

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE
CAJAMARCA**
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela Académico Profesional De Ingeniería Civil



**DESEMPEÑO SISMORRESISTENTE DEL EDIFICIO 4F DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

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

PRESENTADO POR :
Bach. BOLAÑOS TAUMA, MIRIAM IVONNE

Asesor:
DR. Ing. MOSQUEIRA MORENO, MIGUEL ÁNGEL

CAJAMARCA . PERÚ 2015

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional De Ingeniería Civil



DESEMPEÑO SISMORRESISTENTE DEL EDIFICIO 4F DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. BOLAÑOS TAUMA, MIRIAM IVONNE

ASESOR:

DR. Ing. MOSQUEIRA MORENO, MIGUEL ÁNGEL

CAJAMARCA- PERÚ 2015

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Jehová Dios por brindarme la vida e iluminarme para poder desarrollar y culminar con éxito el presente trabajo.

Miriam Ivonne

Al Dr. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno, por el apoyo y orientación desinteresada de asesoramiento para la elaboración del presente trabajo.

Miriam Ivonne

DEDICATORIA

A mi hijo David Smith, quien es mi motor
y motivo para ser mejor cada día.

Miriam Ivonne

A mis padres Manuel y Dolores; a mi
hermano Juan Josué, por brindarme su
amor, apoyo incondicional en cada
momento y obtener satisfactoriamente
lo que anhelo.

Miriam Ivonne

A mi esposo Ronald Smith, por su comprensión,
apoyo y ánimo que siempre me brinda para
alcanzar lo anhelado.

Miriam Ivonne

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	I
DEDICATORIA	II
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
CAPITULO I INTRODUCCIÓN	
1.1 Introducción.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.3 Formulación del problema.....	2
1.4 Justificación.....	2
1.5 Alcances o delimitación de la investigación.....	2
1.6 Objetivos.....	3
CAPITULO II MARCO TEORICO	
2.1 Antecedentes teóricos de la investigación.....	4
2.2 Bases teóricas.....	5
2.2.1 Análisis Estático No Lineal.....	5
2.2.2 Niveles de Desempeño Sísmico.....	14
2.2.3 Evaluación del Desempeño Sísmico de la Estructura.....	20
2.2.4 Estimación del Punto de desempeño.....	22
2.3 Definición de términos básicos.....	25
2.3.1 Capacidad.....	25
2.3.2 Curva de Capacidad.....	25
2.3.3 Demanda.....	25
2.3.4 Deriva de Entrepiso.....	25
2.3.5 Desempeño Estructural.....	26
2.3.6 Edificaciones Esenciales.....	26
2.3.7 Ensayo de esclerometría.....	26
2.3.8 Espectro de Capacidad.....	26

2.3.9	Espectro de Demanda.....	26
2.3.10	Estructura	26
2.3.11	Nivel de Desempeño.....	27
2.3.12	Nudo de Control de Desplazamiento	27
2.3.13	Punto de Desempeño	27
2.3.14	Rótula Plástica	27
2.3.15	Relación Momento Curvatura.....	27
	CAPITULO III: MATERIALES Y METODOS.....	28
3.3	Procedimiento.....	28
	CAPITULO IV: ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	32
	CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	86
	ANEXOS.....	87

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Características probabilísticas de ocurrencia de los sismos de diseño.....7

Tabla 2.2. Aceleración máxima en roca para los sismos de diseño en la costa este de América del Sur (Fuente: Muñóz, 1999).....7

Tabla 2.3.Equivalencia de la Norma Peruana con la propuesta de la UBC.....9

Tabla 2.4. Niveles recomendados de desempeño esperado para edificaciones (SEAOC, 1995).....9

Tabla 2.5. Características de los estados de daño asociados a cada nivel de desempeño. SEAOC.....16

Tabla 2.6. Niveles de desempeño, de la edificación (ATC – 40).....19

Tabla 2.7. Descripción de los Daños Asociados a cada Nivel de Desempeño (SEAOC, 1995).....21

Tabla 2.8. Descripción de los Daños Asociados a cada Nivel de Desempeño.....21

Tabla 4.1. Datos de la relación Momento Curvatura y Giro de la Columna 1.....35

Tabla 4.2. Datos de la relación Momento Curvatura y Giro de la Columna 2.....35

Tabla 4.3. Datos de la relación Momento Curvatura y Giro de la Columna 3.....36

Tabla 4.4. Datos de la relación Momento Curvatura y Giro de la Viga 101, 201.....37

Tabla 4.5. Datos de la relación Momento Curvatura y Giro de la Viga 101, 201, 102,202.....37

Tabla 4.6. Datos de la relación Momento Curvatura y Giro de la Viga 102, 202.....38

Tabla 4.7. Datos de la relación Momento Curvatura y Giro de la Viga 103, 203.....39

Tabla 4.8. Datos de la relación Momento Curvatura y Giro de la Viga 103, 203.....39

Tabla 4.9. Datos de la relación Momento Curvatura y Giro de la Viga 103, 203.....40

Tabla 4.10. Datos de la relación Momento Curvatura y Giro de la Viga 103, 203.....41

Tabla 4.11. Datos de la relación Momento Curvatura y Giro de la Viga 301,302, 303.....41

Tabla 4.12. Datos de la relación Momento Curvatura y Giro de la Viga 104, 204,105,205.....42

Tabla 4.13. Datos de la relación Momento Curvatura y Giro en el centro de la Viga 104, 204,105,205.....43

Tabla 4.14. Datos de la relación Momento Curvatura y Giro en la Viga 304,305.....43

Tabla 4.15 Tipo de Suelo según Capacidad Portante $q_a(\text{kg}/\text{cmm}^2)$44

Tabla 4.16 Categoría de las edificaciones, Fuente Norma Técnica E-030-2014.....45

Tabla 4.17 Valores de la aceleración espectral y los coeficientes de amplificación.....	47
Tabla 4.18 Valores de la aceleración espectral y los coeficientes de amplificación.....	47
Tabla 4.19 Valores de la Curva de Capacidad para la dirección X.....	49
Tabla 4.20 Puntos relevantes de la Curva de Capacidad para la dirección X.....	51
Tabla 4.21 Valores de la Curva de Capacidad para la dirección Y.....	51
Tabla 4.22 Puntos relevantes de la Curva de Capacidad para la dirección Y.....	53
Tabla 4.23. Niveles de Desempeño Alcanzados por Edificaciones Esenciales para los Sismos indicados.....	53
Tabla 4.24. Coeficientes sísmicos C_a y C_v , para cada nivel de movimiento sísmico, Ingeniería Antisísmica (Muñoz 999).....	53
Tabla 4.25. Puntos de Desempeño para los Movimientos sísmicos indicados.....	54
Tabla 4.26. Rangos de desplazamiento para cada nivel de desempeño para la dirección X.....	54
Tabla 4.27. Comparación entre los niveles de desempeño alcanzados esperados.....	56
Tabla 4.28. Puntos de Desempeño para los Movimientos sísmicos indicados.....	56
Tabla 4.29. Rangos de desplazamiento para cada nivel de desempeño para la dirección Y.....	57
Tabla 4.30. Comparación entre los niveles de desempeño alcanzados esperados.....	58
Tabla 4.31. Desplazamientos y deriva según la norma E030.....	59
Tabla 4.32. Desplazamientos y deriva para el Sismo Ocasional.....	59
Tabla 4.33. Desplazamientos y deriva para el Sismo Raro.....	61
Tabla 4.34. Desplazamientos y deriva para el Sismo muy Raro.....	61
Tabla 4.35. Desplazamientos y deriva según la norma E-030.....	61
Tabla 4.36. Desplazamientos y deriva para el Sismo Ocasional.....	62
Tabla 4.37. Desplazamientos y deriva para el Sismo Raro.....	63
Tabla 4.38. Desplazamientos y deriva para el Sismo Raro.....	63
Tabla 4.39. Tipos de Estructuras – Modelo de Edificio HAZUS-MH 2.1, 2003.....	64
Tabla 4.40. Daño en Elementos Estructurales HAZUS-MH 2.1 2003.....	64
Tabla 4.41. Daño en Elementos No Estructurales: Tabiques HAZUS-MH 2.1 2003.....	65
Tabla 4.42. Daño en Contenido: Equipos electro-mecánicos, tuberías y conductos. HAZUS-MH 2.1 2003.....	65
Tabla 4.43 Valores de “ γ ” en el umbral del nivel de daño para estructuras. HAZUS-MH 2.1 2003.....	66

Tabla 4.44 Desplazamiento espectral medio (plg) y Desviación Lognormal Estándar para Daños Estructurales.....	67
Tabla 4.45: Desplazamiento espectral medio (plg) y Desviación Lognormal Estándar, HAZUS-MH 2.1 2003.....	68
Tabla 4.46: Aceleración espectral media (g) y Desviación Lognormal Estándar, HAZUS-MH 2.1 2003.....	68
Tabla 4.47: Puntos de Desempeño Sísmico Alcanzados por la Estructura para los Niveles de Movimiento Sísmico considerados.....	70
Tabla 4.48: Estimación de daños según E-030, para Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.....	71
Tabla 4.49: Estimación de para sismo ocasional, para Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.....	72
Tabla 4.50: Estimación de daños para sismo raro; Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.....	73
Tabla 4.51: Estimación de daños para sismo muy raro; Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.....	75
Tabla 4.52: Estimación de daños según E -030; Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.....	76
Tabla 4.53: Estimación de daños para sismo ocasional; Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.....	77
Tabla 4.54: Estimación de daños para sismo raro; Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.....	79
Tabla 4.55: Estimación de daños para sismo muy raro; Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.....	80

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Esquema del proceso del Análisis Estático No Lineal.....	6
Figura 2.2. Espectro de la Uniform Building Code (UBC).....	7
Figura 2.3. Espectro Elástico de la Norma Peruana.....	8
Figura 2.4. Espectro de la UBC para sismo raro.....	8
Figura 2.5. Patrones de Carga Lateral.....	10
Figura 2.6. Desplazamientos de entrepiso y nudo de control.....	10
Figura 2.7. Acción de Cargas de Gravedad sobre la estructura.....	11
Figura 2.8. Representación del Análisis Incremental de Cargas Laterales y de la Curva de Capacidad.....	11
Figura 2.9. Secuencia para la obtención del Espectro de Capacidad.....	12
Figura 2.10. Espectro de Demanda.....	13
Figura 2.11. Secuencia para la obtención del Espectro de Demanda.....	14
Figura 2.12. Representación gráfica de niveles de desempeño sobre la curva de desplazamiento versus cortante basal.....	15
Figura 2.13. Sectorización de la Curva de Capacidad.....	22
Figura 2.14. Punto de Desempeño en el Rango Elástico.....	22
Figura 2.15. Estimación Incorrecta del Punto de Desempeño en el Rango Plástico.....	23
Figura 2.16. Reducción del Espectro de Demanda Elástico (Fernández, 2006).....	24
Figura 2.17. Intersección del Espectro de Capacidad y el EDAV (L. Cocco, L. Suárez, M. Ruíz, 2010).....	25
Figura 3.1. Edificio de Facultad de Derecho y Ciencias Políticas.....	29
Figura 4.1. Idealización del daño en vigas (Fernández 2006).....	32
Figura 4.2. Longitud plástica (Fernández 2006).....	32
Figura 4.3. Obtención del Diagrama Momento – Giro (Fernández 2006.).....	32
Figura 4.4. Diagrama Momento - Giro Simplificado (Fernández 2006).....	33
Figura 4.5. Identificación de respuestas límites en una Columna. FEMA 2000.....	34
Figura 4.6. Identificación de respuestas límites en una Viga (FEMA 2000.).....	34
Figura 4.7. Diagrama Momento Giro de la Columna 1.....	35
Figura 4.8. Diagrama Momento Giro de la Columna 2.....	36
Figura 4.9. Diagrama Momento Giro de la Columna 3.....	36
Figura 4.10. Diagrama Momento Giro de la Viga 101, 201.....	37
Figura 4.11. Diagrama Momento Giro de la Viga 101, 201, 102,202.....	38

Figura 4.12. Diagrama Momento Giro de la Viga 102,202.....	38
Figura 4.13. Diagrama Momento Giro de la Viga 103,203.....	39
Figura 4.14. Diagrama Momento Giro de la Viga 103,203.....	40
Figura 4.15. Diagrama Momento Giro de la Viga 103,203.....	40
Figura 4.16. Diagrama Momento Giro de la Viga 103,203.....	41
Figura 4.17. Diagrama Momento Giro de la Viga 301,302,303.....	42
Figura 4.18. Diagrama Momento Giro de la Viga 104,204,105,205.....	42
Figura 4.19. Diagrama Momento Giro en el centro de la Viga 104, 204,105,205.....	43
Figura 4.20. Diagrama Momento Giro en la Viga 304,305.....	44
Figura 4.21. Diagrama del Espectro de Respuesta.....	48
Figura 4.22. Curva de Capacidad para el sismo en la dirección X.....	49
Figura 4.23. Estructura deflectada, rotulas y nudo de control.....	50
Figura 4.24. Sectorización de la Curva de Capacidad para la dirección X.....	50
Figura 4.25. Curva de Capacidad para el sismo en la dirección Y.....	51
Figura 4.26. Estructura deflectada, rotulas y nudo de control.....	52
Figura 4.27. Sectorización de la Curva de Capacidad para la dirección Y.....	52
Figura 4.28. Nivel de Desempeño sísmico alcanzado por la Estructuración X.....	55
Figura 4.29. Nivel de Desempeño sísmico alcanzado por la Estructuración Y.....	58
Figura 4.30. Desplazamientos laterales y derivas de entre piso según norma E030....	59
Figura 4.31. Desplazamientos laterales y derivas para el Sismo Ocasional.....	60
Figura 4.32. Desplazamientos laterales y derivas para el Sismo Raro.....	60
Figura 4.33. Desplazamientos laterales y derivas para el Sismo muy Raro.....	61
Figura 4.34. Desplazamientos laterales y derivas según la norma E-030.....	62
Figura 4.35 Desplazamientos y deriva para el Sismo Ocasional.....	62
Figura 4.36 Desplazamientos y deriva para el Sismo Raro.....	63
Figura 4.37 Desplazamientos y deriva para el Sismo Raro.....	63
Figura 4.38 Curvas de Fragilidad Estructural para Nivel de Diseño Sísmico Alto. Daño estructural – Estructuras C1L.....	68
Figura 4.39 Curvas de Fragilidad Estructural para Nivel de Diseño Sísmico Alto. Daño no estructural – Estructuras C1L.....	69
Figura 4.40. Curvas de Fragilidad Estructural para Nivel de Diseño Sísmico Alto. Daño en contenido – Estructuras C1L.....	69
Figura 4.41 Estimación de daños según E-030, para Daño Estructural.....	70

Figura 4.42 Estimación de daños según E-030, para Daño No Estructural.....	70
Figura 4.43 Estimación de daños según E-030, para Daño en Contenido.....	71
Figura 4.44. Estimación de daños según E-030, para Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.....	71
Figura 4.45. Estimación de daños para el Sismo Ocasional, para Daño Estructural.....	71
Figura 4.46 Estimación de daños para el Sismo Ocasional, para Daño No Estructural..	72
Figura 4.47 Estimación de daños para el Sismo Ocasional, para Daño en Contenido...	72
Figura 4.48 Estimación de daños para sismo ocasional; Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.....	72
Figura 4.49 Estimación de daños para el Sismo Raro, para Daño Estructural.....	73
Figura 4.50 Estimación de daños para el Sismo Ocasional, para Daño No Estructural..	73
Figura 4.51 Estimación de daños para el Sismo Raro, para Daño en Contenido.....	73
Figura 4.52 Estimación de daños para sismo raro; Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.....	74
Figura 4.53 Estimación de daños para el Sismo Muy Raro, para Daño Estructural.....	74
Figura 4.54 Estimación de daños para el Sismo Muy Raro, para Daño No Estructural..	74
Figura 4.55 Estimación de daños para el Sismo Muy Raro, para Daño en Contenido...	75
Figura 4.56 Estimación de daños para sismo raro; Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.....	75
Figura 4.57 Estimación de daños según E -030, para Daño Estructural.....	75
Figura 4.58 Estimación de daños según E -030, para Daño No Estructural.....	76
Figura 4.59 Estimación de daños según E -030, para Daño en Contenido.....	76
Figura 4.60 Estimación de daños según E -030; Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.....	76
Figura 4.61 Estimación de daños para sismo ocasional, para Daño Estructural.....	77
Figura 4.62 Estimación de daños para sismo ocasional, para Daño no Estructural.....	77
Figura 4.63 Estimación de daños para sismo ocasional, para Daño en Contenido.....	77
Figura 4.64 Estimación de daños para sismo ocasional; Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.....	78
Figura 4.65. Estimación de daños para sismo raro, para Daño Estructural.....	78
Figura 4.66. Estimación de daños para sismo raro, para Daño no Estructural.....	78
Figura 4.67 Estimación de daños para sismo raro, para Daño en Contenido.....	79
Figura 4.68: Estimación de daños para sismo raro; Daño Estructural, No Estructural y	

en Contenido.....	79
Figura 4.69 Estimación de daños para el Sismo Muy Raro, para Daño Estructural.....	79
Figura 4.70 Estimación de daños para el Sismo Muy Raro, para Daño No Estructural.....	80
Figura 4.71 Estimación de daños para el Sismo Muy Raro, para Daño en Contenido.....	80
Figura 4.72 Estimación de daños para sismo raro; Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.....	80

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo, determinar el comportamiento sismorresistente del edificio 4 "F" de la Universidad Nacional de Cajamarca, aplicando el Análisis Estático No Lineal (PUSHOVER), junto con el Procedimiento B del ATC – 40 (APPLIED TECHNOLOGY COUNCIL), y los criterios del SEAOC (Structural Engineers Association of California), propuesta del Comité VISION 2000. Para determinar el desempeño sismorresistente del edificio en estudio, primero se realizó el ensayo de esclerometría y se verificó la resistencia de diseño, para luego realizar el modelamiento en el software SAP 2000, en el cual se simuló como es que la estructura incursionará en dichos sismos. Finalmente el nivel de desempeño de la estructura se obtiene superponiendo las gráficas del espectro de demanda y el espectro de capacidad (Representación de la curva de capacidad en coordenadas aceleración versus desplazamiento). Los niveles de desempeño sismorresistente alcanzados por la estructura satisfacen lo propuesto por SEAOC (Structural Engineers Association of California), tanto para la norma E-030, Sismo Raro y Sismo Muy raro, sin embargo en el caso del Sismo Ocasional no satisface dichas recomendaciones; y se espera que la estructura sufra daños importantes.

Palabras Clave: Análisis Estático No Lineal, Nivel de Desempeño, Curva de Capacidad, Espectro de Capacidad, Espectro de Demanda.

ABSTRACT

This research aims to determine the seismic behavior of the building 4 "F" of the National University of Cajamarca, using the Nonlinear Static Analysis (PUSHOVER), along with the ATC Procedure B - 40 (Applied Technology Council) and SEAOC criteria (Structural Engineers Association of California), proposed the VISION 2000 Committee to determine the seismic performance of the building under study. A first test was conducted and the design strength is checked, and then the modeling 2000 SAP software, in which I was simulated as the structure will enter these earthquakes. Finally the performance level of the structure is obtained, which is achieved by overlaying graphics demand spectrum and spectrum capacity (Representation of the capacity curve acceleration versus displacement coordinates). Seismic performance levels achieved by the structure proposed by SEAOC meeting (Structural Engineers Association of California) for both the E-030, Quake and Quake Rare Very rare rule, however in the case of earthquake Occasional not meet these recommendations; and the structure is expected to suffer serious damage.

Keywords: Nonlinear Static Analysis, Performance Level, Curve Capacity, capacity spectrum, spectrum demand.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

El fenómeno sísmico representa una de las manifestaciones más impactantes de la naturaleza. Las pérdidas de vidas humanas y la destrucción de las infraestructuras creadas por el hombre, demuestran el potencial devastador de este fenómeno. Así pues, la investigación del comportamiento de las estructuras frente a la acción sísmica, representa un objetivo permanente de la ingeniería sísmica (Dumova, 2000).

Por tal motivo es necesario conocer el comportamiento estructural de las edificaciones frente a los eventos sísmicos, lo cual ha sido motivo del desarrollo de diferentes métodos para la predicción de los daños que estos generarían en los elementos estructurales y no estructurales, y sobre todo poniendo en riesgo las vidas humanas. El método del ATC-40 conforma la filosofía del Diseño Sísmico basado en Desempeño y sus procedimientos son aplicables tanto al diseño de nuevas estructuras como a estructuras ya existentes.

En el presente trabajo, se verificará el desempeño sismorresistente del edificio 4F de la Universidad Nacional de Cajamarca mediante el método ATC-40, esto se logrará evaluando la manera en que la estructura se comporta en el rango plástico, al aplicar separadamente cuatro niveles diferentes de amenaza sísmica.

1.2 Planteamiento del problema

Los estudios sobre el desempeño sismorresistente de las estructuras son una constante en diversas partes del planeta. Con esto se persiguen diversas razones, como son crear nuevas normativas, determinar la vulnerabilidad de las estructuras, evaluar el cambio de uso de las estructuras y otras.

El Desempeño de una estructura se determina usando la Curva de Capacidad o Pushover. Ésta ha sido aplicada también en numerosas investigaciones como la que se realizó en edificios monumentales como la Iglesia Santa María del Mar en Barcelona; aquí los investigadores realizaron un estudio con elementos finitos y análisis límite del equilibrio de la estructura de la iglesia, para construir su curva de capacidad y

compararla con demanda sísmica, usando el Método del Espectro de Capacidad. Así se realizó el análisis de riesgo sísmico (Irrizarry, 2003).

Debido a ello se plantea analizar el desempeño sismorresistente del edificio 4F de la Universidad Nacional de Cajamarca y verificar el desempeño de la misma, mediante el método ATC-40, esto se logrará evaluando la manera en que la estructura se comporta en el rango plástico, al aplicar separadamente cuatro niveles diferentes de amenaza sísmica.

1.3 Formulación del problema

El problema que da origen a la siguiente investigación se formula así:

¿Cuál es el Desempeño Sismorresistente del Edificio 4F de la Universidad Nacional de Cajamarca?

1.4 Justificación

El presente trabajo de investigación pretende determinar el desempeño sismorresistente del edificio 4F de la Universidad Nacional de Cajamarca; por ser esta estructura una edificación existente y realizar el modelo usando el programa SAP2000, el cual definirá las propiedades geométricas de los elementos estructurales y también las propiedades de los materiales.

El análisis se realizará usando el procedimiento propuesto por la APPLIED TECHNOLOGY COUNCIL (ATC) y los criterios de evaluación de desempeño sísmico propuesto por la SEAOC (Structural Engineers Association of California).

1.5 Alcances o delimitación de la investigación

La presente investigación pretende mostrar la forma en la que la estructura del edificio 4F se comportaría frente a la ocurrencia de un evento sísmico y evaluar la forma en la que dicha estructura incursionaría en el rango inelástico o plástico y poder conocer la secuencia de ésta incursión (primer agrietamiento, fluencia y falla de los elementos de la estructura). El análisis para determinar el desempeño de la investigación (Análisis Estático No Lineal o Análisis Pushover) se basará en criterios tomados de procedimientos propuestos por la ATC (Applied Technology Council).

1.6 Objetivos

Objetivo general

- # Determinar el Desempeño Sismorresistente del Edificio 4F de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Objetivos específicos

- a. Determinar los desplazamientos de la edificación, mediante el análisis estático no lineal (PUSHOVER)
- b. Determinar el nivel de Desempeño Sísmico de la edificación, mediante el Método del Espectro de Capacidad – Procedimiento B del ATC – 40.
- c. Verificar si los desplazamientos de entrepiso obtenidos se encuentran dentro de los límites permisibles propuestos por la Norma E-030.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes teóricos de la investigación

Los estudios sobre el desempeño sismorresistente de las estructuras son una constante en diversas partes del planeta. Con esto se persiguen diversas razones, como son crear nuevas normativas, determinar la vulnerabilidad de las estructuras, evaluar el cambio de uso de las estructuras y otras.

Uno de estos estudios fue el diseño basado en el desempeño, el cual en sus inicios fue publicado en un documento presentado por Applied Technology Council (ATC) en 1996. Posteriormente se realizaron diversos estudios a cargo de la Structural Engineers Association of California (SEAOC). Los estudios más recientes son los que ha desarrollado la Federal Emergency Management Agency (FEMA) del 2002.

En México se realizó un trabajo sobre la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las estructuras utilizando un diseño por desempeño sísmico. En este trabajo, luego de hacer una descripción del análisis por desempeño, se realizó un estudio de 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 lo cual se tuvo que realizar las curvas de capacidad correspondientes (Carrillo, 2007).

En el Perú en el 2001 se realizó un 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 Ático MW=8.4 en el 2001 y además se espera que tenga un comportamiento aceptable durante sismos mayores. En cuanto a los edificios escolares tradicionales, diseñados antes de 1997, los resultados muestran que son estructuras vulnerables. (Muñoz, 2001).

En la Universidad Nacional de Cajamarca se han realizado estudios en estructuras, los cuales siguen:

- ✦ En el 2010 se realizó el estudio del “Desempeño Sismorresistente del Edificio 2B de la Universidad Nacional de Cajamarca”. Los 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. (Bardales, 2010).

- ✦ En el 2014 se realizó el estudio del “Desempeño Sismorresistente del Edificio 4J de la Universidad Nacional de Cajamarca”. Los resultados muestran que la estructura alcanza un desempeño correcto para los sismos aplicados en la dirección X, según lo indicado por la SEAOC, e incluso alcanzan niveles de desempeño aún mejores que los considerados como óptimos por la misma y la deriva alcanzada por la estructura para el sismo muy raro aplicado en la dirección X excede levemente al límite propuesto por la Norma E-030, pero no afecta al desempeño de la estructura (Merino Zelada, 2014).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Análisis Estático No Lineal

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 2.1).

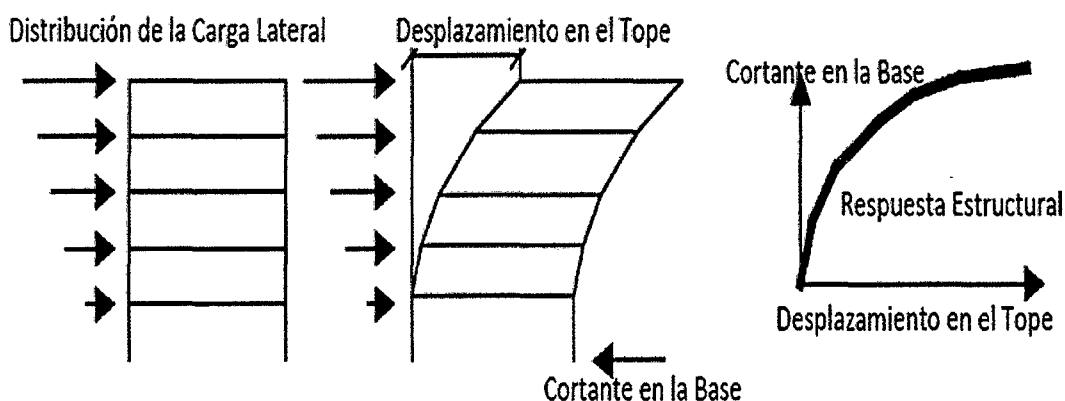


Figura 2.1. Esquema del proceso del Análisis Estático No Lineal

2.2.1.1 Sismos de Diseño

Se establecen cuatro niveles de severidad en las sollicitaciones sísmicas, cada uno de los cuales se define por un sismo de diseño. Los sismos de diseño son: sismo frecuente, sismo ocasional, sismo raro y sismo muy raro. Dado que los sismos son tratados como sucesos aleatorios, la cuantificación de sus efectos en las estructuras sólo puede hacerse en términos de probabilidad y riesgo. De esta manera los sismos de diseño se definen en función de los periodos medios de retorno de tales eventos o en función de la probabilidad de excedencia durante un determinado tiempo de exposición, que para edificaciones se suele considerar de unos 50 años. (Muñoz, 1999).

La siguiente tabla muestra los periodos de retorno medio y las probabilidades de

excedencia en 50 años de exposición para los sismos de diseño sugeridos por el SEAOC.

Sismo de diseño	Probabilidad de excedencia en 50 años (%)	Periodo de retorno (Años)
Frecuente	69	43
Ocasional	50	72
Raro	10	475
Muy raro	5	970

Tabla. 2.1 Características probabilísticas de ocurrencia de los sismos de diseño.

2.2.1.2 Peligro Sísmico

En la siguiente tabla se muestra la probabilidad de excedencia, el periodo de retorno y los valores de aceleración máxima en la roca asociados a los cuatro niveles de peligro sísmico sugeridos para la costa oeste de América del sur.

Sismo de Diseño	Aceleración Esperada (g)
Frecuente	0.20
Ocasional	0.25
Raro	0.40
Muy Raro	0.50

Tabla 2.2. Aceleración máxima en roca para los sismos de diseño en la costa este de América del Sur (Fuente: Muñoz, 1999)

Para construir los espectros de demanda se usaron espectros de aceleración cuya forma se tomó de la propuesta de la Uniform Building Code UBC (figura 2.2), la misma que corresponde a terremotos de subducción.

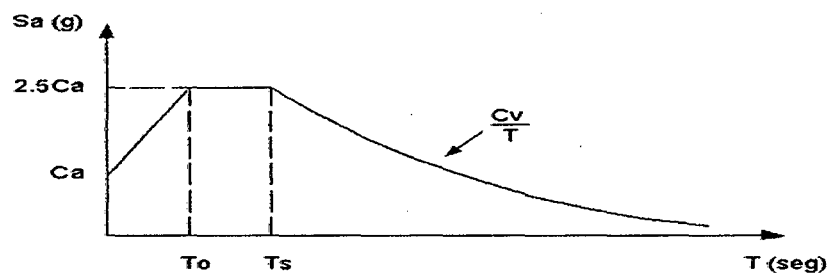


Figura 2.2. Espectro de la Uniform Building Code (UBC)

En este espectro esquemático del UBC, los términos independientes son C_a y C_v y los periodos singulares (T_o y T_s) satisfacen las siguientes relaciones:

$$T_s = \frac{C_v}{2.5C_a}$$

$$T_0 = 0.2T_s$$

El espectro de la Norma Peruana (SENCICO 2003) corresponde a un evento de 500 años de periodo de retorno (que corresponde a sismo raro) con una aceleración pico de 0.4g para la costa peruana con suelo bueno. El factor de amplificación de la Norma Peruana es de 2.5 y el fin de la plataforma corresponde a 0.4 seg de periodo. La figura 2.3 muestra el espectro elástico de la Norma Técnica de Diseño Sismorresistente para dichas condiciones.

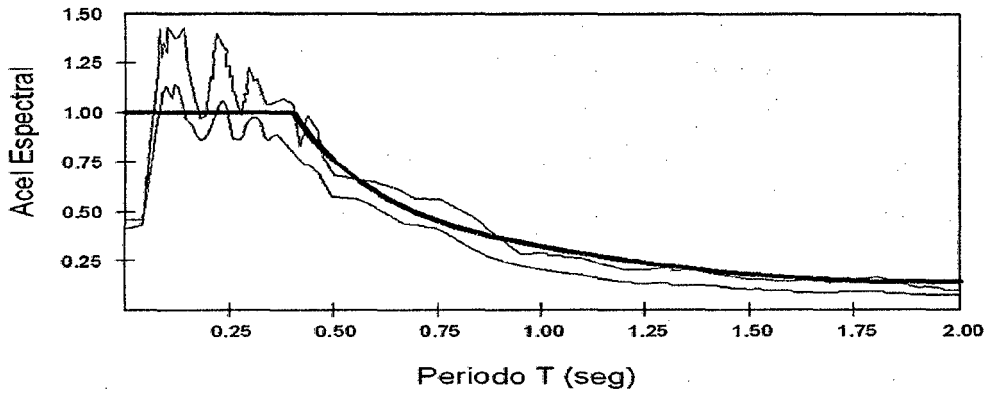


Figura 2.3. Espectro Elástico de la Norma Peruana

Para relacionar este espectro con el esquema del UBC se determinó que los valores C_a y C_v son 0.4 correspondientes a un Sismo Raro. La figura 2.4 muestra el espectro obtenido empleando el esquema UBC.

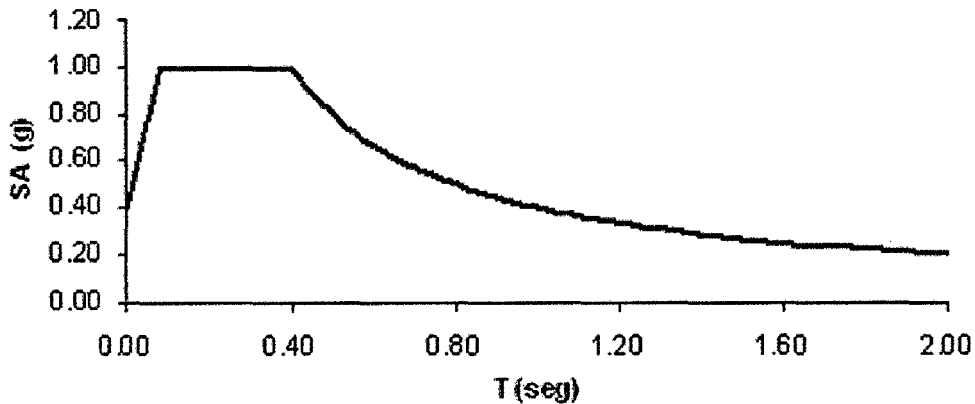


Figura 2.4. Espectro de la UBC para sismo raro

Como se puede observar ambos espectros son coincidentes salvo en la zona de periodos muy cortos en la cual el espectro de la Norma Peruana E-030 no refleja tendencia hacia la aceleración pico del suelo. La siguiente tabla presenta los valores de C_a y C_v

encontrados para cada uno de los sismos.

Sismo de Diseño	Aceleración Esperada (g)	Ca	Cv
Frecuente	0.20	0.20	0.20
Ocasional	0.25	0.25	0.25
Raro	0.40	0.40	0.40
Muy Raro	0.50	0.50	0.50

Tabla 2.3. Equivalencia de la Norma Peruana con la propuesta de la UBC

2.2.1.3 Desempeño esperado de la edificación

El desempeño esperado de la edificación describe un comportamiento sísmico que puede considerarse satisfactorio para una edificación sometida a movimientos sísmicos de diferentes intensidades. Es una expresión del comportamiento deseado o del desempeño objetivo que debe ser capaz de alcanzar un edificio sujeto a un determinado nivel de movimiento sísmico. Pueden definirse múltiples niveles de desempeño esperado, seleccionando diferentes niveles de desempeño de la edificación para cada uno de los movimientos especificados. Su selección debe estar basada en las características de ocupación de la edificación, la importancia de la función de sus instalaciones, las consideraciones económicas relacionadas con los costos de reparación de daño y de interrupción de servicios, la importancia de la edificación en el ámbito histórico y cultural. (SEAOC, 1995).

