

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



T E S I S

**“DESEMPEÑO SISMORESISTENTE DEL PABELLÓN
DE EDUCACIÓN INICIAL DE LA INSTITUCIÓN
EDUCATIVA EXPERIMENTAL ANTONIO
GUILLERMO URRELO - CAJAMARCA”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

JOSUÉ ISAAC HUARIPATA SAMÁN

ASESOR:

Ing. JORGE E. MOSQUEIRA RAMIREZ

CAJAMARCA – PERÚ

2014

AGRADECIMIENTO

En primer lugar quiero agradecer a Dios, para él sea toda honra y la gloria por siempre. Gracias por abrirme los caminos y darme la oportunidad de seguir creciendo profesionalmente.

En segundo lugar a mis padres Guillermo Huaripata Sánchez y María Margarita Samán Llanos por brindarme su apoyo incondicional en todos los ámbitos de mi vida, ustedes son y serán la roca que sostiene mi fortaleza.

A mi asesor Ing. Jorge Edison Mosqueira Ramírez, a la Universidad Nacional de Cajamarca, a la Facultad de Ingeniería, a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil y a cada uno de los catedráticos que nos impartieron sus enseñanzas durante nuestro pasó por ésta Alma Mater.

DEDICATORIA

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

A mis queridos padres Guillermo y Margarita por brindarme su amor y apoyo incondicional en cada momento de mi vida.

CONTENIDO

ITEM	PÁGINA
Dedicatoria	i
Agradecimiento	ii
Contenido	iii
Índice de tablas	vii
Índice de figuras	xi
Resumen	xv
Abstract	xvi
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	3
2.1. ANTECEDENTES	
2.1.1. Antecedentes Internacionales	3
2.1.2. Antecedentes Nacionales	5
2.1.3. Antecedentes Locales	6
2.2. BASES TEÓRICAS	
2.2.1. Diseño por desempeño	6
2.2.2. Niveles de desempeño	7
A. Propuesta del comité VISION 2000	8
B. Propuesta del Applied Technology Council (ATC-40)	10
2.2.3. Movimientos sísmicos de diseño	14
A. Propuesta del comité VISION 2000	15
B. Propuesta del Applied Technology Council (ATC-40)	16
C. Adaptación para el Perú	17
2.2.4. Objetivos del diseño por desempeño	18
A. Propuesta del comité VISION 2000	18
B. Propuesta del Applied Technology Council (ATC-40)	20
2.2.5. Capacidad estructural	20
A. Análisis estático no lineal (“Análisis Pushover”)	21

ITEM	PÁGINA
B. Representación bilineal de la curva de capacidad	23
2.2.6. Demanda sísmica	24
2.2.7. Métodos para estimar el punto de desempeño	26
A. Método del espectro de Capacidad (MEC)	26
B. Método del coeficiente de desplazamientos (MCD)	28
C. Método N2 (MN2)	28
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	
2.3.1 Capacidad	29
2.3.2 Curva de Capacidad	29
2.3.3 Demanda	29
2.3.4 Deriva de Entrepiso	29
2.3.5 Desempeño Estructural	29
2.3.6 Diagrama Momento Giro	30
2.3.7 Edificaciones Esenciales	30
2.3.8 Espectro de Capacidad	30
2.3.9 Espectro de Demanda	30
2.3.10 Nivel de Desempeño	30
2.3.11 Nudo de Control de Desplazamiento	31
2.3.12 Punto de Desempeño	31
2.3.13 Rótula Plástica	31
2.3.14 Relación Momento Curvatura	31
CAPITULO III: MATERIALES Y METODOS	
3.1. LOCALIZACIÓN	32
3.2. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS E INFORMANTES O FUENTES PARA OBTENER LOS DATOS	33
3.2.1. Elección de áreas de tratamiento de datos	34
3.2.1. Descripción de la estructura	34
3.2.2. Característica de los materiales	35
3.3. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	37

