

Resistencia a la Compresión de Vigas, columnas: $f'c = 210,0 \text{ Kg / cm}^2$.

Resistencia a la Compresión Placas: $f'c = 210,0 \text{ Kg / cm}^2$.

Resistencia a la Compresión en Escaleras: $f'c = 210,0 \text{ Kg / cm}^2$.

Resistencia a la Compresión en Columnas y vigas de confinamiento de tabiques:
 $f'c = 210,0 \text{ Kg / cm}^2$

Las características mencionadas anteriormente son consideradas en la definición de materiales en el programa SAP2000.

Otro de los parámetros que es considerado en la investigación es la determinación de la categoría de la estructura, se considera que la estructura es una edificación esencial y está en la categoría A, puesto que es un edificio de salud y debe permanecer en servicio antes, durante y después de un sismo o cualquier desastre.

3.3. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

En primer lugar se realiza una revisión del estado actual del conocimiento, como una fase exploratoria, en la cual se hace un minucioso análisis de la literatura existente, relacionada con los niveles de desempeño sísmico y su clasificación según el comité VISION 2000, determinación del punto de desempeño sísmico propuesto en ATC-40.

También se describe la metodología incorporada en los principales documentos que hacen referencia o rigen los procedimientos estático no lineales (nonlinear static procedure: NSP) también denominados análisis PUSHOVER.

En base a la información recopilada sobre la edificación en estudio (planos de construcción, materiales empleados, características de la fundación, etc) se procede a elaborar un modelo estructural (idealización) de la edificación, asistido por el software SAP2000 v14; teniendo en cuenta las características no lineales de los materiales para este tipo de análisis; además de considerar las cargas de servicio (carga muerta y carga viva) que actúan sobre la edificación.

La estructura se somete a un análisis pushover en la dirección longitudinal y transversal, previamente se definen rótulas plásticas discretas asignadas sobre los elementos tipo frame según las disposiciones del documento FEMA 356 (FEMA, 2000)

EL punto de desempeño sísmico de la edificación se determina de la intersección de las curvas de espectro de capacidad con el espectro de demanda, mediante el método de espectro capacidad – demanda.

El desempeño sísmico se determina clasificando el punto de desempeño calculado dentro de los rangos establecidos según los niveles de desempeño propuestos en el Comité VISON 2000 (SEAOC-1995).

3.3.1. Características no lineales de los materiales

Los principales materiales que intervienen en el análisis de la estructura son los correspondientes a concreto armado y al acero estructural (armaduras), y cuyas características no lineales están determinados por modelos de comportamiento inelástico referentes a sus curvas de esfuerzo – deformación, donde se puede apreciar el comportamiento de fluencia, a partir de la degradación de la rigidez, esfuerzo máximo hasta alcanzar su capacidad ultima (falla).

3.3.2. Curvas de Esfuerzo-Deformación de Materiales

Las curvas de esfuerzo- deformación para el concreto tanto confinado como sin confinar están determinados según el modelo de Mander, y las curvas correspondientes al acero de refuerzo y al acero estructural están dadas según consideraciones de las normas ASTM.

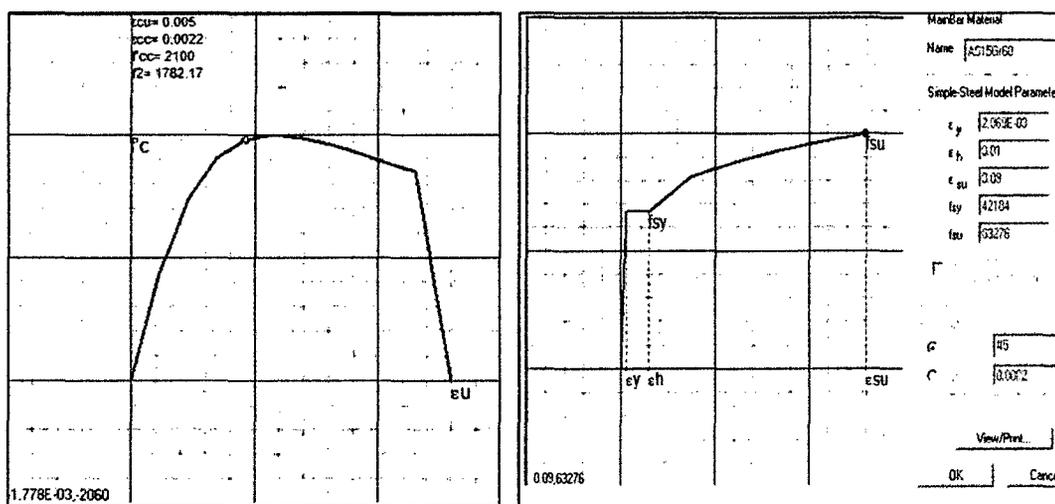


Figura 3.3. Curvas Esfuerzo-Deformación $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$. Acero de refuerzo ASTM615 Gr 60

3.3.3. Obtención del Espectro de Respuesta

Para la determinación del espectro de respuesta se usaron las fórmulas, factores y coeficientes de sitio de la Norma Técnica E-030 (Norma de Diseño Sismorresistente). A continuación se determina toda la información necesaria para elaborar el espectro de respuesta de la estructura para Jaén.

a. Factor de Zona (Z)

Ubicación de la estructura: Jaén

Zona: 3

Factor de Zona (Z): 0.4

b) Factor de Suelo (S)

Tipo de perfil del suelo: S3 (Suelos flexibles o con estratos de gran espesor).

TP (s): 0,9

Factor de suelo (S): 1.4

b. Factor de Amplificación Sísmica (C)

Este coeficiente se interpreta como el factor de amplificación de la respuesta estructural respecto de la aceleración en el suelo. El factor de amplificación sísmica será determinado usando la siguiente fórmula y aplicando los factores necesarios que anteriormente fueron hallados.

$$C = 2,5 \left(\frac{T_P}{T} \right), \quad (3.1)$$

$$C \leq 2,5$$

Donde:

T_P : Periodo que define la plataforma del espectro para cada tipo de suelo.

T : Periodo fundamental de la estructura para el análisis estático o periodo de un modo en el análisis dinámico.

C : Factor de amplificación sísmica.

c. Factor de Uso e Importancia (U)

Cada estructura debe ser clasificada de acuerdo con las categorías indicadas en la Tabla que se muestra. El coeficiente de uso e importancia (U), definido en la Tabla se usará según la clasificación que se haga. (Norma Técnica E-030)

Tabla 3.1. Factor de importancia

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A Edificaciones Esenciales	Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después que ocurra un sismo, como hospitales, centrales de comunicaciones, cuarteles de bomberos y policía, subestaciones eléctricas, reservorios de agua. Centros educativos y edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre. También se incluyen edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, como grandes hornos, depósitos de materiales inflamables o tóxicos.	1,50
B Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas como teatros, estadios, centros comerciales, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos, bibliotecas y archivos especiales. También se considerarán depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento	1,30
C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes, cuya falla ocasionaría pérdidas de cuantía intermedia como viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios, fugas de contaminantes, etc.	1,00
D Edificaciones Menores	Edificaciones cuyas fallas causan pérdidas de menor cuantía y normalmente la probabilidad de causar víctimas es baja, como cercos de menos de 1,50m de altura, depósitos temporales, pequeñas viviendas temporales y construcciones similares.	(*)

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones

De acuerdo con la Norma técnica E-030, la estructura en estudio corresponde a la categoría A.

Categoría: A

Factor de Uso e Importancia (U): 1,50

d. Coeficiente de reducción de Solicitaciones Sísmicas (R)

Los sistemas estructurales se clasifican según los materiales usados y el sistema de estructuración sismorresistente predominante en cada dirección tal como se indica en la Tabla 3.18 que se muestra a continuación.

Tabla 3.2. Factor de Reducción sísmica

SISTEMA ESTRUCTURAL	COEFICIENTE DE REDUCCIÓN (R)
Acero	
Pórticos dúctiles con uniones resistentes a momentos.	9,50
Otras estructuras de acero	
Arriostres Excéntricos.	6,50
Arriostres en Cruz.	6,00
Concreto Armado	
Pórticos.	8,00
Dual.	7,00
De muros estructurales	6,00
Muros de ductilidad limitada.	4,00
Albañilería Armada o Confinada	3,00
Madera (Por esfuerzos admisibles)	4,00

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones

Como la estructura en estudio es un edificio combinado, es decir un sistema dual, entonces el coeficiente R será:

Coeficiente de reducción de Solicitaciones Sísmicas (R): 7.00

e. Determinación de la Aceleración Espectral

El valor de la aceleración espectral se determinará usando la siguiente fórmula:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} \times g \quad (3.2)$$

3.3.4. Modelo de la estructura

Corresponde a la idealización del edificio, con respecto a sus elementos estructurales básicos: vigas, columnas, losas aligeradas y placas; mediante el software SAP2000 v14. Además de tener en cuenta las cargas actuantes sobre la estructura según el uso y categoría del edificio (cargas muertas y cargas vivas).

Las vigas, columnas y placas son generadas como elementos “frame”, se considera que la cimentación brinda características de empotramiento a la base del edificio.

Los elementos de características no estructurales como la tabiquería: muros de ladrillo arcilla, muros de ladrillo pandereta y muros “drywall” son transformados a carga muerta y distribuidos de manera uniforme a los elementos estructurales básicos correspondientes.

Todos los elementos “frame” han sido ingresados al software SAP2000 v14, mediante su módulo “Section designer”, el cual permite dibujar cualquier forma de sección, asignar el acero de refuerzo y los materiales correspondientes a concreto armado, según sus características no lineales. Se considera el confinamiento de las secciones de concreto armado según el modelo de Mander, el cual toma en cuenta tanto el refuerzo longitudinal como el transversal (estribos) y también su disposición. Esto permite obtener diagramas de esfuerzo - deformación para cada sección de concreto armado, donde se puede observar un aumento considerable, tanto de la resistencia como de la deformación unitaria con respecto al concreto no confinado.

Es necesaria la asignación de brazos rígidos en las intersecciones de los elementos “frame”, en especial las correspondientes a placas y vigas, puesto que influye en la rigidez global de la estructura.

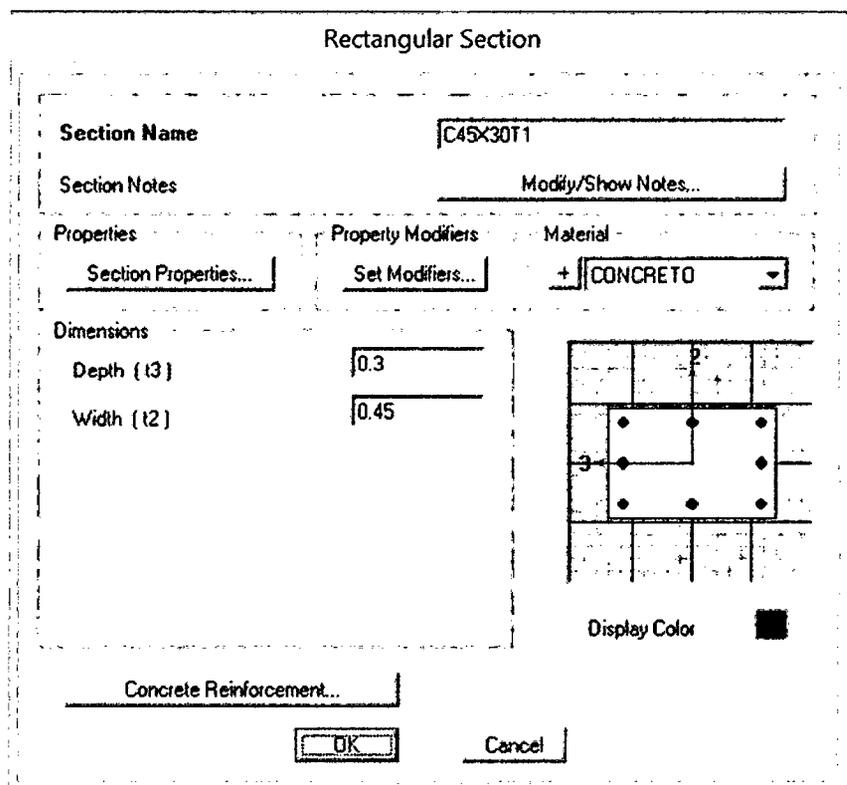


Figura 3.5. Definición de columnas y vigas en Sap2000 v14

3.3.5. Diagramas Momento-Curvatura y Momento-Giro

Los diagramas de momento-curvatura son generados en SAP2000 v14, mediante su módulo Section Designer, de acuerdo al tipo de sección dibujada bajo este asistente y provista de las características de los materiales constitutivos.

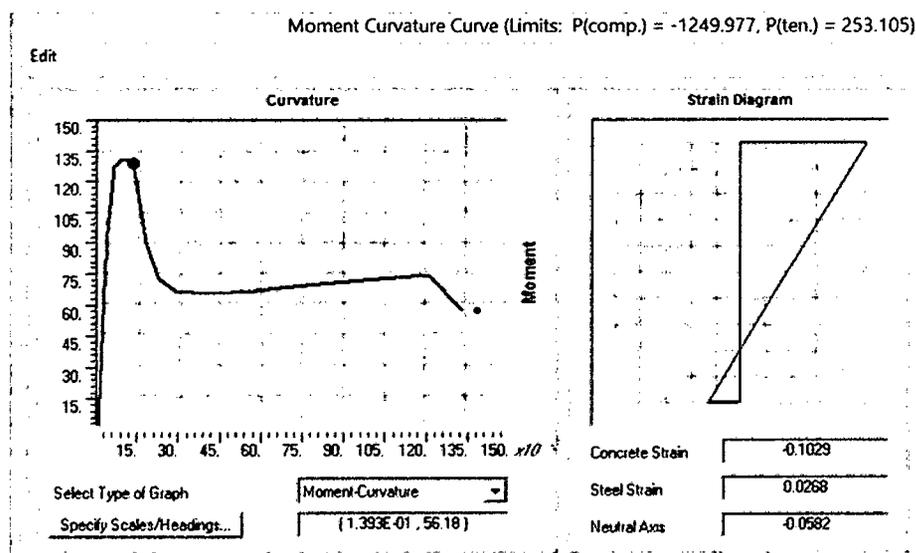


Figura 3.6. Diagrama de Momento-Curvatura generado mediante SAP2000.