El desempeño esperado está íntimamente ligado a los niveles de amenaza sísmica ya anteriormente definidos. La tabla 2.6 reproduce los niveles recomendados de desempeño esperado para edificaciones, conforme a su clasificación de acuerdo al uso y ocupación en instalaciones de seguridad crítica, instalaciones esenciales/riesgosas e instalaciones básicas.

1: Instalaciones Básicas 2: Instalaciones Esenciales 3: Instalaciones de Seguridad Crítica 0: Desempeño Inaceptable		Nivel de Desempeño Sísmico			
		Operacional	Funcional	Seguridad de vida	Cerca al Colapso
Nivel del movimiento Sísmico	Frecuente (T=43 años)	1	0	0	0
	Ocasional (T=72 años)	2	1	0	0
	Raro (T=475 años)	3	2	1	0
	Muy Raro (T=970 años)	-	3	2	1

Tabla 2.4. Niveles recomendados de desempeño esperado para edificaciones (SEAOC, 1995)

2.2.1.4 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 2.5.

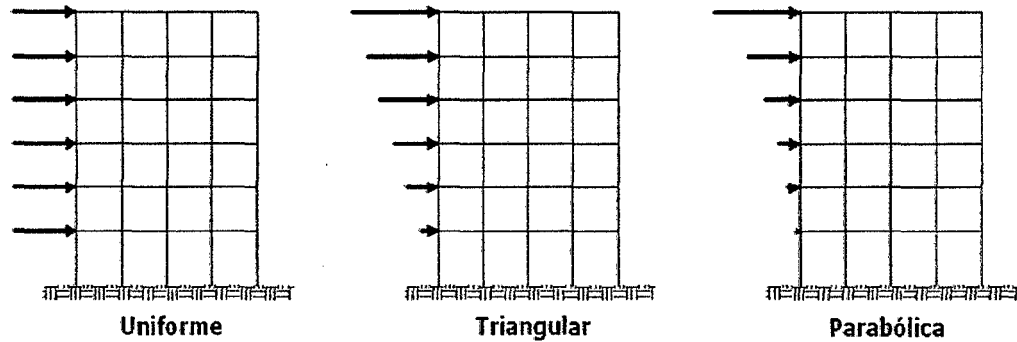


Figura 2.5. Patrones de Carga Lateral

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.

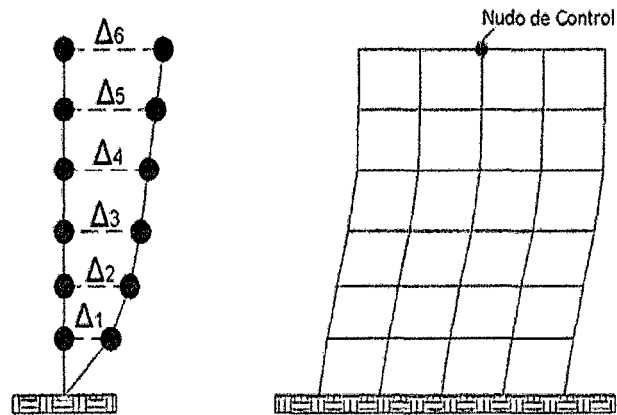


Figura 2.6. Desplazamientos de entrepiso y nudo de control

El proceso de análisis incremental se controla por un nudo determinado, generalmente en el techo, como se muestra anteriormente, indicando 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 se muestra en la siguiente figura.

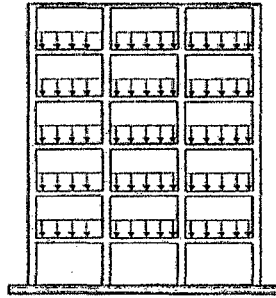


Figura 2.7. Acción de Cargas de Gravedad sobre la estructura

Durante el proceso de acciones incrementales, el desplazamiento (Dt) 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 - Dt), denominada Curva de Capacidad, la cual se representa en la figura 2.8 con algunos puntos relevantes de la misma.

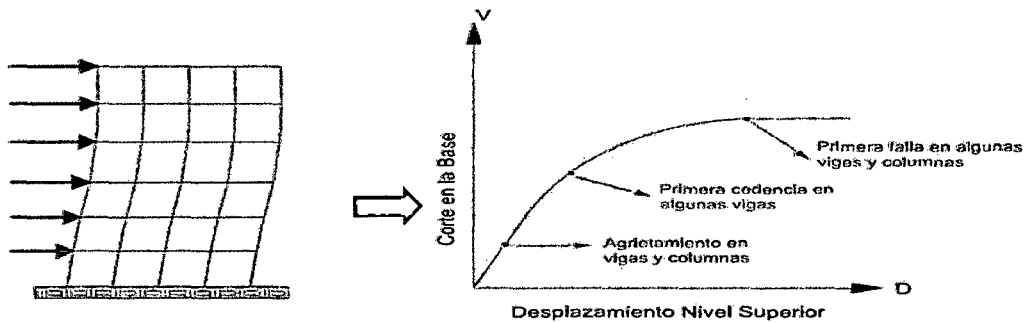


Figura 2.8. Representación del Análisis Incremental de Cargas Laterales y de la Curva de Capacidad

2.2.1.5 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 (S_{A_i}, S_{D_i}) del espectro de capacidad, según las siguientes fórmulas:

$$S_{D_i} = \frac{\Delta_{n_i}}{\beta_1 \times \varphi_{1,n}}$$

$$S_{A_i} = \frac{V_i}{\alpha_1}$$

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.

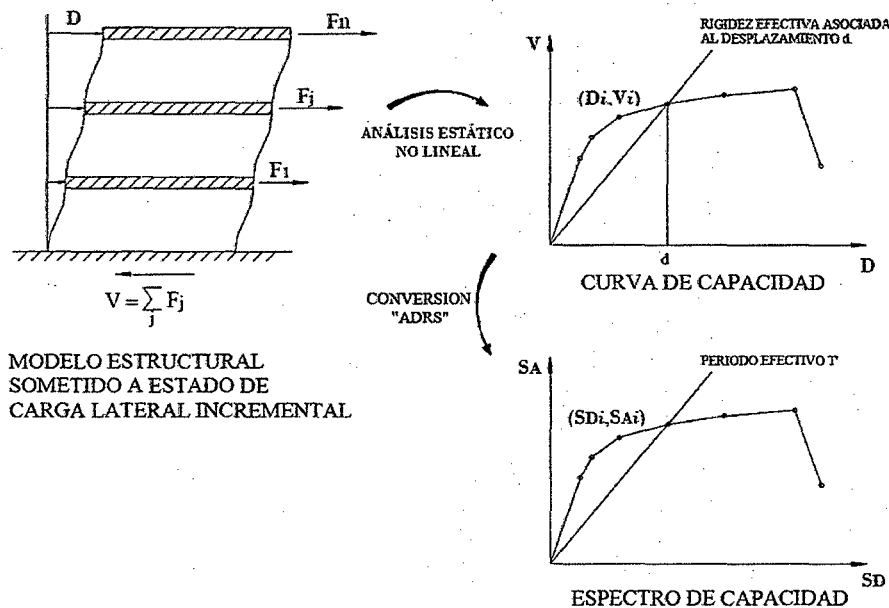


Figura 2.9. Secuencia para la obtención del Espectro de Capacidad

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:

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

2.2.1.6 Espectro de Demanda

Los espectros de demanda, relacionan el desplazamiento espectral S_D , con la aceleración espectral S_A , 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 (S_D) y de la aceleración espectral (S_A) respectivamente. Los periodos están representados por líneas inclinadas.

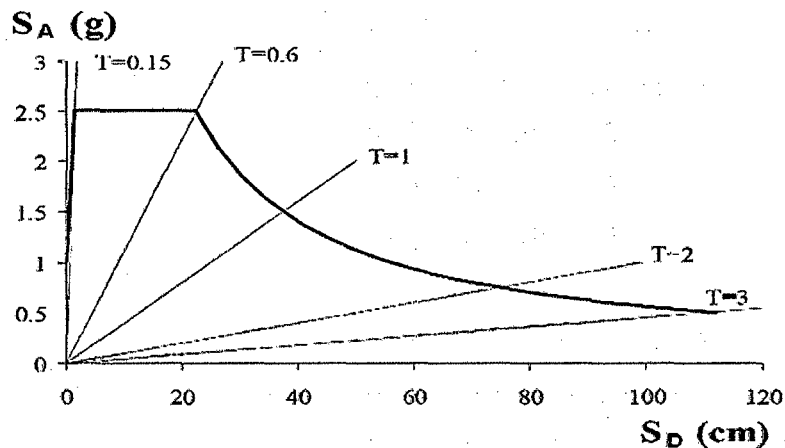


Figura 2.10. Espectro de Demanda

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 (SA como una fracción de la aceleración de la gravedad) respecto el desplazamiento espectral (SD). 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:

$$S_{Di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_{Ai} \times g$$

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.

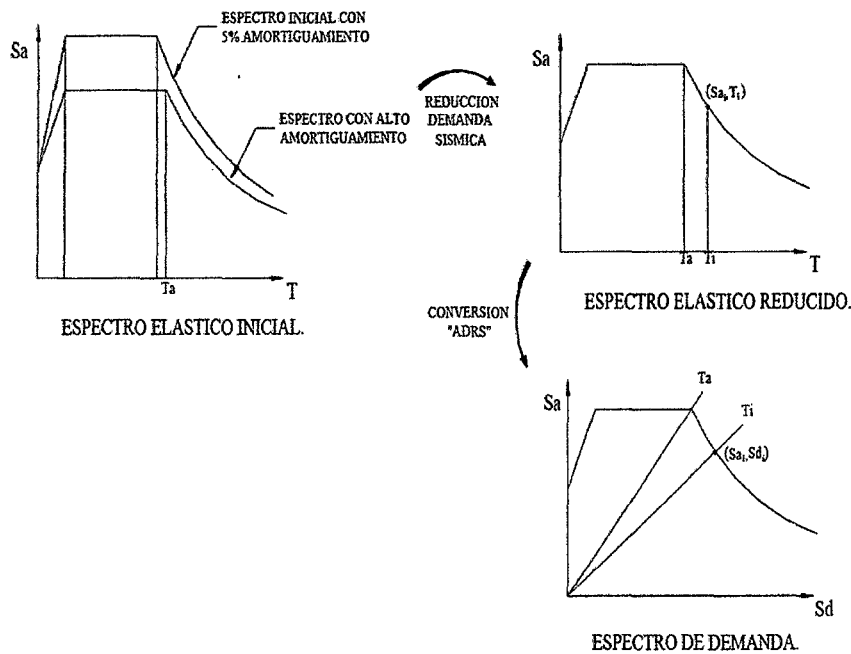


Figura 2.11. Secuencia para la obtención del Espectro de Demanda

2.2.2 Niveles de 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 significación pública (impacto en ocupantes, usuarios, etc.) y en términos técnicos ingenieriles para el diseño o evaluación de edificaciones existentes (extensión del deterioro, degradación de los elementos estructurales o no estructurales, etc.).

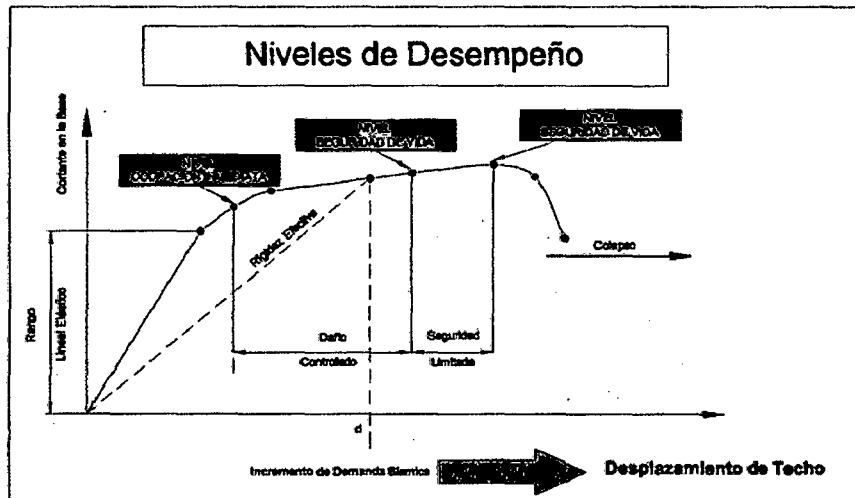


Figura 2.12. Representación gráfica de niveles de desempeño sobre la curva de desplazamiento versus cortante basal

2.2.2.1 Niveles de desempeño según la SEAOC (propuesta del Comité VISION 2000)

La propuesta del comité VISION 2000 define cuatro niveles de desempeño identificados a través de los siguientes calificadores:

a. Operacional

Nivel de desempeño en el cual no ocurren daños. Las consecuencias sobre los usuarios de las instalaciones son despreciables. La edificación permanece totalmente 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

Nivel de desempeño en el cual ocurren daños moderados en elementos no estructurales y en el contenido de la edificación, e incluso algunos daños ligeros en elementos estructurales. El daño es limitado y no compromete la seguridad de la edificación que debería permanecer disponible para cumplir con sus funciones normales inmediatamente después del sismo, aunque los daños en elementos no estructurales y

contenido, puede interrumpir parcialmente algunas funciones.

En general, se requieren algunas reparaciones menores necesarias para el reinicio de las actividades que se puedan llevar a cabo en la estructura.

c. Seguridad o Supervivencia

Nivel de desempeño en el cual ocurren daños moderados en elementos estructurales, no estructurales y en el contenido de la edificación, degradación de la rigidez lateral y la capacidad resistente del sistema, interrupción de servicios eléctricos, mecánicos y perturbación de las vías de escape de la edificación. Las instalaciones quedan fuera de servicio y el edificio probablemente requerirá reparaciones importantes.

d. Cerca al Colapso

Nivel de desempeño en el cual la degradación de la rigidez lateral y la capacidad resistente del sistema compromete la estabilidad de la estructura aproximándose al colapso estructural. Se produce la interrupción de servicios y vías de escape. La edificación es completamente insegura para sus ocupantes y la extensión de las reparaciones puede resultar no factible técnica y/o económicamente.

ESTADO DE DAÑO	NIVEL DE DESEMPEÑO	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES
Despreciable	Operacional	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo. Las instalaciones continúan prestando sus 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 elementos no estructurales pueden dañarse
Severo	Cerca al Colapso	Daño estructural severo, en la proximidad del colapsoestructural. Falla de elementos no estructurales. Seguridad de ocupantes comprometida.

Tabla 2.5. Características de los estados de daño asociados a cada nivel de desempeño. SEAOC

2.2.2.1 Niveles de Desempeño Según la Propuesta de la ATC-40 (Applied Technology Council)

Los niveles de desempeño determinados por el ATC-40 para las estructuras, corresponden a una composición de los niveles usados para los elementos estructurales y los niveles correspondientes a los elementos no estructurales, ambos definidos independientemente.

A. Niveles para los elementos estructurales

Se precisan tres niveles o estados de daño discretos: ocupación inmediata, seguridad y estabilidad estructural. Estos tres niveles pueden ser utilizados directamente para definir criterios técnicos en los procesos de evaluación y rehabilitación de estructuras. Adicionalmente, se establecen dos rangos intermedios: daño controlado y seguridad limitada. Estos rangos intermedios permiten discriminar, de una forma más adecuada y útil, el nivel de desempeño de la estructura. Esto es de gran utilidad en el caso de ser necesaria una evaluación o un reforzamiento de una estructura en particular. Estos niveles se identifican por la abreviación, SP-n (SP son las siglas de “Structural Performance” y n es un número que varía entre 1 y 6). A continuación se describen estos 6 niveles de desempeño.

- a. Ocupación inmediata, SP-1:** los daños son muy limitados y de tal magnitud, que el sistema resistente de cargas laterales y verticales permanece prácticamente en las mismas condiciones de capacidad y resistencia que antes de ocurrido el sismo. No se presentan pérdidas de vidas humanas y la estructura funciona con normalidad.
- b. Daño controlado, SP-2:** corresponde a un estado de daño que varía entre los límites de ocupación inmediata y seguridad. La vida de los ocupantes no está en peligro, aunque es posible que éstos puedan verse afectados.
- c. Seguridad, SP-3:** los daños después del sismo no agotan por completo los márgenes de seguridad existentes frente a un posible colapso parcial o total de la estructura. Pueden producirse algunos heridos tanto en el interior como en el exterior, sin embargo el riesgo de la vida de los ocupantes debido a un fallo de los elementos estructurales es muy bajo. Es posible que sea necesario reparar la estructura antes de ser ocupada de nuevo, siempre y cuando sea factible y rentable desde el punto de vista económico.
- a. Seguridad limitada, SP-4:** corresponde a un estado de daño entre los niveles de seguridad y estabilidad estructural, en el que algunas partes de la estructura pueden requerir un reforzamiento para poder garantizar el nivel de seguridad.
- e. Estabilidad estructural, SP-5:** este nivel corresponde al estado de daño límite después de ocurrido un sismo en el cual el sistema estructural está muy cerca de

experimentar un colapso parcial o total.

Se producen daños sustanciales, pérdida de rigidez y resistencia en los elementos estructurales. A pesar de que el sistema de cargas verticales continua funcionando, hay un alto riesgo de que se produzca el colapso por causa de posibles replicas. Es muy probable que los daños en las estructuras más antiguas sean técnica y económicamente irreparables.

- f. No considerado, SP-6:** éste no es un nivel de desempeño, pero es útil en algunas ocasiones que requieran evaluar los daños sísmicos no estructurales o realizar un reforzamiento.

B. Niveles para los elementos no estructurales

Se consideran 4 niveles de desempeño correspondientes a estados discretos de daño para los elementos no estructurales: operacional, ocupación inmediata, seguridad y amenaza reducida.

Estos niveles se representan con la abreviación NP-n. NP son las siglas de “Nonstructural Performance” y n es una letra que toma valores entre A y E.

- a. Operacional NP-A:** los elementos no estructurales, maquinarias y sistemas del edificio continúan en su sitio y funcionando con normalidad después del sismo.
- b. Ocupación inmediata NP-B:** a pesar de que los elementos no estructurales y sistemas permanecen en su sitio, pueden presentarse algunas interrupciones en el funcionamiento de las maquinarias y equipos. Algunos servicios externos pueden no estar disponibles, aunque esto no compromete la ocupación del edificio.
- c. Seguridad NP-C:** pueden presentarse daños severos en algunos elementos no estructurales tanto dentro como fuera del edificio, sin que se llegue al colapso, ni se ponga en peligro la seguridad de los ocupantes. Los sistemas, equipos y maquinaria pueden verse seriamente afectados, requiriendo, en algunos casos, ser reparados o, en el peor de los casos, reemplazados.
- d. Amenaza reducida NP-D:** se presentan daños severos en elementos no estructurales, contenidos y sistemas, pero sin llegar al colapso o al fallo de grandes elementos, como por ejemplo parapetos y muros exteriores de mampostería, entre

otros, que puedan ocasionar heridas a grupos de personas.

- e. **No considerado NP-E:** no es un nivel de desempeño y se usa para indicar que no se han evaluado los elementos no estructurales, a menos que tengan un efecto directo sobre la respuesta estructural, como por ejemplo los muros de mampostería de relleno o las particiones.

C. 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 la estructura y de los componentes no estructurales.

La siguiente tabla muestra las posibles combinaciones (propuestas en el ATC-40), donde se han destacado e identificado los cuatro niveles de desempeño de edificaciones más comúnmente referenciados: operacional (1-A), ocupación inmediata (1-B), seguridad (3-C) y estabilidad estructural (5-E), los cuales han sido resaltados en la tabla 2.2 y se describen a continuación. Estas combinaciones representan el comportamiento global del edificio.

Nivel para elementos no estructurales	Nivel para elementos estructurales					
	SP -1 Ocupación inmediata	SP - 2 Daño controlado (rango)	SP - 3 Seguridad	SP - 4 Seguridad limitada (rango)	SP - 5 Estabilidad estructural	SP - 6 No considerado
NP - A Operacional	1 - A Operacional	2 - A	No recomendado	No recomendado	No recomendado	No recomendado
Np - B Ocupación Inmediata	1 - B Operacional Inmediata	2 - B	3 - B	No recomendado	No recomendado	No recomendado
NP - C Seguridad	1 - C	2 - C	3 - C Seguridad	4 - C	5 - C	6 - C
NP - D Amenaza	No recomendado	2 - D	3 - D	4 - D	5 - D	6 - D
NP - E No considerado	No recomendado	No recomendado	3 - E	4 - E	5 - E Estabilidad estructural	No aplicable

Tabla 2.6. Niveles de desempeño, de la edificación (ATC - 40)

Estos niveles de desempeño están asociados a la siguiente descripción:

- a. Operacional 1-A:** Se relaciona básicamente con la funcionalidad. Los daños en componentes estructurales son limitados y los sistemas y elementos no estructurales permanecen funcionando con normalidad después del sismo. Cualquier reparación requerida no perturba ninguna función.
- b. Ocupación inmediata 1-B:** corresponde al criterio más usado para edificaciones. Los espacios de la edificación, los sistemas y los equipamientos permanecen utilizables, después del sismo. Se mantienen en funcionamiento los servicios primarios, quizás algunos servicios secundarios presenten pequeñas interrupciones de fácil e inmediata reparación. Se mantiene la seguridad de los ocupantes.
- c. Seguridad de vida 3-C:** corresponde a un estado de daños que presenta una baja probabilidad de atentar contra la vida. Constituye el nivel de desempeño de la edificación que se espera alcanzar con la aplicación de los actuales códigos sísmicos. Se caracteriza por presentar daños limitados en los componentes estructurales y el eventual fallo de los componentes no estructurales, con posibilidad inclusive de fallo en algún elemento peligroso y en alguno de los elementos primarios (servicios de agua, electricidad, etc.) y secundarios (acabados, fachadas, etc.), pueden fallar, siempre que no atente contra la vida de los usuarios.
- d. 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.

2.2.3 Evaluación del Desempeño Sísmico de la Estructura

El comité Visión 2000 del SEAOC propone cinco niveles de desempeño, que se describen en función del comportamiento del sistema estructural y de las instalaciones y elementos no estructurales en general.

NIVEL DE DESEMPEÑO	DESCRIPCIÓN
Completamente Operacional (CO)	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo. Los sistemas de evacuación y todas las instalaciones continúan prestando servicio.
Funcional (F)	Agrietamiento en elementos estructurales. Daño leve y moderado en elementos arquitectónicos. Los sistemas de evacuación y seguridad funcionan con normalidad.
Resguardo de la Vida (RV)	Daño moderado en algunos elementos. Pérdida de resistencia y rigidez del sistema resistente de cargas laterales. El sistema permanece funcional. Algunos elementos no estructurales pueden fallar.
Cerca al Colapso (CC)	Daños severos en elementos estructurales. Fallo de elementos secundarios, no estructurales contenidos.
Colapso (C)	Pérdida parcial o total de soporte. Colapso parcial o total. No es posible la reparación.

Tabla 2.7. Descripción de los Daños Asociados a cada Nivel de Desempeño (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 la 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 a 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.

NIVEL DE DESEMPEÑO	RANGO DE DESPLAZAMIENTO
Operacional	$0 - \Delta FE$
Funcional	$\Delta FE - \Delta FE + 0.30\Delta p$
Seguridad de Vida	$\Delta FE + 0.30\Delta p - \Delta FE + 0.60\Delta p$
Cerca al Colapso	$\Delta FE + 0.60\Delta p - \Delta FE + 0.80\Delta p$
Colapso	$\Delta FE + 0.80\Delta p - \Delta FE + \Delta p$

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

Tabla 2.8. Descripción de los Daños Asociados a cada Nivel de Desempeño

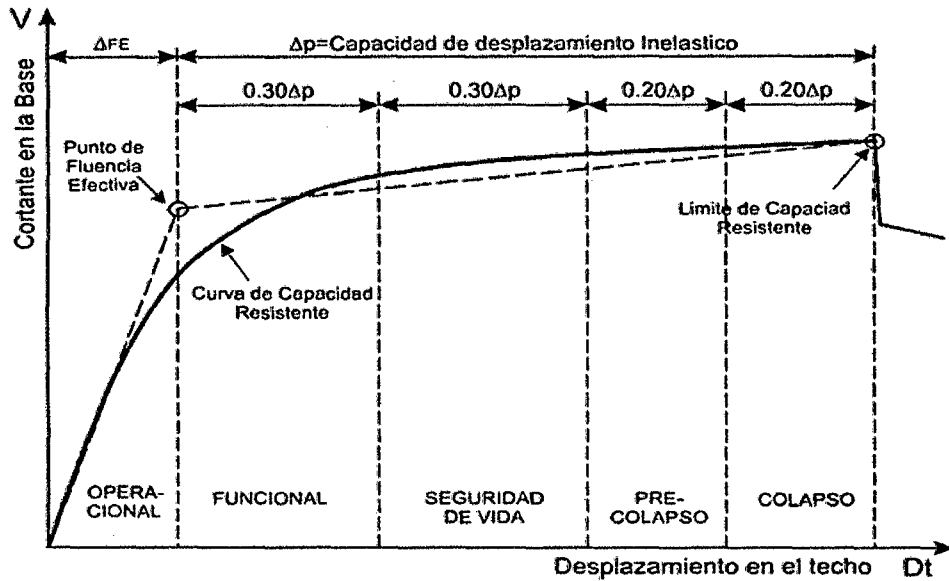


Figura 2.13. Sectorización de la Curva de Capacidad.

2.2.4 Estimación del Punto de desempeño

2.2.4.1 Respuesta elástica de estructuras

El espectro de capacidad muestra los pares de valores fuerza cortante y desplazamiento de la estructura, mientras el espectro de demanda es un espectro elástico para estructuras de distintos periodos e igual amortiguamiento.

Si la intersección de ambos espectros ocurre en la zona elástica del espectro de capacidad, esta intersección constituye el punto de demanda buscado.

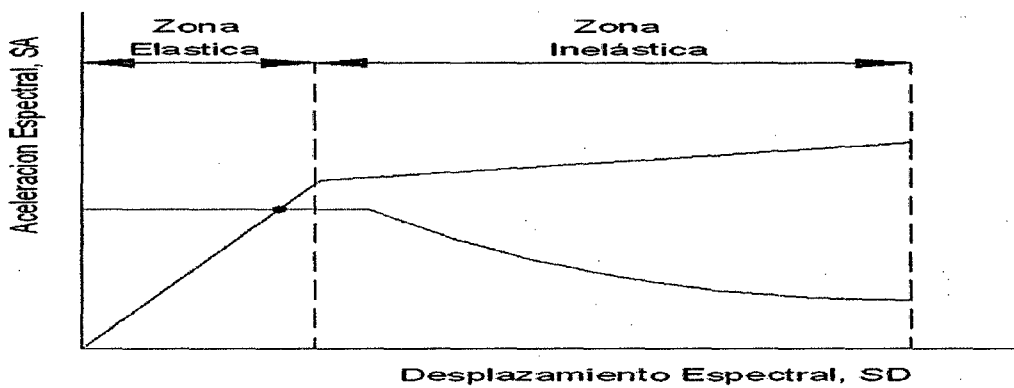


Figura 2.14. Punto de Desempeño en el Rango Elástico

2.2.4.2 Respuesta inelástica de estructuras

Si la intersección del espectro de demanda y capacidad ocurre en la zona inelástica del espectro de capacidad, este punto de intersección no corresponde al punto de

demanda porque el espectro es elástico y el comportamiento supuesto es no lineal.

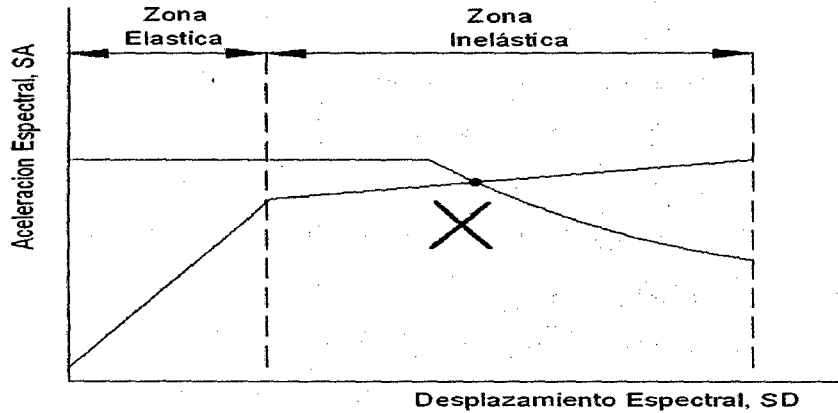


Figura 2.15. Estimación Incorrecta del Punto de Desempeño en el Rango Plástico

Por tanto es necesario considerar que la demanda elástica será sucesivamente ajustada para un factor de amortiguamiento compatible con el nivel de deformaciones esperado. Así, para cada punto del tramo inelástico de la curva de capacidad se puede obtener un amortiguamiento equivalente.

$$\beta_{EQ} = K\beta_0 + \beta_{Elástico} = \frac{63.7(S_{AY}S_{Di} - S_{DY}S_{Ai})}{S_{Ai} \times S_{Di}} + 5$$

Dónde:

S_{Di} , S_{Ai} : son las coordenadas del punto escogido del espectro de capacidad.

S_{DY} , S_{AY} : son las coordenadas del punto de fluencia efectiva.

K : es el factor de reducción del amortiguamiento.

$\beta_{Elástico}$: es el amortiguamiento elástico (asumido 5%).

El nuevo espectro de demanda se reduce debido a que el amortiguamiento equivalente es mayor que el originalmente empleado. Para obtener el espectro reducido se usan factores de reducción para las zonas de aceleraciones y velocidades del espectro (S_{RA} y S_{RV} respectivamente) cuyos valores dependen directamente del nivel de amortiguamiento equivalente.

$$S_{RA} = \frac{3.21 - 0.68 \times \ln(\beta_{EQ})}{2.12}$$

$$S_{RV} = \frac{2.31 - 0.41 \times \ln(\beta_{EQ})}{1.65}$$

El factor SRA corresponde a la zona de aceleraciones (parte plana del espectro de demanda) y el factor SRV a la zona de velocidades. Estos factores se multiplican a las aceleraciones espectrales del espectro elástico original, a fin de obtener las aceleraciones espectrales inelásticas.

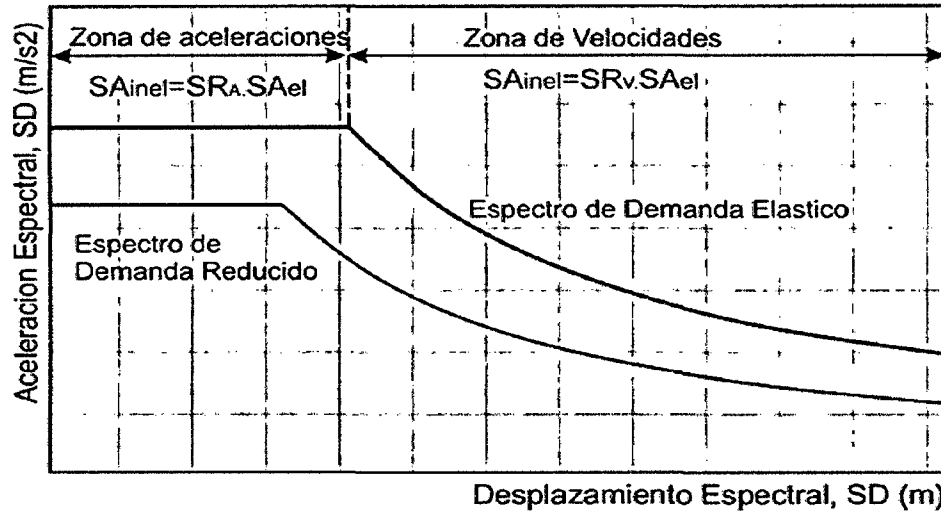


Figura 2.16. Reducción del Espectro de Demanda Elástico (Fernández, 2006)

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 T_p del espectro original y debe calcularse mediante la expresión:

$$T'_p = T_p \left(\frac{SR_v}{SR_A} \right)$$

Cuando la respuesta máxima de la estructura se da en régimen inelástico, el punto de demanda debe encontrarse en la intersección del Espectro de Capacidad con un Espectro de Demanda reducido apropiadamente de acuerdo al nivel de incursión inelástica.

<

Como inicialmente no se conoce el punto de demanda, entonces no se puede calcular el amortiguamiento efectivo y tampoco se puede establecer el espectro reducido. Por tanto el cálculo del Punto de Demanda debe hacerse como el siguiente procedimiento.

Para cada punto de la curva de capacidad se obtiene un amortiguamiento efectivo y así un correspondiente valor del espectro reducido. Uniendo las ordenadas espectrales reducidas se obtiene una curva conocida como Espectro de Amortiguamiento Variable (EDAV). Finalmente de la intersección del EDAV con el espectro de capacidad, se obtiene el punto de demanda.

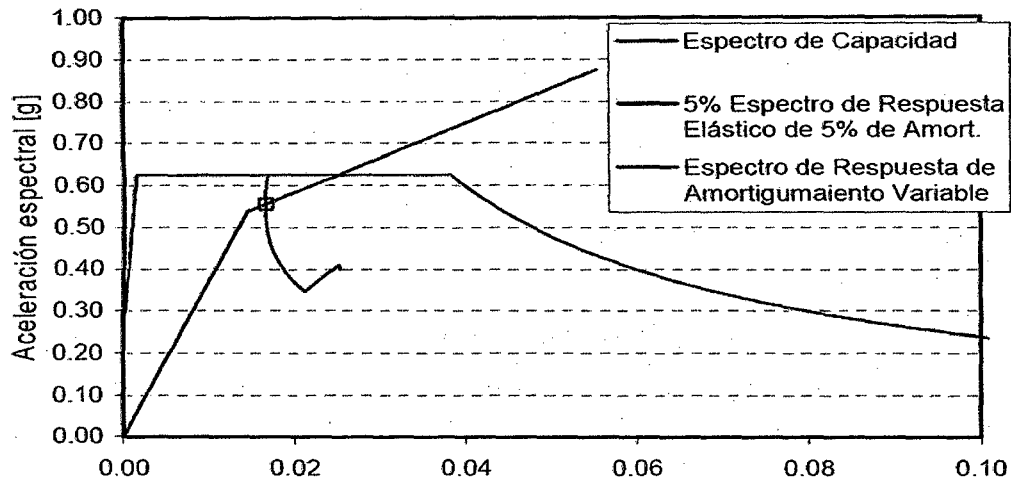


Figura 2.17. Intersección del Espectro de Capacidad y el EDAV (L. Cocco, L. Suárez, M. Ruíz, 2010)

2.3 Definición de términos básicos

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 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)

2.3.3 Demanda

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

2.3.4 Deriva de Entrepiso

Desplazamiento horizontal relativo de entrepisos, calculado como la diferencia de desplazamientos horizontales de dos niveles consecutivos de una edificación divididos por la altura de los entrepisos.