ITEM	PÁGINA
3.3.1. Características no lineales de los materiales	41
3.3.2. Metrado de cargas	43
3.3.3. Tratamiento de los Datos	47
A. Configuración Estructural	47
B. Obtención de Espectro de respuesta	48
C. Modelo estructural	55
D. Diagrama Momento – Curvatura y Momento – Giro	57
E. Generación de Rótulas Plásticas	84
3.4. FORMA DE ANALISIS DE LAS INFORMACIONES	59
A. Modos de vibración	59
B. Análisis Pushover	91
3.5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	95
A. Análisis de desplazamiento Incremental	95
B. Curva de capacidad estructural	100
C. Espectro de diseño según el nuevo proyecto de norma E-030.	101
D. Punto de desempeño	102
CAPITULO IV: ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	103
4.1. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	98
4.1.1. Curva de capacidad estructural	103
4.1.2. Determinación de los puntos de desempeño sísmico	113
4.1.3. Niveles de desempeño alcanzados por la estructura	117
4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	123

ITEM	PÁGINA
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	125
5.1. CONCLUSIONES	125
5.2. RECOMENDACIONES	126
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	127
ANEXOS	128
Anexo N° 1: Prueba con esclerómetro (Método estándar del Número de rebotes en concreto endurecido).	128
Anexo N° 2: Metrado de cargas.	129
Anexo N° 3: Panel fotográfico.	134
Anexo N° 4: Planos de Arquitectura y Estructuras del pabellón de Educación Inicial de Institución Educativa Experimental Antonio Guillermo Urrelo – Cajamarca.	137

INDICE DE TABLAS

ITEM	PÁGINA
CAPITULO II: MARCO TEORICO	
TABLA 2.01. Descripción de los estados de daño y niveles de desempeño.	9
TABLA 2.02. Niveles de desempeño de las estructuras.	13
TABLA 2.03. Movimientos sísmicos de diseño.	16
TABLA 2.04. Aceleración máxima en roca para los sismos de diseño de edificios en la costa oeste de América del Sur.	18
TABLA 2.05. Objetivos del desempeño sísmico recomendado para estructuras.	19
TABLA 2.06. Objetivos de desempeño sísmico recomendados para estructuras básicas.	19
TABLA 2.07. Objetivos de seguridad básica para estructuras convencionales.	20
CAPITULO III: MATERIALES Y METODOS	
TABLA 3.01. Especificaciones técnicas de concreto.	36
TABLA 3.02. Especificaciones técnicas del acero.	37
TABLA 3.03. Cargas Muertas de Vigas principales del Primer Nivel.	43
TABLA 3.04. Cargas Muertas de vigas principales del Segundo Nivel.	43
TABLA 3.05. Cargas Muertas de Vigas Secundarias del Primer Nivel.	44
TABLA 3.06. Cargas Muertas de Vigas Secundarias del Segundo Nivel.	44
TABLA 3.07. Cargas Vivas de Vigas Principales del Primer Nivel.	45
TABLA 3.08. Cargas Vivas de Vigas Principales del Segundo Nivel.	45
TABLA 3.09. Cargas Vivas de Vigas Secundarias del Primer Nivel.	46
TABLA 3.10. Cargas Vivas de Vigas Secundarias del Segundo nivel.	46
TABLA 3.11. Categoría de las edificaciones. Fuente: Norma Técnica E-030.	49

ITEM	PÁGINA
TABLA 3.12. Factor “S” por tipo de perfil de suelo.	49
TABLA 3.13. Periodos Tp y Tl.	49
TABLA 3.14. Categoría de las edificaciones. Fuente: Norma Técnica E-030.	50
TABLA 3.15. Coeficiente de reducción (R). Fuente: Proyecto de Norma Técnica E-030	52
TABLA 3.16. Categoría y regularidades de las Edificaciones.	53
TABLA 3.17. Valores de la aceleración espectral y de los coeficientes de amplificación.	54
TABLA 3.18. Datos para obtención de diagrama de momento de Giro: a) Datos de la viga de sección 4-4. b) Datos obtenidos en Sap2000 sección 4-4. c) Datos de la relación de momento curvatura y obtención del giro en vigas de Sección 4-4	59
TABLA 3.19. Datos para obtención de diagrama de momento de Giro: a) Datos de la viga de sección 5-5. b) Datos obtenidos en Sap2000 de la viga de sección 5-5. c) Datos de la relación de momento curvatura y obtención del giro en vigas de Sección 5-5.	61
TABLA 3.20. Datos para obtención de diagrama de momento de Giro: a) Datos de la viga de sección 6-6. b) Datos obtenidos en Sap2000 de la viga de sección 6-6. c) Datos de la relación de momento curvatura y obtención del giro en vigas de Sección 6-6.	63
TABLA 3.21. Datos para obtención de diagrama de momento de Giro: a) Datos de la viga de sección 7-7. b) Datos obtenidos en Sap2000 de la viga de sección 7-7. c) Datos de la relación de momento curvatura y obtención del giro en vigas de Sección 7-7.	65
TABLA 3.22. Datos para obtención de diagrama de momento de Giro: a) Datos de la viga de sección 1-1. b) Datos obtenidos en Sap2000 de la viga de sección 1-1. c) Datos de la relación de momento curvatura y obtención del giro en vigas de Sección 1-1.	68