3.3.6. Rotulas Plásticas

En SAP2000, la fluencia y post-fluencia puede ser modelada usando rótulas discretas definidas por el usuario, además permite insertar rótulas plásticas en un número ilimitado de posiciones a lo largo de la luz de elementos frame. Rótulas causadas por: momento no acoplado, torsión, axial y corte están disponibles.

También existe una rótula de fuerza axial y momento acoplados P-M2-M3, que se basa en la interacción de ambos esfuerzos en la ubicación donde es definida (CSI, 2011).

Cada rótula plástica es modelada como un punto discreto, todas las deformaciones plásticas, ya sea desplazamientos o rotaciones, ocurren en el punto donde fue asignada la articulación (CSI, 2011).

Las características de cada articulación plástica asignada, se define a través de curvas fuerza versus deformación generalizadas.

Los parámetros de modelación pueden representar relaciones carga-deformación o relaciones carga-razón de deformación. Esta razón de deformación se define como el cociente entre el desplazamiento horizontal experimentado por un elemento y su longitud. Típicamente la flexión se asocia con la deformación y el corte con la razón de deformación (Verdi, 2004)

El código FEMA 356 (FEMA, 2000) ha desarrollado procedimientos de modelado, criterios de aceptación y procedimientos para el análisis Pushover. Así mismo define criterios de fuerza-deformación para las articulaciones usadas en el análisis Pushover, se identifican los puntos A, B, C, D, y E que son usados para definir el comportamiento de deflexión de la articulación, además de tres puntos IO, LS y CP que son usados para definir los criterios de aceptación para la articulación.

(Los puntos IO, LS y CP significan Ocupación Inmediata, Seguridad de Vida y Prevención de Colapso respectivamente.), los valores de deformación que pertenecen a cada uno de estos puntos IO, LS, CP varían dependiendo del tipo de elemento estructural así como muchos otros parámetros definidos por FEMA-356. Para identificar las respuestas límites de Ocupación Inmediata (IO), Seguridad de Vida (LS) y

Prevención de Colapso (CP) en los gráficos de Fuerza - Deformación, se usará las mismas proporciones dadas en el ATC-40 y FEMA 356 que son las siguientes:

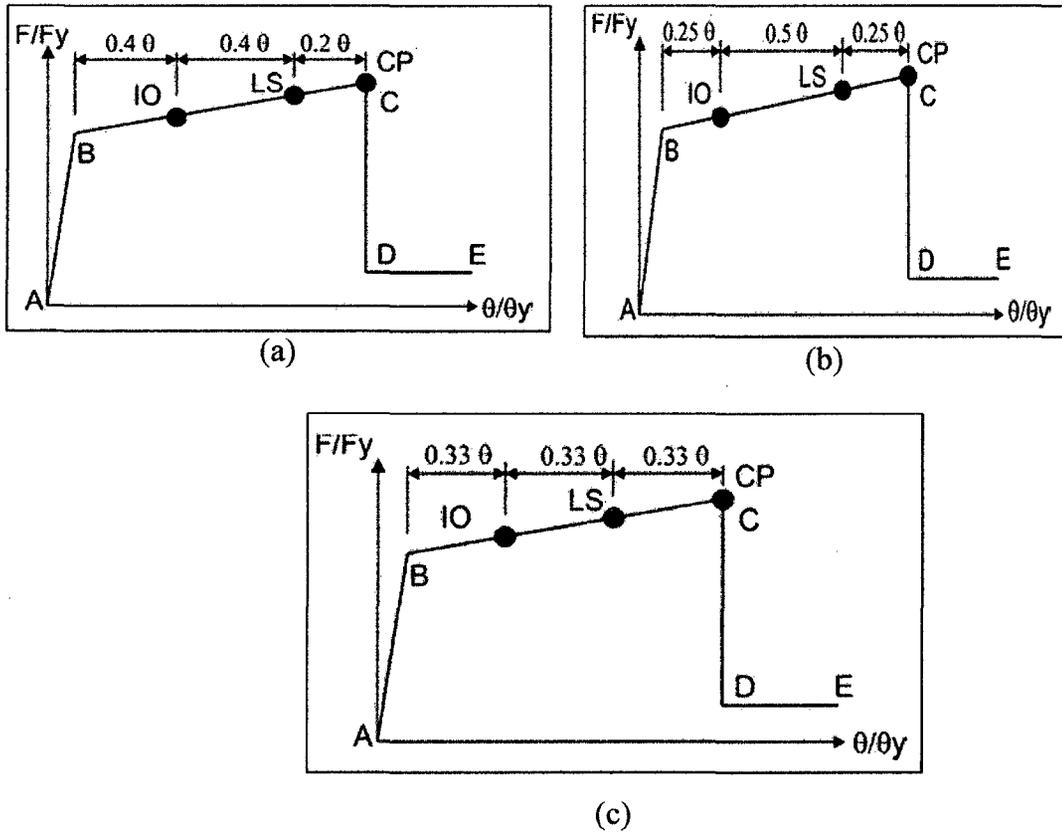


Figura 3.7. Identificación de respuestas límites en: (a) viga. (b) Columna. (c) en muro de concreto controlado por flexión (FEMA, 2000)

Rotulas Plásticas en Vigas

Se definen un solo tipo de articulación plástica, la que predomina a flexión (M_3), y son asignadas al principio y final de la luz de cada viga. Los valores de los parámetros numéricos A, B, C y D; y de aceptación IO, CP y LS, que definen la curva constitutiva de las rótulas plásticas por flexión son extraídos según los diagramas de Momento-giro que son normalizados según los valores de fluencia (M_y) de las secciones de cada elemento estructural.

Frame Hinge Property Data for FH1 - Moment M3

Edit

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Rotation/SF
D	-0.2	-0.025
C	-1.1	-0.015
B	-1	0
A	0	0
E	1	0
C	1.1	0.015
D	0.2	0.015
F	0.2	0.025

Symmetric

Type

Moment - Rotation

Moment - Curvature

Hinge Length

Positive Length

Hysteresis Type and Parameters

Hysteresis Type

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Load Carrying Capacity Beyond Point E

Drops To Zero

Is Extrapolated

Scaling for Moment and Rotation

Use Yield Moment Moment SF

Use Yield Rotation (Steel Objects Only) Rotation SF

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

	Positive	Negative
<input checked="" type="checkbox"/> Immediate Occupancy	<input type="text" value="3.000E-03"/>	<input type="text" value=""/>
<input checked="" type="checkbox"/> Life Safety	<input type="text" value="0.012"/>	<input type="text" value=""/>
<input checked="" type="checkbox"/> Collapse Prevention	<input type="text" value="0.015"/>	<input type="text" value=""/>

Show Acceptance Criteria on Plot

Figura 3.8. Generación de rotulas plásticas para Vigas (M3)

Rotulas Plásticas en Columnas

Se definen un solo tipo de articulación plástica, correspondiente a flexocompresión (P-M2-M3), debido a que los esfuerzos (carga axial y momentos) que actúan en estos elementos están relacionados mediante sus correspondientes curvas de interacción. Estas rotulas son asignadas al principio y final de la luz de cada columna.

Los valores de los parámetros numéricos A, B, C y D; y de aceptación IO, CP y LS, que definen la curva constitutiva de las rótulas plásticas por flexo-compresión son extraídos según los diagramas de Momento-giro que son normalizados según los valores de fluencia (M_y) de las secciones de cada elemento estructural. Además se debe tener en cuenta que las cargas axiales consideradas para la generación de estas rotulas plásticas provienen de las cargas de servicio.

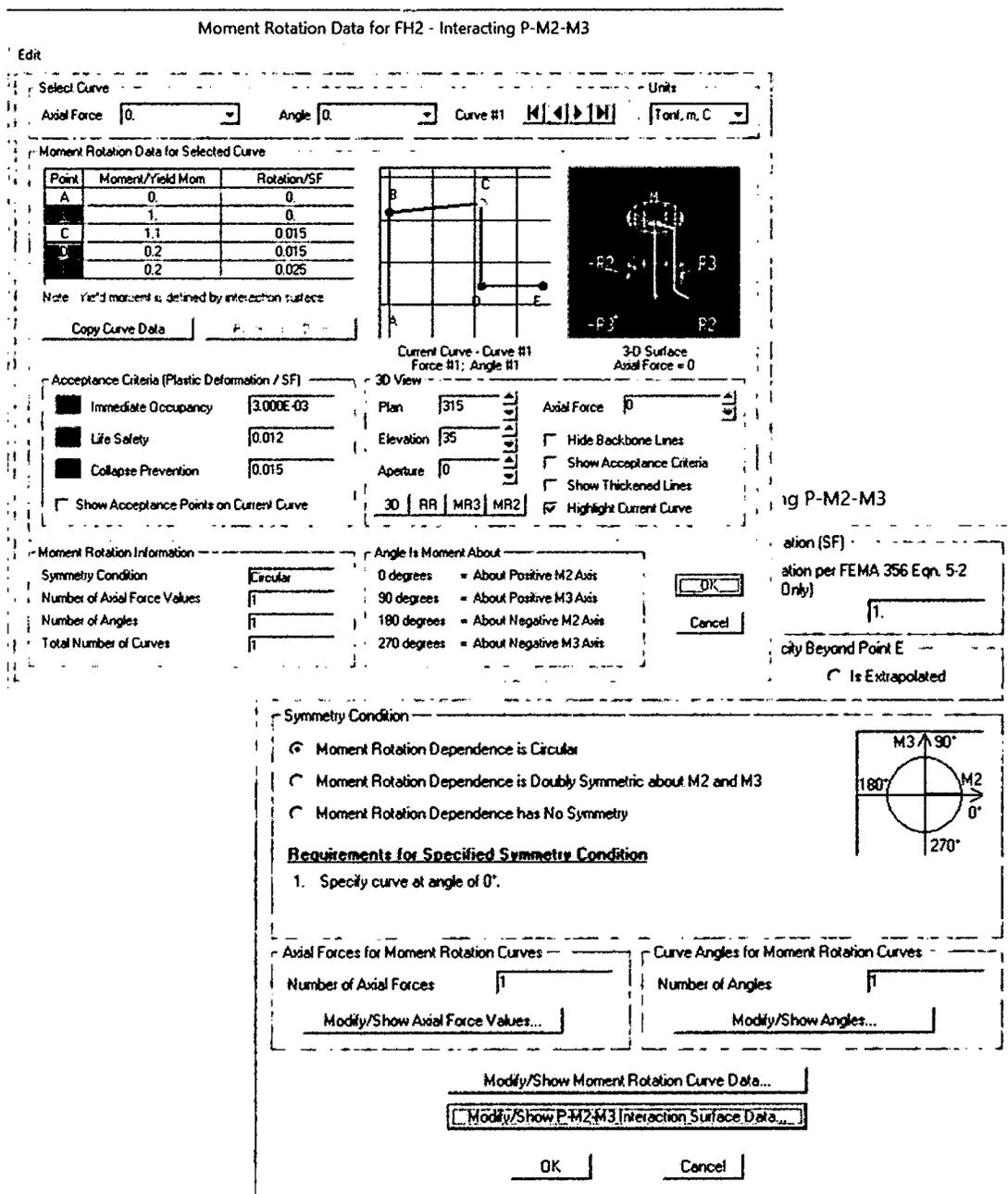


Figura 3.9. Generación de rotulas plásticas para columnas (P-M2-M3)

3.4. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

La estructura se ha sometido a un análisis estático no lineal o también llamado Pushover, haciendo el uso del programa estructural Sap2000. El modelamiento de la estructura y sus elementos que lo componen.

3.4.1. Análisis Pushover.

El análisis estático no lineal (Pushover) puede ser utilizado para una amplia variedad de propósitos, tales como analizar una estructura a partir de un material o geometría no lineal, para estudiar una construcción según sus etapas, o para realizar un análisis de cargas incrementales PUSHOVER (CSI, 2011).

SAP2000 permite aplicar tres tipos de solicitaciones monotónicas; a partir de un estado de carga estático (previamente definido), un patrón modal (dependiente del análisis dinámico de la estructura estudiada) o un patrón de aceleraciones (CSI, 2011).

El análisis estático no lineal se realiza para un desplazamiento controlado en la dirección del primer modo fundamental hasta alcanzar el colapso, donde se aprecia el mecanismo de progresión de las rotulas plásticas; obteniéndose así la curva de capacidad estructural de la edificación como una función de la Carga lateral y el desplazamiento.