2.3.5 Desempeño Estructural

Es una expresión del comportamiento deseado o del desempeño objetivo que debe ser capaz de alcanzar un edificio sujeto a un determinado nivel de movimiento sísmico. Pueden definirse múltiples niveles de desempeño de la edificación para cada uno de los niveles de movimientos especificados. Su selección debe estar basada en las características de ocupación de la edificación, la importancia de la función de sus instalaciones, las consideraciones económicas relacionadas con los costos de reparación de daño y de interrupción de servicios, la importancia de la edificación en el ámbito histórico y cultural. (SEAOC,1995).

2.3.6 Edificaciones Esenciales

Son aquellas edificaciones 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. (Norma Técnica E-030).

2.3.7 Ensayo de Esclerometría

El ensayo de esclerometría es un ensayo no destructivo que permiten evaluar la resistencia del concreto in situ.

2.3.8 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).

2.3.9 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).

2.3.10 Estructura

Es el armazón que le da forma a un edificio (esqueleto), y lo que hace resistente a una edificación ante movimientos sísmicos. (Genner Villareal).

2.3.11 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).

2.3.12 Nudo de Control de Desplazamiento

Es el nudo ubicado en el centro de masa del techo de una edificación usado en el Análisis Estático no Lineal (AENL) para medir los efectos de originados por los movimientos sísmicos en la estructura. (FEMA 356,2000)

2.3.13 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).

2.3.14 Rótula Plástica

Una rótula plástica es la zona de daño equivalente en la cual se concentra toda la deformación inelástica. A la rótula plástica le corresponde una longitud LP correspondiente a una aproximación de 0.4 a 0.5 veces el peralte del elemento. (Paula y Priestley, 1992).

2.3.15 Relación Momento Curvatura

La relación momento-curvatura, de forma rápida se visualiza que tan dúctil y resistente es un elemento. De la relación momento-curvatura se obtiene la máxima capacidad a flexión del elemento M_u , la curvatura última ϕ_u , y sus respectivos momento y curvatura de fluencia.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.1 Tipo de estudio

- **Descriptivo**, porque se describe el nivel de desempeño sismorresistente que alcanza el edificio 4F de la Universidad Nacional de Cajamarca, después de haber sido sometido a los distintos tipos de movimientos sísmicos.
- **Analítico**, Se analizó el comportamiento de la Estructura frente a los distintos tipos de movimientos sísmicos.

3.1.2 Población

Se considera como población a todos los edificios de la Universidad Nacional de Cajamarca.

3.1.3 Muestra

El edificio 4F de la Universidad Nacional de Cajamarca.

3.2 Metodología de Estudio

La metodología que se utilizó fue la observación y evaluación in situ del edificio; se obtuvo y se revisó los planos de arquitectura y estructuras del edificio (Anexo N° 03), permitiéndonos así conocer las características físicas y estructurales del edificio en estudio.

Además se tuvo que verificar la resistencia del concreto del edificio, utilizando el ensayo del esclerómetro, en coordinación con el Laboratorio de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca (Anexo N° 02).

3.3 Procedimiento

3.3.1 Consideración de las características y propiedades de los materiales del edificio 4F de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Para el análisis estático no lineal del edificio 4F de la Universidad Nacional de Cajamarca, es necesario considerar todas sus características, propiedades de los materiales, propiedades geométricas del edificio y de cada uno de sus elementos estructurales y las cargas a las que está expuesto.

Se considera las siguientes propiedades obtenidas de las especificaciones técnicas de los planos estructurales del edificio 4F de la Universidad Nacional de Cajamarca.

3.3.1.1 Características del edificio 4F

El edificio 4F de la universidad Nacional de Cajamarca, es una construcción aporcada de concreto armado, que se ha edificado en terrenos de la zona N° 3 y está construido de 03 plantas, diseñado para fines de enseñanza universitaria y de investigación.



Figura 3.1. Edificio de Facultad de Derecho y Ciencias Políticas

3.3.1.2 Propiedades y Especificaciones Técnicas del Concreto

- Resistencia a la compresión de vigas:

$$f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$$

- Módulo de elasticidad:

$$E = 15000\sqrt{f'c}$$

$$E=198431.35 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E=1984313.48 \text{ Tn/m}^2$$

- Resistencia a la compresión de columnas:

$$f'c = 165 \text{ Kg/cm}^2$$

- Módulo de elasticidad:

$$E = 15000 \sqrt{f'c}$$

$$E = 192678.49 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E = 1926784.9 \text{ Tn/m}^2$$

- Peso unitario:

$$\gamma = 2400 \text{ Kg/m}^3$$

$$\gamma = 2.4 \text{ Tn/m}^3$$

- Recubrimiento de columnas y vigas

$$R = 4 \text{ cm}$$

3.3.1.3 Propiedades y Especificaciones Técnicas del acero

- Esfuerzo de fluencia:

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

- Peso unitario:

$$\gamma = 7850 \text{ Kg/m}^3$$

- Módulo de elasticidad:

$$E = 21 \times 10^6 \text{ Tn/m}^2$$

3.3.2 Metrado de Cargas

En el metrado de cargas del edificio se ha considerado cargas muertas, cargas vivas y cargas vivas de techo las cuales se obtuvieron de la NTP E.020: Cargas (RNE 2006) y se presenta en el Anexo N° 01.

3.3.3 Modelamiento en el programa SAP 2000

3.3.3.1 Descripción del programa SAP 2000 V15

SAP2000 V15, es una herramienta de diseño y análisis basado en la teoría de elementos finitos, en el cual se pueden desarrollar análisis estáticos y dinámicos para el rango lineal, o para el rango no lineal. Se definen elementos tipo frame o shell, es decir, se

pueden considerar los elementos de marco con una longitud determinada por nudos de extremo y de la misma forma poder definir elementos tipo shell con rotación y desplazamiento en cada uno de sus ejes locales. Para el caso de análisis no lineal, la generación de rótulas plásticas la realiza utilizando modelos de plasticidad concentrada en las zonas de mayor rigidez del elemento.

Para dicho modelamiento se realizará lo siguiente:

1. Se realiza la creación de un archivo, iniciando por la definición geométrica del edificio 4F de la Universidad Nacional de Cajamarca.
2. Se determina las unidades de trabajo.
3. Se define los materiales y secciones transversales.
4. Se realiza el dibujo, modelado y presentación de los elementos que conformarán el modelo a desarrollar.
5. Se selecciona y asignará las propiedades a los elementos que conformarán la estructura.
6. Se asigna el tipo de carga para un elemento predeterminado.
7. Se asigna el tipo de comportamiento que presentará la estructura a desarrollar.
8. Se análisis y se obtiene la información correspondiente al diseño del modelo de la estructura del edificio 4F.

3.3.4 Procesamiento de Datos

El procedimiento de datos se realizó en forma computarizada usando el Software SAP200 V15, Microsoft Office.

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Diagramas de momento giro

Durante los sismos, las vigas y columnas sufren daño en la zona adyacente a los nudos en una longitud determinada L . El daño no es uniforme, sino más concentrado hacia los nudos como se muestra en la siguiente figura.

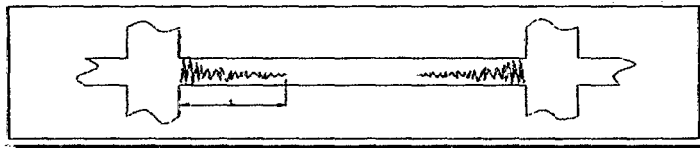


Figura 4.1. Idealización del daño en vigas (Fernández 2006)

Para el modelo analítico se suele considerar una zona de daño equivalente, en la cual se concentre toda la deformación inelástica, esta zona se denomina rótula plástica y le corresponde una longitud L_p , como se muestra en la siguiente figura.

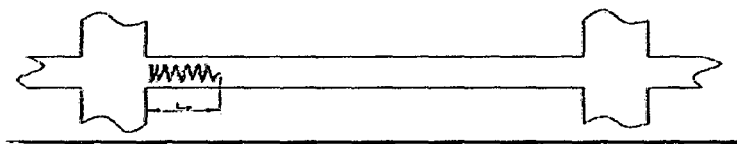


Figura 4.2. Longitud plástica (Fernández 2006)

Una aproximación para la longitud plástica L_p es de 0.4 a 0.5 veces el peralte del elemento: $L_p = 0.4h$ ó $0.5h$ y se asume además que en esta longitud la curvatura es constante (Paulay y Priestley 1992). Estas suposiciones permiten pasar de la relación Momento-Curvatura a la relación Momento-Giro multiplicando cada valor de curvatura por la longitud de rótula efectiva L_p , como lo muestra la siguiente figura.

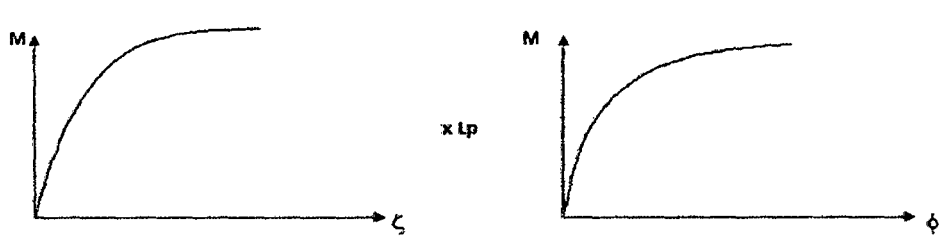


Figura 4.3. Obtención del Diagrama Momento - Giro (Fernández 2006.)

En el presente trabajo, se considera que la longitud de las rótulas plásticas L_p , está dada por:

$$L_p = 0.5xh$$

Dónde:

L_p : Longitud de rótula plástica.

h : Peralte del elemento.

Para determinar los Diagramas Momento-Giro de las secciones de columnas y vigas en el presente análisis, se utilizó los Diagramas Momento - Curvatura, los cuales se generan en el SAP2000 con utilización de la función "Section Designer".

El código FEMA 356 (FEMA 2000) plantea un Diagrama Momento-Giro simplificado con trazos rectos definidos por los puntos notables A, B, C, D, y E como se muestra en la figura.

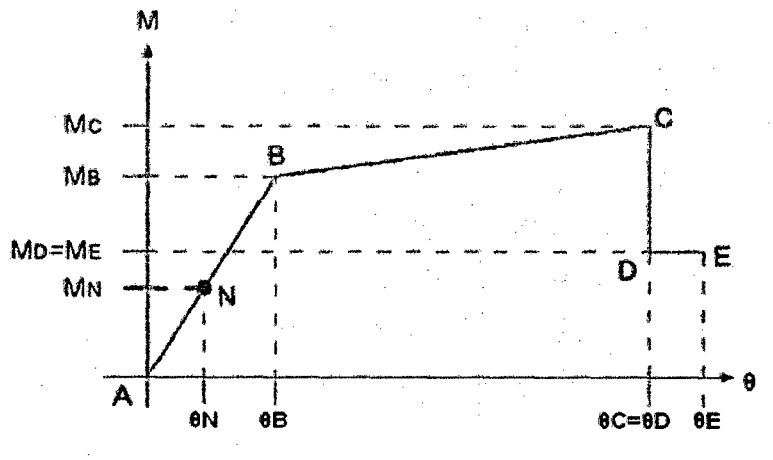


Figura 4.4. Diagrama Momento - Giro Simplificado (Fernández 2006)

El punto A corresponde al momento último obtenido con las combinaciones de carga establecidas en la Norma Peruana; el punto B representa la Fluencia Efectiva; el punto C corresponde a la capacidad máxima resistente de la rótula. Se asume que luego de alcanzar la capacidad máxima se produce una reducción súbita de momento (hasta el 40%), conformando el punto D. Luego, el momento se mantiene constante por un tramo muy corto de deformación (10% del obtenido en el punto C) hasta que sobreviene la rotura, punto E (Fernández 2006).

Además, el FEMA 356 (FEMA 2000) define tres puntos IO (Ocupación Inmediata), LS (Seguridad de Vida) y CP (Prevención del Colapso) que son usados para definir los criterios de aceptación para la articulación. Los valores de deformación que pertenecen a cada uno de estos puntos varían dependiendo del tipo de elemento estructural, tal como lo muestran las siguientes figuras.

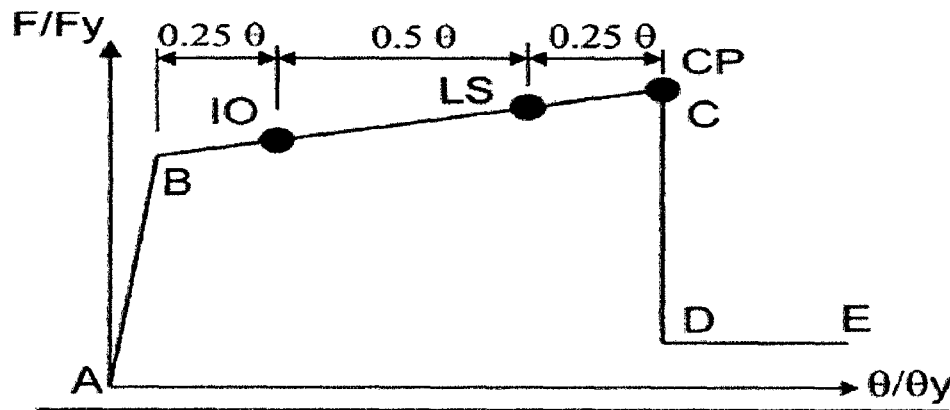


Figura 4.5. Identificación de respuestas límites en una Columna. FEMA 2000.

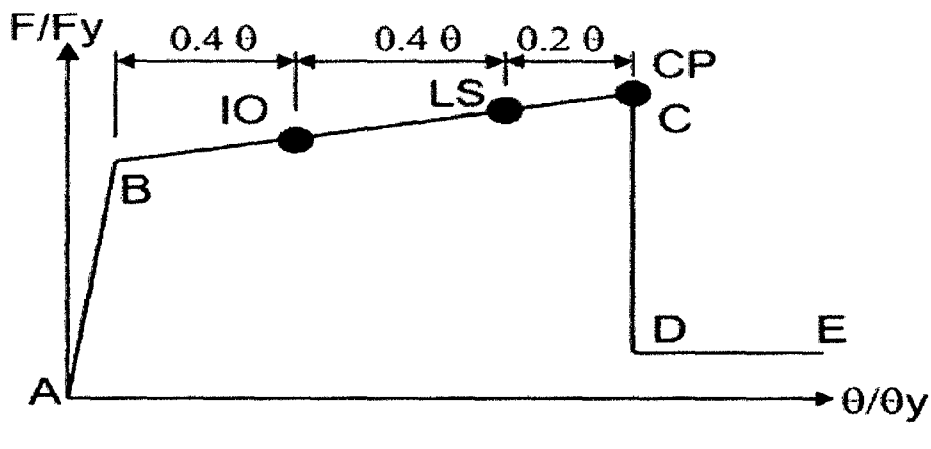


Figura 4.6. Identificación de respuestas límites en una Viga (FEMA 2000.)

4.1.1 Diagramas Momento-Giro para Columnas

Se presentan los diagramas de momento giro de las columnas que se usarán para modelar las rótulas plásticas en el programa SAP 2000.

a. Diagrama Momento Giro para la Columna 1

Como se presenta la misma sección se denomina columna 1, a las siguientes columnas:

- ✓ Columnas del eje 1, eje 2 y eje 3 del primer y segundo nivel.

Sección	Punto	Momento	Curvatura	Lp	Giro	M/My
	-E	-16.033	-0.3593	0.15	-0.054	-0.716
	-D	-16.033	-0.3593	0.15	-0.049	-0.716
	-C	-40.103	-0.3249	0.15	-0.049	-1.791
	-B	-33.083	-0.0155	0.15	-0.002	-1.477
	A	0	0	0.15	0.000	0.000
	B	33.083	0.0155	0.15	0.002	1.477
	C	40.103	0.3249	0.15	0.049	1.791
	D	16.033	0.3593	0.15	0.049	0.716
	E	16.033	0.3593	0.15	0.054	0.716

Tabla 4.1. Datos de la relación Momento Curvatura y Giro de la Columna 1

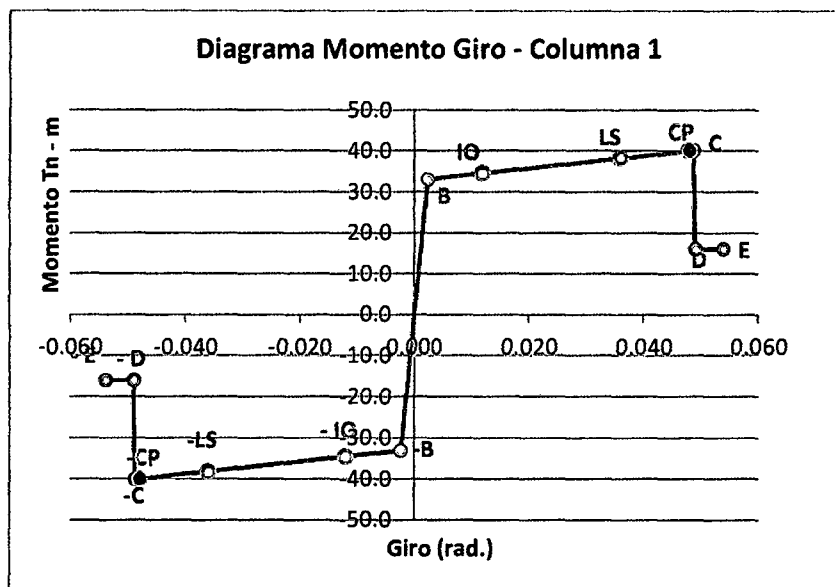


Figura 4.7. Diagrama Momento Giro de la Columna 1

b. Diagrama Momento Giro para la Columna 2

Representa a la sección de las columnas del eje 2 del tercer nivel.

Sección	Punto	Momento	Curvatura	Lp	Giro	M/My
	-E	-8.939	-0.359	0.150	-0.054	-0.467
	-D	-8.939	-0.359	0.150	-0.054	-0.467
	-C	-33.329	-0.325	0.150	-0.049	-1.741
	-B	-26.118	-0.009	0.150	-0.001	-1.364
	A	0.000	0.000	0.150	0.000	0.000
	B	26.118	0.009	0.150	0.001	1.364
	C	33.329	0.325	0.150	0.049	1.741
	D	8.939	0.359	0.150	0.054	0.467
	E	8.939	0.359	0.150	0.054	0.467

Tabla 4.2. Datos de la relación Momento Curvatura y Giro de la Columna 2

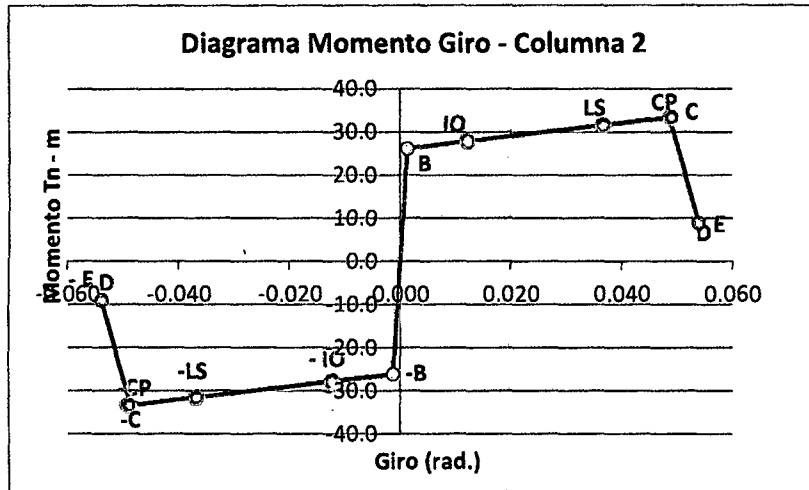


Figura 4.8. Diagrama Momento Giro de la Columna 2

c. Diagrama Momento Giro para la Columna 3

Representa a la sección de las columnas del eje 1 y 3 del tercer nivel.

Sección	Punto	Momento	Curvatura	Lp	Giro	M/My
	-E	-22.910	-0.357	0.150	-0.0536	-0.752
	-D	-22.910	-0.325	0.150	-0.0487	-0.752
	-C	-57.246	-0.325	0.150	-0.0487	-1.879
	-B	-41.084	-0.009	0.150	-0.0013	-1.349
	A	0.000	0.000	0.150	0.0000	0.000
	B	41.084	0.009	0.150	0.0013	1.349
	C	57.246	0.325	0.150	0.0487	1.879
	D	22.910	0.325	0.150	0.0487	0.752
	E	22.910	0.357	0.150	0.0536	0.752

Tabla 4.3. Datos de la relación Momento Curvatura y Giro de la Columna 3

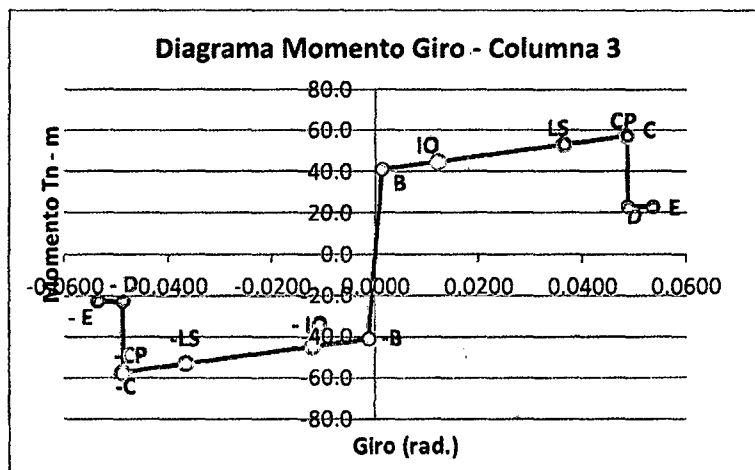


Figura 4.9. Diagrama Momento Giro de la Columna 3

4.1.2 Diagrama Momento Giro de las Vigas

Se presentan las relaciones momento curvatura y los diagramas de momento giro de vigas principales y secundarias que se usarán para modelar las rótulas plásticas en el programa SAP 2000.

a. Diagrama Momento Giro para las rótulas ubicadas en los extremos de las vigas V-101 y 201

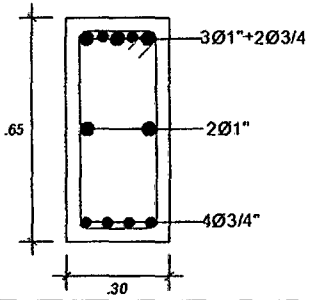
Sección (V101, V102)	Punto	Momento	Curvatura	Lp	Giro	M/My
	-E	-16.571	-0.329	0.325	-0.107	-0.686
	-D	-15.972	-0.239	0.325	-0.078	-0.661
	-C	-45.805	-0.212	0.325	-0.069	-1.897
	-B	-33.655	-0.008	0.325	-0.003	-1.393
	A	0.000	0.000	0.325	0.000	0.000
	B	33.6547	0.008	0.325	0.003	1.393
	C	45.8046	0.212	0.325	0.069	1.897
	D	15.9723	0.239	0.325	0.078	0.661
	E	16.5705	0.329	0.325	0.107	0.686

Tabla 4.4. Datos de la relación Momento Curvatura y Giro de la Viga 101, 201

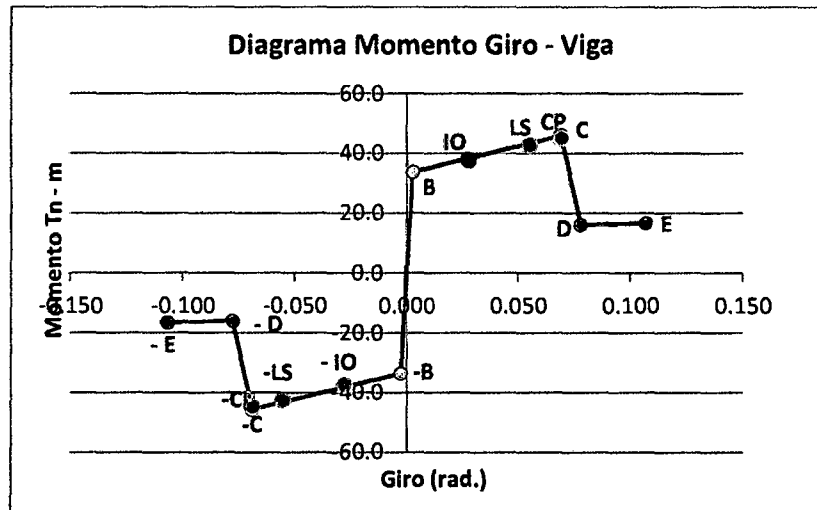


Figura 4.10. Diagrama Momento Giro de la Viga 101, 201

b. Diagrama Momento Giro para las rótulas ubicadas en el centro de luz de las vigas V-101, 201; V102, 202

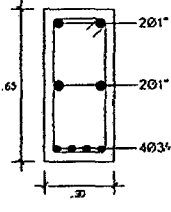
Sección (V-101, 201; V102, 202; Centro de Luz)	Punto	Momento	Curvatura	Lp	Giro	M/My
	-E	-15.3	-0.095	0.325	-0.031	-0.651
	-D	-15.3	-0.086	0.325	-0.028	-0.651
	-C	-38.2	-0.086	0.325	-0.028	-1.627
	-B	-32.2	-0.008	0.325	-0.003	-1.372
	A	0.0	0.000	0.325	0.000	0.000
	B	32.2	0.008	0.325	0.003	1.372
	C	38.2	0.086	0.325	0.028	1.627
	D	15.3	0.086	0.325	0.028	0.651
	E	15.3	0.095	0.325	0.031	0.651

Tabla 4.5. Datos de la relación Momento Curvatura y Giro de la Viga 101, 201, 102,202

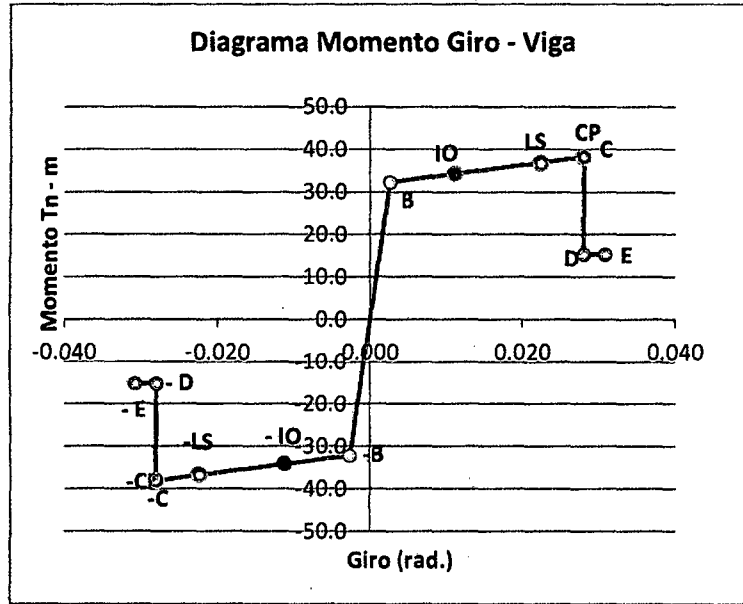


Figura 4.11. Diagrama Momento Giro de la Viga 101, 201, 102,202

c. Diagrama Momento Giro para las rótulas ubicadas en los extremos de las vigas V-102, 202

Sección (V-102, 202 en extremos)	Punto	Momento.	Curvatura	Lp	Giro	M/My
	-E	-17.516	-0.327	0.325	-0.106	-0.729
	-D	-17.197	-0.295	0.325	-0.096	-0.716
	-C	-44.967	-0.266	0.325	-0.086	-1.872
	-B	-33.377	-0.008	0.325	-0.003	-1.389
	A	0.000	0.000	0.325	0.000	0.000
	B	33.3767	0.008	0.325	0.003	1.389
	C	44.9666	0.266	0.325	0.086	1.871
	D	17.1968	0.295	0.325	0.096	0.716
	E	17.5161	0.327	0.325	0.106	0.729

Tabla 4.6. Datos de la relación Momento Curvatura y Giro de la Viga 102, 202

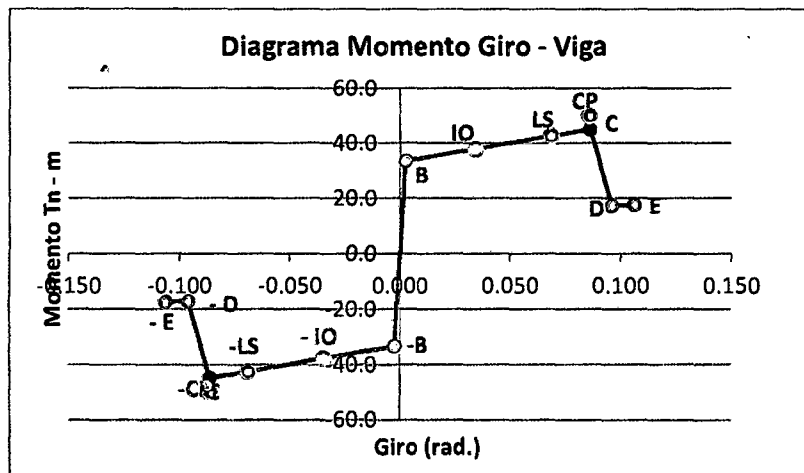


Figura 4.12. Diagrama Momento Giro de la Viga 102,202

d. Diagrama Momento Giro para la rótula adyacente al eje 1 de la V-103, 203.

Sección (adyacente al eje 1 de la V-103, 203)	Punto	Momento	Curvatura	Lp	Giro	M/My
	-E	-17.50	-0.329	0.325	-0.117	-0.564
	-D	-17.50	-0.329	0.325	-0.107	-0.564
	-C	-53.97	-0.297	0.325	-0.097	-1.741
	-B	-42.46	-0.008	0.325	-0.003	-1.370
	A	0.00	0.000	0.325	0.000	0.000
	B	42.455	0.008	0.325	0.003	1.370
	C	53.968	0.297	0.325	0.097	1.741
	D	17.497	0.329	0.325	0.107	0.564
	E	17.497	0.329	0.325	0.117	0.564

Tabla 4.7. Datos de la relación Momento Curvatura y Giro de la Viga 103, 203

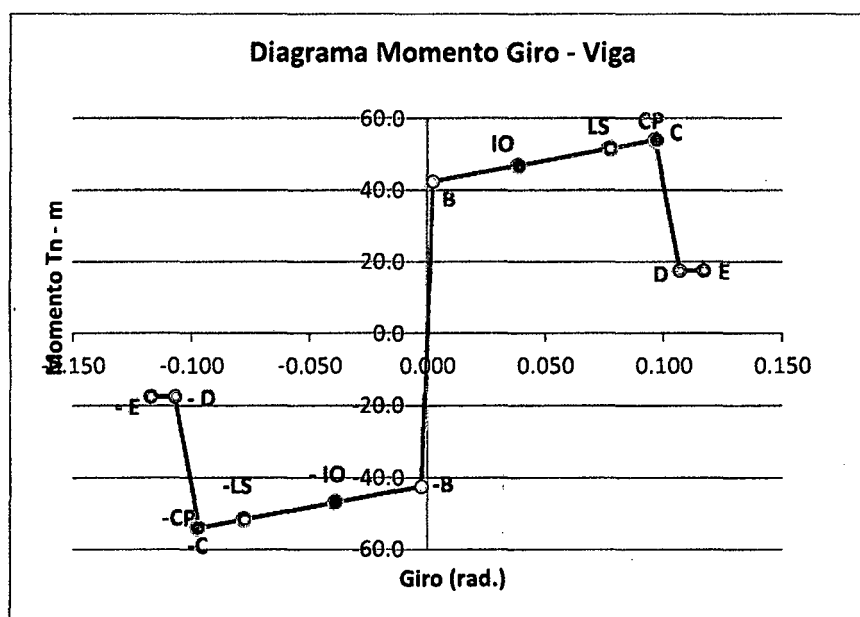


Figura 4.13. Diagrama Momento Giro de la Viga 103,203

e. Diagrama Momento Giro para las rótulas adyacente al eje medio de las V-103, 203.

Sección (Adyacente al eje medio de las V-103, 203)	Punto	Momento	Curvatura	Lp	Giro	M/My
	-E	-17.52	-0.327	0.325	-0.106	-0.795
	-D	-16.87	-0.266	0.325	-0.086	-0.766
	-C	-42.23	-0.238	0.325	-0.077	-1.917
	-B	-30.92	-0.008	0.325	-0.003	-1.403
	A	0.00	0.000	0.325	0.000	0.000
	B	30.92	0.008	0.325	0.003	1.403
	C	42.23	0.238	0.325	0.077	1.917
	D	16.87	0.266	0.325	0.086	0.766
	E	17.52	0.327	0.325	0.106	0.795

Tabla 4.8. Datos de la relación Momento Curvatura y Giro de la Viga 103, 203

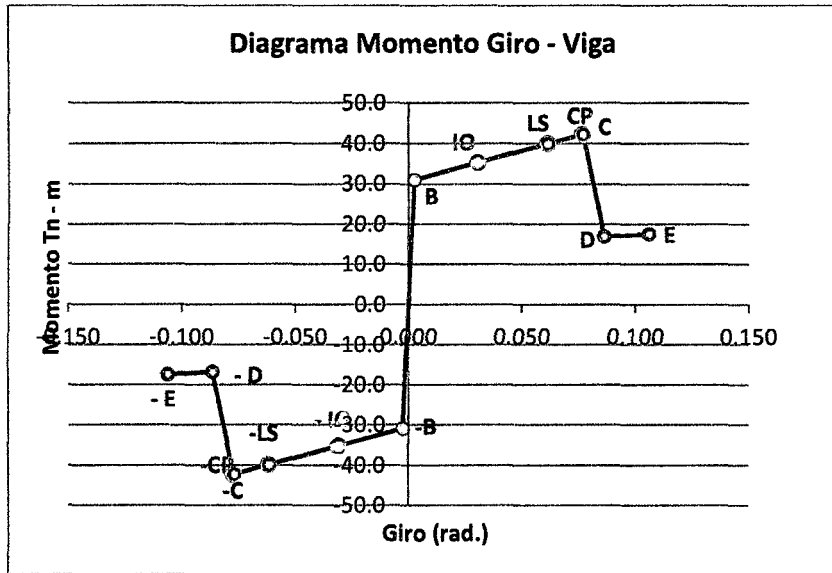


Figura 4.14. Diagrama Momento Giro de la Viga 103,203

f. Diagrama Momento Giro para las rótulas ubicadas en el centro de luz de las V-103, 203.