TABLA 3.23. Datos para obtención de diagrama de momento de Giro: a) Datos de la viga de sección 2-2. b) Datos obtenidos en Sap2000 de la viga de sección 2-2. c) Datos de la relación de momento curvatura y obtención del giro en vigas Sección 2-2.	69
TABLA 3.24. Datos para obtención de diagrama de momento de Giro: a) Datos de la viga sección 3-3. b) Datos obtenidos en Sap2000 de la viga de sección 3-3. c) Datos de la relación de momento curvatura y obtención del giro en vigas de Sección 3-3.	71
TABLA 3.25. Datos para obtención de diagrama de momento de Giro: a) Datos de la viga de sección 1'-1'. b) Datos obtenidos en Sap2000 de la viga de sección 1'-1'. c) Datos de la relación de momento curvatura y obtención del giro en vigas de sección 1'-1'.	74
TABLA 3.26. Datos para obtención de diagrama de momento de Giro: a) Datos de la viga de sección 2'-2'. b) Datos obtenidos en Sap2000 de la viga de sección 2'-2'. c) Datos de la relación de momento curvatura y obtención del giro en vigas Sección 2'-2'.	75
TABLA 3.27. Datos para obtención de diagrama de momento de Giro: a) Datos de sección 3'-3'. b) Datos obtenidos en Sap2000 de la viga de sección 3'-3'. c) Datos de la relación de momento curvatura y obtención del giro en vigas Sección 3'-3'.	77
TABLA 3.28. Datos para obtención de diagrama de momento de Giro: a) Datos de sección de columna 1. b) Datos obtenidos en Sap2000 de la columna 1. c) Datos de la relación de momento curvatura y obtención del giro en Columna 1.	80
TABLA 3.29. Datos para obtención de diagrama de momento de Giro: a) Datos de sección de la columna 2. b) Datos obtenidos en Sap2000 de la sección de la columna 2. c) Datos de la relación de momento curvatura y obtención del giro en Columna 2.	82
TABLA 3.30. Modo de vibración del pabellón de Educación Inicial.	89

CAPITULO IV: ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

TABLA 4.01. Valores representativos de la curva de capacidad en la dirección X.	105
TABLA 4.02. Límites de los rangos elástico y plástico según la curva de capacidad.	107
TABLA 4.03. Rangos de desplazamiento para cada nivel de desempeño.	108
TABLA 4.04. Valores de desplazamiento para cada nivel de desempeño	108
TABLA 4.05. Valores de los representativos de la curva de capacidad	109
TABLA 4.06. Límites de los rangos elástico y plástico según la curva de capacidad.	112
TABLA 4.07. Rangos de desplazamiento para cada nivel de desempeño.	112
TABLA 4.08. Valores de desplazamiento para cada nivel de desempeño.	113
TABLA 4.09. Niveles de Desempeño Alcanzados por Edificaciones Esenciales para los sismos indicados	114
TABLA 4.10. Coeficientes sísmicos para cada sismo	114
TABLA 4.11. Puntos de desempeño (dirección X) para los sismos indicados.	116
TABLA 4.12. Puntos de desempeño (dirección Y) para los sismos indicados.	117
TABLA 4.13. Desplazamiento de los puntos de desempeño alcanzados para cada sismo.	117
TABLA 4.14. Rangos de desplazamiento para cada nivel de desempeño (Sismo en X).	118
TABLA 4.15. Comparación entre los niveles alcanzados para sismos en X y los niveles según la SEAOC.	120
TABLA 4.16. Desplazamiento de los puntos de desempeño alcanzados para cada sismo.	120