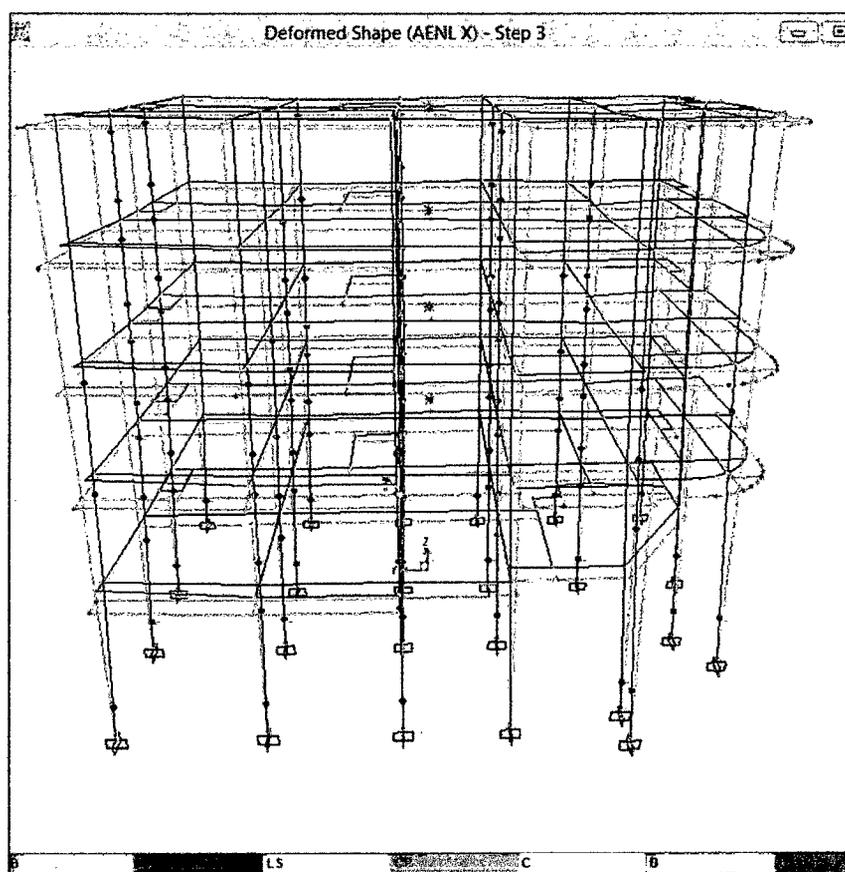


Figura 3.10. Análisis Pushover

Combinaciones de Carga.

Cargas Gravitacionales

A modo de obtener una valoración más realista del desempeño de las estructuras bajo cargas monotónicamente crecientes, se considera el efecto de las cargas gravitacionales.

El análisis para las cargas de gravedad, contempla que durante la acción de un sismo actúa una carga de servicio que se puede definir como: la totalidad de la carga muerta más un porcentaje de carga viva que puede variar entre 25% y 50% normalmente:

$$\text{Carga de Servicio} = \text{Carga Muerta} + K\% \text{ Carga Viva} \dots\dots\dots 3.3$$

En el caso de esta investigación, la edificación dentro de la categoría esencial, por lo que se elegirá el 50% de la carga viva.

Así entonces la combinación previamente descrita se utiliza para definir un estado de carga estático no lineal de la cual sólo interesa su etapa final. El estado estructural provocado por la combinación de cargas gravitacionales descrita por la ecuación (3.3) sirve como condición inicial del estado de carga estático no lineal monotónicamente creciente que se define en los siguientes puntos.

Patrón de cargas aplicado

El patrón de cargas aplicado sobre el edificio es del tipo triangular, es decir, cargas puntuales que solicitan los nodos de cada pórtico en la dirección correspondiente. La elección de este patrón se sustenta sobre la base que las estructuras de periodos cortos (periodos cercanos a un segundo) tienden a deformarse ante sollicitaciones dinámicas bajo el modo fundamental, de este modo un patrón de cargas triangular es una aproximación de éste.

3.4.2. Niveles Sísmicos

En la evaluación del desempeño del edificio en estudio, el peligro sísmico se representa por espectros de demanda para cada uno de los niveles de sismicidad.

Para construir estos espectros de demanda es necesario identificar primero la aceleración máxima en cada nivel de peligro. De acuerdo a los estudios de peligro esta aceleración en roca sería la mostrada en la Tabla 3.3

Tabla 3.3. Sismos de diseño y su aceleración asociada

Sismo de Diseño		Aceleración asociada para la costa del Perú (g)
Sismos Frecuentes	SF	0,2
Sismos Ocasionales	SO	0,25
Sismos Raros	SR	0,4
Sismos muy Raros	SM	0,5

Fuente: Ingeniería Antisísmica. Muñoz, 1999

Para la construcción de los espectros de demanda se usaron espectros de aceleración cuya forma se tomó de la propuesta del International Building Code IBC (Figura 3.10) (ICC, 2000), la misma que corresponde a terremotos de subducción.

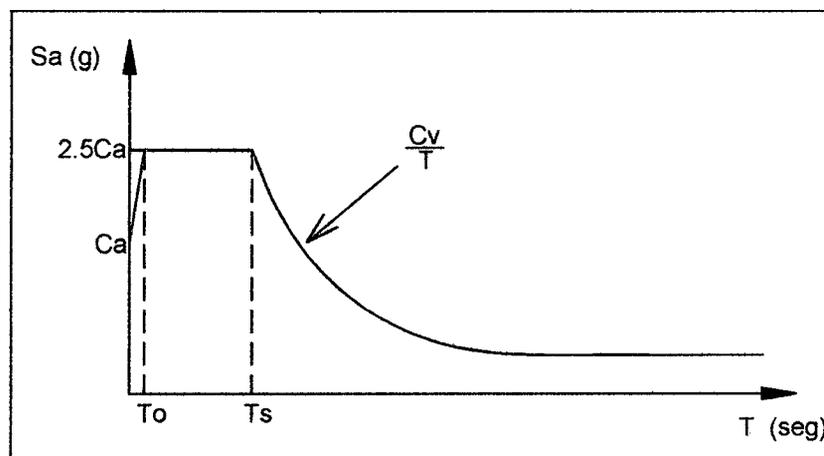


Figura 3.11. Espectro del IBC

En el espectro esquemático del IBC (ICC, 2000), los términos independientes son C_a y C_v y los periodos singulares (T_o y T_s), los cuales satisfacen las siguientes relaciones:

$$T_s = \frac{C_v}{2,5C_a} \quad T_o = 0,2T_s \quad (3.4)$$

El espectro base de la Norma Peruana corresponde a un evento de 500 años de periodo de retorno que para la costa peruana y en suelo bueno tiene una aceleración pico asociada de 0.4g. El factor de amplificación de la Norma Peruana (RNE, 2006) es 2.5 y el fin de la plataforma corresponde a 0.4 segundos. La Figura 3.11 muestra el espectro elástico de la Norma Peruana E.030 de Diseño Sismorresistente.

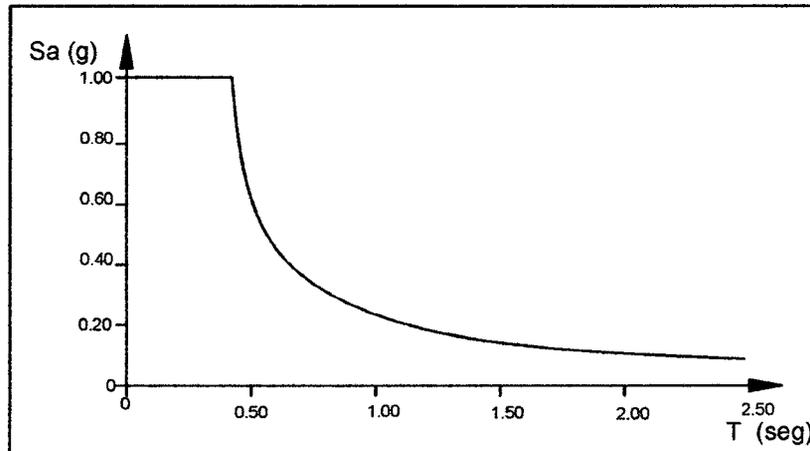


Figura 3.12. Espectro elástico de la Norma Peruana

La Tabla 3.4 presenta los valores de C_a y C_v encontrados para cada uno de los sismos.

Tabla 3.4. Equivalencias de la Norma Peruana con la propuesta del IBC

Sismo de Diseño		Aceleración asociada para la costa del Perú (g)	C_v	C_a
Sismos Frecuentes	SF	0,2	0,2	0,2
Sismos Ocasionales	SO	0,25	0,25	0,25
Sismos Raros	SR	0,4	0,4	0,4
Sismos muy Raros	SM	0,5	0,5	0,5

Fuente: Ingeniería Antisísmica. Muñoz, 1999.

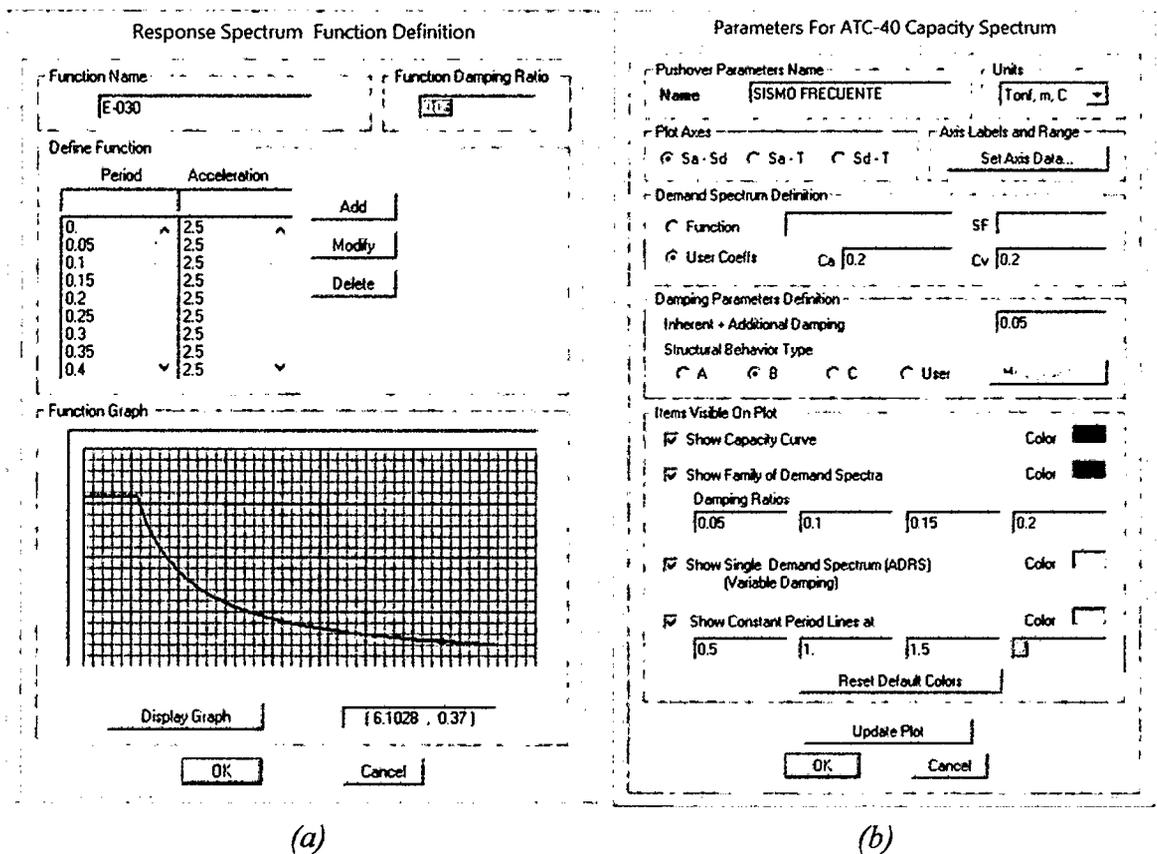


Figura 3.13. Definición de los sismos de diseño: espectro Norma E-030(izquierda) y sismos de diseño según IBC(derecha)

El análisis estático no lineal o Pushover consiste en un tipo de investigación descriptiva que describe las características físicas de una estructura ante un determinado tipo de sismo.

3.4.3. Presentación de resultados

El tramo inelástico de la curva de capacidad se divide en cuatro sectores definidos por fracciones de Δp las cuales se asocia un nivel de desempeño. Este criterio de evaluación, propuesto por el comité VISION 2000 del SEAOC propone que para cada nivel de desempeño le corresponde un rango de desplazamiento en el techo de la estructura. En la tabla 3.5 se detallan los rangos de desplazamientos calculados con la curva de capacidad y su sectorización respectiva.

Tabla 3.5. Rango de desplazamientos en cada nivel de desempeño

NIVEL DE DESEMPEÑO	RANGO DE DESPLAZAMIENTO	
	Límite Inferior	Límite Superior
Operacional	0	ΔFE
Funcional	ΔFE	$\Delta FE + 0.3\Delta p$
Seguridad	$\Delta FE + 0.3\Delta p$	$\Delta FE + 0.6\Delta p$
Cerca al colapso	$\Delta FE + 0.6\Delta p$	$\Delta FE + 0.8\Delta p$
colapso	$\Delta FE + 0.8\Delta p$	$\Delta FE + \Delta p$

ΔFE : Desplazamiento correspondiente al punto de Fluencia Efectiva

Es el desplazamiento en el rango inelástico de la estructura

Δp : Rango Plástico

El nivel de desempeño se ha determinado y comparado con la tabla 3.6 en la cual se indica el objetivo del nivel de desempeño esperado para una estructura ante un determinado tipo de sismo.

Tabla 3.6. Nivel de desempeño de la estructura

Movimiento sísmico de diseño	Nivel de desempeño de la estructura			
	Totalmente Operacional	Operacional	Seguridad	Próximo al colapso
Frecuente (43 años)	1	0	0	0
Ocasional (72 años)	2	1		0
Raro (475 años)	3	2	1	0
Muy Raro (970 años)	-	3	2	1

0. Desempeño inaceptable

1. Estructuras básicas

2. Estructuras Esenciales / riesgosas

3. Estructuras de seguridad crítica.

Fuente: SEAOC Vision 2000 Committee, 1995

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. METRADO DE CARGAS DE LA ESTRUCTURA

Las cargas consideradas consisten en Carga muerta y carga viva o sobrecarga según la norma E-020 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Se ha determinado cargas distribuidas lineales por metro de longitud, asignada en cada viga tanto principal como secundaria. A continuación se presenta un resumen de cargas distribuidas que se han asignado a cada todas las vigas.