Sección (en el centro V103,203)	Punto	Momento	Curvatura	Lp	Giro	M/My
	-E	-16.7	-0.091	0.325	-0.030	-0.646
	-D	-16.7	-0.083	0.325	-0.027	-0.646
	-C	-41.8	-0.083	0.325	-0.027	-1.616
	-B	-32.0	-0.008	0.325	-0.003	-1.362
	A	0.0	0.000	0.325	0.000	0.000
	B	35.2	0.008	0.325	0.003	1.362
	C	41.8	0.083	0.325	0.027	1.616
	D	16.7	0.083	0.325	0.027	0.646
	E	16.7	0.091	0.325	0.030	0.646

Tabla 4.9. Datos de la relación Momento Curvatura y Giro de la Viga 103, 203

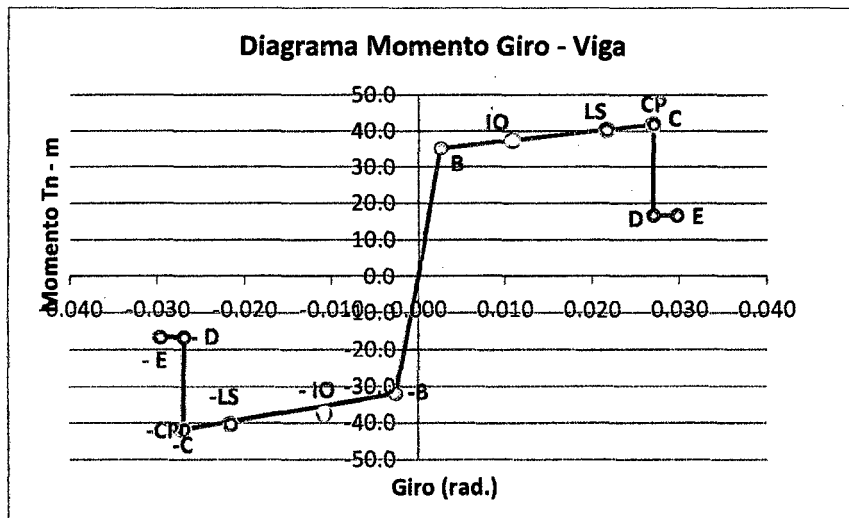


Figura 4.15. Diagrama Momento Giro de la Viga 103,203

g. Diagrama Momento Giro para la rótula rotula adyacente al eje 3 de las V-103, 203.

Sección (adyacente al eje 3 de las V-103, 203)	Punto	Momento	Curvatura	Lp	Giro	M/My
	-E	-17.50	-0.33	0.325	-0.107	-0.66
	-D	-17.17	-0.30	0.325	-0.097	-0.65
	-C	-49.47	-0.27	0.325	-0.087	-1.86
	-B	-36.81	-0.01	0.325	-0.003	-1.39
	A	0.00	0.00	0.325	0.000	0.00
	B	36.81	0.01	0.325	0.003	1.39
	C	49.47	0.27	0.325	0.087	1.86
	D	17.17	0.30	0.325	0.097	0.65
	E	17.50	0.33	0.325	0.107	0.66

Tabla 4.10. Datos de la relación Momento Curvatura y Giro de la Viga 103, 203

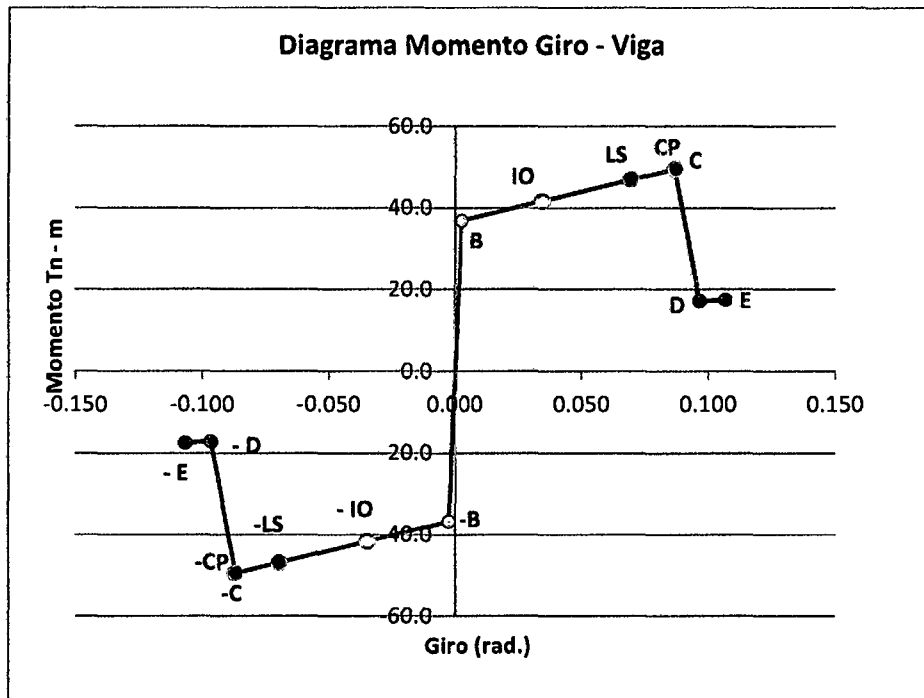


Figura 4.16. Diagrama Momento Giro de la Viga 103,203

h. Diagrama Momento Giro para las rótulas ubicadas en las V-301, 302,303

Sección V-301, 302,303	Punto	Momento	Curvatura	Lp	Giro	M/My
	-E	-0.03	-0.45	0.325	-0.145	-0.003
	-D	-0.05	-0.32	0.325	-0.105	-0.006
	-C	-14.61	-0.29	0.325	-0.094	-1.812
	-B	-10.46	-0.01	0.325	-0.003	-1.298
	A	0.00	0.00	0.325	0.000	0.000
	B	10.46	0.01	0.325	0.003	1.298
	C	14.61	0.29	0.325	0.094	1.812
	D	0.05	0.32	0.325	0.105	0.006
	E	0.03	0.45	0.325	0.145	0.003

Tabla 4.11. Datos de la relación Momento Curvatura y Giro de la Viga 301,302, 303

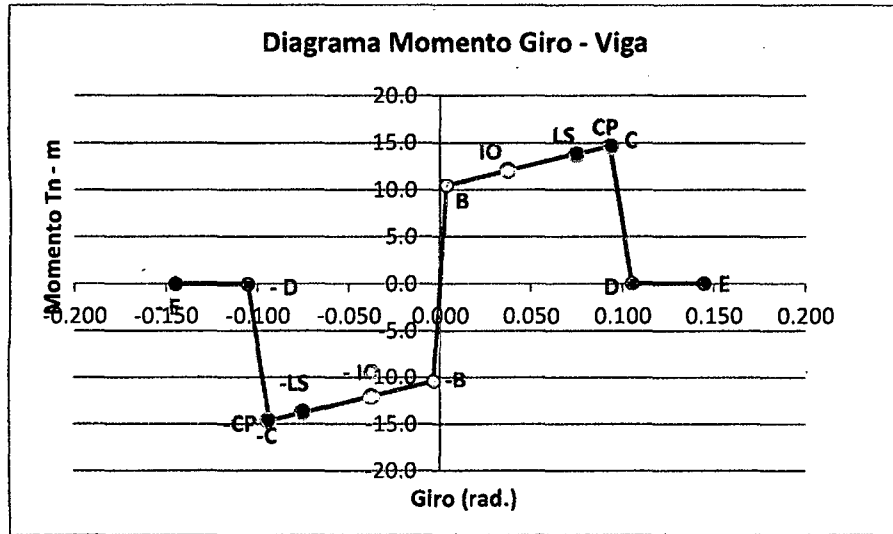


Figura 4.17. Diagrama Momento Giro de la Viga 301,302,303

i. Diagrama Momento Giro para las rótulas ubicadas en los extremos de las Vigas V-104, 204,105, 205.

Sección (Extremos de V-104, 204,105, 205)	Punto	Momento	Curvatura	Lp	Giro	M/My
	-E	-4.53	-0.325	0.325	-0.106	-0.522
	-D	-4.23	-0.210	0.325	-0.068	-0.488
	-C	-16.54	-0.185	0.325	-0.060	-1.907
	-B	-11.94	-0.008	0.325	-0.003	-1.376
	A	0.00	0.000	0.325	0.000	0.000
	B	11.94	0.008	0.325	0.003	1.376
	C	16.54	0.185	0.325	0.060	1.907
	D	4.23	0.210	0.325	0.068	0.488
	E	4.53	0.325	0.325	0.106	0.522

Tabla 4.12. Datos de la relación Momento Curvatura y Giro de la Viga 104, 204,105,205

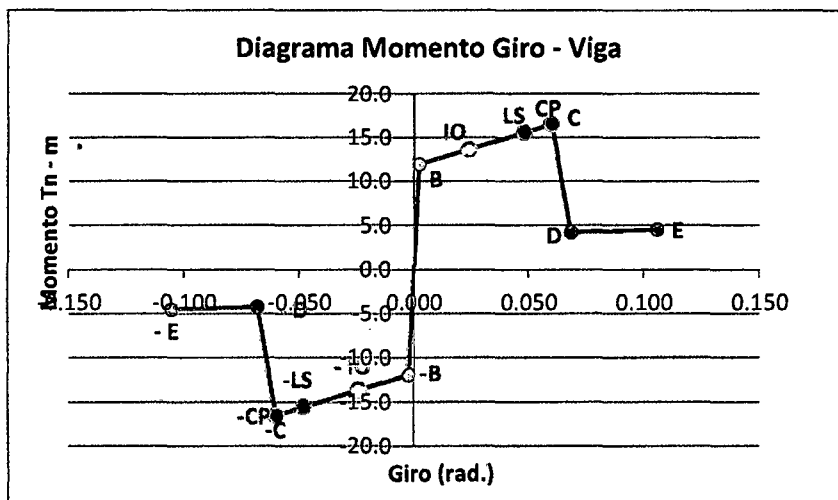


Figura 4.18. Diagrama Momento Giro de la Viga 104,204,105,205

j. Diagrama Momento Giro para las rótulas ubicadas en el centro de las Vigas V-104, 204, 105,205.

Sección (en el centro de V-104,204,105,205)	Punto	Momento	Curvatura	Lp	Giro	M/My
	-E	-4.5	-0.369	0.325	-0.120	-0.372
	-D	-4.5	-0.327	0.325	-0.106	-0.372
	-C	-17.1	-0.296	0.325	-0.096	-1.413
	-B	-16.4	-0.008	0.325	-0.003	-1.354
	A	0.0	0.000	0.325	0.000	0.000
	B	16.4	0.008	0.325	0.003	1.354
	C	17.1	0.296	0.325	0.096	1.413
	D	4.5	0.327	0.325	0.106	0.372
	E	4.5	0.369	0.325	0.120	0.372

Tabla 4.13. Datos de la relación Momento Curvatura y Giro en el centro de la Viga 104, 204,105,205

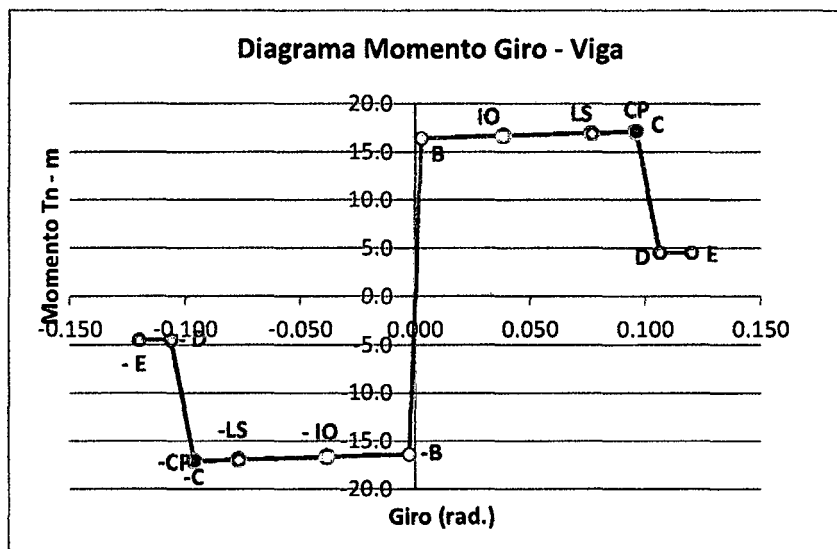


Figura 4.19. Diagrama Momento Giro en el centro de la Viga 104, 204,105,205

k. Diagrama Momento Giro para las rótulas ubicadas en las Vigas V-304, 305.

Sección V304,305	Punto	Momento	Curvatura	Lp	Giro	M/My
	-E	-0.03	-0.445	0.325	-0.145	-0.003
	-D	-0.07	-0.288	0.325	-0.094	-0.008
	-C	-9.73	-0.254	0.325	-0.082	-1.122
	-B	-7.05	-0.011	0.325	-0.003	-0.813
	A	0.00	0.000	0.325	0.000	0.000
	B	7.05	0.011	0.325	0.003	0.813
	C	9.73	0.254	0.325	0.082	1.122
	D	0.07	0.288	0.325	0.094	0.008
	E	0.03	0.445	0.325	0.145	0.003

Tabla 4.14. Datos de la relación Momento Curvatura y Giro en la Viga 304,305

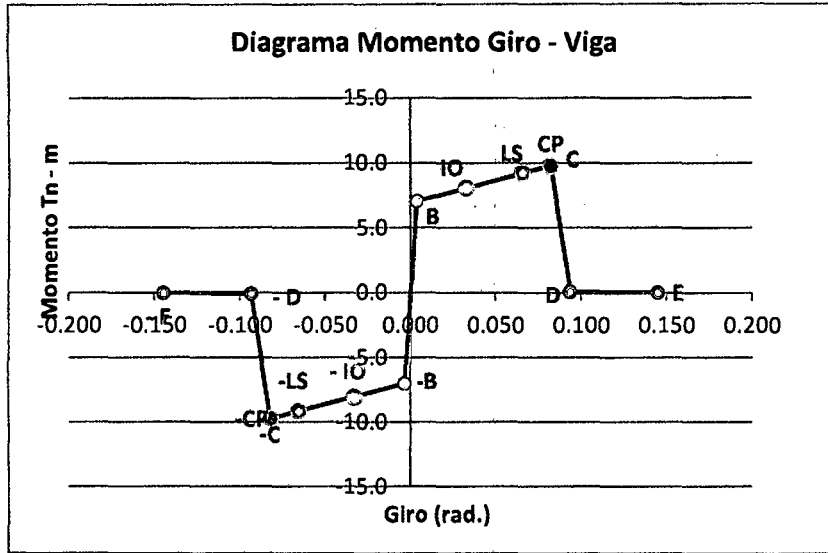


Figura 4.20. Diagrama Momento Giro en la Viga 304,305

4.1.3 Espectro de Respuesta

Para determinar el espectro de respuesta del edificio 4 F de la Universidad Nacional de Cajamarca, se usarán las siguientes fórmulas de la Norma Técnica E-030 – 2014 (Proyecto de Norma de Diseño Sismorresistente).

a. Cálculo del Factor de Zona (Z)

Ubicación del edificio 4f de la UNC: Cajamarca

Zona: 3

Factor de Zona (Z): 0.35

b. Cálculo del Factor de Suelo

S	Tipo de Suelo	Capacidad Portante $q_a(\text{kg}/\text{cm}^2)$
S ₀	Roca dura	>6
S ₁	Suelo rígido	≤6
S ₂	Suelo intermedio	1.2 - 3
S ₃	Suelo flexible	≤1.2

Tabla 4.15 Tipo de Suelo según Capacidad Portante $q_a(\text{kg}/\text{cm}^2)$

Como la capacidad portante del suelo de la estructura del edificio 4F de la UNC, es 0.80 kg/cm²; por lo tanto:

Tipo de suelo: Flexible (S3)

Factor de suelo (S): 1.20

TP(S):1.0

TL(S):1.6

c. Cálculo del Factor de amplificación Sísmica (C)

De acuerdo a las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica (C) por las siguientes expresiones:

$$T < T_P \quad C = 2.5$$

$$T_P < T < T_L \quad C = 2.5 \left(\frac{T_P}{T} \right)$$

$$T > T_L \quad C = 2.5 \left(\frac{T_P \cdot T_L}{T^2} \right)$$

Donde:

T: Período de vibración de la estructura

TP: Período del suelo

TL: Período de inicio del deslizamiento.

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 (C) será determinado usando las siguientes formulas, aplicando los factores anteriormente hallados.

d. Cálculo del Factor de Uso (U)

Cada estructura debe ser clasificada de acuerdo con las categorías indicadas en la Tabla N° 05. El factor de uso e importancia (U), definido en la tabla N°5 se usará según la clasificación que se haga. (Norma Técnica E-030 – 2014).

Tabla N° 5 CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES		
CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A	A1: Establecimientos de salud, como hospitales, institutos o similares, según clasificación del Ministerio de Salud, ubicados en las zonas sísmicas 4 y 3 que alojen cualquiera de los servicios indicados en la Tabla N° 5.1.	Ver nota 1
	A2: Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo tales como:	

<p>EDIFICACIONES ESCENCIALES</p>	<p>- Hospitales no comprendidos en la categoría A1, clínicas, postas médicas, excepto edificios administrativos o de consulta externa. (Ver nota 2) - Puertos, aeropuertos, centrales de comunicaciones. Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía. - Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua.</p> <p>Todas aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre, tales como colegios, institutos superiores tecnológicos y universidades.</p> <p>Se incluyen edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos.</p>	<p>1,5</p>
<p>B EDIFICACIONES IMPORTANTES</p>	<p>Edificios en centros educativos y de salud no incluidos en la categoría A. Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como teatros, estadios, centros comerciales, terminales de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos, bibliotecas y archivos especiales.</p> <p>También se considerarán depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento</p>	<p>1.3</p>
<p>C EDIFICACIONES COMUNES</p>	<p>Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.</p>	<p>1,0</p>
<p>D EDIFICACIONES TEMPORALES</p>	<p>Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.</p>	<p>Ver nota 3</p>

Tabla 4.16 Categoría de las edificaciones, Fuente Norma Técnica E-030-2014

De acuerdo con la Norma Técnica E -030 -2014, la estructura del edificio 4f de la UNC, corresponde:

Categoría: A Edificaciones Esenciales

Factor de uso e Importancia (U): 1.5

e. Cálculo del coeficiente de reducción de solicitaciones sísmicas (R)

Tabla N° 7 SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistemas Estructural	Coefficiente Básico de Reducción (R)
Acero: Pórticos dúctiles con uniones resistentes a momentos.	8
Otras estructuras de acero: Arriostres Excéntricos	7
Arriostres Concéntricos	6
Concreto Armado: Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería Armada o Confinada.	3
Madera (Por esfuerzos admisibles)	7

Tabla 4.17 Valores de la aceleración espectral y los coeficientes de amplificación.

Como la estructura del edificio 4F de la UNC, es un edificio aporticado, por lo tanto el coeficiente R es:

Coefficiente Básico de Reducción (R):8.00

f. Cálculo de la Aceleración Espectral

Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por:

$$S_a = \frac{Z.U.C.S}{R} \times g \quad g = 9.81 \text{ m/seg}^2$$

Con los datos obtenidos anteriormente, calcularemos los valores de los factores de amplificación sísmica para cada periodo T y la aceleración espectral, con el cual obtendremos el espectro de aceleraciones, para ingresarlo al modelo estructural realizado en el SAP2000 y realizar el análisis estático no lineal.

SUELO FLEXIBLE (S3)											
TP=1			1			TL=			1.6		
T	C	SA	T	C	SA	T	C	SA	T	C	SA
0.1	2.50	1.93	2.6	0.59	0.46	5.1	0.15	0.12	7.6	0.07	0.05
0.2	2.50	1.93	2.7	0.55	0.42	5.2	0.15	0.11	7.7	0.07	0.05
0.3	2.50	1.93	2.8	0.51	0.39	5.3	0.14	0.11	7.8	0.07	0.05
0.4	2.50	1.93	2.9	0.48	0.37	5.4	0.14	0.11	7.9	0.06	0.05
0.5	2.50	1.93	3	0.44	0.34	5.5	0.13	0.10	8	0.06	0.05
0.6	2.50	1.93	3.1	0.42	0.32	5.6	0.13	0.10	8.1	0.06	0.05
0.7	2.50	1.93	3.2	0.39	0.30	5.7	0.12	0.10	8.2	0.06	0.05
0.8	2.50	1.93	3.3	0.37	0.28	5.8	0.12	0.09	8.3	0.06	0.04

0.9	2.50	1.93	3.4	0.35	0.27	5.9	0.11	0.09	8.4	0.06	0.04
1	2.50	1.93	3.5	0.33	0.25	6	0.11	0.09	8.5	0.06	0.04
1.1	2.27	1.76	3.6	0.31	0.24	6.1	0.11	0.08	8.6	0.05	0.04
1.2	2.08	1.61	3.7	0.29	0.23	6.2	0.10	0.08	8.7	0.05	0.04
1.3	1.92	1.49	3.8	0.28	0.21	6.3	0.10	0.08	8.8	0.05	0.04
1.4	1.79	1.38	3.9	0.26	0.20	6.4	0.10	0.08	8.9	0.05	0.04
1.5	1.67	1.29	4	0.25	0.19	6.5	0.09	0.07	9	0.05	0.04
1.6	1.56	1.21	4.1	0.24	0.18	6.6	0.09	0.07	9.1	0.05	0.04
1.7	1.38	1.07	4.2	0.23	0.18	6.7	0.09	0.07	9.2	0.05	0.04
1.8	1.23	0.95	4.3	0.22	0.17	6.8	0.09	0.07	9.3	0.05	0.04
1.9	1.11	0.86	4.4	0.21	0.16	6.9	0.08	0.06	9.4	0.05	0.03
2	1.00	0.77	4.5	0.20	0.15	7	0.08	0.06	9.5	0.04	0.03
2.1	0.91	0.70	4.6	0.19	0.15	7.1	0.08	0.06	9.6	0.04	0.03
2.2	0.83	0.64	4.7	0.18	0.14	7.2	0.08	0.06	9.7	0.04	0.03
2.3	0.76	0.58	4.8	0.17	0.13	7.3	0.08	0.06	9.8	0.04	0.03
2.4	0.69	0.54	4.9	0.17	0.13	7.4	0.07	0.06	9.9	0.04	0.03
2.5	0.64	0.49	5	0.16	0.12	7.5	0.07	0.05	10	0.04	0.03

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

Espectro de Respuesta

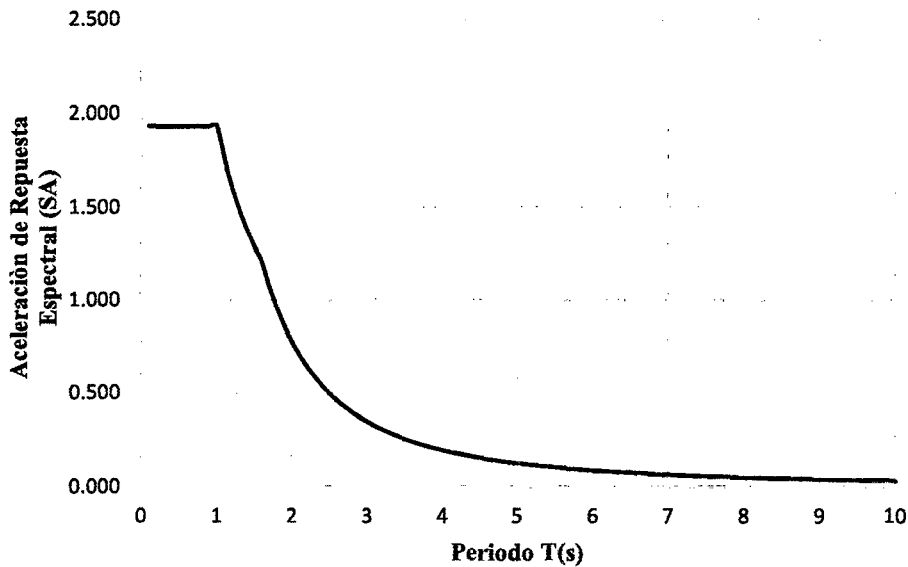


Figura 4.21. Diagrama del Espectro de Respuesta

4.1.4 Curva de Capacidad de la Estructura

En el presente trabajo, mediante el Software Sap2000 se obtuvieron dos Curvas de Capacidad, una para cada dirección del sismo, tanto en X como en Y.

4.1.4.1 Curva de Capacidad para el Sismo en la dirección X

Después de que la Estructura del edificio 4F fue sometida al análisis no lineal del Software SAP2000, se obtiene los valores obtenidos del desplazamiento en el punto más alto del techo (Nudo de Control) generados por los valores de la cortante basal.

Paso	Desplazamiento en el Techo Δt (m)	Cortante Basal V (Tn)
0	0.000	0.000
1	0.016	289.939
2	0.023	407.526
3	0.036	481.460
4	0.092	607.831
5	0.154	709.416
6	0.209	793.989
7	0.212	797.887
8	0.258	888.486
9	0.330	1072.251

Tabla 4.19 Valores de la Curva de Capacidad para la dirección X

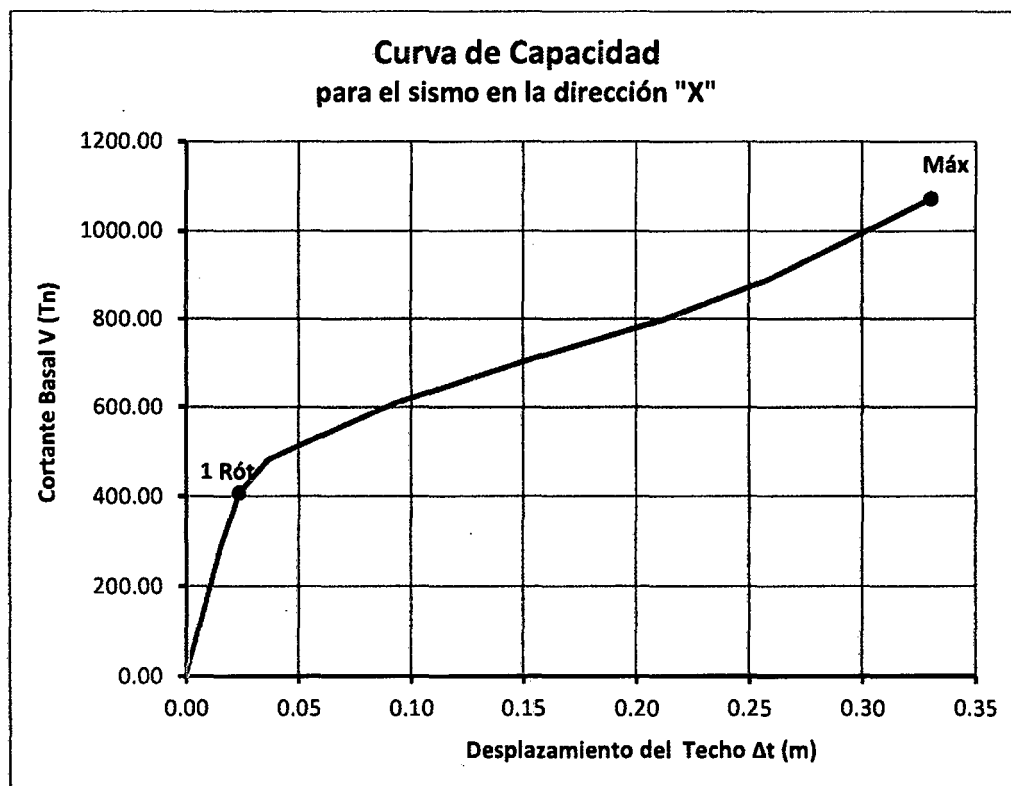


Figura 4.22. Curva de Capacidad para el sismo en la dirección X

El Software SAP2000 a los niveles de desempeño dados por el ATC – 40, les asigna un color diferente como se muestra en la siguiente figura.

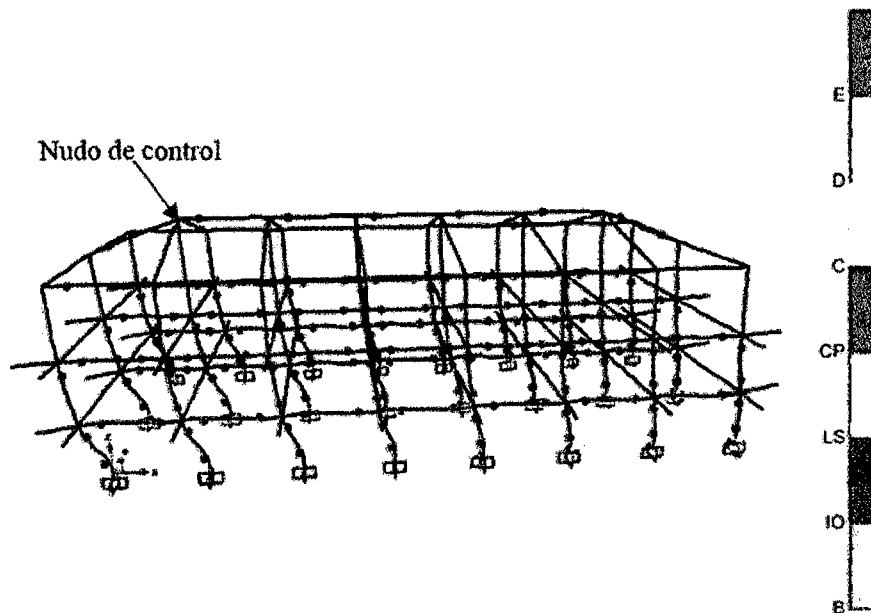


Figura 4.23. Estructura deflectada, rotulas y nudo de control.

4.1.4.1.1 Sectorización de la Curva de Capacidad en la dirección X

Aplicando el modelo bilineal, primero se obtuvo el punto de fluencia en la curva, separando el rango elástico del rango plástico, para luego realizar la sectorización de la curva y determinar los niveles de desempeño propuestos por la SEAOC en su documento VISION 2000.

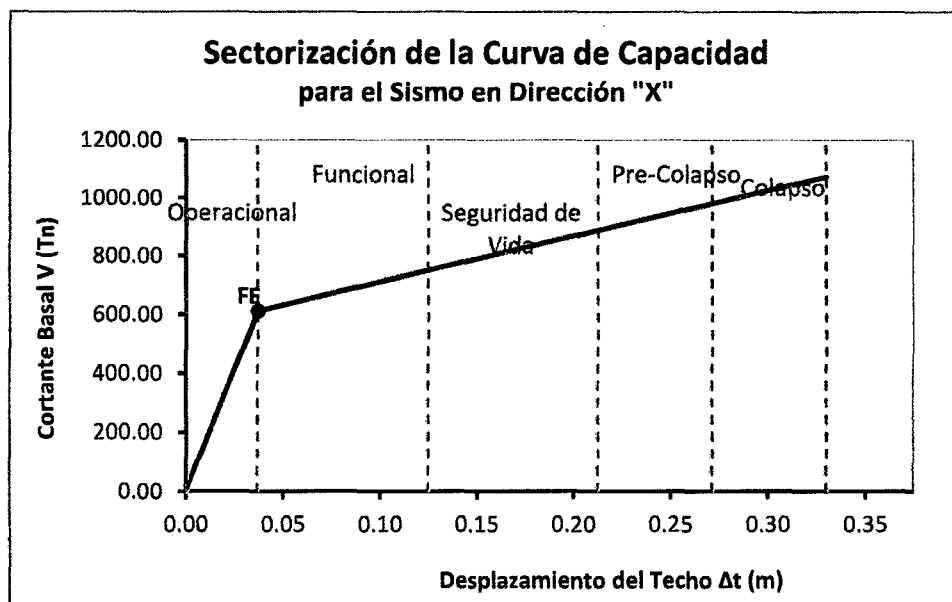


Figura 4.24. Sectorización de la Curva de Capacidad para la dirección X

De la sectorización de la Curva se obtienen los siguientes puntos relevantes.

Descripción	Dirección "X"	
	Δt (cm)	V (Tn)
Primera Rótula	2.340	407.526
Fluencia Efectiva	3.700	611.760
Colapso	33.033	1072.251

Tabla 4.20 Puntos relevantes de la Curva de Capacidad para la dirección X

4.1.4.2 Curva de Capacidad para el Sismo en la dirección Y

Después de que la Estructura del edificio 4F fue sometida al análisis no lineal del Software SAP2000, se obtiene los valores obtenidos del desplazamiento en el punto más alto del techo (Nudo de Control) generados por los valores de la cortante basal.

Paso	Desplazamiento del Techo Δt (m)	Cortante Basal V (Tn)
0	0.000	0.000
1	0.030	241.507
2	0.036	279.900
3	0.043	301.709
4	0.101	388.163
5	0.161	472.247
6	0.203	638.892
7	0.258	934.456
8	0.345	1217.193
9	0.364	1259.268

Tabla 4.21 Valores de la Curva de Capacidad para la dirección Y

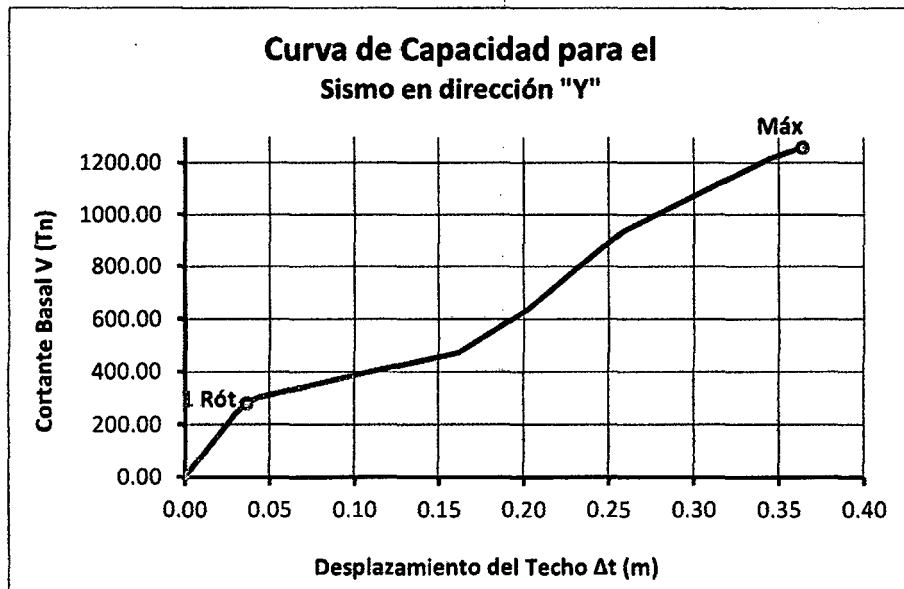


Figura 4.25. Curva de Capacidad para el sismo en la dirección Y

El Software SAP2000 a los niveles de desempeño dados por el ATC – 40, les asigna un color diferente como se muestra en la siguiente figura.