ITEM	PÁGINA
TABLA 4.17. Rangos de desplazamiento para cada nivel de desempeño (Sismo en Y).	121
TABLA 4.18. Comparación entre los niveles alcanzados para sismos en Y, y los niveles según la SEAOC.	123

INDICE DE FIGURAS

ITEM	PÁGINA
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.	
FIGURA 2.01. Ejemplo de una curva de capacidad (cortante en la base vs desplazamiento nivel superior).	21
FIGURA 2.02. Esquema del procedimiento utilizado para el análisis pushover.	22
FIGURA 2.03. Espectro elástico de respuesta.	25
CAPITULO III: MATERIALES Y METODOS	
FIGURA 3.01. Plano de Ubicación Geográfica con coordenadas UTM de la I.E. Experimental Antonio Guillermo Urrelo – Cajamarca.	32
FIGURA 3.02. Espectro de Capacidad.	40
FIGURA 3.03. Espectro de Demanda.	41
FIGURA 3.04. Curvas Esfuerzo-Deformación: a) Concreto $f'_c=210$ kg/cm ² b) Acero de refuerzo ASTM A - 615 – Grado 60.	42
FIGURA 3.05. Zonas Sísmicas para proyecto de Norma E-030.	49
FIGURA 3.06. Espectro de respuesta calculado.	55
FIGURA 3.07. Modelo estructural en Sap2000 v15.00 del Pabellón de Educación Inicial de la I.E.E. Antonio Guillermo Urrelo – Cajamarca.	56
FIGURA 3.08. Diagrama de Momento – Curvatura generado mediante SAP2000.	58
FIGURA 3.09. Detalle de pórtico principal de primer nivel.	59
FIGURA 3.10. Información de la viga de sección 4-4: d) Detalle de viga de Sección 4-4 de pórtico principal del primer nivel. e) Diagrama de momento de giro de la viga de Sección 4-4.	60
FIGURA 3.11. Información de la viga de sección 5-5: c) Detalle de la viga de Sección 5-5 de pórtico principal del primer nivel. d) Diagrama de momento de giro de viga de sección 5-5.	62

ITEM	PÁGINA
FIGURA 3.12. Información de viga de sección 6-6: d) Detalle de la viga de sección 6-6 del pórtico principal del primer nivel. e) Diagrama de momento de Giro de viga de sección 6-6.	64
FIGURA 3.13. Detalle de pórtico principal de segundo nivel.	64
FIGURA 3.14. Información de viga de sección 7-7: d) Detalle de la viga de sección 7-7 del pórtico principal del segundo nivel. e) Diagrama de momento de Giro de viga de sección 7-7.	66
FIGURA 3.15. Detalle de vigas secundarias de primer nivel.	67
FIGURA 3.16. Información de viga de sección 1-1: d) Detalle de la viga de sección 1-1 del pórtico secundario de primer nivel. e) Diagrama de momento de Giro de viga secundaria de Sección 1-1.	68
FIGURA 3.17. Información de viga de sección 2-2: d) Detalle de la viga de sección 2-2 de viga secundaria del primer nivel. e) Diagrama de momento de Giro de viga secundaria de sección 2-2.	70
FIGURA 3.18. Información de la viga de sección 3-3: d) Detalle de la viga de Sección 3-3 del pórtico secundario del primer nivel. e) Diagrama de momento de Giro de viga secundaria de sección 3-3.	72
FIGURA 3.19. Detalle de viga secundaria de segundo nivel.	73
FIGURA 3.20. Información de viga: d) Detalle de Sección 1'-1' de viga secundaria. e) Diagrama de momento de Giro de viga secundaria de sección 1'-1'.	76
FIGURA 3.21. Información de viga de sección 2'-2': d) Detalle de la viga de sección 2'-2' de viga secundaria del segundo nivel. e) Diagrama de momento de Giro de viga secundaria de sección 2'-2'.	73
FIGURA 3.22. Información de viga de sección 3'-3': d) Detalle de la viga de sección 3'-3' de viga secundaria del segundo nivel. e) Diagrama de momento de Giro de viga secundaria de sección 3'-3'.	78