RESUMEN DE CARGAS

CARGAS MUERTAS

VIGAS PRINCIPALES

Primer piso

Tabla 4.1. Resumen de cargas muertas en vigas principales del primer piso

	Losa Aligerada	Piso terminado	Muros	Vigas de amarre	Total
EJE	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)
1 - 1	0,65	0,24	1,45	0,07	2,42
2 - 2	1,24	0,45	0,87	-	2,56
3 - 3	1,04	0,38	0,87	0,10	2,39
4 - 4	0,63	0,35	0,87	0,07	1,92
5 - 5	1,04	0,32	-	0,07	1,42
6 - 6	0,37	0,14	-	-	0,50
7 - 7	0,54	0,20	0,87	0,10	1,71

Segundo piso

Tabla 4.2. Resumen de cargas muertas en vigas principales del segundo piso

	Losa Aligerada	Piso terminado	Muros	Vigas de amarre	Total
EJE	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)
1 - 1	0,65	0,24	0,85	0,07	1,82
2 - 2	1,24	0,45	0,85	-	2,54
3 - 3	1,04	0,38	0,85	0,10	2,37
4 - 4	0,93	0,35	0,85	-	2,14

5 - 5	0,84	0,31	-	-	1,15
6 - 6	0,82	0,20	-	-	1,02
7 - 7	0,54	0,07	-	0,10	0,70

Tercer piso

Tabla 4.3. Resumen de cargas muertas en vigas principales del tercer piso

	Losa Aligerada	Piso terminado	Muros	Vigas de amarre	Total
EJE	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)
1 - 1	0,65	0,24	0,85	0,07	1,82
2 - 2	1,24	0,45	0,85	-	2,54
3 - 3	1,04	0,38	0,85	0,10	2,37
4 - 4	0,93	0,35	0,85	-	2,13
5 - 5	0,84	0,31	-	-	1,15
6 - 6	0,50	0,20	-	-	0,70
7 - 7	0,54	0,07	-	0,10	0,70

Cuarto piso

Tabla 4.4. Resumen de cargas muertas en vigas principales del cuarto piso

	Losa Aligerada	Piso terminado	Muros	Vigas de amarre	Total
EJE	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)
1 - 1	0,65	0,24	0,85	0,07	1,82
2 - 2	1,24	0,45	0,85	-	2,54
3 - 3	1,04	0,38	0,85	0,10	2,37
4 - 4	0,93	0,35	0,85	-	2,13
5 - 5	0,84	0,31	-	-	1,15
6 - 6	0,50	0,20	-	-	0,70
7 - 7	0,54	0,07	-	0,10	0,70

Quinto piso

Tabla 4.5. Resumen de cargas muertas en vigas principales del quinto piso

	Losa Aligerada	Piso terminado	Muros	Vigas de amarre	Total
EJE	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)
1 - 1	0,65	0,24	0,32	0,07	1,29
2 - 2	1,24	0,45	0,32	-	2,01
3 - 3	1,04	0,38	-	0,10	1,52

4 - 4	0,93	0,35	-	-	1,28
5 - 5	0,84	0,31	-	-	1,15
6 - 6	0,50	0,20	-	-	0,70
7 - 7	0,54	0,07	-	0,10	0,70

VIGAS SECUNDARIAS

Primer piso

Tabla 4.6. Resumen de cargas muertas en vigas secundarias del primer piso

EJE	Losa Aligerada Piso terminado		Muros	Vigas de amarre	Total
	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)
A - A	0,68	0,24	0,87	-	1,79
B - B	0,55	-	1,45	-	2,00
E - E	1,19	0,43	-	0,07	1,69
F - F	1,35	0,49	-	-	1,84
G - G	0,84	0,30	0,87	0,19	2,20

Segundo piso

Tabla 4.7. Resumen de cargas muertas en vigas secundarias del segundo piso

EJE	Losa Aligerada	Piso terminado	Muros	Vigas de amarre	Total
	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)
A - A	0,77	0,28	0,85	-	1,89
B - B	0,98	-	-	-	0,98
E - E	1,19	0,23	0,85	0,07	2,34
F - F	1,35	0,49	-	-	1,84
G - G	0,84	0,30	0,85	0,19	2,18

Tercer piso

Tabla 4.8. Resumen de cargas muertas en vigas secundarias del tercer piso

EJE	Losa Aligerada	Piso terminado	Muros	Vigas de amarre	Total
	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)
A - A	0,76	0,29	0,85	-	1,91
B - B	0,98	-	-	-	0,98
E - E	1,18	0,41	0,85	0,07	2,52

F - F	1,35	0,47	0,85	-	2,67
G - G	0,84	0,30	0,85	0,19	2,18

Cuarto piso

Tabla 4.9. Resumen de cargas muertas en vigas secundarias del cuarto piso

	Losa Aligerada	Piso terminado	Muros	Vigas de amarre	Total
EJE	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)
A - A	0,76	0,29	0,85	-	1,91
B - B	0,98	-	-	-	0,98
E - E	1,18	0,41	0,85	0,07	2,52
F - F	1,35	0,47	0,85	-	2,67
G - G	0,84	0,30	0,85	0,19	2,18

Quinto piso

Tabla 4.10. Resumen de cargas muertas en vigas secundarias del quinto piso

	Losa Aligerada	Piso terminado	Muros	Vigas de amarre	Total
EJE	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)	Carga (Tn/m)
A - A	0,76	0,29	0,32	-	1,38
B - B	0,98	-	-	-	0,98
E - E	1,18	0,41	-	0,07	1,67
F - F	1,35	0,47	-	-	1,81
G - G	0,84	0,30	0,32	0,19	1,65

CARGAS VIVAS

Tabla 4.11. Resumen de cargas vivas en el primer, segundo y tercer piso

Primer piso		Segundo piso		Tercer piso	
EJE	CARGA (Tn/m)	EJE	CARGA (Tn/m)	EJE	CARGA (Tn/m)
1 - 1	0,70	1 - 1	0,70	1 - 1	0,70
2 - 2	1,48	2 - 2	1,97	2 - 2	1,48
3 - 3	1,43	3 - 3	1,45	3 - 3	1,45
4 - 4	1,10	4 - 4	1,44	4 - 4	1,47
5 - 5	0,96	5 - 5	1,00	5 - 5	0,80

6 - 6	0,95	6 - 6	0,81	6 - 6	0,81
7 - 7	0,54	7 - 7	0,61	7 - 7	1,10

Tabla 4.12. Resumen de cargas vivas en el cuarto y quinto piso

Cuarto piso		Quinto piso	
EJE	CARGA (Tn/m)	EJE	CARGA (Tn/m)
1 - 1	0,70	1 - 1	0,24
2 - 2	1,48	2 - 2	0,45
3 - 3	1,45	3 - 3	0,38
4 - 4	1,47	4 - 4	0,35
5 - 5	0,80	5 - 5	0,31
6 - 6	0,81	6 - 6	0,20
7 - 7	1,10	7 - 7	0,07

VIGAS SECUNDARIAS

Tabla 4.13. Resumen de cargas vivas en el primer, segundo y tercer piso.

Primer piso		Segundo piso		Tercer piso	
EJE	CARGA (Tn/m)	EJE	CARGA (Tn/m)	EJE	CARGA (Tn/m)
A - A	0,81	A - A	0,79	A - A	0,79
B - B	0,73	B - B	1,05	B - B	1,25
E - E	1,45	E - E	1,47	E - E	1,47
F - F	1,86	F - F	1,86	F - F	1,86
G - G	1,18	G - G	1,18	G - G	1,18

Tabla 4.14. Resumen de cargas vivas secundarias en el cuarto y quinto piso.

Cuarto piso		Quinto piso	
EJE	CARGA (Tn/m)	EJE	CARGA (Tn/m)
A - A	0,79	A - A	0,29
B - B	1,25	B - B	0,37
E - E	1,47	E - E	0,43
F - F	1,86	F - F	0,32
G - G	1,18	G - G	0,20

PESO TOTAL Y PESO POR SISMO

$$P_t = CM + CV$$

$$P_s = CM + 50\%CV$$

Tabla 4.15. Resumen de cargas

NIVEL	CARGA MUERTA (Ton)	CARGA VIVA (Ton)	PESO POR GRAVEDAD	PESO POR SISMO
1	224,87	94,68	319,54	248,54
2	200,78	108,12	308,89	227,81
3	212,46	103,84	316,30	238,42
4	212,01	103,84	315,86	237,97
5	171,72	27,42	199,14	178,57
TOTAL	1 021,83	437,91	1 459,73	1 131,30

RESUMEN DE INERCIAS POR PISO

Primer piso

$$I_x = 9935,11 \text{ m}^4$$

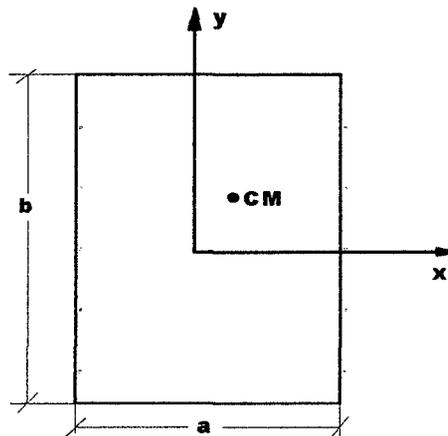
$$I_y = 4100,52 \text{ m}^4$$

Segundo, tercero, cuarto, quinto

$$I_x = 12497,24 \text{ m}^4$$

$$I_y = 4554,73 \text{ m}^4$$

MASAS



TRASLACIONAL

ROTACIONAL

$$M_{RZ} = \frac{Mt(I_x + I_y)}{A} \text{ (t. s}^2 \cdot \text{m)}$$

Tabla 4.16. Masa traslacional y masa rotacional

NIVEL	PESO /SISMO	Ix m ⁴	Iy m ⁴	TRASLACIONAL	ROTACIONAL
	Ton			(ton.s ² /m)	(ton.s ² /m)
1	248,54	9 935,11	4 100,52	25,34	1 147,22
2	227,81	12 497,24	4 554,73	23,22	1 277,51
3	238,42	12 497,24	4 554,73	24,30	1 337,01
4	237,97	12 497,24	4 554,73	24,26	1 334,53
5	178,57	12 497,24	4 554,73	18,20	1 001,42
azotea	128,57	12 497,24	4 554,73	13,11	721,03

4.2. PROCESAMIENTO MODAL DE LA ESTRUCTURA

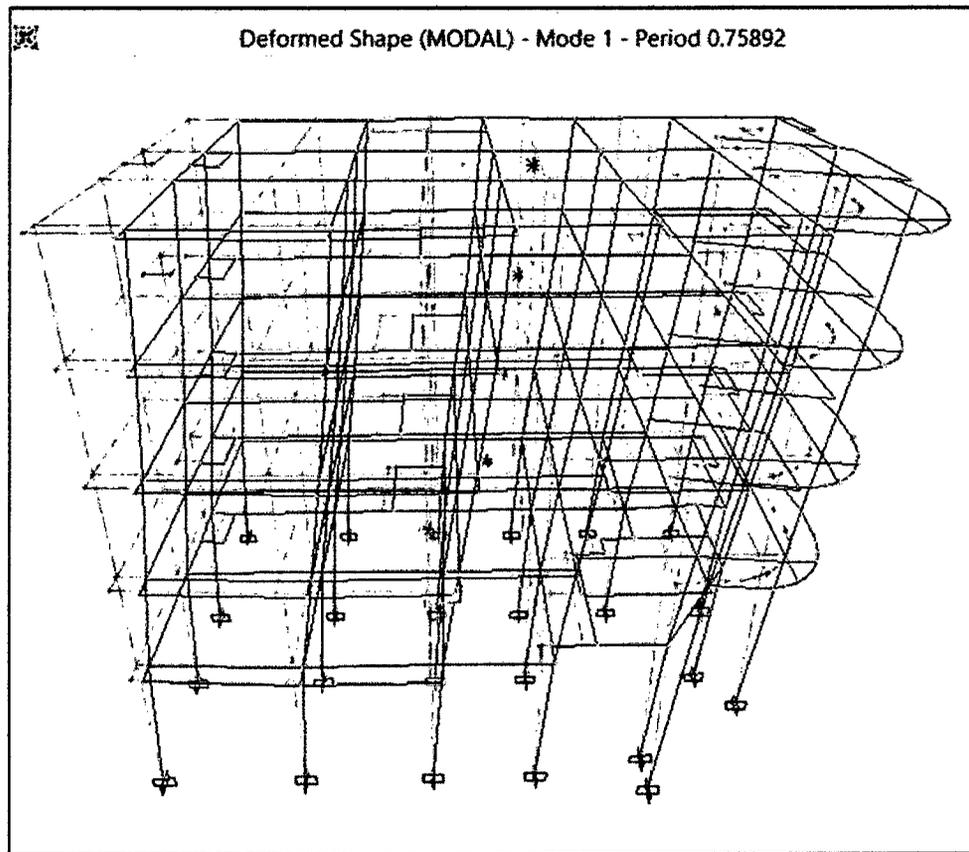


Figura 4.1. Modo Fundamental de Vibración (Dirección en el eje Y)