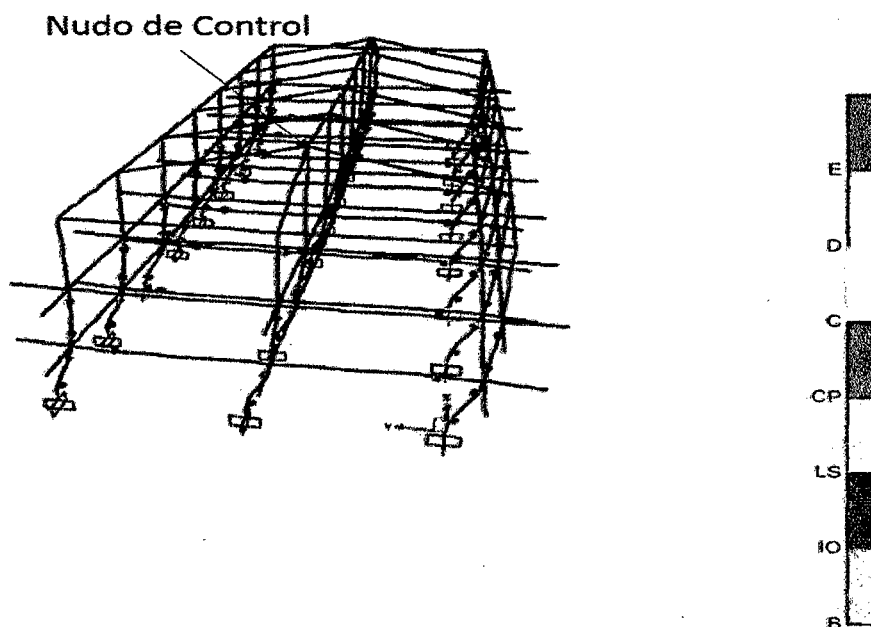


Figura 4.26. Estructura deflectada, rotulas y nudo de control.

4.1.4.2.1 Sectorización de la Curva de Capacidad en la dirección Y

Aplicando el modelo bilineal, primero se obtuvo el punto de fluencia en la curva, separando el rango elástico del rango plástico, para luego realizar la sectorización de la curva y determinar los niveles de desempeño propuestos por la SEAOC en su documento VISION 2000.

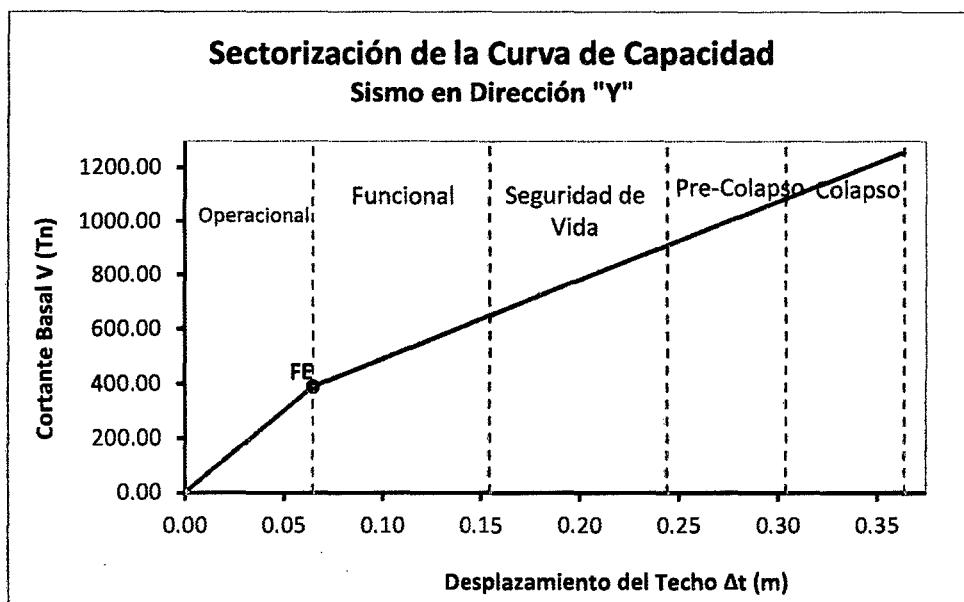


Figura 4.27. Sectorización de la Curva de Capacidad para la dirección Y

De la sectorización de la Curva se obtienen los siguientes puntos relevantes.

Descripción	Dirección "Y"	
	Δt (cm)	V (Tn)
Primera Rótula	3.629	279.900
Fluencia Efectiva	6.500	388.240
Colapso	36.400	1259.268

Tabla 4.22 Puntos relevantes de la Curva de Capacidad para la dirección Y

4.1.5 Determinación del Punto de Desempeño Sísmico

Se determinan los puntos de desempeño sísmico de la Estructura para la dirección X e Y en las que se aplicaron los sismos.

Como la estructura en estudio, es una Edificación de Categoría "A" (Edificación Esencial), para el punto de desempeño sísmico se evalúa con los niveles de movimiento sísmico Ocasional, Raro y Muy Raro, como se muestra a continuación.

1: Instalaciones Básicas 2: Instalaciones Esenciales 3: Instalaciones de Seguridad Crítica 0: Desempeño Inaceptable		Nivel de Desempeño Sísmico			
		Operacional	Funcional	Seguridad de Vida	Cerca al Colapso
Nivel del Movimiento Sísmico	Frecuente (T=43 años)	1	0	0	0
	Ocasional (T=72 años)	I. Esencial	1	0	0
	Raro (T=475 años)	3	I. Esencial	1	0
	Muy Raro (T=970 años)	-	3	I. Esencial	1

Tabla 4.23. Niveles de Desempeño Alcanzados por Edificaciones Esenciales para los Sismos indicados.

Por lo cual, se utilizaron los siguientes coeficientes sísmicos C_a y C_v , para cada nivel de movimiento sísmico.

Sismo de Diseño	C_a	C_v
Frecuente	0.20	0.20
Ocasional	0.25	0.25
Raro	0.40	0.40
Muy Raro	0.50	0.50

Tabla 4.24. Coeficientes sísmicos C_a y C_v , para cada nivel de movimiento sísmico, Ingeniería Antisísmica (Muñoz 1999).

4.1.5.1 Punto de Desempeño Sísmico de la Estructura para la Dirección "X"

Los puntos de desempeño sísmico de la estructura en la dirección X se obtuvieron del software SAP 2000 en dos tipos de coordenadas: 1) Desplazamiento del Techo Δ (nudo

de control) versus la Cortante Basal V y 2) 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).

Nivel del Movimiento Sísmico	V (Tn)	Δt (m)	S_A (g)	S_D (m)	T_{eff} (S)	B_{eff} (%)
E.030	463.383	0.033	0.142	0.020	0.741	0.150
Sismo Ocasional	515.522	0.051	0.156	0.037	0.921	0.203
Sismo Raro	601.717	0.09	0.178	0.075	1.290	0.267
Sismo Muy Raro	662.325	0.125	0.196	0.106	1.458	0.268

Tabla 4.25. Puntos de Desempeño para los Movimientos sísmicos indicados.

El nivel de desempeño sísmico alcanzado por la estructura, será el desplazamiento que se encuentre en los rangos de la sectorización de la curva de Capacidad.

Nivel de Desempeño	Rango de Desplazamientos	
	Límite Inferior (m)	Límite Superior (m)
Operacional	0.000	0.037
Funcional	0.037	0.125
Seguridad de Vida	0.125	0.213
Cerca al Colapso	0.213	0.272
Colapso	0.272	0.330

Tabla 4.26. Rangos de desplazamiento para cada nivel de desempeño para la dirección X.

a. Nivel de desempeño para el espectro de respuesta calculado según la norma E-030

Para la norma E030, se halló que el desplazamiento del punto de desempeño es de:

$$\Delta = 0.033 \text{ m}$$

Como se observa en la tabla 4.2, el desplazamiento se encuentra dentro del rango de Nivel Operacional, debido a que este nivel varía entre los siguientes valores.

$$0 < \Delta = 0.033 \text{ m} < 0.037$$

b. Nivel de desempeño para el espectro de respuesta calculado para el Sismo Ocasional

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

$$\Delta = 0.051 \text{ m}$$

Como se observa en la tabla 4.2, el desplazamiento se encuentra dentro del rango de Nivel Funcional, debido a que este nivel varía entre los siguientes valores.

$$0.037 < \Delta = 0.033 \text{ m} < 0.125$$

c. Nivel de desempeño para el espectro de respuesta para el Sismo Raro

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

$$\Delta = 0.090 \text{ m}$$

Como se observa en la tabla 4.2, el desplazamiento se encuentra dentro del rango de Nivel Funcional, debido a que este nivel varía entre los siguientes valores.

$$0.037 < \Delta = 0.090 \text{ m} < 0.125$$

d. Nivel de desempeño para el espectro de respuesta calculado para el Sismo Muy Raro

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

$$\Delta = 0.125 \text{ m}$$

Como se observa en la tabla 4.2, el desplazamiento se encuentra dentro del rango de Nivel Seguridad de vida, debido a que este nivel varía entre los siguientes valores.

$$0.125 < \Delta = 0.090 \text{ m} < 0.213$$

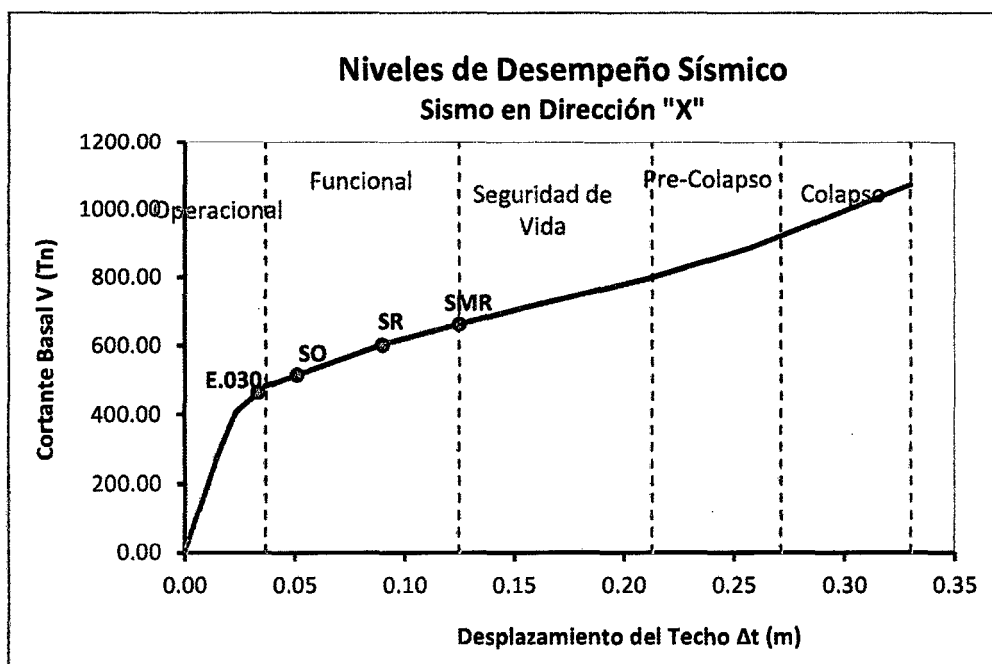


Figura 4.28. Nivel de Desempeño sísmico alcanzado por la Estructuración X

Comparamos, los niveles de desempeño alcanzados son los que tienen la marca X y los niveles de desempeño esperados son los de color rojo.

Instalación Esencial		NIVEL DE DESEMPEÑO SISMICO			
		Operacional	Funcional	Seguridad de Vida	Cerca al Colapso
de Movimiento Sísmico	E030	X			
	Ocasional		X		
	Raro		X		
	Muy Raro			X	

Tabla 4.27. Comparación entre los niveles de desempeño alcanzados esperados.

4.1.5.2 Punto de Desempeño Sísmico de la Estructura para la Dirección “Y”

Los puntos de desempeño sísmico de la estructura en la dirección Y se obtuvieron del software Sap 2000 en dos tipos de coordenadas: 1) Desplazamiento del Techo (nudo de control) Δ versus la Cortante Basal V y 2) 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).

Nivel del Movimiento Sísmico	V (Tn)	Δ_t (m)	S_A (g)	S_D (m)	T_{eff} (S)	B_{eff} (%)
E.030	306.221	0.046	0.141	0.031	0.935	0.138
Sismo Ocasional	334.817	0.065	0.145	0.046	1.095	0.185
Sismo Raro	408.767	0.116	0.158	0.084	1.453	0.269
Sismo Muy Raro	474.781	0.163	0.180	0.121	1.643	0.258

Tabla 4.28. Puntos de Desempeño para los Movimientos sísmicos indicados.

El nivel de desempeño sísmico alcanzado por la estructura, será el desplazamiento que se encuentre en los rangos de la sectorización de la curva de Capacidad.

Nivel de Desempeño	Rango de Desplazamientos	
	Límite Inferior (m)	Límite Superior (m)
Operacional	0.000	0.065
Funcional	0.065	0.155
Seguridad de Vida	0.155	0.244
Cerca al Colapso	0.244	0.304
Colapso	0.304	0.364

Tabla 4.29. Rangos de desplazamiento para cada nivel de desempeño para la dirección Y.

a. Nivel de desempeño para el espectro de respuesta calculado según la norma E-030

Para la norma E030, se halló que el desplazamiento del punto de desempeño es de:

$$\Delta = 0.046 \text{ m}$$

Como se observa en la tabla 4.2, el desplazamiento se encuentra dentro del rango de Nivel Operacional, debido a que este nivel varía entre los siguientes valores.

$$0 < \Delta = 0.046 \text{ m} < 0.065$$

b. Nivel de desempeño para el espectro de respuesta calculado para el Sismo Ocasional

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

$$\Delta = 0.065 \text{ m}$$

Como se observa en la tabla 4.2, el desplazamiento se encuentra dentro del rango de Nivel Funcional, debido a que este nivel varía entre los siguientes valores.

$$0.065 < \Delta = 0.065 \text{ m} < 0.155$$

c. Nivel de desempeño para el espectro de respuesta para el Sismo Raro

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

$$\Delta = 0.116 \text{ m}$$

Como se observa en la tabla 4.2, el desplazamiento se encuentra dentro del rango de Nivel Funcional, debido a que este nivel varía entre los siguientes valores.

$$0.065 < \Delta = 0.116 \text{ m} < 0.155$$

d. Nivel de desempeño para el espectro de respuesta calculado para el Sismo Muy Raro

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

$$\Delta = 0.163 \text{ m}$$

Como se observa en la tabla 4.2, el desplazamiento se encuentra dentro del rango de Nivel Seguridad de vida, debido a que este nivel varía entre los siguientes valores.

$$0.155 < \Delta = 0.090 \text{ m} < 0.244$$

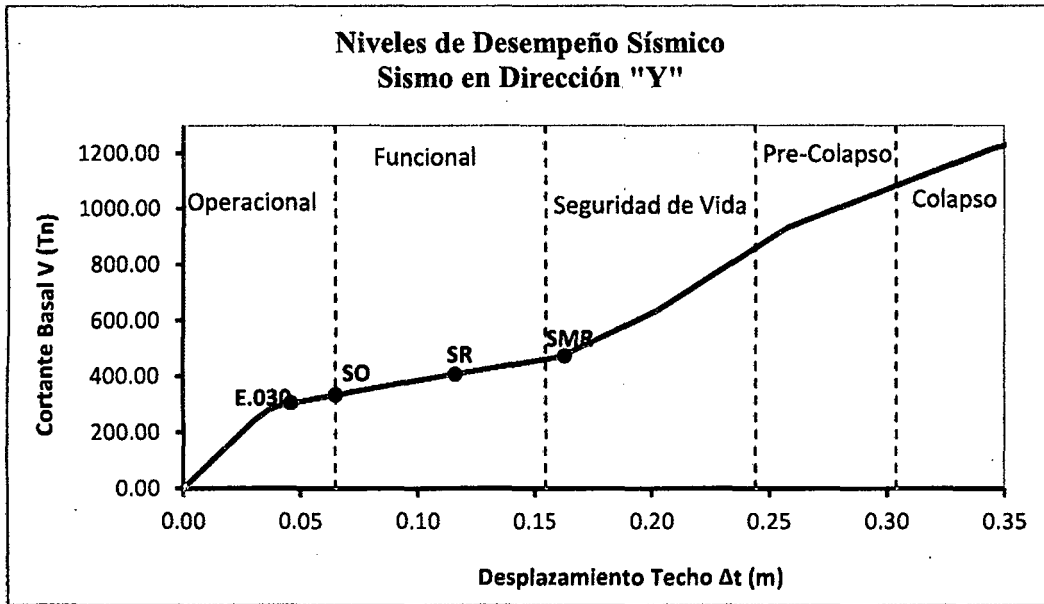


Figura 4.29. Nivel de Desempeño sísmico alcanzado por la Estructuración Y

Comparamos, los niveles de desempeño alcanzados son los que tienen la marca X y los niveles de desempeño esperados son los de color rojo.

Instalación Esencial		NIVEL DE DESEMPEÑO SISMICO			
		Operacional	Funcional	Seguridad de Vida	Cerca al Colapso
Nivel de Movimiento Sísmico	E030	X			
	Ocasional		X		
	Raro		X		
	Muy Raro			X	

Tabla 4.30. Comparación entre los niveles de desempeño alcanzados esperados.

4.1.6 Desplazamiento y Derivas Laterales

La Norma Técnica E-030 de Diseño Sismorresistente, establece que para las estructuras de concreto armado la deriva, no debe exceder al 0.7 %.

$$\frac{\Delta t}{h_e} \leq 0.007$$

4.1.6.1 Desplazamientos y derivas para los sismos en la dirección X

Se presentan las tablas y gráficos de los desplazamientos y de las derivas de entripiso

para la dirección X.

a. Desplazamientos y derivas según la norma E-030

Nivel de Movimiento Sísmico	Piso	Altura (m)	Desplazamiento (m)	Deriva	Deriva (%)
E.030	Piso 1	3.325	0.014	0.004	0.42
	Piso 2	6.575	0.025	0.004	0.38
	Piso 3	12.087	0.033	0.003	0.27

Tabla 4.31. Desplazamientos y deriva según la norma E030

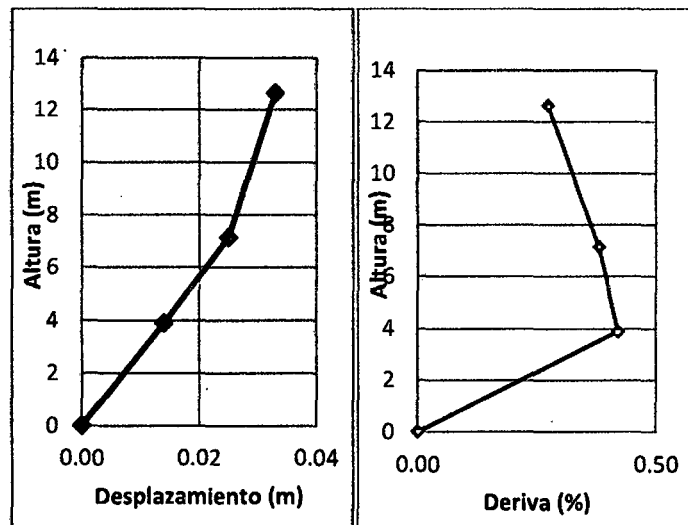


Figura 4.30. Desplazamientos laterales y derivas de entre piso según norma E030

b. Desplazamientos y derivas para el Sismo Ocasional

Nivel de Movimiento Sísmico	Piso	Altura (m)	Desplaz. (m)	Deriva	Deriva (%)
Sismo Ocasional	Piso 1	3.325	0.026	0.008	0.78
	Piso 2	6.575	0.041	0.006	0.62
	Piso 3	12.087	0.051	0.004	0.42

Tabla 4.32. Desplazamientos y deriva para el Sismo Ocasional

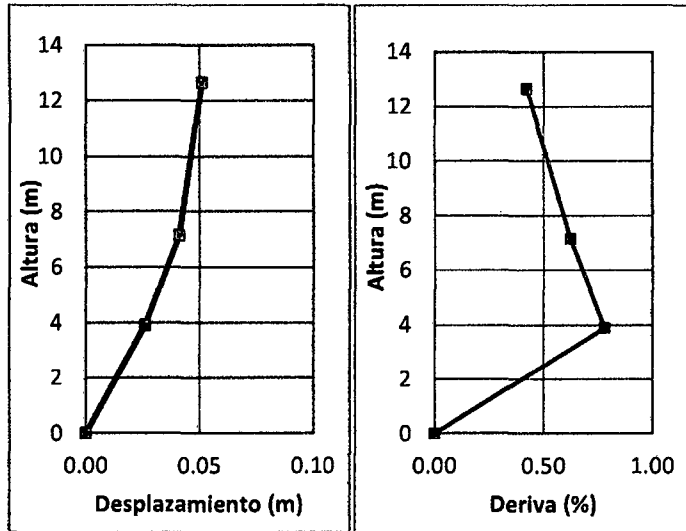


Figura 4.31. Desplazamientos laterales y derivas para el Sismo Ocasional

c. Desplazamientos y derivas para el Sismo Raro

Nivel de Movimiento Sísmico	Piso	Altura (m)	Desplaz. (m)	Deriva	Deriva (%)
Sismo Raro	Piso 1	3.325	0.049	0.015	1.47
	Piso 2	6.575	0.076	0.012	1.16
	Piso 3	12.087	0.090	0.007	0.74

Tabla 4.33. Desplazamientos y deriva para el Sismo Raro

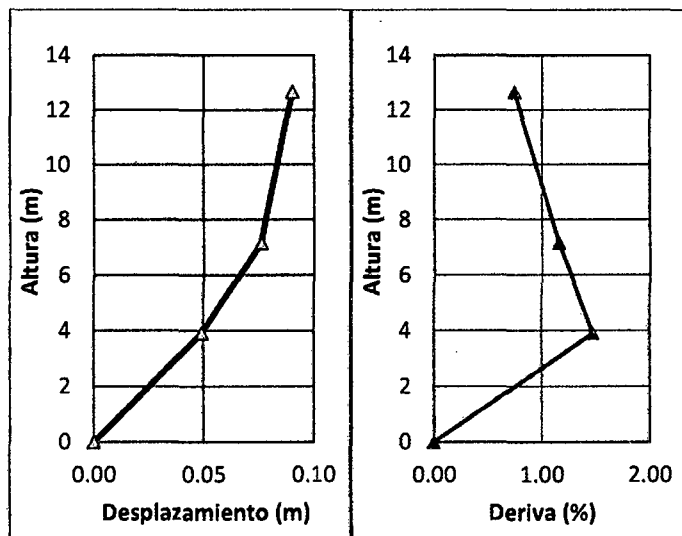


Figura 4.32. Desplazamientos laterales y derivas para el Sismo Raro

d. Desplazamientos y derivas para el Sismo Muy Raro

Nivel de Movimiento Sísmico	Piso	Altura (m)	Desplaz. (m)	Deriva	Deriva (%)
Sismo Muy Raro	Piso 1	3.325	0.073	0.022	2.20
	Piso 2	6.575	0.107	0.016	1.63
	Piso 3	12.087	0.125	0.010	1.03

Tabla 4.34. Desplazamientos y deriva para el Sismo muy Raro

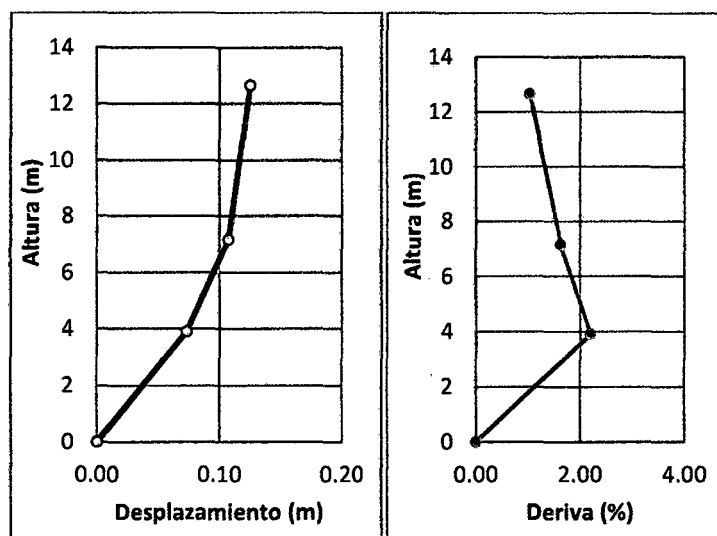


Figura 4.33. Desplazamientos laterales y derivas para el Sismo muy Raro

4.1.6.2 Desplazamientos y derivas para los sismos en la dirección Y

Se presentan las tablas y gráficos de los desplazamientos y de las derivas de entrepiso para la dirección Y.

a. Desplazamientos y derivas según la norma E-030

Nivel de Movimiento Sísmico	Piso	Altura (m)	Desplazamiento (m)	Deriva	Deriva (%)
E.030	Piso 1	3.325	0.027	0.008	0.81
	Piso 2	6.575	0.040	0.006	0.61
	Piso 3	12.087	0.046	0.004	0.38

Tabla 4.35. Desplazamientos y deriva según la norma E-030

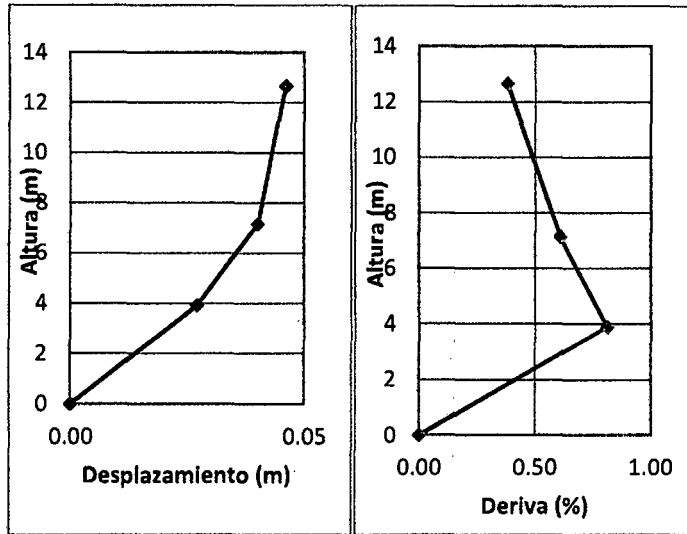


Figura 4.34. Desplazamientos laterales y derivas según la norma E-030

b. Desplazamientos y derivas para el Sismo Ocasional

Nivel de Movimiento Sísmico	Piso	Altura (m)	Desplaz. (m)	Deriva	Deriva (%)
Sismo Ocasional	Piso 1	3.325	0.044	0.013	1.32
	Piso 2	6.575	0.058	0.009	0.88
	Piso 3	12.087	0.065	0.005	0.54

Tabla 4.36. Desplazamientos y deriva para el Sismo Ocasional

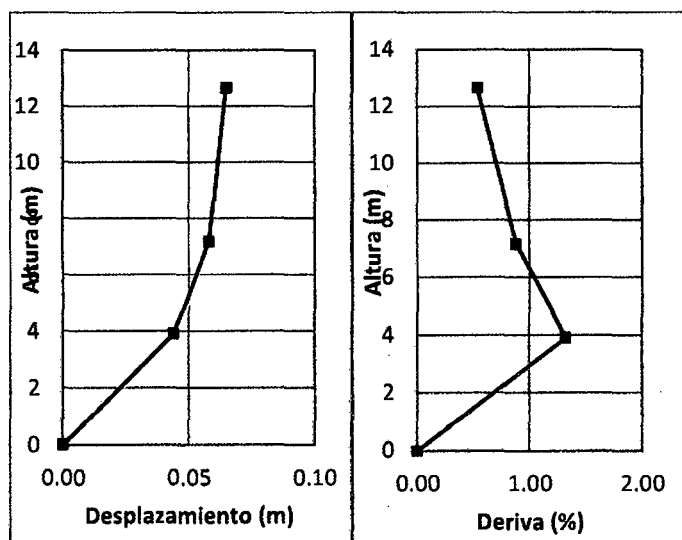


Figura 4.35 Desplazamientos y deriva para el Sismo Ocasional

c. Desplazamientos y derivas para el Sismo Raro

Nivel de Movimiento Sísmico	Piso	Altura (m)	Desplaz. (m)	Deriva	Deriva (%)
Sismo Raro	Piso 1	3.325	0.088	0.026	2.65
	Piso 2	6.575	0.107	0.016	1.63
	Piso 3	12.087	0.116	0.010	0.96

Tabla 4.37. Desplazamientos y deriva para el Sismo Raro

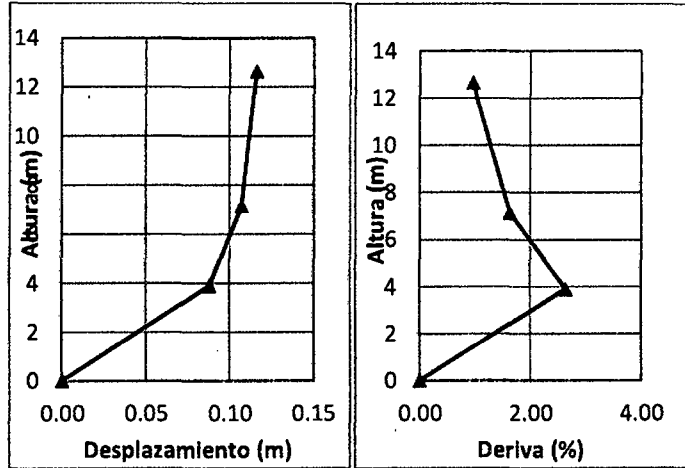


Figura 4.36 Desplazamientos y deriva para el Sismo Raro

d. Desplazamientos y derivas para el Sismo Muy Raro

Nivel de Movimiento Sísmico	Piso	Altura (m)	Desplaz. (m)	Deriva	Deriva (%)
Sismo Muy Raro	Piso 1	3.325	0.128	0.038	3.85
	Piso 2	6.575	0.154	0.023	2.34
	Piso 3	12.087	0.163	0.013	1.35

Tabla 4.38. Desplazamientos y deriva para el Sismo Raro

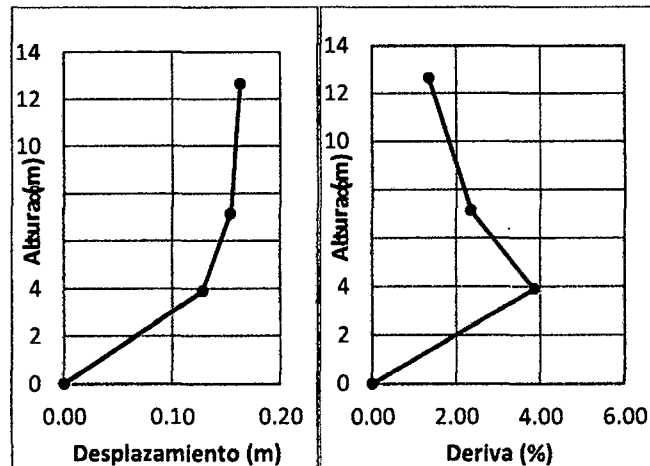


Figura 4.37 Desplazamientos y deriva para el Sismo Raro

4.1.7 Estimación de daños con HAZUS - MH 2.1

El programa HAZUS fue desarrollado en Estados Unidos para evaluar la vulnerabilidad sísmica, en forma aproximada, de ciudades empleando el Método del Espectro de Capacidad (Análisis Pushover).

La importancias de los estudios de vulnerabilidad sísmica en estructuras, es indicar los porcentajes de daño esperados en elementos estructurales, elementos no estructurales y en el contenido del edificio.

4.1.7.1 Metodología HAZUS

a. Tipo de Estructura Modelo

HAZUS agrupa a los edificios con similares características de daño o pérdida en un conjunto de clases predefinidas de la estructura (edificios modelo). Po lo tanto la predicción de daños y de pérdidas pueden ser desarrollados para estos edificios modelo, que representan las características promedio de la población total de los edificios dentro de cada clase (HAZUS-MH 2.1 2003).

Como la estructura en estudio es una estructuras aporticada, se considera la siguiente tabla.

Tipo de Edificio	Descripción	Altura			
		Rango		Típico	
		Nombre	Pisos	Pisos	Pies
C1L	Estructuras de concreto armado formadas por vigas y columnas, sin	Bajos	1 – 3	2	20
C1M		Medianos	4 – 7	5	50
C1H		Altos	8	12	120

Tabla 4.39. Tipos de Estructuras – Modelo de Edificio HAZUS-MH 2.1, 2003

b. Niveles de Daño

Los niveles de daño describen cualitativamente los daños que va sufriendo el edificio a medida que va incrementando la deriva de entrepiso. El alcance y la gravedad de los daños a los elementos estructurales y no estructurales y contenido de un edificio es descrito por uno de los cuatro estados de daño: Leve, Moderado, Extenso y Completo. Estos niveles de daño se describen en las tablas siguientes.

Daño Estructural	Descripción
Ligero	Finas grietas en algunas vigas y columnas cerca de las articulaciones o en las articulaciones.
Moderado	La mayoría de las vigas y columnas presentan grietas finas. Algunos elementos alcanzan su capacidad máxima de fluencia y empiezan a agrietarse. Existe desprendimiento de concreto.

Extenso	Algunos de los elementos alcanzan su capacidad máxima dúctil y hay grandes grietas de flexión. El concreto se desprende y el refuerzo principal se pandea. En algunas columnas se rompen los estribos. Puede haber un colapso parcial.
Completo	La estructura colapsó o está en peligro inminente de colapsar debido a rotura frágil de sus elementos o a la pérdida de estabilidad de sus pórticos.

Tabla 4.40. Daño en Elementos Estructurales HAZUS-MH 2.1 2003

Daño No Estructural	Descripción
Ligero	Se observan unas grietas en las intersecciones de las paredes y techos y en las esquinas de las aberturas de puertas.
Moderado	Grietas más grandes y más extensas que requieren de reparación y de repintado. Algunos tabiques pueden requerir el reemplazo del tarrajeo u otros acabados.
Extenso	La mayoría de los tabiques están agrietados y una porción significativa puede requerir el reemplazo de acabados. Algunos <u>marcos de las puertas están dañados y requieren reparación.</u>
Completo	La mayoría de los acabados en tabiques tienen que ser eliminados y reemplazados. La mayoría de los marcos de las puertas también tienen que ser reemplazados.