ITEM	PÁGINA
FIGURA 3.23. Definición de Secciones para elementos estructurales (Frame) en SAP2000.	79
FIGURA 3.24. Información de columnas 1: d) Detalle de Columna 1 de pórtico principal. e) Diagrama de momento de Giro de la Columna 1.	81
FIGURA 3.25. Información Columna 2: d) Detalle de Columna 2 del pórtico principal. e) Diagrama de momento de Giro de Columnas 2.	83
FIGURA 3.26. Identificación de respuestas límites en una viga (FEMA, 2000).	85
FIGURA 3.27. Identificación de respuestas límites en una Columna (FEMA, 2000).	86
FIGURA 3.28. Identificación de respuestas límites en muro de concreto controlado por flexión (FEMA, 2000).	86
FIGURA 3.29. Generación de rotulas plásticas para Vigas.	87
FIGURA 3.30. Asignación de rotulas plásticas para Vigas.	87
FIGURA 3.31. Generación de rotulas plásticas para columnas.	88
FIGURA 3.32. Asignación de Rotulas plásticas para columnas.	89
FIGURA 3.33. Modo Fundamental de Vibración (Dirección transversal Y-Y).	90
FIGURA 3.34. Modo de Vibración 2 (Dirección longitudinal X-X).	90
FIGURA 3.35. Modo de Vibración 3 (Torsión).	91
FIGURA 3.36. Modo de Vibración 3 (Torsión).	92
FIGURA 3.37. Modo de Vibración 3 (Torsión).	93
FIGURA 3.38. Parámetros Pushover según ATC 40.	94
FIGURA 3.39. Punto de Control de la Edificación en Estudio.	94
FIGURA 3.40 Colores designados para la evolución de las rótulas.	95

ITEM	PÁGINA
FIGURA 3.41. Deformada del Análisis Inelástico de Gravedad del pabellón. Sismo en dirección X-X	96
FIGURA 3.42. Primera incursión Inelástica del pabellón. Sismo en dirección X-X	97
FIGURA 3.43. Nivel funcional en vigas del pabellón. Sismo en dirección X-X.	97
FIGURA 3.44. Nivel Cerca al colapso en vigas del pabellón. Sismo en dirección X-X.	98
FIGURA 3.45. Deformada del Análisis de Inelástico de Gravedad del pabellón. Sismo en la dirección Y.	98
FIGURA 3.46. Primera incursión Inelástica del pabellón. Sismo en Y.	99
FIGURA 3.47 Nivel funcional e Inicio al nivel de Colapso en vigas del pabellón. Sismo en la dirección Y.	99
FIGURA 3.48. Nivel Cerca al colapso e inicio del nivel posterior al colapso en vigas del pabellón. Sismo en dirección Y.	100
FIGURA 3.49. Curva de Capacidad Estructural a) Curva de capacidad en la dirección de Sismo transversal (Eje X). b) Curva de capacidad en la dirección de Sismo Longitudinal (Eje Y)	101
FIGURA 3.50. Generación del Espectro de Diseño en Sap2000 v.15.0.	102
FIGURA 3.51. Punto de Desempeño para Sismo muy raro a) Punto de desempeño para sismo muy raro en la dirección X. b) Punto de desempeño para sismo muy raro en la dirección Y.	102
 CAPITULO IV: ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
FIGURA 4.01. Curva de Capacidad Estructural (Dirección transversal X).	104
FIGURA 4.02. Curva de Capacidad (Sismo en la dirección X).	106

ITEM	PÁGINA
FIGURA 4.03. Sectorización de la Curva de Capacidad para el Sismo en la dirección X.	107
FIGURA 4.04. Curva de Capacidad (Sismo en dirección Y).	110
FIGURA 4.05. Sectorización de la Curva de Capacidad para el Sismo en la dirección Y.	111
FIGURA 4.06. Punto de Desempeño para Sismo Muy Raro (Sismo en dirección transversal X)	115
FIGURA 4.07. Punto de Desempeño para Sismo Muy Raro (Dirección longitudinal Y-Y)	116