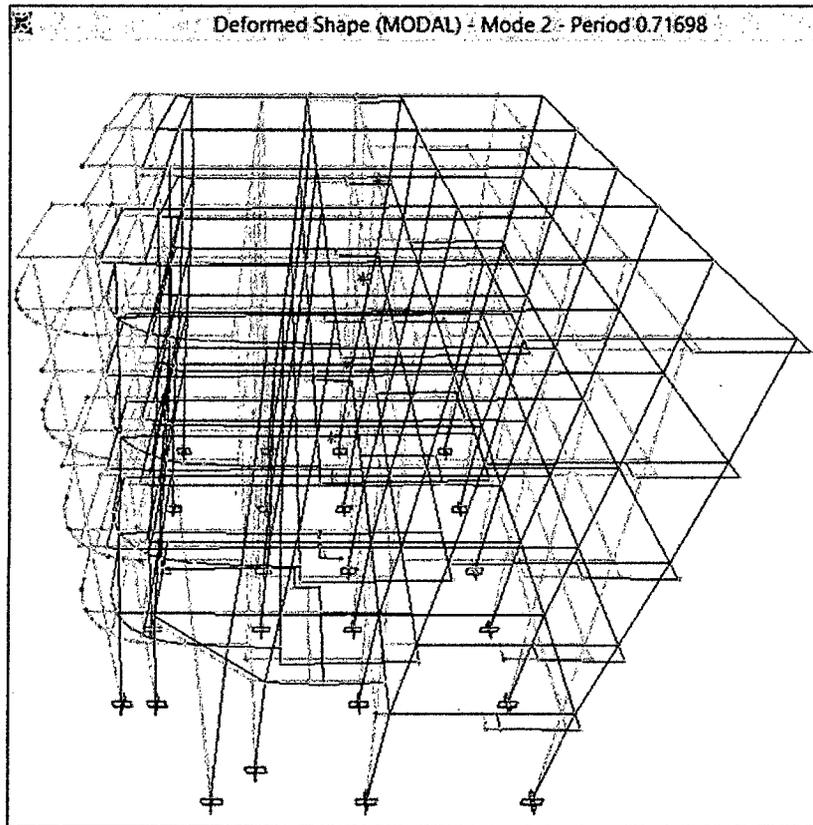


Figura 4.2. Modo de Vibración 2 (dirección eje X)

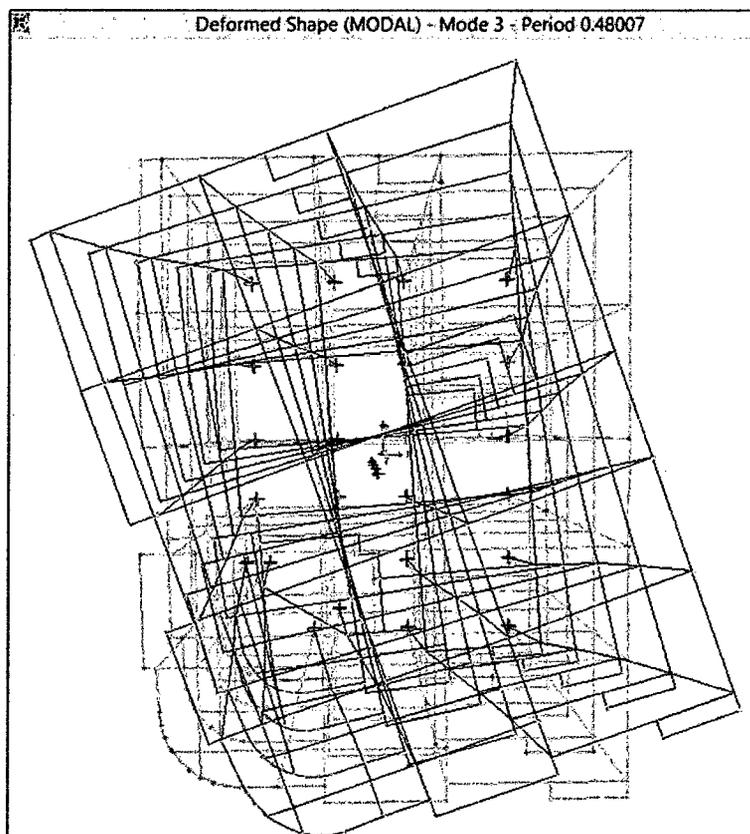


Figura 4.3. Modo de Vibración 3 (torsión)

4.3. CURVAS DE CAPACIDAD DE LA ESTRUCTURA

Se obtuvieron dos curvas de capacidad representativas, una para cada sentido del sismo, ya que se realizó el análisis de la estructura aplicando el sismo tanto en dirección del eje X, como en la dirección del eje Y. Para llevar a cabo el análisis estático no lineal se definieron los siguientes casos o combinaciones de carga:

a. Combinación de Carga Gravitacional

Para esto se usó una de las combinaciones de carga propuestas por la Norma Técnica E-020, que es la combinación que produzca los efectos más desfavorables. Para el caso en estudio el caso más desfavorable es cuando se suma la carga muerta con la carga viva, por lo que esta combinación de carga será la que se usará para realizar el análisis estático no lineal:

$$CCG = CM + CV$$

b. Casos de Carga No Lineal

Estos casos de carga hacen referencia a la acción sísmica representada por el espectro de respuesta calculado en el ítem 3.3.3. Para nuestro caso se determinaron dos casos de carga no lineal, uno para la dirección X y otra para la dirección Y.

4.3.1. Fuerza Cortante en la Base del Edificio

La norma peruana especifica que para cada una de las direcciones consideradas para un análisis dinámico (X y Y), la fuerza cortante en la base del edificio deberá ser mayor o igual que el 80% (en edificios regulares) de la misma fuerza calculada a través de un análisis estático. En caso contrario se deberán incrementar los resultados del análisis dinámico por medio de un factor de escala.

El peso de la edificación se calcula teniendo en cuenta, el peso propio y el 50% de la carga viva, debido a que se trata de una edificación de categoría A (esencial).

La determinación del cortante basal de la edificación para el caso estático, está dada según la norma sismorresistente E-030, por la siguiente expresión:

$$V = \frac{ZUCS}{R} \cdot P \dots\dots\dots 3.1$$

Tabla 4.17. Parámetros del Espectro según Norma E-030

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALORES
Z	Factor de zona (Zona 3)	0,40
U	Factor de uso (Edificación esencial)	1,50
S	Factor de suelo (Suelo flexible)	1,40
Tp	Factor de suelo (Suelo flexible)	0,90
C_t	Coficiente para estimar el periodo fundamental	60
h_n	Altura de la edificación (m)	16,87
T	Periodo fundamental de la estructura (seg)	0,28
R_x = R_y	Coficiente de reducción de la fuerza sísmica	5,25
C calculado	Coficiente de amplificación sísmica calculado	8,00
C asumido	Coficiente de amplificación sísmica asumido	2,50
g	Aceleración de la gravedad (m/s ²)	9,81
<hr/>		
P	Peso total de la estructura	1 415,21
V	Cortante en la Base	566,08

Con la información necesaria, anteriormente determinada, se procedió a calcular los valores de los factores de amplificación sísmica para cada periodo T y luego el valor de la aceleración espectral, para así poder hallar el espectro de aceleraciones que se ingresará en el modelo estructural realizado en el SAP2000 para realizar el análisis estático no lineal.

Tabla 4.18. Valores de la aceleración espectral y de los coeficientes de amplificación

T (seg)	C	Sa (m/s ²)	T (seg)	C	Sa (m/s ²)	T (seg)	C	Sa (m/s ²)
0,00	2,50	3,924	3,90	0,59	0,929	7,80	0,29	0,459
0,10	2,50	3,924	4,00	0,58	0,906	7,90	0,29	0,453
0,20	2,50	3,924	4,10	0,56	0,883	8,00	0,28	0,447
0,30	2,50	3,924	4,20	0,55	0,861	8,10	0,28	0,441
0,40	2,50	3,924	4,30	0,54	0,841	8,20	0,28	0,436
0,50	2,50	3,924	4,40	0,52	0,821	8,30	0,27	0,431
0,60	2,50	3,924	4,50	0,51	0,803	8,40	0,27	0,425
0,70	2,50	3,924	4,60	0,50	0,785	8,50	0,27	0,420

0,80	2,50	3,924	4,70	0,49	0,768	8,60	0,26	0,415
0,90	2,50	3,924	4,80	0,48	0,751	8,70	0,26	0,411
1,00	2,25	3,532	4,90	0,47	0,736	8,80	0,26	0,406
1,10	2,05	3,211	5,00	0,46	0,721	8,90	0,26	0,401
1,20	1,88	2,943	5,10	0,45	0,706	9,00	0,25	0,397
1,30	1,88	2,943	5,20	0,44	0,692	9,10	0,25	0,392
1,40	1,73	2,717	5,30	0,43	0,679	9,20	0,25	0,388
1,50	1,61	2,523	5,40	0,42	0,666	9,30	0,24	0,384
1,60	1,50	2,354	5,50	0,42	0,654	9,40	0,24	0,380
1,70	1,41	2,207	5,60	0,41	0,642	9,50	0,24	0,376
1,80	1,32	2,077	5,70	0,40	0,631	9,60	0,24	0,372
1,90	1,25	1,962	5,80	0,39	0,620	9,70	0,23	0,368
2,00	1,18	1,859	5,90	0,39	0,609	9,80	0,23	0,364
2,10	1,13	1,766	6,00	0,38	0,599	9,90	0,23	0,360
2,20	1,07	1,682	6,10	0,38	0,589	10,00	0,23	0,357
2,30	1,02	1,605	6,20	0,37	0,579			
2,40	0,98	1,535	6,30	0,36	0,570			
2,50	0,94	1,472	6,40	0,36	0,561			
2,60	0,90	1,413	6,50	0,35	0,552			
2,70	0,87	1,358	6,60	0,35	0,543			
2,80	0,83	1,308	6,70	0,34	0,535			
2,90	0,80	1,261	6,80	0,34	0,527			
3,00	0,78	1,218	6,90	0,33	0,519			
3,10	0,75	1,177	7,00	0,33	0,512			
3,20	0,73	1,139	7,10	0,32	0,505			
3,30	0,70	1,104	7,20	0,32	0,497			
3,40	0,68	1,070	7,30	0,31	0,491			
3,50	0,66	1,039	7,40	0,31	0,484			
3,60	0,64	1,009	7,50	0,30	0,477			
3,70	0,63	0,981	7,60	0,30	0,471			
3,80	0,61	0,954	7,70	0,30	0,465			

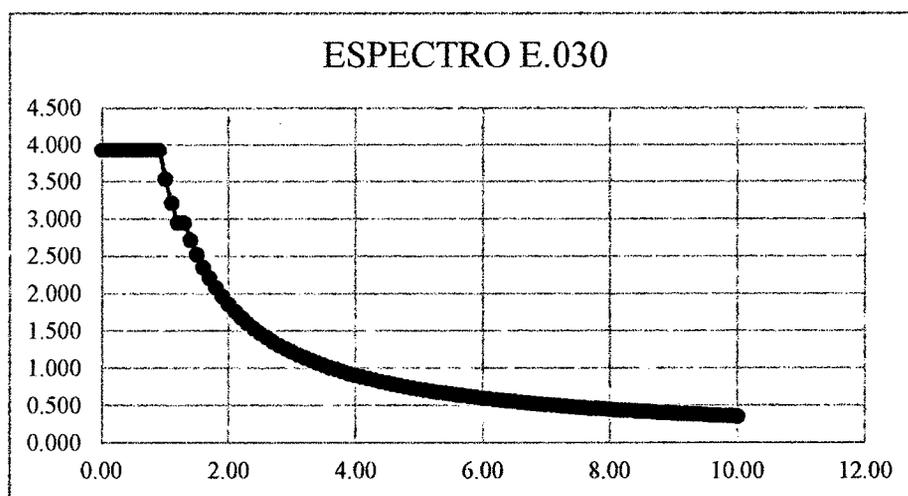


Figura 4.4. Espectro de respuesta calculado.

Tabla 4.19. Características Estructurales de la edificación según la Norma E.030.

ITEM	PARAMETRO	VALOR	DESCRIPCION
Categoría	A	-	Edificación de uso educativo (Esencial)
Sistema estructural	Dual	-	Estructura formada por pórticos y placas
Configuración estructural	Regular	-	No presenta irregularidades de consideración en planta y en altura
Factor de Zona	Z	0,40	Jaén
Factor de Uso	U	1,50	Edificación de categoría esencial (A)
Factor de Reducción	R	7,00	Sistema dual
Tipo de Suelo	S ₃	-	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor
Factor de amplificación de Suelo	S	1,40	Factor que depende del tipo de suelo (S3)
Periodo que define la plataforma del espectro de suelo	T _P	0,90	Factor que depende del tipo de suelo (S3)
Desplazamiento lateral permisible	Δ_i / h_{ei}	0,007	Material predominante y resistente: concreto armado
Peso de la edificación	P	-	Se considera la carga permanente más el 50% de la carga viva, debido a la categoría esencial (A) de la edificación
Coefficiente para estimar el periodo predominante del edificio.	C _T	60	Edificios de concreto armado cuyos elementos sismorresistentes sean fundamentalmente muros de corte (placas)
Altura	h _n	16.87	Altura total de la edificación (m)
Factor de Amplificación sísmica	C	$2.5 \frac{T_P}{T}$	Factor de amplificación de la respuesta estructural respecto a la aceleración del suelo
Periodo Fundamental	T	$\frac{h_n}{C_T}$	Caso estático
Cortante Basal	V	$\frac{ZUCS}{R} \cdot P$	Caso estático

4.3.2. Curva de Capacidad para el Sismo en Dirección del Eje X

Al someter a la estructura en estudio al análisis incremental de cargas laterales inducidas por el sismo en dirección del eje x se obtuvieron los valores del desplazamiento en el nudo de control ubicado en el punto más alto del techo generados por los correspondientes valores de cortantes basales. A continuación se muestra la tabla 4.20 que contiene dichos valores obtenidos.