Tabla 4.41. Daño en Elementos No Estructurales: Tabiques HAZUS-MH 2.1 2003

Daño de Contenido	Descripción
Ligero	Los equipos no anclados se mueven. Se producen daños de tuberías o conductos adjuntos.
Moderado	Los movimientos son más grandes y el daño es más extenso. Hay fugas de tuberías en algunos lugares; maquinaria del ascensor puede requerir reajuste.
Extenso	Los equipos sin anclajes se caen. Se rompen las conexiones de las tuberías y conductos, fugas se desarrollan en muchos lugares. Los equipos anclados estiran a pernos o deforman a anclajes.
Completo	Equipo está dañado por deslizamiento, vuelco o falla de sus anclajes y no es operable. Tuberías con fugas en muchos lugares. Algunas soportes de tuberías y conductos han colapsado; las tuberías y conductos han caído o cuelgan.

Tabla 4.42. Daño en Contenido: Equipos electro-mecánicos, tuberías y conductos. HAZUS-MH 2.1 2003

c. Niveles de Diseño Sísmico

HAZUS presenta cuatro niveles de diseño denominados: pre-norma, bajo, moderado y alto. El nivel de diseño pre-norma sirve para estructuras que no se hallan en zonas sísmicas, el nivel de diseño bajo para estructuras que se hallan en zonas de muy baja sismicidad, el nivel de diseño moderado para aquellas que se encuentran en zonas de moderada intensidad sísmica y el nivel de diseño alto para estructuras que se hallan en zonas de alta peligrosidad sísmica. De acuerdo a estos niveles de diseño se tendrá: una nula disipación de energía, una baja disipación de energía, una mediana disipación de energía y una alta disipación de energía en las estructuras.

Para cada uno de los niveles de diseño sísmico se tiene un límite de la deriva máxima de entrepiso “ γ ”, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Niveles de Daño	Niveles de Diseño			
	Pre-norma	Bajo	Moderado	Alto
Leve	0.0040	0.0050	0.0050	0.0050
Moderado	0.0064	0.0080	0.0087	0.0100
Extenso	0.0160	0.0200	0.0233	0.0300
Completo	0.0400	0.0500	0.0600	0.0800

Tabla 4.43 Valores de “ γ ” en el umbral del nivel de daño para estructuras. HAZUS-MH 2.1 2003

Por la Norma Sismorresistente E.030 (RNE 2006), conocemos que Cajamarca está ubicada en una zona de alta actividad sísmica (Zona 3). Por lo tanto, el análisis que se realizará será de Nivel de Diseño Sísmico Alto.

Al contrastar las derivas de entrepiso obtenidas en la dirección X e Y con las derivas consideradas en el Nivel de Diseño Alto de ésta última, se espera que gran porcentaje del daño estimado oscile entre los Niveles Leve y Extenso.

d. Curvas de Fragilidad Estructural

Las curvas de fragilidad representan una estimación de la probabilidad acumulada de que una estructura exceda un determinado estado de daño en función de un parámetro que define la intensidad sísmica.

La metodología HAZUS obtiene las curvas de fragilidad en función del punto de demanda en coordenadas espectrales.

✓ **Construcción de las Curvas de Fragilidad Estructural**

Cada curva de fragilidad es caracterizada por los valores de la media y la desviación estándar logarítmica normal β de la demanda. La probabilidad de superar el daño dado se modela como una distribución logarítmica normal acumulativa.

Para daños estructurales, dado el desplazamiento espectral S_D la probabilidad de superar a un nivel de daño se modela como:

$$P \left[d_s / S_d \right] = \Phi \left[\frac{1}{\beta_{d_s}} * \ln \left(\frac{S_D}{\bar{S}_{D,d_s}} \right) \right]$$

Dónde:

\bar{S}_{D,d_s} : es el valor medio del desplazamiento espectral en el cual el edificio alcanza el umbral del nivel de daño d_s .

β_{d_s} : es la desviación estándar del logaritmo natural del desplazamiento espectral del nivel de daño.

Φ : es la función de distribución acumulativa normal estándar.

El desplazamiento espectral del punto de demanda es el parámetro utilizado para encontrar el nivel de daños estructurales y daños no estructural. El daño de los contenidos se encuentra en función a la aceleración espectral del punto de demanda.

En el Manual HAZUS – MH 2.1 se brindan los parámetros característicos para construir las Curvas de Fragilidad para cada nivel de diseño sísmico y para cada modelo de edificio, son las siguientes tablas.

Parámetros de las Curvas de Fragilidad para Daño Estructural en Estructuras C1L

Niveles de Diseño	Niveles de Daño							
	Leve		Moderado		Extenso		Completo	
	Medio	β	Medio	β	Medio	β	Medio	β
Pre-norma	0.72	0.98	1.15	0.94	2.88	0.90	7.20	0.97
Bajo	0.90	0.95	1.44	0.91	3.60	0.85	9.00	0.97
Moderado	0.90	0.89	1.56	0.90	4.20	0.90	10.80	0.89
Alto	0.90	0.81	1.80	0.84	5.40	0.86	14.40	0.81

Tabla 4.44 Desplazamiento espectral medio (plg) y Desviación Lognormal Estándar para Daños Estructurales

Parámetros de las Curvas de Fragilidad para Daño No Estructural en Estructuras C1L

Niveles de Diseño	Niveles de Daño							
	Leve		Moderado		Extenso		Completo	
	Medio	β	Medio	β	Medio	β	Medio	β
Pre-norma	0.72	1.02	1.44	0.98	4.50	0.93	9.00	1.03
Bajo	0.72	0.99	1.44	0.96	4.50	0.90	9.00	1.01
Moderado	0.72	0.93	1.44	0.96	4.50	0.94	9.00	0.88
Alto	0.72	0.84	1.44	0.88	4.50	0.90	9.00	0.88

Tabla 4.45: Desplazamiento espectral medio (plg) y Desviación Lognormal Estándar, HAZUS-MH 2.1 2003

Parámetros de las Curvas de Fragilidad para Daño en Contenidos en Estructuras C1L .

Niveles de Diseño	Niveles de Daño							
	Leve		Moderado		Extenso		Completo	
	Medio	β	Medio	β	Medio	β	Medio	β
Pre-norma	0.20	0.66	0.40	0.68	0.80	0.68	1.60	0.68
Bajo	0.20	0.65	0.40	0.68	0.80	0.68	1.60	0.68
Moderado	0.25	0.67	0.50	0.66	1.00	0.66	2.00	0.66
Alto	0.30	0.68	0.60	0.68	1.20	0.67	2.40	0.67

Tabla 4.46: Aceleración espectral media (g) y Desviación Lognormal Estándar, HAZUS-MH 2.1 2003

Con los parámetros anteriores y la ecuación anterior, se construyen las Curvas de Fragilidad Estructural, permitiéndonos poder estimar el daño estructural, el daño no estructural y el daño en contenidos de la edificación en estudio, según el nivel de diseño sísmico. A continuación presentamos las Curvas de Fragilidad del Nivel de Diseño Sísmico Alto para estructuras.

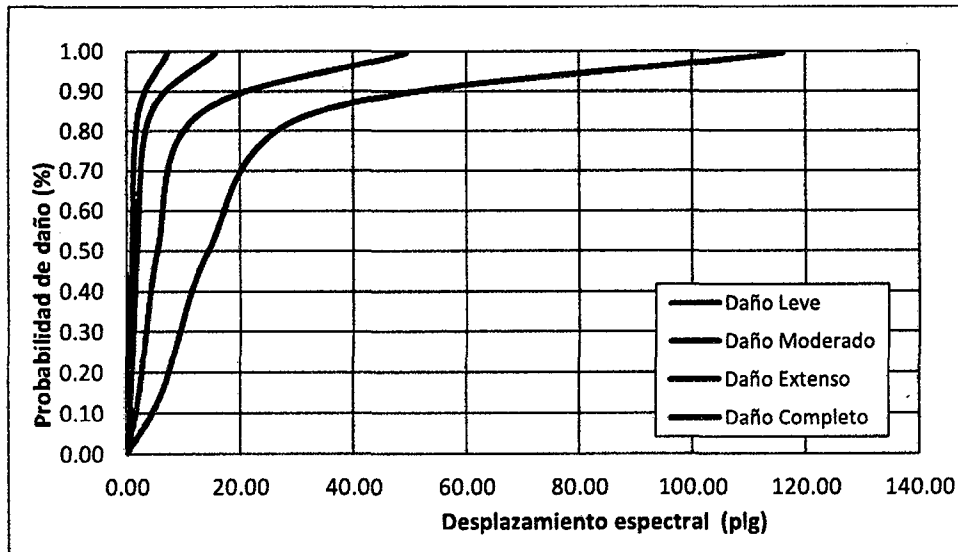


Figura 4.38 Curvas de Fragilidad Estructural para Nivel de Diseño Sísmico Alto. Daño estructural – Estructuras C1L

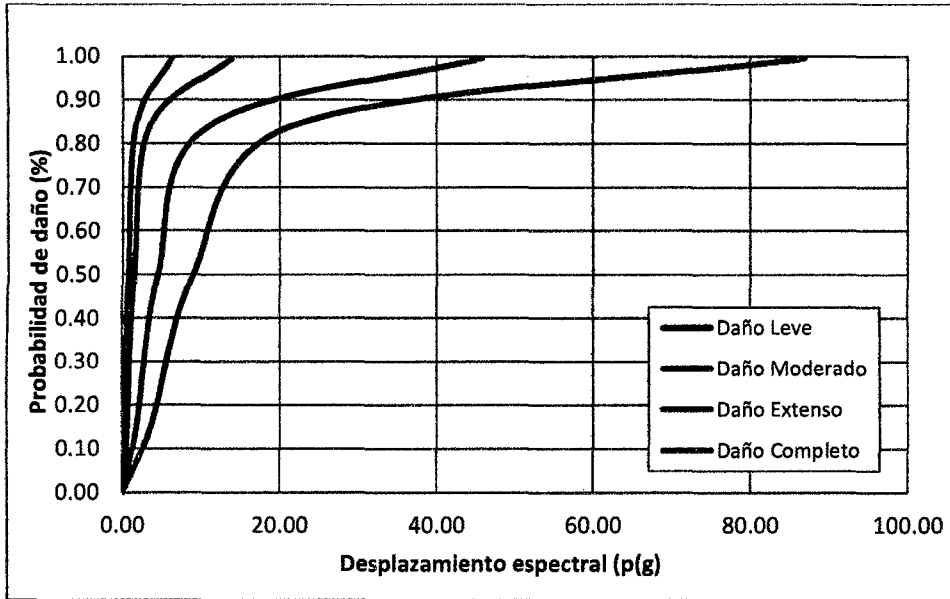


Figura 4.39 Curvas de Fragilidad Estructural para Nivel de Diseño Sísmico Alto. Daño no estructural – Estructuras C1L

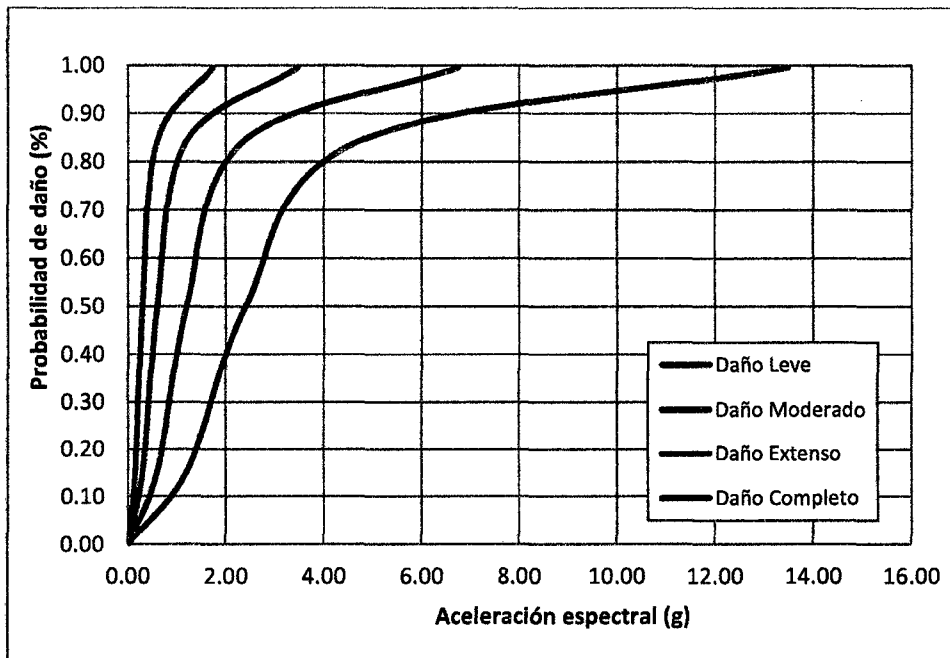


Figura 4.40. Curvas de Fragilidad Estructural para Nivel de Diseño Sísmico Alto. Daño en contenido – Estructuras C1L

e. Estimación de Daños

Para la estimación de los niveles de daño Estructural, No estructural y en el contenido de la Estructura en estudio, se realiza teniendo en cuenta la S_A , S_D y las curvas de fragilidad.

Nivel del Movim. Sísmico	Dirección "X"		Dirección "Y"	
	Sa (g)	Sd (plg)	Sa (g)	Sd (plg)
E.030	0.47	0.79	0.46	1.22
Ocasional	0.51	1.46	0.48	1.81
Raro	0.58	2.95	0.52	3.31
Muy Raro	0.63	4.17	0.59	4.76

Tabla 4.47: Puntos de Desempeño Sísmico Alcanzados por la Estructura para los Niveles de Movimiento Sísmico considerados.

Para la dirección en X

a. Estimación de daños según E-030

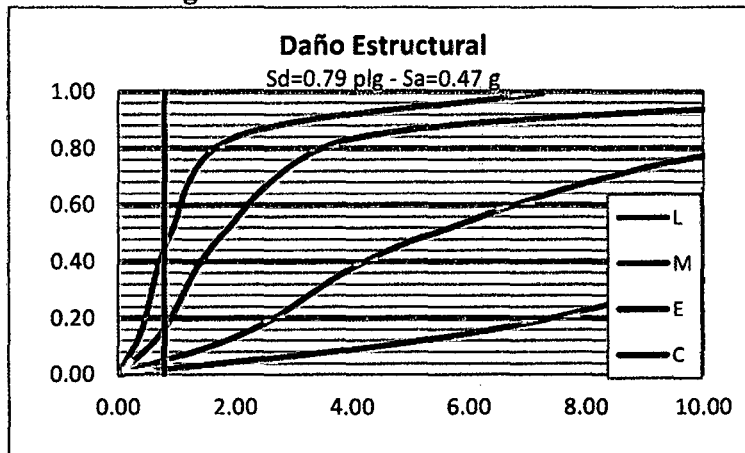


Figura 4.41 Estimación de daños según E-030, para Daño Estructural

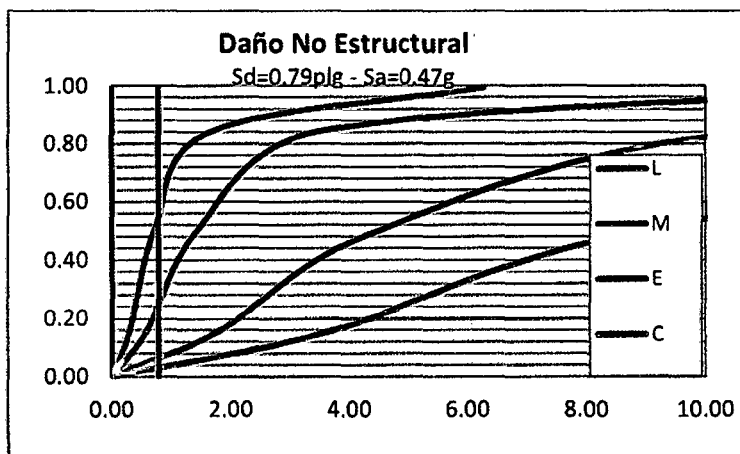


Figura 4.42 Estimación de daños según E-030, para Daño No Estructural

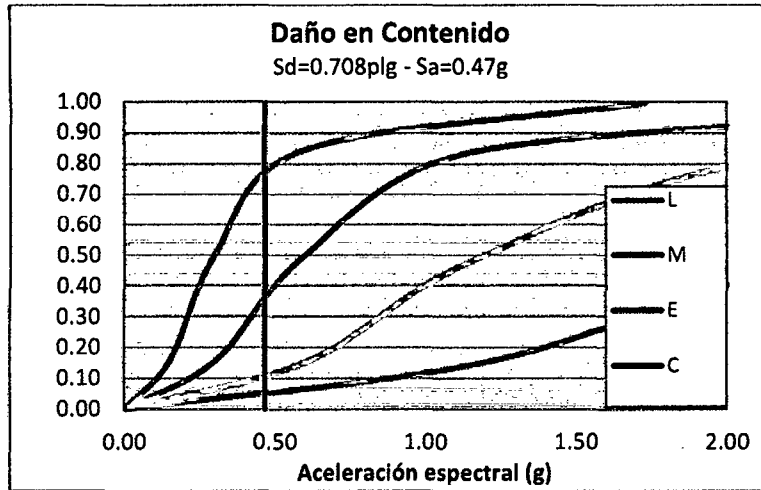


Figura 4.43 Estimación de daños según E-030, para Daño en Contenido

DAÑO	N	L	M	E	C
E	55.00%	29.00%	11.00%	3.00%	2.00%
NE	46.00%	31.00%	17.00%	3.00%	3.00%
C	22.50%	41.50%	25.50%	5.50%	5.00%

Tabla 4.48: Estimación de daños según E-030, para Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.

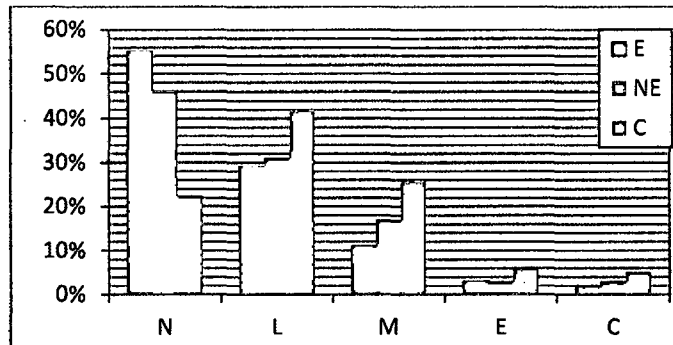


Figura 4.44. Estimación de daños según E-030, para Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.

b. Estimación de daños para el Sismo Ocasional

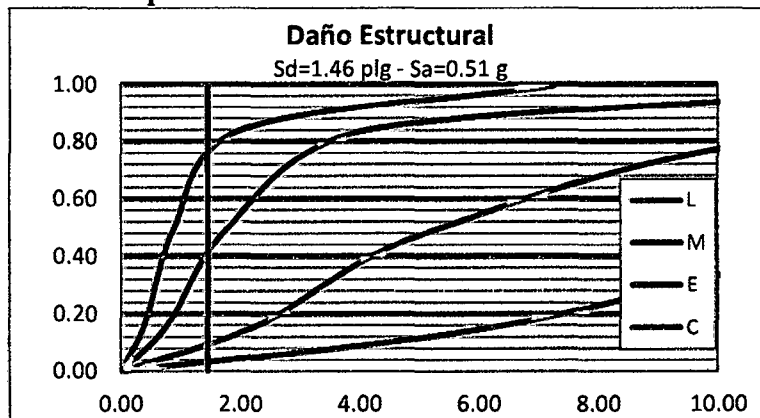


Figura 4.45. Estimación de daños para el Sismo Ocasional, para Daño Estructural

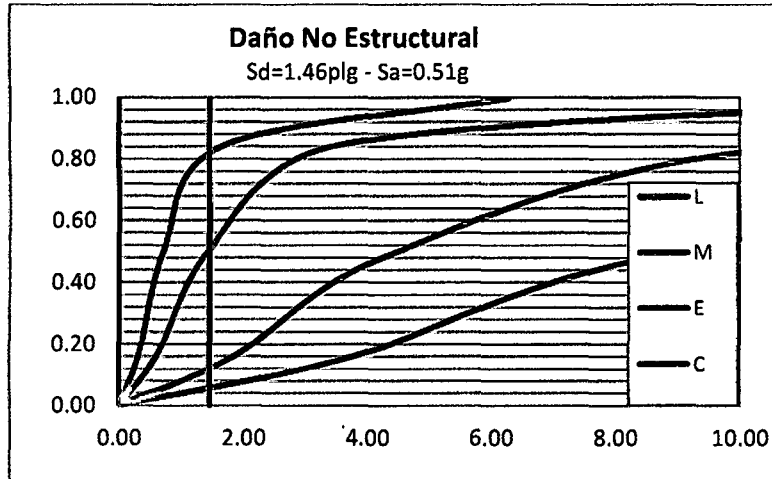


Figura 4.46 Estimación de daños para el Sismo Ocasional, para Daño No Estructural

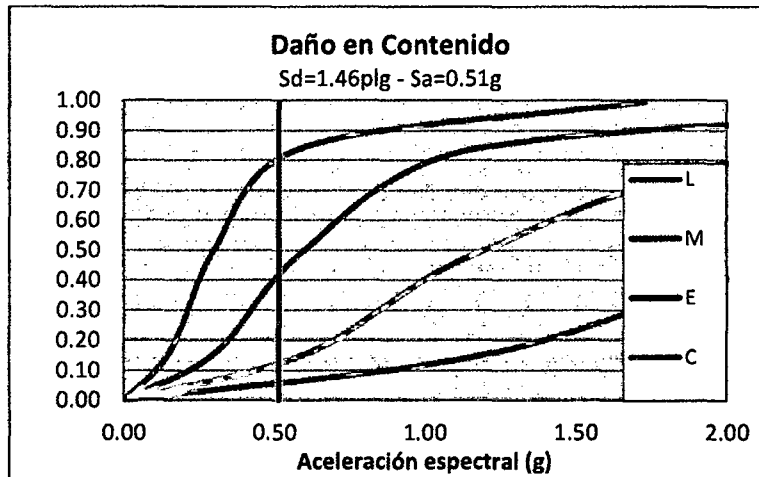


Figura 4.47 Estimación de daños para el Sismo Ocasional, para Daño en Contenido

DAÑO	N	L	M	E	C
E	24.00%	34.00%	33.00%	6.00%	%
NE	18.00%	31.00%	39.00%	6.00%	6.00%
C	19.00%	39.00%	30.00%	7.00%	5.00%

Tabla 4.49: Estimación de para sismo ocasional, para Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.

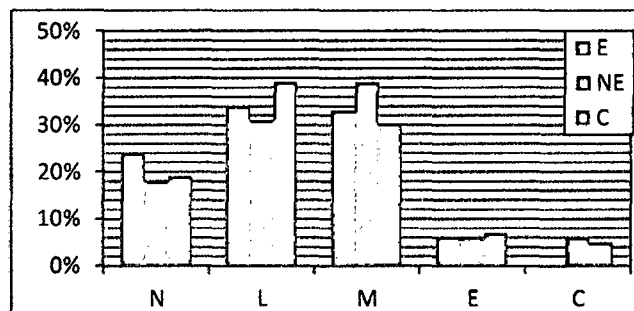


Figura 4.48 Estimación de daños para sismo ocasional; Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.

c. Estimación de daños para el Sismo Raro

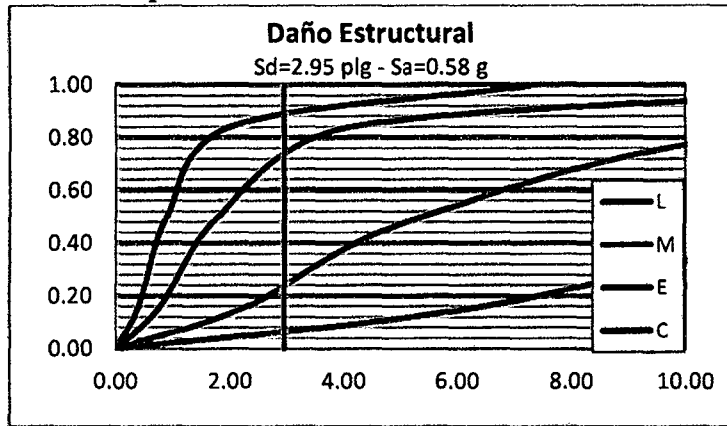


Figura 4.49 Estimación de daños para el Sismo Raro, para Daño Estructural

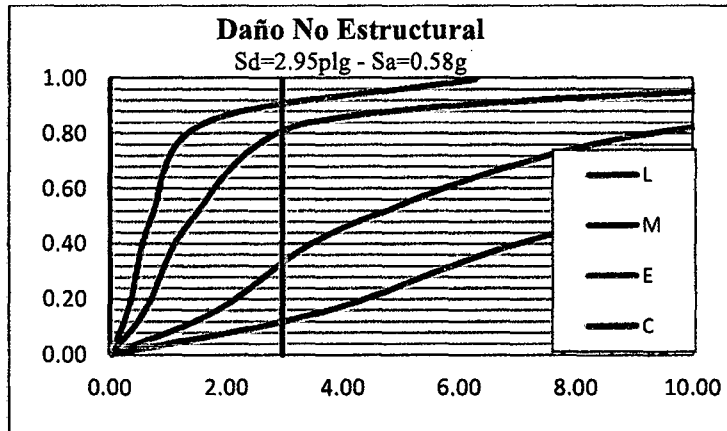


Figura 4.50 Estimación de daños para el Sismo Ocasional, para Daño No Estructural

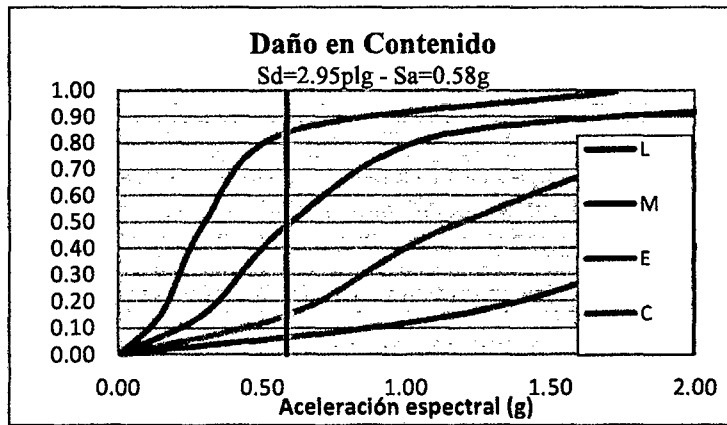


Figura 4.51 Estimación de daños para el Sismo Raro, para Daño en Contenido

DAÑO	N	L	M	E	C
E	11.00%	15.00%	50.00%	18.00%	6.00%
NE	9.00%	10.00%	49.00%	20.00%	12.00%
C	16.00%	36.00%	34.00%	7.00%	7.00%

Tabla 4.50: Estimación de daños para sismo raro; Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.

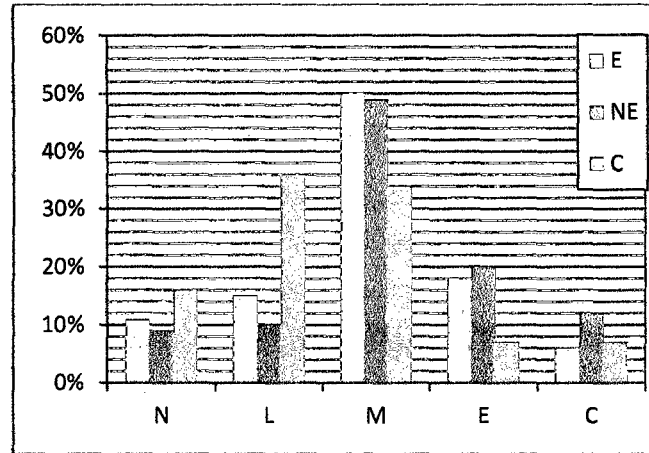


Figura 4.52 Estimación de daños para sismo raro; Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.

d. Estimación de daños para el Sismo Muy Raro

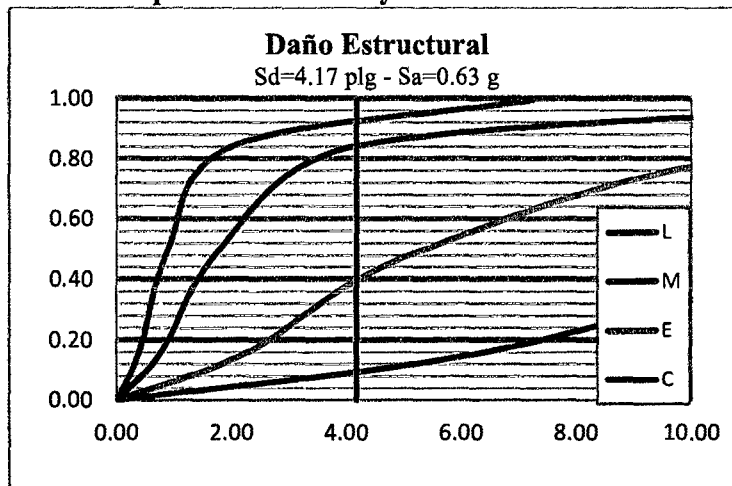


Figura 4.53 Estimación de daños para el Sismo Muy Raro, para Daño Estructural

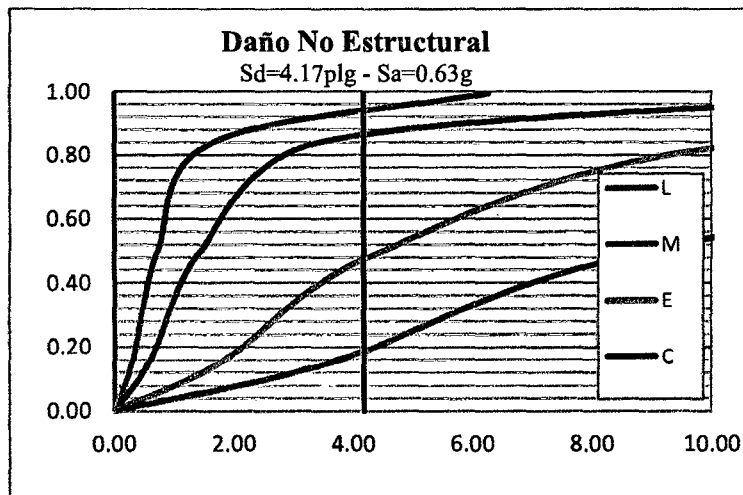


Figura 4.54 Estimación de daños para el Sismo Muy Raro, para Daño No Estructural

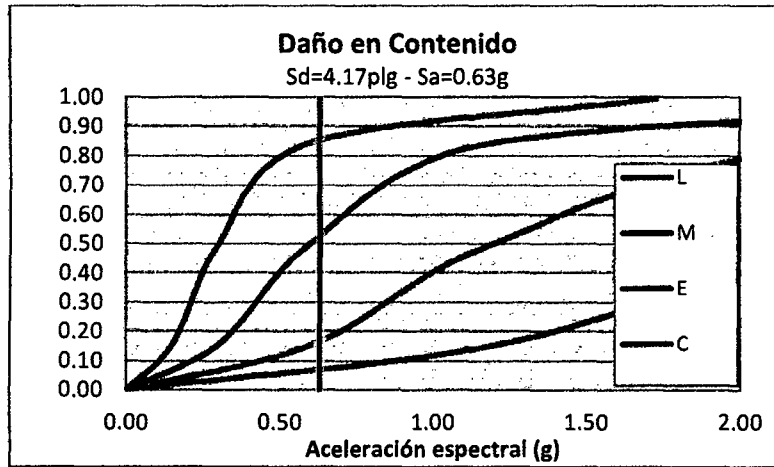


Figura 4.55 Estimación de daños para el Sismo Muy Raro, para Daño en Contenido

DAÑO	N	L	M	E	C
E	8.00%	8.00%	44.00%	30.10%	9.90%
NE	6.00%	8.00%	39.00%	29.00%	18.00%
C	15.00%	32.00%	37.50%	9.00%	6.50%

Tabla 4.51: Estimación de daños para sismo muy raro; Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.

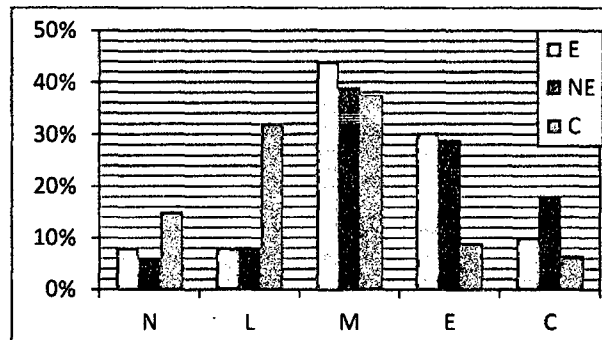


Figura 4.56 Estimación de daños para sismo raro; Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.