Tabla 4.20. Valores de los representativos de la curva de capacidad (eje X)

PASO	DESPLAZAMIENTO EN EL TECHO (m)	CORTANTE BASAL (Tn)
0	0	0
1	0,025	188,576
2	0,072	412,900
3	0,141	560,433
4	0,184	618,006
5	0,184	822,785
6	0,223	982,983
7	0,223	1 005,685
8	0,226	1 022,057
9	0,226	1 025,383
10	0,244	1 100,353
11	0,244	1 308,457
12	0,286	1 509,168
13	0,286	1 639,762
14	0,319	1 818,463
15	0,319	1 842,212
16	0,332694	1918,1731
17	0,332701	1928,2778
18	0,347608	2013,6783
19	0,347615	2016,5416
20	0,347622	2002,9119
21	0,368949	2127,9916
22	0,368956	2046,3708
23	0,380304	2109,0687
24	0,066209	362,8134

Al graficar los valores de la tabla 4.20, se obtiene la curva de capacidad estructural que relaciona la cortante basal y el desplazamiento registrado en el techo de la estructura mediante el nudo de control de desplazamientos. La curva de capacidad de la estructura para el sismo aplicado en la dirección X se muestra a continuación en la figura 4.5.

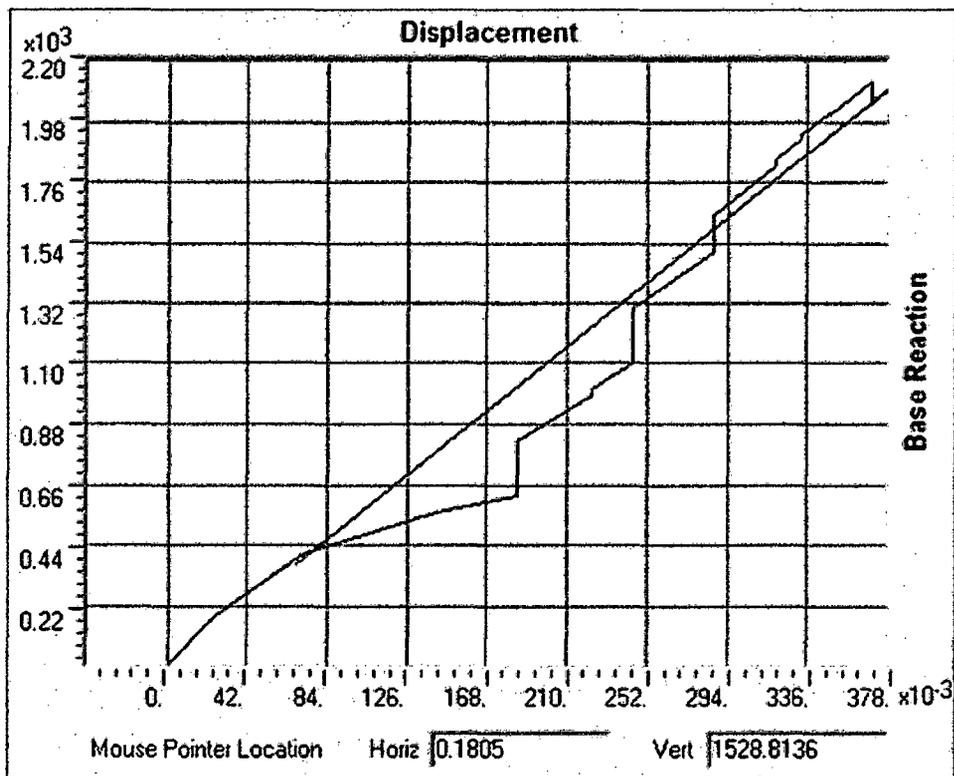


Figura 4.5. Curva de capacidad de la estructura (sismo en dirección X)

Sectorización de la Curva de Capacidad

Para determinar los cinco niveles de desempeño propuestos por la SEAOC en su documento VISION 2000 es necesario sectorizar la curva de capacidad para así poder limitar a cada nivel de desempeño, asignándole a cada uno un rango con respecto al desplazamiento del nudo de control, como se muestra en el ítem 2.2.1.

El punto de Fluencia efectiva que se ha obtenido es:

PFE: (0,0433; 320,678)

Tabla 4.21. Límites de los rangos elástico y plástico según la curva de capacidad (Eje X)

RANGO	DESPLAZAMIENTO	
	Inferior	Superior
Elástico	0	0,0433
Plástico	0,0433	0,39

La sectorización de la curva de capacidad en el rango plástico se realizó según el criterio propuesto por la SEAOC conforme a lo que indica la tabla 4.22.

Tabla 4.22. Rangos de desplazamiento para cada nivel de desempeño

NIVEL DE DESEMPEÑO	RANGO DE DESPLAZAMIENTO	
	Límite Inferior	Límite Superior
Operacional	0	ΔFE
Funcional	ΔFE	$\Delta FE + 0.3\Delta p$
Seguridad	$\Delta FE + 0.3\Delta p$	$\Delta FE + 0.6\Delta p$
Cerca al colapso	$\Delta FE + 0.6\Delta p$	$\Delta FE + 0.8\Delta p$
colapso	$\Delta FE + 0.8\Delta p$	$\Delta FE + \Delta p$

ΔFE : Desplazamiento correspondiente al punto de Fluencia Efectiva

Es el desplazamiento en el rango inelástico de la estructura

Δp : Rango Plástico

Los valores del desplazamiento del nudo de control asociados a cada nivel de desempeño calculado según la tabla 4.22 determinan los valores límites para cada uno de los cinco niveles de desempeño propuestos por la SEAOC. Los resultados del cálculo de los desplazamientos asociados a cada nivel de desempeño se muestran en la tabla 4.23.

Tabla 4.23. Desplazamientos para cada nivel de desempeño

NIVEL DE DESEMPEÑO	RANGO DE DESPLAZAMIENTO	
	Límite Inferior	Límite Superior
Operacional	0	0,0433
Funcional	0,0433	0,14731
Seguridad	0,14731	0,25132
Cerca al colapso	0,25132	0,32066
colapso	0,32066	0,39

Estos valores obtenidos son de suma importancia para determinar en qué nivel de desempeño se encuentra la estructura.

4.3.3. Curva de Capacidad para el Sismo en Dirección del Eje Y

Al someter a la estructura en estudio al análisis incremental de cargas laterales inducidas por el sismo en dirección del eje Y se obtuvieron los valores del desplazamiento en el nudo de control ubicado en el punto más alto del techo generados por los correspondientes valores de cortantes basales. A continuación se muestra la tabla 4.24 que contiene dichos valores obtenidos.

Tabla 4.24. Valores de los representativos de la curva de capacidad (eje Y)

PASO	DESPLAZAMIENTO EN EL TECHO (m)	CORTANTE BASAL (Tn)
0	0	0
1	0,025	188,576
2	0,072	412,900
3	0,141	560,433
4	0,184	618,006
5	0,184	822,785
6	0,223	982,983
7	0,223	1 005,685
8	0,226	1 022,057
9	0,226	1 025,383
10	0,244	1 100,353
11	0,244	1 308,457
12	0,286	1 509,168
13	0,286	1 639,762
14	0,319	1 818,463
15	0,319	1 842,212
16	0,332694	1918,1731
17	0,332701	1928,2778
18	0,347608	2013,6783
19	0,347615	2016,5416
20	0,347622	2002,9119
21	0,368949	2127,9916
22	0,368956	2046,3708
23	0,380304	2109,0687
24	0,066209	362,8134

La Gráfica 4.6 muestra la curva de capacidad estructural cuando el sismo es aplicado en la dirección Y, la cual fue obtenida con los datos de la Tabla 4.24.

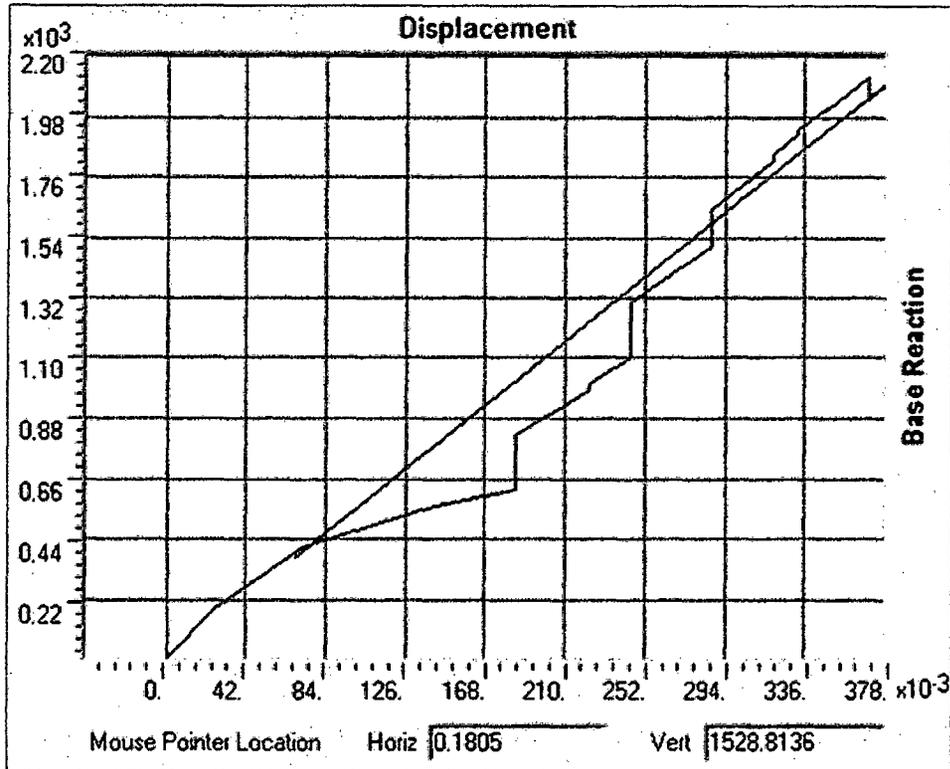


Figura 4.6. Curva de capacidad de la estructura (sismo en dirección Y)

Sectorización de la Curva de Capacidad

El punto de Fluencia efectiva que se ha obtenido es:

PFE: (0,0433, 320,678)

Por lo tanto los rangos elástico y plástico quedan delimitados de la siguiente manera en la Tabla 4.25.:

Tabla 4.25. Límites de los rangos elástico y plástico según la curva de capacidad (Eje Y)

RANGO	DESPLAZAMIENTO	
	Inferior	Superior
Elástico	0	0,0433
Plástico	0,0433	0,39

Tabla 4.26. Valores de desplazamiento para cada nivel de desempeño

NIVEL DE DESEMPEÑO	RANGO DE DESPLAZAMIENTO	
	Límite Inferior	Límite Superior
Operacional	0	0,0433
Funcional	0,0433	0,14731
Seguridad	0,14731	0,25132
Cerca al colapso	0,25132	0,32066
colapso	0,32066	0,39

4.4. PUNTOS DE DESEMPEÑO SÍSMICO

Para determinar los puntos de desempeño será evaluada para los sismos Frecuente, ocasional, raro y muy raro como lo indica la tabla 4.27 propuesta por la SEAOC.

Tabla 4.27. Niveles de Desempeño alcanzados por Edificaciones Esenciales para los sismos indicados

Movimiento sísmico de diseño	Nivel de desempeño de la estructura			
	Operacional	Funcional	Seguridad	Próximo al colapso
Frecuente (43 años)	1	0	0	0
Ocasional (72 años)	2	1		0
Raro (475 años)	3	2	1	0
Muy Raro (970 años)	-	3	2	1

0. Desempeño inaceptable

1. Estructuras básicas

2. Estructuras Esenciales / riesgosas

3. Estructuras de seguridad crítica.

Se usaron los coeficientes sísmicos C_a y C_v indicados a continuación para cada tipo de sismo como lo indica la tabla 4.28.

Tabla 4.28. Coeficientes sísmicos para cada tipo de sismo

Sismo de Diseño	C_a	C_v
Frecuente	0,2	0,2
Ocasional	0,25	0,25
Raro	0,4	0,4
Muy Raro	0,5	0,5

4.4.1. Puntos de Desempeño para Sismo en X

En la Tabla 4.29 se muestran los puntos de desempeño estructural para los sismos indicados aplicados en la dirección X, los cuales están representados en dos tipos de coordenadas que son los de desplazamiento del nudo de control Δ versus la cortante basal V y también en coordenadas ADRS, representados como el desplazamiento espectral SD versus la aceleración espectral SA. Para nuestro análisis del nivel de desempeño de la estructura usaremos el par correspondiente a (Δ , V), debido a que la curva de capacidad se encuentra graficada en estas coordenadas y la sectorización de los niveles de desempeño sísmico se realizó en dichas curvas de capacidad.

Tabla 4.29. Puntos de desempeño (dirección X) para los sismos indicados

DIRECCION	SISMO	V (Tn)	Δ (m)	SA (g)	SD (m)	T (seg)
X	Frecuente	267,112	0,042	0,251	0,032	0,698
	Ocasional	314,633	0,052	0,294	0,040	0,720
	Raro	431,738	0,081	0,399	0,063	0,788
	Muy Raro	475,457	0,101	0,436	0,079	0,839

4.4.2. Puntos de Desempeño para Sismo en Y

En la Tabla 4.30 se muestran los puntos de desempeño estructural para los sismos indicados aplicados en la dirección Y, representados en dos tipos de coordenadas como ya se indicó en el ítem anterior.

Tabla 4.30. Puntos de desempeño (dirección Y) para los sismos indicados

DIRECCION	SISMO	V (Tn)	Δ (m)	SA (g)	SD (m)	T (seg)
Y	Frecuente	267,112	0,042	0,251	0,032	0,698
	Ocasional	314,633	0,052	0,294	0,040	0,720
	Raro	431,738	0,081	0,399	0,063	0,788
	Muy Raro	475,457	0,101	0,436	0,079	0,839

4.5. NIVELES DE DESEMPEÑO ALCANZADOS POR LA ESTRUCTURA

Para determinar el nivel de desempeño sísmico alcanzado por la estructura en cada nivel de sismo aplicado, se compara el desplazamiento del punto de desempeño para cada sismo con los rangos calculados en la sectorización para cada nivel de desempeño. Con esta comparación se verá en que rango se

encuentra el desplazamiento y por lo tanto el nivel de desempeño será aquel que lo contenga.