Para la dirección en Y

a. Estimación de daños según E-030

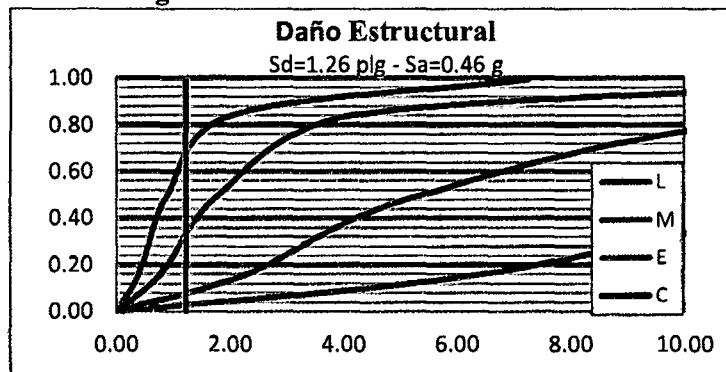


Figura 4.57 Estimación de daños según E-030, para Daño Estructural

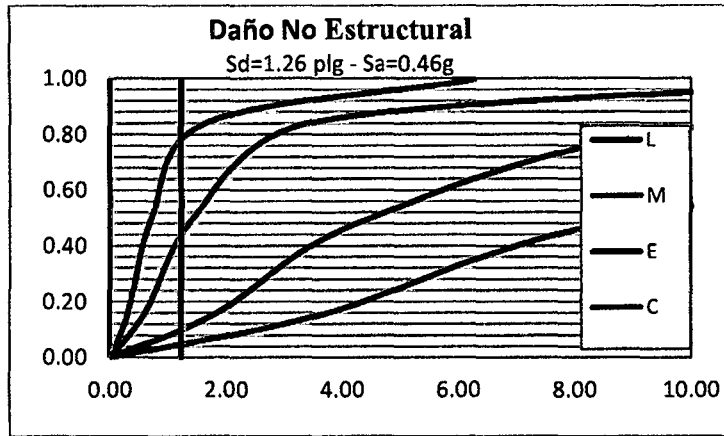


Figura 4.58 Estimación de daños según E -030, para Daño No Estructural

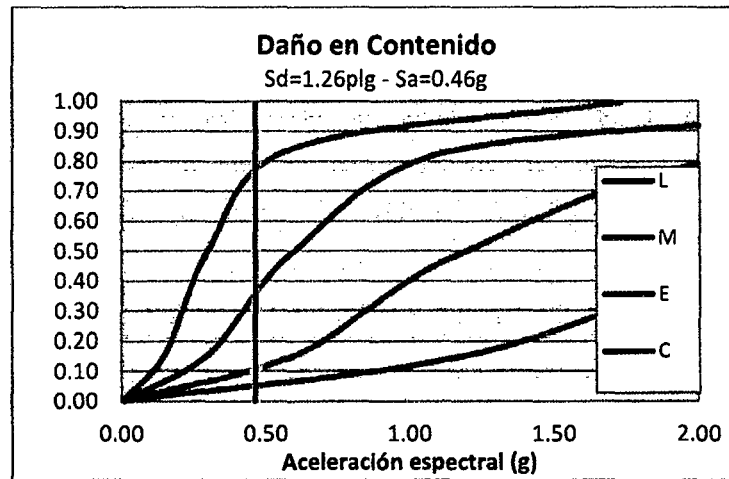


Figura 4.59 Estimación de daños según E -030, para Daño en Contenido

DAÑO	N	L	M	E	C
E	28.00%	39.00%	25.00%	6.00%	2.00%
NE	22.00%	34.00%	34.00%	6.00%	4.00%
C	23.00%	43.00%	23.00%	6.00%	5.00%

Tabla 4.52: Estimación de daños según E -030; Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.

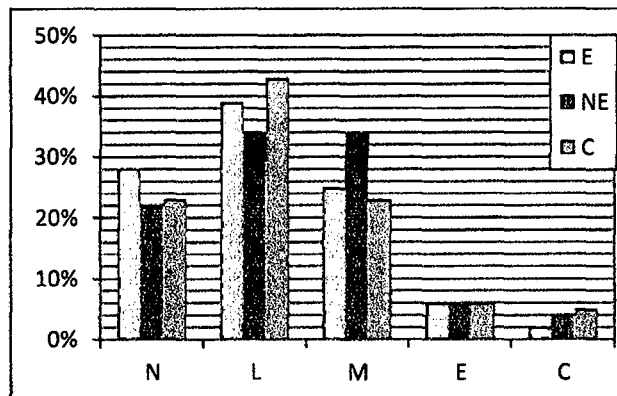


Figura 4.60 Estimación de daños según E -030; Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.

b. Estimación de daños para el Sismo Ocasional

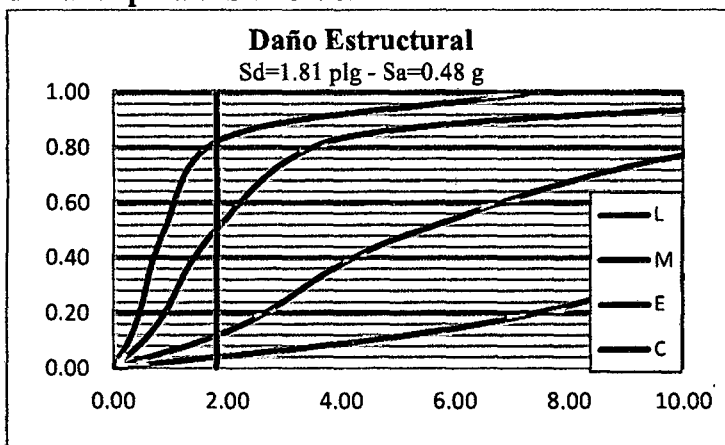


Figura 4.61 Estimación de daños para sismo ocasional, para Daño Estructural

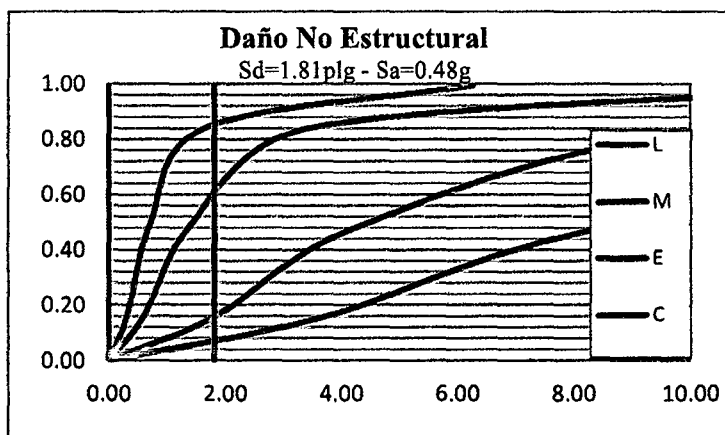


Figura 4.62 Estimación de daños para sismo ocasional, para Daño no Estructural

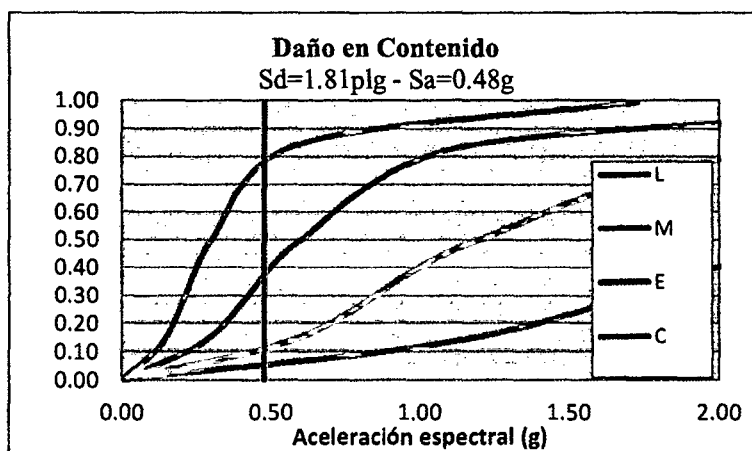


Figura 4.63 Estimación de daños para sismo ocasional, para Daño en Contenido

DAÑO	N	L	M	E	C
E	17.00%	33.00%	38.00%	8.00%	4.00%
NE	15.00%	25.00%	45.00%	8.00%	7.00%
C	21.00%	43.00%	25.00%	6.00%	5.00%

Tabla 4.53: Estimación de daños para sismo ocasional; Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.

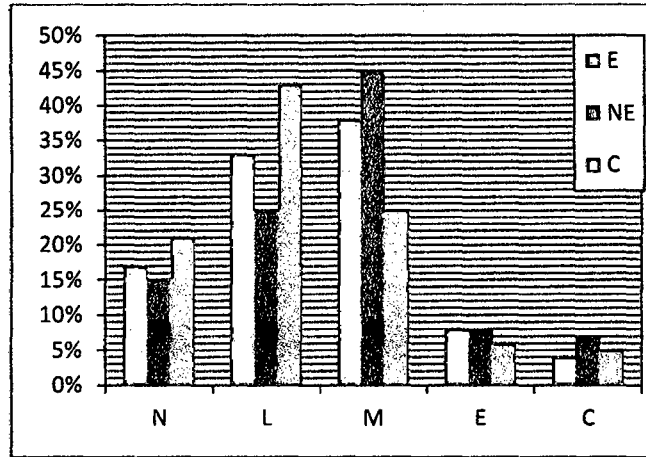


Figura 4.64 Estimación de daños para sismo ocasional; Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.

c. Estimación de daños para el Sismo Raro

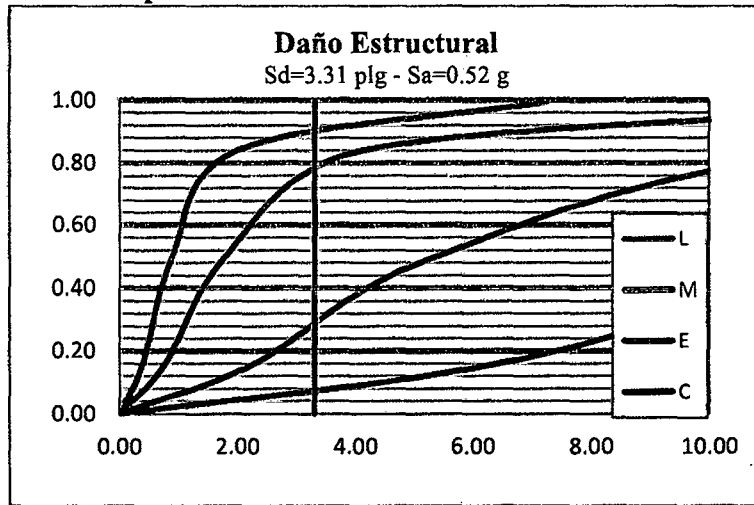


Figura 4.65. Estimación de daños para sismo raro, para Daño Estructural

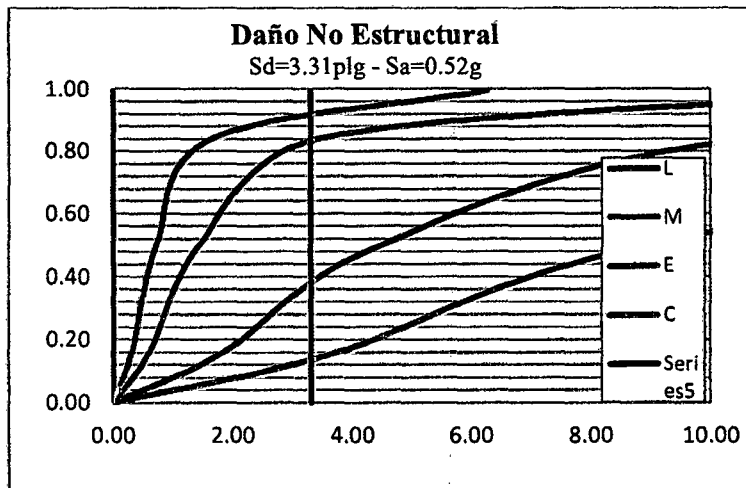


Figura 4.66. Estimación de daños para sismo raro, para Daño no Estructural

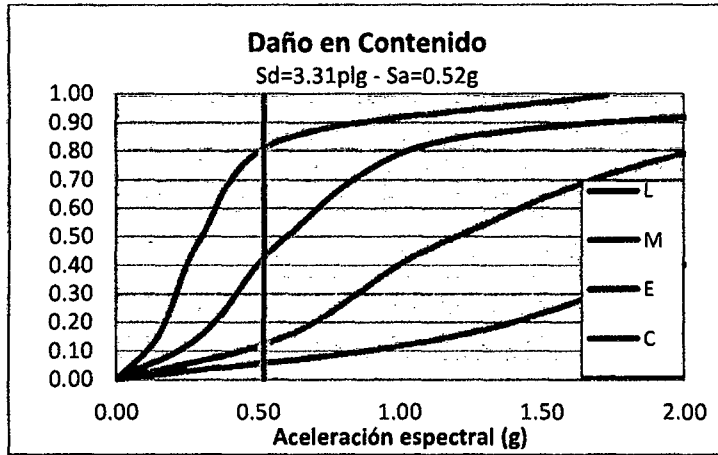


Figura 4.67 Estimación de daños para sismo raro, para Daño en Contenido

DAÑO	N	L	M	E	C
E	10.00%	11.00%	51.00%	20.00%	8.00%
NE	8.00%	9.00%	45.00%	25.00%	13.00%
C	19.00%	39.00%	30.00%	6.00%	6.00%

Tabla 4.54: Estimación de daños para sismo raro; Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.

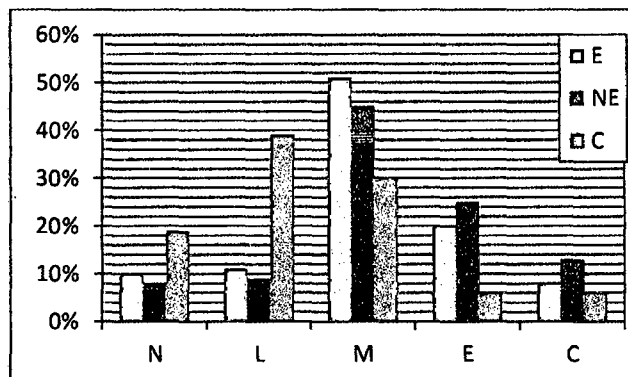


Figura 4.68 Estimación de daños para sismo raro; Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.

d. Estimación de daños para el Sismo Muy Raro

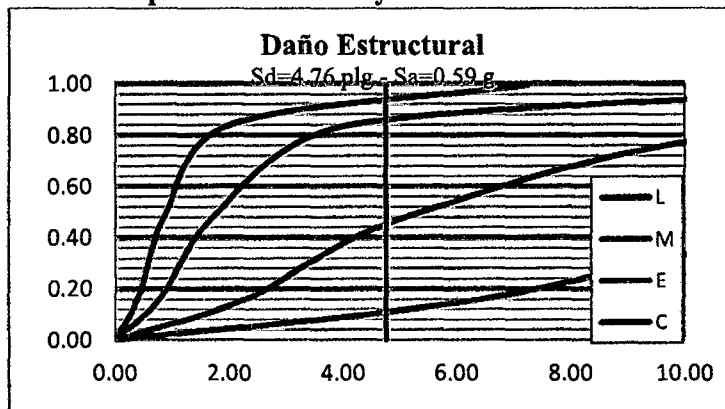


Figura 4.69 Estimación de daños para el Sismo Muy Raro, para Daño Estructural

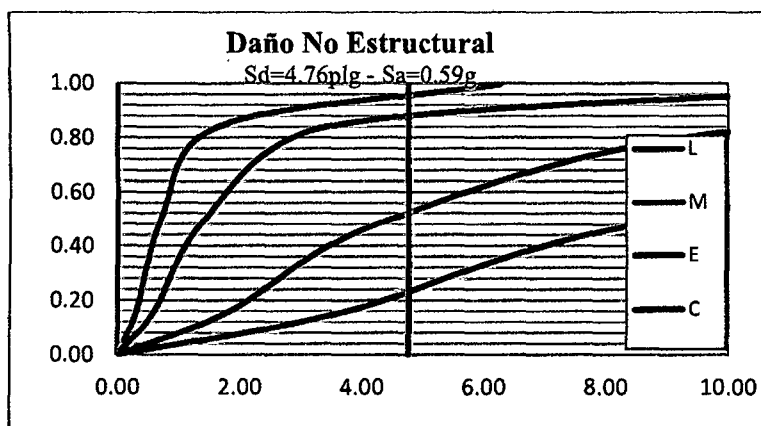


Figura 4.70 Estimación de daños para el Sismo Muy Raro, para Daño No Estructural

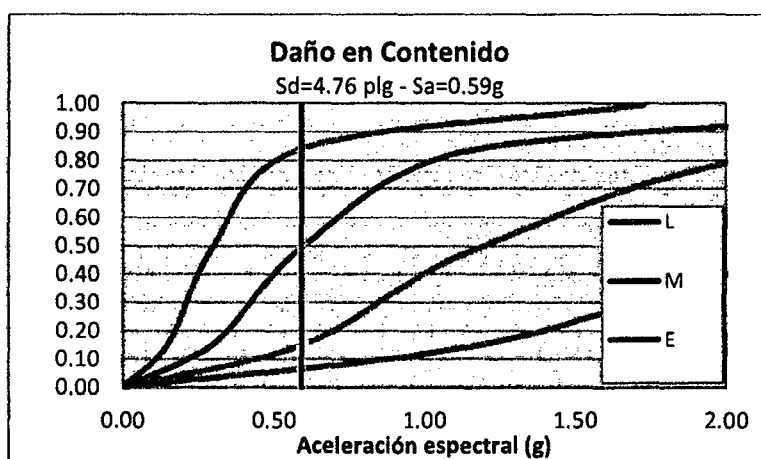


Figura 4.71 Estimación de daños para el Sismo Muy Raro, para Daño en Contenido

DAÑO	N	L	M	E	C
E	6.00%	8.00%	41.00%	34.00%	11.00%
NE	4.00%	8.00%	36.00%	29.00%	23.00%
C	16.00%	35.00%	34.00%	8.00%	7.00%

Tabla 4.55: Estimación de daños para sismo muy raro; Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.

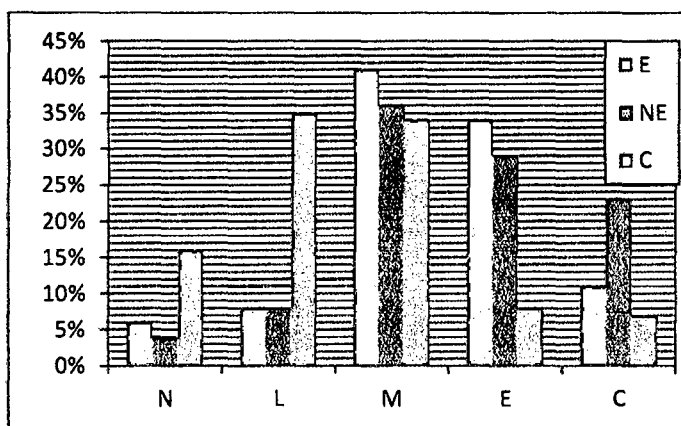


Figura 4.72 Estimación de daños para sismo raro; Daño Estructural, No Estructural y en Contenido.

4.1.8 Análisis e Interpretación de Resultados

✓ **Nivel de desempeño alcanzado**

a. Según Norma Técnica E -030

Como se observa en la tabla 4.27 y 4.30, la estructura del edificio en estudio, según el espectro de respuesta calculado según la norma técnica, alcanza un nivel operacional tanto en la dirección X, como en Y, lo que indica un buen desempeño; en la estructura se identificará presencia de pequeños agrietamientos pero sin la necesidad de requerir alguna reparación en las vigas, además la estructura.

b. Para Sismo Ocasional

Como se observa en la tabla 4.27 y 4.30, la estructura del edificio en estudio, para un Sismo Ocasional alcanza un nivel funcional tanto en la dirección X, como en Y, esperando que sufra daños pero moderados, y ser usada inmediatamente sin necesidad de realizar ninguna reparación

c. Para sismo Raro

Como se observa en la tabla 4.27 y 4.30, la estructura del edificio en estudio, para un sismo Raro alcanza un nivel funcional tanto en la dirección X, como en Y, esperando que se alcancen daños en los elementos estructurales y requieran reparación; pero después del evento la estructura permanecerá funcional.

d. Para sismo Muy Raro

Como se observa en la tabla 4.27 y 4.30, la estructura del edificio en estudio, para un sismo Muy Raro alcanza un nivel seguridad de vida, lo que indica daños moderados en elementos estructurales y severos en los elementos no estructurales y en el contenido. Es posible que se requiera de reparaciones menores antes de que la estructura vuelva a cumplir su función.

✓ **Desempeño Sísmico Esperado**

Tanto para la dirección X como Y, el desempeño alcanzado de la estructura en estudio para el sismo ocasional, difiere del propuesto por la SEAOC, porque se esperaba un Nivel Operacional y como se observa en las tablas 4.27 y 4.30, se ha alcanzado un Nivel Funcional.

En cambio para los niveles de sismo raro y muy raro, como se observa en las tablas 4.27 y 4.30, el desempeño alcanzado coincide con el propuesto por la SEAOC en el Nivel Funcional y el Nivel Seguridad de Vida.

✓ **Derivas de entrepiso de la estructura**

Tanto en la dirección X como en Y, las derivas de entrepiso de la estructura en estudio, para el espectro de respuesta E- 030, sismo ocasional, presentan sus derivas menor al 0.7 %.

En cambio para los sismos raro y muy raro exceden al límite de 0.7 %; pero como ya se vio anteriormente esto no representa peligro en su desempeño de la estructura.

✓ **Estimación de Daños**

a. Estimación de daños según Norma Técnica E – 030

Según la Norma E – 030, los daños estructurales de mayor porcentaje tanto en la dirección X como Y, son de nivel ligero y de nivel moderado, superando este último; en lo que respecta a elementos estructurales (39 % y 25%) , se espera finas grietas en algunas vigas y columnas cerca de las articulaciones, en incluso se espera desprendimiento de concreto; en cambio en lo que respecta a elementos no estructurales (31% y 34 %) , se espera unas grietas en las intersecciones de las paredes y techos y en las esquinas de las aberturas de puertas, que requieren de reparación y de repintado e incluso reemplazo del tarrajeo u otros acabados.

El daño al contenido de la edificación es leve (41.5%) y moderado (25.5%) respectivamente

b. Estimación de daños para Sismo Ocasional

Para el Sismo Ocasional, la mayoría de los daños continúan siendo ligeros y moderados. Superando los daños de nivel Moderado en elementos no estructurales en ambas direcciones (29 % y 45%), esperando grietas en las intersecciones de las paredes y techos y en las esquinas de las aberturas de puertas, que requieren de reparación y de repintado e incluso reemplazo del tarrajeo u otros acabados.

c. Estimación de daños para sismo Raro

Para el Sismo Raro, la mayoría de los daños continúan siendo ligeros y moderados. Superando los daños de nivel Moderado en elementos estructurales en ambas direcciones (50 % y 51%); esperando grietas en algunas vigas y columnas cerca de las articulaciones, en incluso se espera desprendimiento de concreto.

d. Estimación de daños para sismo Muy Raro

Para el Sismo Muy Raro, la mayoría de los daños continúan siendo ligeros y moderados. Superando los daños de nivel Moderado y de mayor deterioro en elementos estructurales en ambas direcciones (44% y 41%); esperando grietas en algunas vigas y columnas cerca de las articulaciones, en incluso se espera desprendimiento de concreto.

CAPÍTULO V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1 CONCLUSIONES

- ✓ El desempeño sísmico alcanzado por la estructura en la dirección X como en Y, en los Niveles de movimiento del Sismo Raro y Muy Raro cumple con los criterios del Comité VISION 2000, en cambio para el Nivel del Sismo Ocasional no cumple lo establecido pero alcanza un nivel funcional, lo cual indica que ante cualquier sismo la estructura, seguirá cumpliendo su función
- ✓ El desplazamiento máximo de techo en la dirección X es de $\Delta t = 33cm$ y su cortante basal máximo es de $V_{m\acute{a}x} = 1072.251 TN$ y en la dirección Y el desplazamiento de techo es de $\Delta t = 36cm$ y su cortante basal máximo es de $V_{m\acute{a}x} = 1259.268 TN$.
- ✓ El desempeño sísmico alcanzado por la estructura en la dirección X como en Y, según la norma E-030, se encuentra en el Nivel Operacional, teniendo un comportamiento inelástico ante sismos frecuentes.
- ✓ Las derivas de entrepiso de la estructura, en la dirección X como en Y, para el espectro de respuesta E-030, alcanzan derivas menores al 0.7 %, cumpliendo con lo establecido en dicha norma, en cambio para los otros nivel de sismos supera lo establecido.

5.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Antes de construir cualquier estructura, se debe realizar el análisis de desempeño sismorresistente, para estar seguros que ésta cumplirá con la función que va a desempeñar y no pondrá en riesgo la vida de las personas.
- ✓ Realizar los ensayos de esclerometría y/o de diamantina, para tener la información existente de la resistencia del concreto y con los datos obtenidos modelar y analizar el desempeño sismorresistente de la estructura.
- ✓ Realizar la evaluación sísmica de los edificios de la ciudad universitaria y de Cajamarca, especialmente de los más antiguos, por ser los más vulnerables sísmicamente, cuya evaluación permitirá el oportuno reforzamiento de dicha estructura si así lo requieren.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ATC (1996). "Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings". Technical report, ATC-40. Applied Technology Council, Redwood City, California.
2. Evaluación de los Métodos de Análisis Estático No Lineal Para Determinar la Demanda Sísmica en Estructuras Aporticadas de Concreto Armado. Oscar A. López, Gianina Del Re Ruiz.
3. Estimación de pérdidas sísmicas mediante curvas de fragilidad Analíticas, José Velásquez1 y Marcial Blondet.
4. FEMA 356. Federal Emergency Management Agency. Washington, D.C.
5. Technical Manual "Multi-hazard Loss Estimation Methodology. Earthquake Model". Department of Homeland Security. FEMA. Mitigation Division. Washington, D.C, HAZUS-MH 2.1 2003.
6. Verificación del Desempeño en el Diseño Sismorresistente. Roberto Aguiar Falconí.
7. Apuntes de Clase: "Diseño de Edificios de Concreto Armado con ETABS 2013". Universidad Nacional de Cajamarca, Perú, Palomino Encinas, Alex Henry (2014).
8. Tesis: "Nivel de Desempeño Sísmico del Edificio „A" de la Universidad Privada del Norte – Sede Cajamarca". Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú, Juan Chunque Pajares 2013.
9. Tesis "Desempeño sísmico de un edificio aporticado de seis pisos diseñado con las normas peruanas de edificaciones". Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú, Fernández Villegas, Jhonny Ángel 2006.

ANEXOS

1. Metrado de Cargas

1.1 Primer piso

A. Cargas muertas en vigas principales

✓ **Cargas muertas provenientes de la losa aligerada**

EJE	W(kg./m ²)	Ancho de Influencia(m)	Carga(kg./m)	Carga(Tn/m)
A	350	4.1	1435	1.435
B	350	4.6	1610	1.61
C	350	4.6	1610	1.61
D	350	4.6	1610	1.61
E	350	4.6	1610	1.61
F	350	4.6	1610	1.61
G	350	4.6	1610	1.61
H	350	4.1	1435	1.435

✓ **Cargas muertas provenientes de vigas centrales y vigas de borde**

EJE	W(kg./m ³)	Ancho de Influencia(m)	Peralte (m)	Carga(kg./m)	Carga(Tn/m)
A	2400	0.3	0.25	180	0.18
B	2400	0.2	0.25	120	0.12
C	2400	0.2	0.25	120	0.12
D	2400	0.2	0.25	120	0.12
E	2400	0.2	0.25	120	0.12
F	2400	0.2	0.25	120	0.12
G	2400	0.2	0.25	120	0.12
H	2400	0.3	0.25	180	0.18

✓ **Cargas muertas provenientes del piso terminado**

EJE	W(kg./m ²)	Ancho de Influencia(m)	Carga(kg./m)	Carga(Tn/m)
A	100	4.40	440	0.44

B	100	4.80	480	0.48
C	100	4.80	480	0.48
D	100	4.80	480	0.48
E	100	4.80	480	0.48
F	100	4.80	480	0.48
G	100	4.80	480	0.48
H	100	4.40	440	0.44

✓ Cargas muertas provenientes de muros

EJE	W(kg./m ³)	Espesor (m)	Altura de muro (m)	Carga(kg./m)	Carga(Tn/m)
A entre 1 y 3	1800	0.15	1.00	270	0.27
B entre 1 y 3	1800	0.15	2.60	702	0.702
D entre 1 y 4	1800	0.15	2.60	702	0.702
E entre 1 y 2	1800	0.25	2.60	1170	1.17
E entre 2 y 3	1800	0.25	2.60	1170	1.17
F entre 1 y 2	1800	0.15	2.60	702	0.702
G entre 2 y 3	1800	0.25	2.60	1170	1.17
H entre 1 y 2	1800	0.25	2.60	1170	1.17
H entre 2 y 3	1800	0.25	1.70	765	0.765

B. Cargas vivas en vigas principales

EJE	Ambiente	Descripción según E - 020	W(kg./m ²)	Ancho de Influencia(m)	Carga(kg./m)	Carga(Tn/m)
A entre 1 y 2	Aula 201	Aula	250	3.625	906.25	0.906
A entre 2 y 3	Aula 202	Aula	250	3.625	906.25	0.906
A en Pasadizo	Pasadizo	Pasadizo	400	2.5	1000	1.000
B entre 1 y 2	Aula 201	Aula	250	2.55	637.5	0.638
B entre 2 y 3	Aula 202	Aula	250	2.55	637.5	0.638
B en Pasadizo	Pasadizo	Pasadizo	400	2.5	1000	1.000
C entre 1 y 2	Aula 203	Aula	250	2.55	637.5	0.638

C entre 2 y 3	Aula 204	Aula	250	2.55	637.5	0.638
C en Pasadizo	Pasadizo	Pasadizo	400	2.5	1000	1.000
D entre 1 y 2	Aula 203	Aula	250	4.5	1125	1.125
D entre 2 y 3	Aula 204	Aula	250	4.5	1125	1.125
D en Pasadizo	Pasadizo	Pasadizo	400	5.1	2040	2.040
E entre 1 y 2	Aula 205	Aula	250	3.625	906.25	0.906
E entre 2 y 3	Aula 206	Aula	250	3.625	906.25	0.906
E en Pasadizo	Pasadizo	Pasadizo	400	2.5	1000	1.000
F entre 1 y 2	Aula 205	Aula	250	5.1	1275	1.275
F entre 2 y 3	Aula 206	Aula	250	5.1	1275	1.275
F en Pasadizo	Pasadizo	Pasadizo	400	5.1	2040	2.040
G entre 1 y 2	Aula 207	Aula	250	2.525	631.25	0.631
G entre 2 y 3	SS.HH	SS.HH	250	2.525	631.25	0.631
G en Pasadizo	Pasadizo	Pasadizo	400	5	2000	2.000
H entre 1 y 2	Aula 207	Aula	250	2.55	637.5	0.638
H entre 2 y 3	SS.HH	SS.HH	250	2.525	631.25	0.631
H en Pasadizo	Pasadizo	Pasadizo	400	2	800	0.800

C. Cargas muertas en vigas secundarias

✓ **Cargas muertas provenientes de la losa aligerada**

EJE	W(kg./m ²)	Ancho de Influencia(m)	Carga(kg./m)	Carga(Tn/m)
1	350	1.00	350.000	0.35
2	350	1.00	350.000	0.35
3	350	1.00	350.000	0.35

✓ **Cargas muertas provenientes del piso terminado**

EJE	W(kg./m ²)	Ancho de Influencia(m)	Carga(kg./m)	Carga(Tn/m)
1	100	1.00	100.00	0.1

2	100	1.00	100.00	0.1
3	100	1.00	100.00	0.1

✓ **Cargas muertas provenientes de muros**

EJE	W(kg./m3)	Espesor(m)	Altura de muro (m)	Carga(kg./m)	Carga(Tn/m)
1	1800	0.15	2.7	729.00	0.729
2	1800	0.15	2.7	729.00	0.729
3	1800	0.15	2.7	729.00	0.729

D. Cargas vivas en vigas secundarias

EJE	Descripción	W(kg./m2)	Ancho de Influencia(m)	Carga(kg./m)	Carga(Tn/m)
1 de A a D	Aula 201	250	0.50	125.00	0.45
	Aula203	250	0.50	125.00	
	Pasadizo	400	0.50	200.00	
1 de D a E	Pasadizo	400	1.00	400.00	0.40
1 de E a H	Aula 205	250	0.50	125.00	0.45
	Aula 207	250	0.50	125.00	
	Pasadizo	400	0.50	200.00	
2 de A a D	Aula 201	250	0.50	125.00	0.50
	Aula 202	250	0.50	125.00	
	Aula 203	250	0.50	125.00	
	Aula 204	250	0.50	125.00	
2 de D a E	Pasadizo	400	1.00	400.00	0.40
2 de E a H	Aula 205	250	0.50	125.00	0.53
	Aula 206	250	0.50	125.00	
	Aula 207	250	0.50	125.00	
	SS.HH	300	0.50	150.00	
3 de A a D	Aula 202	250	0.50	125.00	0.45
	Aula 204	250	0.50	125.00	
	Pasadizo	400	0.50	200.00	

3 de D a E	Pasadizo	400	1.00	400.00	0.40
3 de E a H	Aula 206	250	0.50	125.00	0.48
	SS.HH	300	0.50	150.00	
	Pasadizo	400	0.50	200.00	

1.2 Segundo piso

A. Cargas muertas en vigas principales

✓ Cargas muertas provenientes de la losa aligerada

EJE	W(kg./m ²)	Ancho de Influencia(m)	Carga(kg./m)	Carga(Tn/m)
A	350	4.1	1435	1.435
B	350	4.6	1610	1.61
C	350	4.6	1610	1.61
D	350	4.6	1610	1.61
E	350	4.6	1610	1.61
F	350	4.6	1610	1.61
G	350	4.6	1610	1.61
H	350	4.1	1435	1.435

✓ Cargas muertas provenientes de vigas centrales y vigas de borde

EJE	W(kg./m ³)	Ancho de Influencia(m)	Peralte (m)	Carga(kg./m)	Carga(Tn/m)
A	2400	0.3	0.25	180	0.18
B	2400	0.2	0.25	120	0.12
C	2400	0.2	0.25	120	0.12
D	2400	0.2	0.25	120	0.12
E	2400	0.2	0.25	120	0.12
F	2400	0.2	0.25	120	0.12
G	2400	0.2	0.25	120	0.12
H	2400	0.3	0.25	180	0.18

✓ **Cargas muertas provenientes del piso terminado**

EJE	W(kg./m ²)	Ancho de Influencia(m)	Carga(kg./m)	Carga(Tn/m)
A	100	4.4	440	0.44
B	100	4.8	480	0.48
C	100	4.8	480	0.48
D	100	4.8	480	0.48
E	100	4.8	480	0.48
F	100	4.8	480	0.48
G	100	4.8	480	0.48
H	100	4.4	440	0.44

✓ **Cargas muertas provenientes de muros**

EJE	W(kg./m ³)	Espesor (m)	Altura de muro (m)	Carga(kg./m)	Carga(Tn/m)
A entre 1 y 3	1800	0.15	1	270	0.27
B entre 1 y 3	1800	0.15	3	810	0.81
D entre 1 y 4	1800	0.15	3	810	0.81
E entre 1 y 2	1800	0.25	3	1350	1.35
E entre 2 y 3	1800	0.25	3	1350	1.35
F entre 1 y 2	1800	0.15	3	810	0.81
G entre 2 y 3	1800	0.25	3	1350	1.35
H entre 1 y 2	1800	0.25	3	1350	1.35
H entre 2 y 3	1800	0.25	1.7	765	0.765

B. Cargas vivas en vigas principales

EJE	Ambiente	Descripción según E - 020	W(kg./m ²)	Ancho de Influencia(m)	Carga(kg./m)	Carga(Tn/m)
A entre 1 y 2	Aula 301	Aula	250	3.625	906.25	0.90625
A entre 2 y 3	Aula 302	Aula	250	3.625	906.25	0.90625
A en Pasadizo	Pasadizo	Pasadizo	400	2.5	1000	1
B entre 1 y 2	Aula 301	Aula	250	2.55	637.5	0.6375