4.5.1. Niveles de Desempeño Para los Sismos Aplicados en la Dirección X

Los desplazamiento de los puntos de desempeño para los sismo en dirección X se muestran en la tabla 4.31.

Tabla 4.31. Desplazamiento de los puntos de desempeño alcanzados para cada sismo (Eje X)

DIRECCION	SISMO	Δ (m)
X	Frecuente	0,042
	Ocasional	0,052
	Raro	0,081
	Muy Raro	0,101

Los valores anteriores se comparan con los valores de la sectorización de la curva de capacidad para el sismo en dirección en X calculados en el ítem 4.3.2 mostrados en la tabla 4.32.

Tabla 4.32. Rangos de desplazamiento para cada nivel de desempeño (Sismo en X)

NIVEL DE DESEMPEÑO	RANGO DE DESPLAZAMIENTO	
	Límite Inferior	Límite Superior
Operacional	0	0,0433
Funcional	0,0433	0,14731
Seguridad	0,14731	0,25132
Cerca al colapso	0,25132	0,32066
colapso	0,32066	0,39

a. Nivel de desempeño para el sismo Frecuente

Para este tipo de sismo determinó que el desplazamiento del punto de desempeño es de:

$$\Delta=0,042$$

De acuerdo a esto, el desplazamiento obtenido se encuentra dentro del rango del **nivel Operacional** que varía entre los valores siguientes

$$0 < 0,042 < 0,0433$$

b. Nivel de desempeño para el sismo ocasional

Para este tipo de sismo determinó que el desplazamiento del punto de desempeño es de:

$$\Delta=0,052$$

De acuerdo a esto, el desplazamiento obtenido se encuentra dentro del rango del **Nivel Funcional** que varía entre los valores siguientes

$$0,0413 < 0,052 < 0,1473$$

c. Nivel de desempeño para el sismo raro

Para este sismo se halló que el desplazamiento del punto de desempeño es de:

$$\Delta=0,081$$

De acuerdo a esto, el desplazamiento obtenido se encuentra dentro del rango del **Nivel Funcional** que varía entre los valores siguientes

$$0,0413 < 0,081 < 0,1473$$

d. Nivel de desempeño para el sismo muy raro

Para este sismo se halló que el desplazamiento del punto de desempeño es de:

$$\Delta=0,101$$

De acuerdo a esto, el desplazamiento obtenido se encuentra dentro del rango del **Nivel Funcional** que varía entre los valores siguientes

$$0,0413 < 0,101 < 0,1473$$

La tabla 4.33 muestra el objetivo del desempeño de la estructura, sombreado con color verde, así como también el desempeño alcanzado por la estructura el cual se encuentra marcado con un aspa.

Tabla 4.33. Comparación entre el desempeño alcanzado por la estructura y el objetivo del desempeño (Eje X)

Movimiento sísmico de diseño	Nivel de desempeño de la estructura			Próximo al colapso
	Operacional	Funcional	Seguridad	
Frecuente (43 años)				
Ocasional (72 años)		X		
Raro (475 años)		X		
Muy Raro (970 años)		X		

4.5.2. Niveles de Desempeño para los Sismos Aplicados en la dirección Y

Los desplazamiento de los puntos de desempeño para los sismo en dirección Y se muestran en la tabla 4.34

Tabla 4.34. Desplazamiento de los puntos de desempeño alcanzados para cada sismo (Eje Y)

DIRECCION	SISMO	Δ (m)
Y	Frecuente	0,042
	Ocasional	0,052
	Raro	0,081
	Muy Raro	0,101

Los valores anteriores se compararán con los valores de la sectorización de la curva de capacidad para el sismo en dirección en Y calculados en el ítem 4.3.3 mostrados en la tabla 4.35.

Tabla 4.35. Rangos de desplazamiento para cada nivel de desempeño (Sismo en Y)

NIVEL DE DESEMPEÑO	RANGO DE DESPLAZAMIENTO	
	Límite Inferior	Límite Superior
Operacional	0	0,0433
Funcional	0,0433	0,14731
Seguridad	0,14731	0,25132
Cerca al colapso	0,25132	0,32066
colapso	0,32066	0,39

a. Nivel de desempeño para el sismo Frecuente

Para este tipo de sismo determinó que el desplazamiento del punto de desempeño es de:

$$\Delta=0,042$$

De acuerdo a esto, el desplazamiento obtenido se encuentra dentro del rango del **nivel operacional** que varía entre los valores siguientes

$$0 < 0,042 < 0,433$$

b. Nivel de desempeño para el sismo ocasional

Para este tipo de sismo determinó que el desplazamiento del punto de desempeño es de:

$$\Delta=0,052$$

De acuerdo a esto, el desplazamiento obtenido se encuentra dentro del rango del **nivel Funcional** que varía entre los valores siguientes

$$0,0413 < 0,052 < 0,1473$$

c. Nivel de desempeño para el sismo raro

Para este sismo se halló que el desplazamiento del punto de desempeño es de:

$$\Delta=0,081$$

De acuerdo a esto, el desplazamiento obtenido se encuentra dentro del rango del **Nivel Funcional** que varía entre los valores siguientes

$$0,0413 < 0,081 < 0,1473$$

d. Nivel de desempeño para el sismo muy raro

Para este sismo se halló que el desplazamiento del punto de desempeño es de:

$$\Delta=0,101$$

De acuerdo a esto, el desplazamiento obtenido se encuentra dentro del rango del **Nivel Funcional** que varía entre los valores siguientes

$$0,0413 < 0,101 < 0,1473$$

La tabla 4.36 muestra el objetivo del desempeño de la estructura, sombreado con color verde, así como también el desempeño alcanzado por la estructura el cual se encuentra marcado con un aspa.

Tabla 4.36. Comparación entre el desempeño alcanzado por la estructura y el objetivo del desempeño (Eje Y)

Movimiento sísmico de diseño	Nivel de desempeño de la estructura			Próximo al colapso
	Operacional	Funcional	Seguridad	
Frecuente (43 años)				
Ocasional (72 años)		X		
Raro (475 años)		X		
Muy Raro (970 años)		X		

4.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.6.1. Niveles de Desempeño de la estructura

a. Para los sismos aplicados en X

Luego de obtener resultados se elabora la tabla 4.33, de la cual se puede discutir que:

Para el sismo Frecuente la estructura alcanza el nivel **Operacional**, lo que indica un correcto desempeño conforme a la SEAOC. La estructura continúa siendo segura y puede ser usada inmediatamente sin necesidad de realizar ninguna reparación. Pero debemos tener en cuenta que apenas falta 0.013 para el nivel funcional, por lo tanto el daño es pequeño y muy limitado.

Para el sismo ocasional la estructura alcanza el nivel **Funcional**, lo que indica que la estructura no se desempeña de manera correcta para un sismo de este nivel, ya que no cumple con lo indicado por la SEAOC, pero la diferencia es de 0.0107 para alcanzar el objetivo de la SEAOC. Es posible que se requieran reparaciones menores.

Para el sismo raro la estructura alcanza el Nivel **Funcional** lo que indica que la estructura se desempeña de manera correcta para un sismo de este nivel. La estructura presenta agrietamientos leves e imperceptibles columnas y vigas. Es posible que se requieran reparaciones menores.

Para el sismo muy raro la estructura alcanza el Nivel **Funcional**, lo que indica que la estructura se desempeña mejor de lo esperado. Se presentan agrietamiento de mediana importancia en algunas columnas desde el segundo hasta el quinto nivel. Es posible que se requieran reparaciones menores.

b. Para los sismos aplicados en Y

Los resultados que muestra la tabla 4.36 indican que al igual que en sentido X, para un sismo Frecuente la estructura alcanza un nivel **operacional**, donde posiblemente se requieran pequeñas reparaciones y para los sismos ocasional, raro y muy raro el nivel alcanzado por la estructura es **Funcional**.

4.7. CONTRASTACION DE HIPOTESIS

Los resultados que se han obtenido en esta investigación, nos permiten concluir que la estructura se encuentra en un nivel operacional; esto quiere decir que se obtuvieron mejores resultados que los esperados durante el planteamiento de las hipótesis.

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- En el eje X, la estructura alcanza un nivel de desempeño excelente respecto a lo indicado por la SEAOC, ya que para el sismo Frecuente el Nivel de desempeño es Operación y para los sismos raro y muy raro el nivel de desempeño es Funcional. Pero para un sismo ocasional el nivel de desempeño es Funcional, cuyo nivel no es el esperado para este tipo de sismo, no obstante la diferencia para alcanzar el nivel de operacional es mínima, en tal sentido se puede decir que la estructura alcanza mejores resultados que los esperados según la SEAOC.

- En el eje Y, la estructura alcanza resultados similares que en el eje X, dándose así un nivel operacional para un sismo frecuente y un nivel funcional para los sismos raro y muy raro.

- En la curva de capacidad, los puntos de desempeño tanto en el sentido X como en el sentido Y son: para un sismo frecuente (267,112; 0,042), para sismo ocasional (314.633; 0,052), para sismo raro (431,738; 0,081), y sismo muy raro (475,457; 0,101). Dichos puntos nos indican coordenadas (Cortante; Desplazamiento) que determinan la capacidad estructural que tiene el edificio ante los tipos de sismos mencionados.

- En la esclerometría: El concreto de columnas, vigas, losas y placas resultaron por encima de los valores de resistencia de lo indicado en especificaciones técnicas de los elementos estructurales.

5.2. RECOMENDACIONES

- Fomentar la investigación con respecto al comportamiento sísmico en edificios de los hospitales de la ciudad de Jaén, determinando el estado y el nivel en el que se encuentran durante un determinado movimiento sísmico, y así poder determinar si la estructura requiere rehabilitación y/o reparación.
- Desarrollar un análisis no lineal en el tiempo, utilizando registros de tiempo – historia de sismos, para ser aplicados a edificaciones de categoría esencial e importante, puesto que brinda información más certera para predecir la respuesta estructural y verificar el diseño.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allauca Sanchez, LY. 2006. Desempeño sísmico de un edificio aporricado de cinco pisos diseñado con las Normas Peruanas de edificaciones. Tesis Ing. Civil. Lima. Pontificia Universidad Católica Del Perú. 111 p.
- ATC-40. 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. Technical report, ATC-40. Applied Technology Council. Redwood City, California.
- Barradas Hernández, JE. 2008. Método Simplificado de evaluación sísmica del desempeño estructural de puentes de concreto reforzado basado en desplazamientos. Tesis Mg. Ing. Civil.
- Bardales Chuquilin, WH. 2010. Desempeño sismorresistente del edificio 2B de la Universidad Nacional de Cajamarca. Tesis Ing. Civil. Cajamarca. Universidad Nacional de Cajamarca. 99 p.
- Carrillo, J. 2007. “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de estructuras utilizando un diseño por desempeño”. Universidad Militar Nueva Granada.
- Chunque Pajares, JC. 2013. Nivel de desempeño sísmico del edificio “A” de la Universidad Privada del Norte – Sede Cajamarca. Tesis Ing. Civil. Cajamarca. Universidad nacional de cajamarca. 88 p.
- Fajardo Galliani, CA. 2012. Evaluación Estructural de una de las Edificaciones Del Hospital Edgardo Rebagliati Martins usando el método del Espectro de Capacidad. Tesis Ing. Civil. Lima. Universidad Nacional de Ingeniería. 75 p.
- Delgadillo Alanya, JE. 2005. Análisis No Lineal Estático De Estructuras Y La Norma E-030. Tesis Mg. Ing. Estructural. Lima. Universidad Nacional de Ingeniería. 154 p.
- Guevara Morales, NE., Osorio Rodriguez, SA., Vargas, EA. 2003. Evaluación de la capacidad estructural del edificio de la biblioteca de las ingenierías y arquitectura, utilizando análisis estático no lineal (Pushover). Tesis Ing. Civil. El Salvador. Universidad de El Salvador. 383 p.
- International Code Council (ICC). (2000). International Building Code 2000. International Conference of Building Officials, Whittier, California.
- Merino Zelada, LE. 2013. Desempeño Sismorresistente del Edificio 4J de da Universidad Nacional de Cajamarca. Tesis Ing. Civil. Cajamarca. Universidad nacional de cajamarca. 109 p.
- Muñoz, Alejandro. 1999. Ingeniería Antisísmica. Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.
- Muñoz, A. 1999. “Ingeniería Sismorresistente”. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.

Romero Urrunaga, DO. 2013. Diseño de Edificaciones con disipadores de Energía Sísmica de tipo Fluido Viscoso. Tesis Ing. Civil. Cajamarca. Universidad nacional de cajamarca. 147 p.

RNE. 2006. Reglamento Nacional de Edificaciones, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Decreto Supremo No 011–2006 – Vivienda. Lima

SEAOC. 1995. A Framework for Performance Based Design. Vision 2000 Committee. Structural Engineers Association of California, Sacramento California.