B entre 2 y 3	Aula 302	Aula	250	2.55	637.5	0.6375
B en Pasadizo	Pasadizo	Pasadizo	400	2.5	1000	1
C entre 1 y 2	Aula 303	Aula	250	2.55	637.5	0.6375
C entre 2 y 3	Aula 304	Aula	250	2.55	637.5	0.6375
C en Pasadizo	Pasadizo	Pasadizo	400	2.5	1000	1
D entre 1 y 2	Aula 303	Aula	250	4.5	1125	1.125
D entre 2 y 3	Aula 304	Aula	250	4.5	1125	1.125
D en Pasadizo	Pasadizo	Pasadizo	400	5.1	2040	2.04
E entre 1 y 2	Aula 305	Aula	250	3.625	906.25	0.90625
E entre 2 y 3	Aula 306	Aula	250	3.625	906.25	0.90625
E en Pasadizo	Pasadizo	Pasadizo	400	2.5	1000	1
F entre 1 y 2	Aula 305	Aula	250	5.1	1275	1.275
F entre 2 y 3	Aula 306	Aula	250	5.1	1275	1.275
F en Pasadizo	Pasadizo	Pasadizo	400	5.1	2040	2.04
G entre 1 y 2	Aula 307	Aula	250	2.525	631.25	0.63125
G entre 2 y 3	SS.HH	SS.HH	250	2.525	631.25	0.63125
G en Pasadizo	Pasadizo	Pasadizo	400	5	2000	2
H entre 1 y 2	Aula 307	Aula	250	2.55	637.5	0.6375
H entre 2 y 3	SS.HH	SS.HH	250	2.525	631.25	0.63125
H en Pasadizo	Pasadizo	Pasadizo	400	2	800	0.8

C. Cargas muertas en vigas secundarias

✓ **Cargas muertas provenientes de la losa aligerada**

EJE	W(kg./m ²)	Ancho de Influencia(m)	Carga(kg./m)	Carga(Tn/m)
1	350	1.00	350.000	0.35
2	350	1.00	350.000	0.35
3	350	1.00	350.000	0.35

✓ **Cargas muertas provenientes del piso terminado**

EJE	W(kg./m ²)	Ancho de Influencia(m)	Carga(kg./m)	Carga(Tn/m)
1	100	1.00	100.00	0.1

2	100	1.00	100.00	0.1
3	100	1.00	100.00	0.1

✓ **Cargas muertas provenientes de muros**

EJE	W(kg./m3)	Espesor(m)	Altura de muro (m)	Carga(kg./m)	Carga(Tn/m)
1	1800	0.15	2.7	729.00	0.729
2	1800	0.15	2.7	729.00	0.729
3	1800	0.15	2.7	729.00	0.729

D. Cargas vivas en vigas secundarias

EJE	Descripción	W(kg./m2)	Ancho de Influencia(m)	Carga(kg./m)	Carga(Tn/m)
1 de A a D	Aula 301	250	0.50	125.00	0.13
	Aula 303	250	0.50	125.00	0.13
	Pasadizo	400	0.50	200.00	0.20
1 de D a E	Pasadizo	400	1.00	400.00	0.40
1 de E a H	Aula 305	250	0.50	125.00	0.13
	Aula 307	250	0.50	125.00	0.13
	Pasadizo	400	0.50	200.00	0.20
2 de A a D	Aula 301	250	0.50	125.00	0.13
	Aula 302	250	0.50	125.00	0.13
	Aula 303	250	0.50	125.00	0.13
	Aula 304	250	0.50	125.00	0.13
2 de D a E	Pasadizo	400	1.00	400.00	0.40
2 de E a H	Aula 305	250	0.50	125.00	0.13
	Aula 306	250	0.50	125.00	0.13
	Aula 307	250	0.50	125.00	0.13
	SS.HH	300	0.50	150.00	0.15
3 de A a D	Aula 302	250	0.50	125.00	0.13
	Aula 304	250	0.50	125.00	0.13
	Pasadizo	400	0.50	200.00	0.20

3 de D a E	Pasadizo	400	1.00	400.00	0.40
3 de E a H	Aula 306	250	0.50	125.00	0.13
	SS.HH	300	0.50	150.00	0.15
	Pasadizo	400	0.50	200.00	0.20

1.3 Tercer piso

A. Cargas muertas en vigas principales

✓ Cargas muertas provenientes de cobertura de teja andina

EJE	W(kg./m ²)	Ancho de Influencia(m)	Longitud (m)	Carga(kg./m)	Carga(Tn/m)
A	10.24	1	5.1	52.224	0.052
B	10.24	1.03	5.1	53.791	0.054
C	10.24	1.03	5.1	53.791	0.054
D	10.24	1.03	5.1	53.791	0.054
E	10.24	1.03	5.1	53.791	0.054
F	10.24	1.03	5.1	53.791	0.054
G	10.24	1.03	5.1	53.791	0.054
H	10.24	1	5.1	52.224	0.052

✓ Cargas muertas provenientes de las correas

EJE	W(kg./ml)	Ancho de Influencia(m)	Carga(kg./m)	Carga(Tn/m)
A	2.77	4.8	13.296	0.0133
B	2.77	4.8	13.296	0.0133
C	2.77	4.8	13.296	0.0133
D	2.77	4.8	13.296	0.0133
E	2.77	4.8	13.296	0.0133
F	2.77	4.8	13.296	0.0133
G	2.77	4.8	13.296	0.0133
H	2.77	4.8	13.296	0.0133

B. Cargas vivas de Techo

EJE	W(kg./m ²)	Ancho de Influencia(m)	Longitud (m)	Carga(kg./m)	Carga(Tn/m)
A	50	1	5.1	255	0.255
B	50	1.03	5.1	262.65	0.263
C	50	1.03	5.1	262.65	0.263
D	50	1.03	5.1	262.65	0.263
E	50	1.03	5.1	262.65	0.263
F	50	1.03	5.1	262.65	0.263
G	50	1.03	5.1	262.65	0.263
H	50	1	5.1	255	0.255

C. Cargas muertas en vigas secundarias

✓ **Cargas muertas provenientes de la teja andina**

EJE	W(kg./m ²)	Ancho de Influencia(m)	Carga(kg./m)	Carga(Tn/m)
1	350	1	350	0.35
2	350	1	350	0.35
3	350	1	350	0.35

D. Cargas vivas de Techo

EJE	W(kg./m ²)	Ancho de Influencia(m)	Carga(kg./m)	Carga(Tn/m)
1	50	1	50	0.05
2	50	1	50	0.05
3	50	1	50	0.05

2. Ensayo de Esclerometría

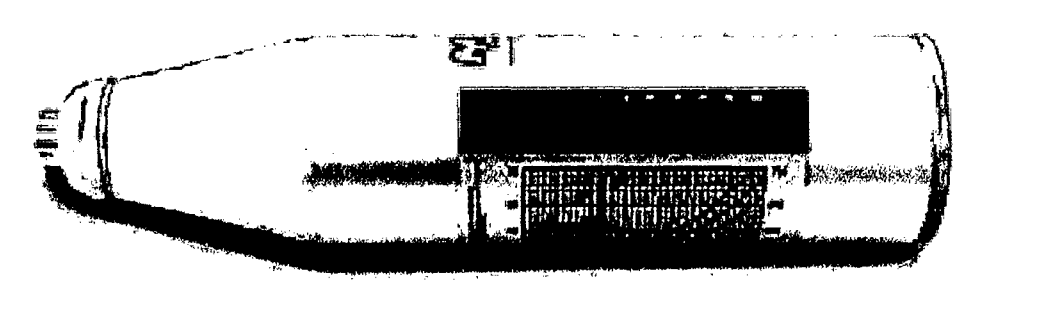
El ensayo de esclerometría es un ensayo no destructivo que permiten evaluar la resistencia del concreto in situ. Este ensayo utiliza el esclerómetro de Schmidt, que mide la dureza superficial del hormigón a partir del rebote de una masa incidente después de impactar contra la superficie de estudio. Este rebote es entonces convertido en un valor de resistencia a compresión a través de ábacos.

2.1 Consideraciones Básicas

- ✓ El área de ensayo debe ser aproximadamente de 30 cm x 30cm.
- ✓ Espesor de piezas mayor a 10cm
- ✓ Distanciado de los puntos de ensayo 5 cm.
- ✓ Esclerómetro en posición perpendicular a la superficie de ensayo, $\alpha=0^\circ$.
- ✓ Mínimo número de lecturas 10.
- ✓ Se descartan las lecturas que difieran en más de 6 unidades de la media. Más de dos lecturas que cumplan esto, se descarta el conjunto.

2.2 Equipo Empleado

MARTILLO "ORIGINAL SCHMIDT" MODELO "L", del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la UNC.



2.3 Procedimiento

El esclerómetro se sujetará firmemente en una posición que permita transmitir mediante el vástago un impacto perpendicular a la superficie de ensayo. La presión sobre el vástago ha de ser gradualmente incrementada hasta que se produzca el impacto del

esclerómetro. Después del impacto, se anota el valor del índice de rebote.



Realizando el ensayo de esclerometría.

2.4 Elementos a Ensayar

Columnas : En sus 2/3 de altura (inferior, medio y alto).

Vigas : Horizontal y Verticalmente en sus caras encofradas (una o dos).

2.5 Toma de datos

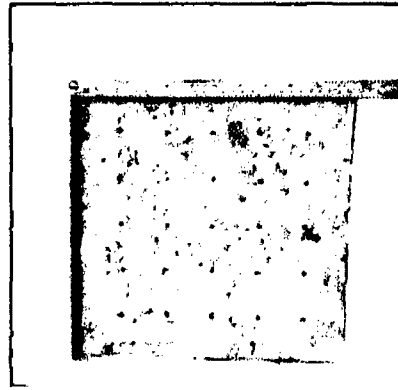
Se tomaron muestras en el eje E del pórtico en sus tres niveles; 9 muestras en las columnas y 8 muestras en las vigas, que se detallan a continuación:

✓ Columnas

Muestra N° 01

Información General

Edad del concreto : 14 años
 Dimensiones del elemento : 30cm x 60cm
 Resistencia especificada : 175Kg/cm²



Datos Obtenidos

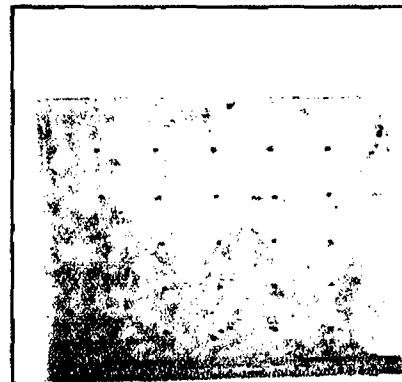
Orientación del equipo : 0 grados
 N° de Rebote Promedio: 28.08
 Lecturas descartadas : No
 Resistencia Compresión: 2300 p.s.i
 Resistencia Compresión: 161.69 Kg/cm²

LECTURA	N° REBOTE	OBSERVACION
1	30.00	VÁLIDO
2	28.00	VÁLIDO
3	31.00	VÁLIDO
4	29.00	VÁLIDO
5	26.00	VÁLIDO
6	30.00	VÁLIDO
7	25.00	VÁLIDO
8	28.00	VÁLIDO
9	27.00	VÁLIDO
10	26.00	VÁLIDO
11	28.00	VÁLIDO
12	29.00	VÁLIDO

Muestra N° 02

Información General

Edad del concreto : 14 años
 Dimensiones del elemento : 30cm x 60cm
 Resistencia especificada : 175Kg/cm²



Datos Obtenidos

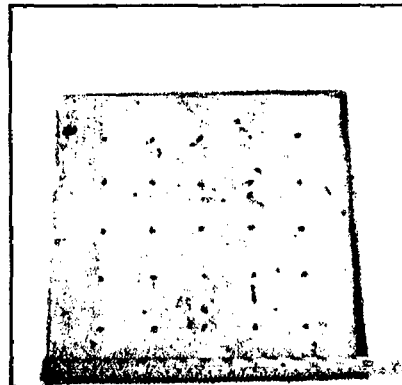
Orientación del equipo : 0 grados
 N° de Rebote Promedio: 28.58
 Lecturas descartadas : No
 Resistencia Compresión: 2375 p.s.i
 Resistencia Compresión: 166.96 Kg/cm²

LECTURA	N° REBOTE	OBSERVACION
1.00	29.00	VÁLIDO
2.00	25.00	VÁLIDO
3.00	28.00	VÁLIDO
4.00	29.00	VÁLIDO
5.00	24.00	VÁLIDO
6.00	31.00	VÁLIDO
7.00	29.00	VÁLIDO
8.00	28.00	VÁLIDO
9.00	32.00	VÁLIDO
10.00	30.00	VÁLIDO
11.00	28.00	VÁLIDO
12.00	30.00	VÁLIDO

Muestra N° 03

Información General

Edad del concreto : 14 años
Dimensiones del elemento : 30cm x 60cm
Resistencia especificada : 175Kg/cm²



Datos Obtenidos

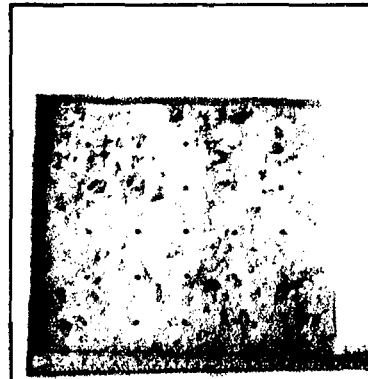
Orientación del equipo : 0 grados
N° de Rebote Promedio: 28
Lecturas descartadas : No
Resistencia Compresión: 2300 p.s.i
Resistencia Compresión: 161.69 Kg/cm²

LECTURA	N° REBOTE	OBSERVACION
1.00	31.00	VÁLIDO
2.00	29.00	VÁLIDO
3.00	25.00	VÁLIDO
4.00	30.00	VÁLIDO
5.00	32.00	VÁLIDO
6.00	28.00	VÁLIDO
7.00	28.00	VÁLIDO
8.00	29.00	VÁLIDO
9.00	32.00	VÁLIDO
10.00	25.00	VÁLIDO
11.00	23.00	VÁLIDO
12.00	24.00	VÁLIDO

Muestra N° 04

Información General

Edad del concreto : 14 años
Dimensiones del elemento : 30cm x 60cm
Resistencia especificada : 175Kg/cm²



Datos Obtenidos

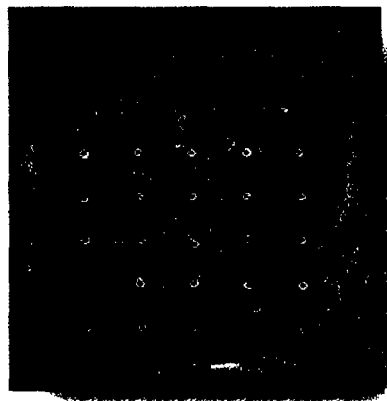
Orientación del equipo : 0 grados
N° de Rebote Promedio: 29
Lecturas descartadas : No
Resistencia Compresión: 2500 p.s.i
Resistencia Compresión: 175.75 Kg/cm²

LECTURA	N° REBOTE	OBSERVACION
1.00	29.00	VÁLIDO
2.00	32.00	VÁLIDO
3.00	28.00	VÁLIDO
4.00	31.00	VÁLIDO
5.00	25.00	VÁLIDO
6.00	30.00	VÁLIDO
7.00	26.00	VÁLIDO
8.00	30.00	VÁLIDO
9.00	28.00	VÁLIDO
10.00	29.00	VÁLIDO
11.00	32.00	VÁLIDO
12.00	28.00	VÁLIDO

Muestra N° 05

Información General

Edad del concreto : 14 años
 Dimensiones del elemento : 30cm x 60cm
 Resistencia especificada : 175Kg/cm²



Datos Obtenidos

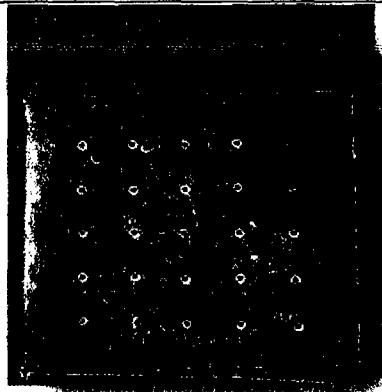
Orientación del equipo : 0 grados
 N° de Rebote Promedio: 28
 Lecturas descartadas : No
 Resistencia Compresión: 2375 p.s.i
 Resistencia Compresión: 166.96 Kg/cm²

LECTURA	N° REBOTE	OBSERVACION
1.00	31.00	VÁLIDO
2.00	27.00	VÁLIDO
3.00	28.00	VÁLIDO
4.00	31.00	VÁLIDO
5.00	30.00	VÁLIDO
6.00	29.00	VÁLIDO
7.00	27.00	VÁLIDO
8.00	29.00	VÁLIDO
9.00	30.00	VÁLIDO
10.00	26.00	VÁLIDO
11.00	29.00	VÁLIDO
12.00	33.00	VÁLIDO

Muestra N° 06

Información General

Edad del concreto : 14 años
 Dimensiones del elemento : 30cm x 60cm
 Resistencia especificada : 175Kg/cm²



Datos Obtenidos

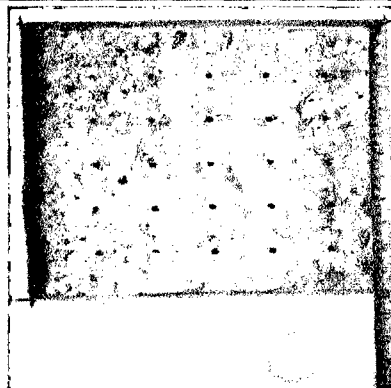
Orientación del equipo : 0 grados
 N° de Rebote Promedio: 29.17
 Lecturas descartadas : No
 Resistencia Compresión: 2500 p.s.i
 Resistencia Compresión: 175.75 Kg/cm²

LECTURA	N° REBOTE	OBSERVACION
1.00	30.00	VÁLIDO
2.00	28.00	VÁLIDO
3.00	27.00	VÁLIDO
4.00	28.00	VÁLIDO
5.00	30.00	VÁLIDO
6.00	26.00	VÁLIDO
7.00	27.00	VÁLIDO
8.00	25.00	VÁLIDO
9.00	31.00	VÁLIDO
10.00	24.00	VÁLIDO
11.00	28.00	VÁLIDO
12.00	32.00	VÁLIDO

Muestra N° 07

Información General

Edad del concreto : 14 años
 Dimensiones del elemento : 30cm x 60cm
 Resistencia especificada : 175Kg/cm²



Datos Obtenidos

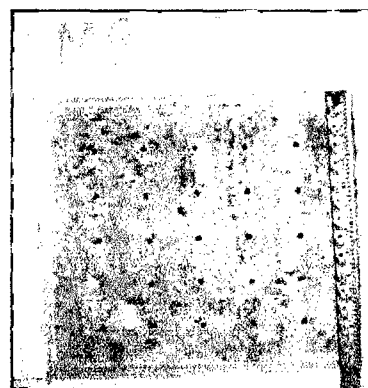
Orientación del equipo : 0 grados
 N° de Rebote Promedio: 28.58
 Lecturas descartadas : No
 Resistencia Compresión: 2375 p.s.i
 Resistencia Compresión: 166.96 Kg/cm²

LECTURA	N° REBOTE	OBSERVACION
1.00	28.00	VÁLIDO
2.00	27.00	VÁLIDO
3.00	29.00	VÁLIDO
4.00	31.00	VÁLIDO
5.00	26.00	VÁLIDO
6.00	29.00	VÁLIDO
7.00	30.00	VÁLIDO
8.00	26.00	VÁLIDO
9.00	30.00	VÁLIDO
10.00	29.00	VÁLIDO
11.00	30.00	VÁLIDO
12.00	28.00	VÁLIDO

Muestra N° 08

Información General

Edad del concreto : 14 años
 Dimensiones del elemento : 30cm x 60cm
 Resistencia especificada : 175Kg/cm²



Datos Obtenidos

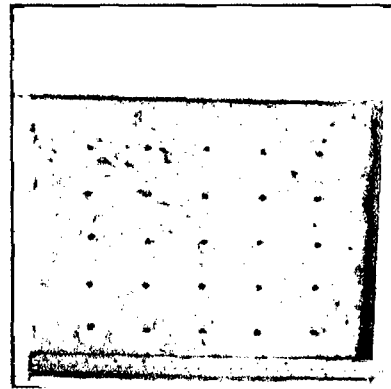
Orientación del equipo : 0 grados
 N° de Rebote Promedio: 29
 Lecturas descartadas : No
 Resistencia Compresión: 2500 p.s.i
 Resistencia Compresión: 175.75 Kg/cm²

LECTURA	N° REBOTE	OBSERVACION
1.00	30.00	VÁLIDO
2.00	28.00	VÁLIDO
3.00	28.00	VÁLIDO
4.00	29.00	VÁLIDO
5.00	31.00	VÁLIDO
6.00	30.00	VÁLIDO
7.00	26.00	VÁLIDO
8.00	29.00	VÁLIDO
9.00	27.00	VÁLIDO
10.00	30.00	VÁLIDO
11.00	28.00	VÁLIDO
12.00	32.00	VÁLIDO

Muestra N° 09

Información General

Edad del concreto : 14 años
Dimensiones del elemento : 30cm x 60cm
Resistencia especificada : 175Kg/cm²



Datos Obtenidos

Orientación del equipo : 0 grados
N° de Rebote Promedio: 29
Lecturas descartadas : No
Resistencia Compresión: 2500 p.s.i
Resistencia Compresión: 175.75 Kg/cm²

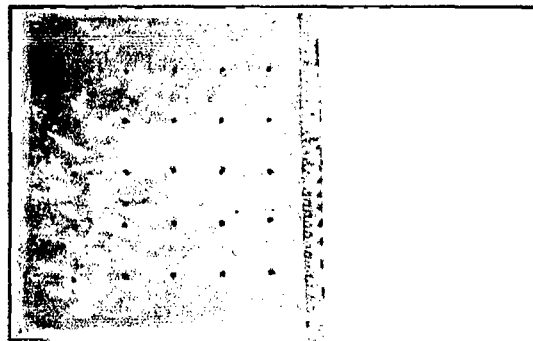
LECTURA	N° REBOTE	OBSERVACION
1.00	28.00	VÁLIDO
2.00	31.00	VÁLIDO
3.00	29.00	VÁLIDO
4.00	28.00	VÁLIDO
5.00	26.00	VÁLIDO
6.00	28.00	VÁLIDO
7.00	30.00	VÁLIDO
8.00	26.00	VÁLIDO
9.00	30.00	VÁLIDO
10.00	32.00	VÁLIDO
11.00	28.00	VÁLIDO
12.00	32.00	VÁLIDO

✓ Vigas

Muestra N° 01

Información General

Edad del concreto : 14 años
Dimensiones del elemento : 30cm x 60cm
Resistencia especificada : 175Kg/cm²



Datos Obtenidos

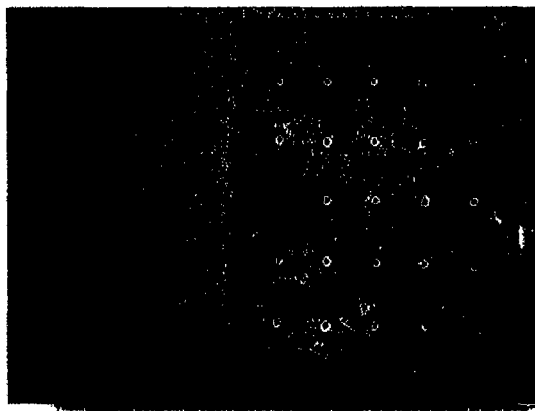
Orientación del equipo : 0 grados
N° de Rebote Promedio: 31
Lecturas descartadas : No
Resistencia Compresión: 3000 p.s.i
Resistencia Compresión: 210.90 Kg/cm²

LECTURA	N° REBOTE	OBSERVACION
1.00	34.00	VÁLIDO
2.00	31.00	VÁLIDO
3.00	30.00	VÁLIDO
4.00	28.00	VÁLIDO
5.00	31.00	VÁLIDO
6.00	28.00	VÁLIDO
7.00	30.00	VÁLIDO
8.00	32.00	VÁLIDO
9.00	30.00	VÁLIDO
10.00	31.00	VÁLIDO
11.00	35.00	VÁLIDO
12.00	32.00	VÁLIDO

Muestra N° 02

Información General

Edad del concreto : 14 años
Dimensiones del elemento : 30cm x 60cm
Resistencia especificada : 175Kg/cm²



Datos Obtenidos

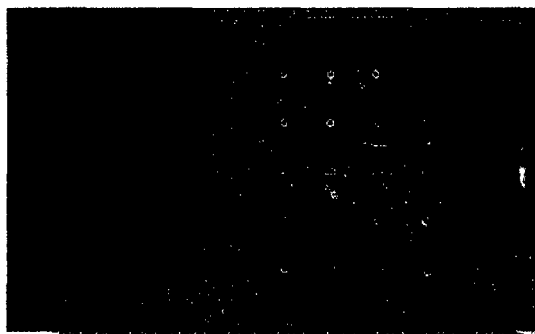
Orientación del equipo : 0 grados
N° de Rebote Promedio : 30.08
Lecturas descartadas : No
Resistencia Compresión : 2750 p.s.i
Resistencia Compresión : 193.33
 Kg/cm²

LECTURA	N° REBOTE	OBSERVACION
1.00	32.00	VÁLIDO
2.00	30.00	VÁLIDO
3.00	26.00	VÁLIDO
4.00	33.00	VÁLIDO
5.00	28.00	VÁLIDO
6.00	26.00	VÁLIDO
7.00	32.00	VÁLIDO
8.00	29.00	VÁLIDO
9.00	30.00	VÁLIDO
10.00	35.00	VÁLIDO
11.00	28.00	VÁLIDO
12.00	32.00	VÁLIDO

Muestra N° 03

Información General

Edad del concreto : 14 años
Dimensiones del elemento : 30cm x 60cm
Resistencia especificada : 175Kg/cm²



Datos Obtenidos

Orientación del equipo : 0 grados
N° de Rebote Promedio: 29.08
Lecturas descartadas : No
Resistencia Compresión: 2500 p.s.i
Resistencia Compresión: 175.75Kg/cm²

LECTURA	N° REBOTE	OBSERVACION
1.00	31.00	VÁLIDO
2.00	28.00	VÁLIDO
3.00	32.00	VÁLIDO
4.00	28.00	VÁLIDO
5.00	29.00	VÁLIDO
6.00	30.00	VÁLIDO
7.00	29.00	VÁLIDO
8.00	27.00	VÁLIDO
9.00	26.00	VÁLIDO
10.00	31.00	VÁLIDO
11.00	28.00	VÁLIDO
12.00	30.00	VÁLIDO

Muestra N° 04

Información General

Edad del concreto : 14 años
Dimensiones del elemento : 30cm x 60cm
Resistencia especificada : 175Kg/cm²



Datos Obtenidos

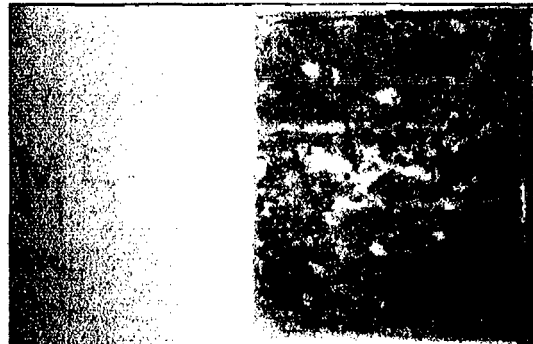
Orientación del equipo : 0 grados
N° de Rebote Promedio: 28
Lecturas descartadas : No
Resistencia Compresión: 2300 p.s.i
Resistencia Compresión: 161.69Kg/cm²

LECTURA	N° REBOTE	OBSERVACION
1.00	28.00	VÁLIDO
2.00	26.00	VÁLIDO
3.00	30.00	VÁLIDO
4.00	25.00	VÁLIDO
5.00	29.00	VÁLIDO
6.00	28.00	VÁLIDO
7.00	30.00	VÁLIDO
8.00	26.00	VÁLIDO
9.00	29.00	VÁLIDO
10.00	27.00	VÁLIDO
11.00	30.00	VÁLIDO
12.00	28.00	VÁLIDO

Muestra N° 05

Información General

Edad del concreto : 14 años
Dimensiones del elemento : 30cm x 60cm
Resistencia especificada : 175Kg/cm²



Datos Obtenidos

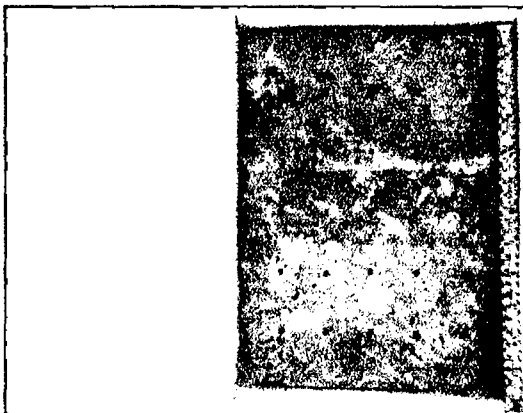
Orientación del equipo : 0 grados
N° de Rebote Promedio: 28.58
Lecturas descartadas : No
Resistencia Compresión: 2375 p.s.i
Resistencia Compresión: 166.96Kg/cm²

LECTURA	N° REBOTE	OBSERVACION
1.00	30.00	VÁLIDO
2.00	28.00	VÁLIDO
3.00	28.00	VÁLIDO
4.00	31.00	VÁLIDO
5.00	27.00	VÁLIDO
6.00	29.00	VÁLIDO
7.00	26.00	VÁLIDO
8.00	28.00	VÁLIDO
9.00	30.00	VÁLIDO
10.00	27.00	VÁLIDO
11.00	31.00	VÁLIDO
12.00	28.00	VÁLIDO

Muestra N° 06

Información General

Edad del concreto : 12 años
Dimensiones del elemento : 30cm x 60cm
Resistencia especificada : 175Kg/cm²



Datos Obtenidos

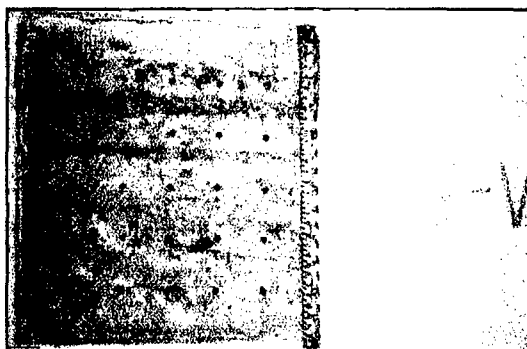
Orientación del equipo : 0 grados
N° de Rebote Promedio: 31.08
Lecturas descartadas : No
Resistencia Compresión: 3000 p.s.i
Resistencia Compresión: 210.90Kg/cm²

LECTURA	N° REBOTE	OBSERVACION
1.00	32.00	VÁLIDO
2.00	27.00	VÁLIDO
3.00	29.00	VÁLIDO
4.00	32.00	VÁLIDO
5.00	34.00	VÁLIDO
6.00	33.00	VÁLIDO
7.00	31.00	VÁLIDO
8.00	29.00	VÁLIDO
9.00	30.00	VÁLIDO
10.00	32.00	VÁLIDO
11.00	31.00	VÁLIDO
12.00	33.00	VÁLIDO

Muestra N° 07

Información General

Edad del concreto : 14 años
Dimensiones del elemento : 30cm x 60cm
Resistencia especificada : 175Kg/cm²



Datos Obtenidos

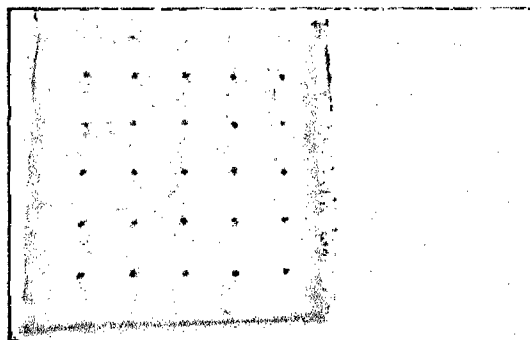
Orientación del equipo : 0 grados
N° de Rebote Promedio: 29
Lecturas descartadas : No
Resistencia Compresión: 2500 p.s.i
Resistencia Compresión: 175.75Kg/cm²

LECTURA	N° REBOTE	OBSERVACION
1.00	29.00	VÁLIDO
2.00	27.00	VÁLIDO
3.00	29.00	VÁLIDO
4.00	33.00	VÁLIDO
5.00	26.00	VÁLIDO
6.00	30.00	VÁLIDO
7.00	26.00	VÁLIDO
8.00	30.00	VÁLIDO
9.00	28.00	VÁLIDO
10.00	32.00	VÁLIDO
11.00	28.00	VÁLIDO
12.00	30.00	VÁLIDO

Muestra N° 08

Información General

Edad del concreto : 14 años
Dimensiones del elemento : 30cm x 60cm
Resistencia especificada : 175Kg/cm²



Datos Obtenidos

Orientación del equipo : 0 grados
N° de Rebote Promedio: 31.08
Lecturas descartadas : No
Resistencia Compresión: 3000 p.s.i
Resistencia Compresión: 210.90Kg/cm²

LECTURA	N° REBOTE	OBSERVACION
1.00	34.00	VÁLIDO
2.00	31.00	VÁLIDO
3.00	28.00	VÁLIDO
4.00	31.00	VÁLIDO
5.00	29.00	VÁLIDO
6.00	32.00	VÁLIDO
7.00	29.00	VÁLIDO
8.00	33.00	VÁLIDO
9.00	30.00	VÁLIDO
10.00	29.00	VÁLIDO
11.00	35.00	VÁLIDO
12.00	32.00	VÁLIDO

3.1.1.1 Conclusiones

✓ Mediante el ensayo de esclerometría se determinó la resistencia existente tanto de columnas como de vigas del Edificio 4F de la Universidad Nacional de Cajamarca, obteniéndose los siguientes Resultados:

Columnas: $f'c = 194 \text{ Kg/cm}^2$

Vigas : $f'c = 165 \text{ Kg/cm}^2$

- ✓ Como se puede observar en el caso de las columnas no alcanza a la resistencia de diseño a pesar de los años que tiene la estructura; en cambio en las Vigas la resistencia a logrado aumentar con el pasar de los años.
- ✓ De los datos obtenidos del ensayo, se verifica que existe deficiencia de carácter constructivo, ya que la resistencia de concreto existente es menor que la resistencia de diseño ($f'c$ existente $<$ $f'c$ diseño).