ANEXO 01
PANEL FOTOGRAFICO



Se quita todas las asperezas del concreto para el ensayo con esclerometro



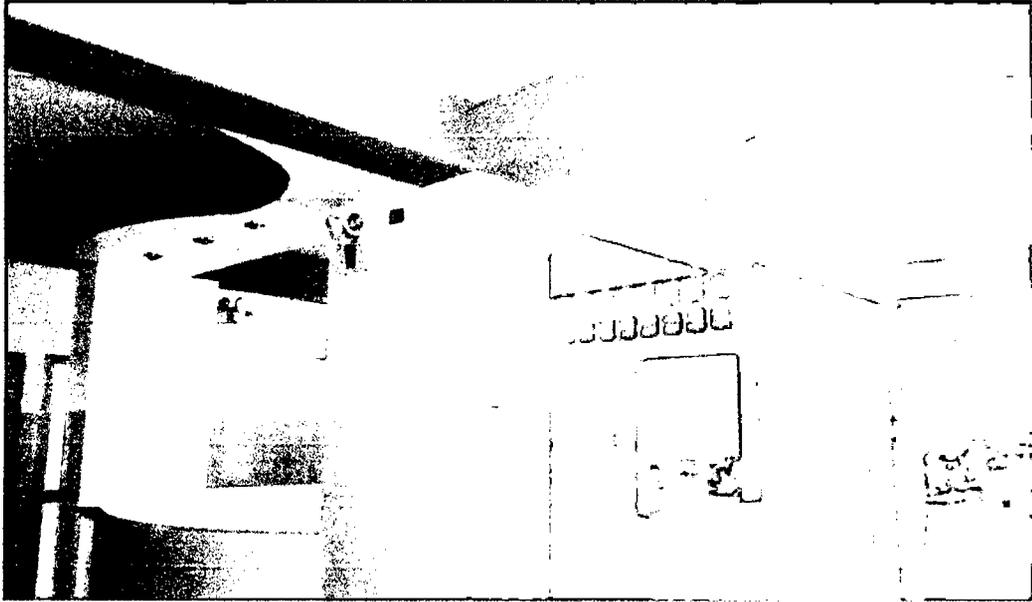
Ensayo con esclerómetro en columnas



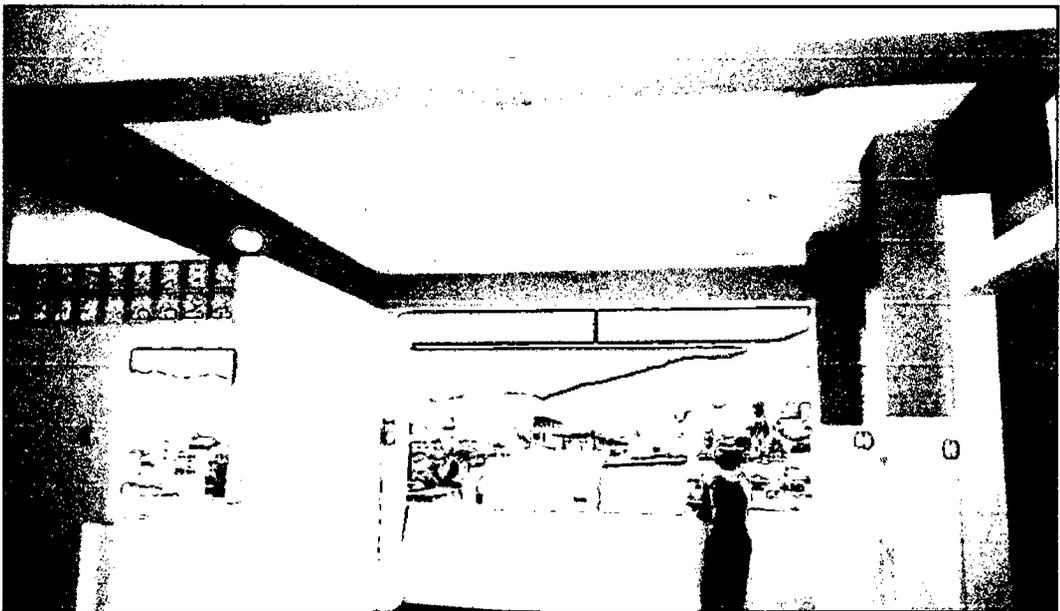
Ensayo con esclerómetro en placas



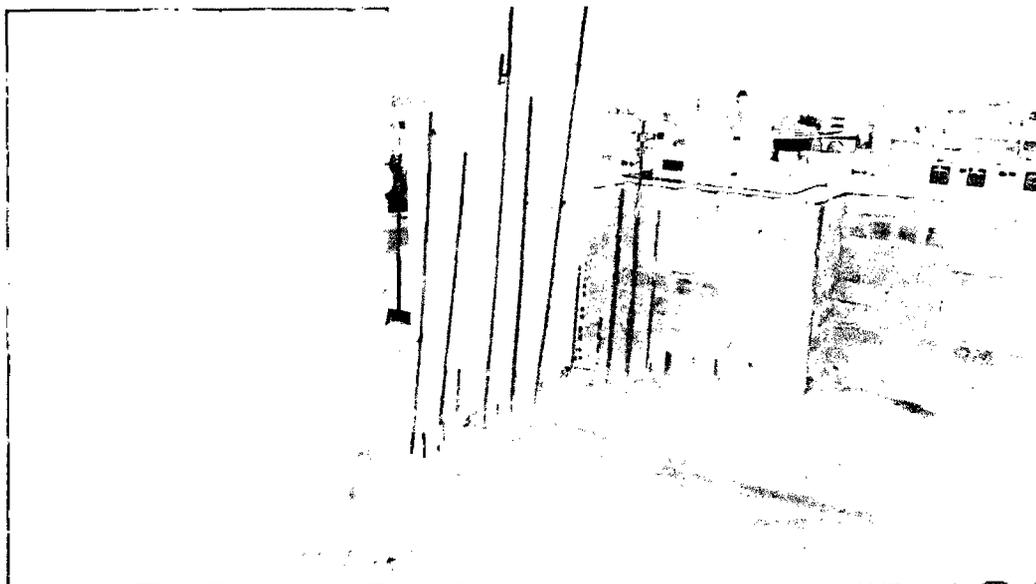
Ensayo con esclerómetro en muros de ascensor



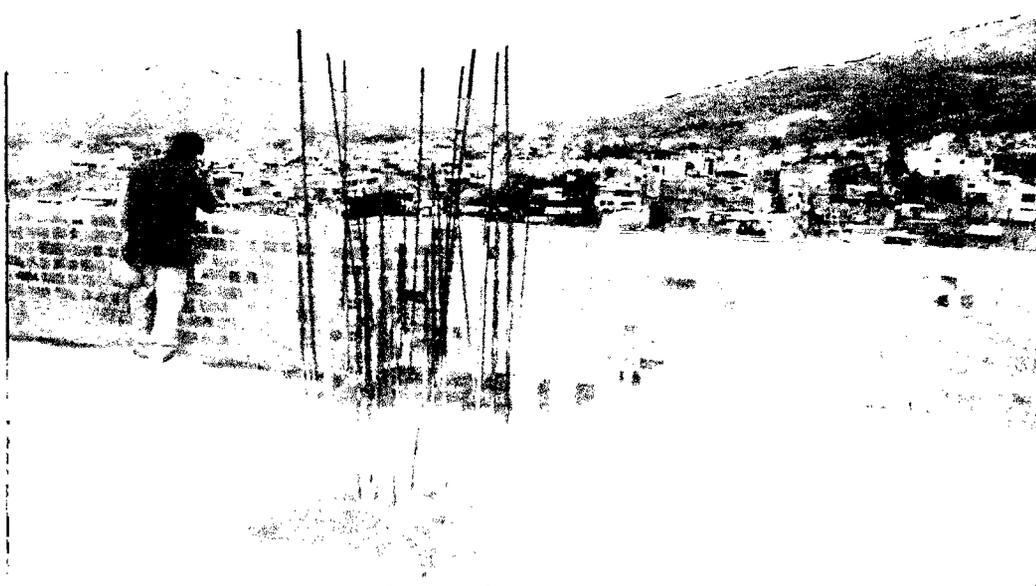
Vista de viga principal, secundaria y placa en segundo nivel



Vista de portico de la estructura en el sentido Y



En azotea se aprecia la Vista de acero de placas y columnas



Placa vista en azotea

ANEXO 02
ESCLEROMETRIA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



METODO ESTANDAR DEL METODO DEL REBOTE EN CONCRETO ENDURECIDO (A.S.T.M. C 805-97)

OBRA : DESEMPEÑO SISMICO DEL HPJ
 UBICACIÓN: DIST.:JAEN. PROV. JAEN. REG. CAJAMARCA
 NORMA TECNICA: A.S.T.M. C 805 - 97
 SOLICITANTE: EDIN NAVARRO CIEZA

OPERADOR :
 FECHA : 05/10/2014

COLUMNA $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$			
UBICACIÓN DE ENSAYO	Nº REBOTE		ACEPTACION
COLUMNA PRIMER NIVEL	23	34	VALIDO
		30	VALIDO
		34	VALIDO
		32	VALIDO
		30	VALIDO
		28	VALIDO
		34	VALIDO
			NO VALIDO
		31	VALIDO
		33	VALIDO
		29	VALIDO

COLUMNA $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$			
UBICACIÓN DE ENSAYO	Nº REBOTE		ACEPTACION
COLUMNA TERCE NIVEL	24	29	VALIDO
		31	VALIDO
		29	VALIDO
		32	VALIDO
		35	VALIDO
		33	VALIDO
		33	VALIDO
			NO VALIDO
		29	VALIDO
		31	VALIDO
		31	VALIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO	32
DESVIACION ESTANDAR	2.2

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO	31
DESVIACION ESTANDAR	2

DATO DEL Nº REBOTE - RESISTENCIA A COMPRESION DEL CONCRETO, DEL GRAFICO DEL ESCLEROMETR	228
---	-----

DATO DEL Nº REBOTE - RESISTENCIA A COMPRESION DEL CONCRETO, DEL GRAFICO DEL ESCLEROMETR	211
---	-----

PLACA $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$			
UBICACIÓN DEL ENSAYO	Nº REBOTE		ACEPTACION
PLACA PRIMER NIVEL	23	31	VALIDO
		35	VALIDO
			NO VALIDO
		33	VALIDO
		28	VALIDO
		34	VALIDO
		33	VALIDO
			NO VALIDO
		31	VALIDO
		28	VALIDO
		35	VALIDO

PLACA $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$			
UBICACIÓN DEL ENSAYO	Nº REBOTE		ACEPTACION
PLACA TERCER NIVEL	24	33	VALIDO
		35	VALIDO
		29	VALIDO
			NO VALIDO
		28	VALIDO
		32	VALIDO
		32	VALIDO
		34	VALIDO
		31	VALIDO
		31	VALIDO
		29	VALIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO	32
DESVIACION ESTANDAR	2.7

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO	31
DESVIACION ESTANDAR	2.3

DATO DEL Nº REBOTE - RESISTENCIA A COMPRESION DEL CONCRETO, DEL GRAFICO DEL ESCLEROMETR	228
---	-----

DATO DEL Nº REBOTE - RESISTENCIA A COMPRESION DEL CONCRETO, DEL GRAFICO DEL ESCLEROMETR	211
---	-----



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



METODO ESTANDAR DEL METODO DEL REBOTE EN CONCRETO ENDURECIDO (A.S.T.M. C 805-97)

OBRA : DESEMPEÑO SISMICO DEL HPJ
 UBICACIÓN: DIST.:JAEN. PROV. JAEN. REG. CAJAMARCA
 NORMA TECNICA: A..S.T.M. C 805 - 97
 SOLICITANTE: EDIN NAVARRO CIEZA

OPERADOR :
 FECHA : 05/10/2014

ASCENSOR $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$			
UBICACIÓN DE ENSAYO	Nº REBOTE		ACEPTACION
MURO ASCENSOR QUINTO NIVEL	22	33	VALIDO
		33	VALIDO
		31	VALIDO
		32	VALIDO
		35	VALIDO
		32	VALIDO
		33	VALIDO
		34	VALIDO
		35	VALIDO
		29	NO VALIDO
			29

LOSA ALIGERADA $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$			
UBICACIÓN DE ENSAYO	Nº REBOTE		ACEPTACION
PLACA PRIMER NIVEL		29	VALIDO
		30	VALIDO
		35	VALIDO
		32	VALIDO
		33	VALIDO
		34	VALIDO
		34	VALIDO
		28	VALIDO
		28	VALIDO
		31	VALIDO
		32	VALIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO	33
DESVIACION ESTANDAR	1.8

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO	31
DESVIACION ESTANDAR	2.5

DATO DEL Nº REBOTE - RESISTENCIA A COMPRESION DEL CONCRETO, DEL GRAFICO DEL ESCLEROMETR	246
---	-----

DATO DEL Nº REBOTE - RESISTENCIA A COMPRESION DEL CONCRETO, DEL GRAFICO DEL ESCLEROMETR	211
---	-----

VIGA $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$			
UBICACIÓN DEL ENSAYO	Nº REBOTE		ACEPTACION
VIGA PRIMER NIVEL	22	24	VALIDO
		29	VALIDO
		35	VALIDO
		32	VALIDO
		29	VALIDO
		34	VALIDO
		34	VALIDO
		32	VALIDO
		22	NO VALIDO
		35	VALIDO
	29	VALIDO	

VIGA $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$			
UBICACIÓN DEL ENSAYO	Nº REBOTE		ACEPTACION
VIGA SEGUNDO NIVEL		28	VALIDO
		23	NO VALIDO
		34	VALIDO
		32	VALIDO
		28	VALIDO
		29	VALIDO
		29	VALIDO
		34	VALIDO
		32	VALIDO
		31	VALIDO
		30	VALIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO	32
DESVIACION ESTANDAR	2.6

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO	31
DESVIACION ESTANDAR	2.3

DATO DEL Nº REBOTE - RESISTENCIA A COMPRESION DEL CONCRETO, DEL GRAFICO DEL ESCLEROMETR	228
---	-----

DATO DEL Nº REBOTE - RESISTENCIA A COMPRESION DEL CONCRETO, DEL GRAFICO DEL ESCLEROMETR	211
---	-----

ANEXO 03
PLANOS