RESUMEN

Esta investigación tiene como finalidad predecir el desempeño sísmoresistente del pabellón de Educación Inicial de la Institución Educativa Experimental Antonio Guillermo Urrelo – Cajamarca, debido a que nuestra ciudad se encuentra en una zona de más alta actividad sísmica que existe en el Perú (Zona 3) y está expuesta a este peligro que trae consigo la pérdida de vidas humanas y pérdidas materiales, se debe evaluar cuidadosamente su desempeño sísmico a fin de evitar hechos lamentables, como pérdida de vidas humanas, daños estructurales, pérdidas económicas de gran magnitud, se hace imprescindible la evaluación por desempeño sísmoresistente.

El desempeño se determinó por escalas o niveles tomados de instituciones como el ATC (Applied Technology Council) y el SEAOC (Structural Engineers Association Of California) mediante el documento emitido por el comité Visión 2000. Considerando las características y propiedades de las secciones y materiales que componen la estructura, se procedió a modelarla usando el programa SAP2000. Se realizó un análisis estático no lineal de tipo Pushover donde se determinó las fuerzas cortantes y los desplazamientos asociados a éstas; además se obtuvo la curva de capacidad de la estructura señalando así los desplazamientos de fluencia y de colapso, para luego asociarlos a los niveles de desempeño. Usando la curva de capacidad y el espectro de los sismos de diseño se encontró el punto de demanda para cada tipo de sismo. Finalmente con la ubicación del punto de demanda se determinó el nivel de desempeño de la estructura, siendo los resultados de la investigación como se indican a continuación: El nivel de desempeño en la dirección del eje transversal y longitudinal de la edificación en estudio, se encuentra en el **rango Operacional** frente a los sismos ocasional, raro y muy raro, además se determinó un **cortante basal máximo de 383.104 Tn**, y un **desplazamiento máximo de 23 cm**, en la dirección transversal y un **cortante basal máximo de 530.808 Tn** y un **desplazamiento máximo de 10 cm**, en la dirección longitudinal.

Palabras clave: Nivel de Desempeño – Curva de capacidad – espectro de capacidad – espectro de demanda – punto de desempeño.

ABSTRACT

This research aims to predict the seismic performance of flag Initial Experimental Education Educational Institution Antonio Guillermo Urrelo - Cajamarca, because our city is in a zone of high seismic activity that exists in Peru (Zone 3) and is exposed to this danger that entails the loss of human lives and material losses, you should carefully evaluate their seismic performance to avoid unfortunate events such as loss of human lives, structural damage, economic losses of great magnitude, it is essential the seismoresistant performance evaluation.

Performance is determined by scales or levels taken from institutions such as the ATC (Applied Technology Council) and SEAOC (Structural Engineers Association Of California) by the document issued by the committee Vision 2000. Considering the characteristics and properties of sections and materials up the structure, we proceeded to model it using the SAP2000 program. A nonlinear static analysis Pushover type where shear forces and displacements associated with them was determined was performed; plus the capacity curve of the structure thus signaling the movement of flow and collapse, then associated with performance levels was obtained. Using the capacity curve and spectrum of design earthquakes demand point for each type of earthquake is found. Finally with the location of demand point performance level of the structure was determined, with the results of the investigation as follows: The level of performance in the direction of the transverse and longitudinal axis of the building under study is in the *operational range* against the occasional, rare and very rare earthquakes, plus a *maximum base shear of 383,104 tons and a maximum displacement of 23 cm*, in the transverse direction and a *maximum base shear of 530,808 tons and a maximum displacement was determined 10 cm*, in the longitudinal direction.

Keywords: Performance Level - Curve capacity - capacity spectrum - spectrum demand - point performance.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

Frente a sismos muy severos acontecidos en el mundo, existe un compromiso profesional que indica que primero debemos de **salvaguardar la vida de los ocupantes de una vivienda** y después ver qué se hace con la estructura para recuperarla.

El comportamiento estructural de las edificaciones frente a la ocurrencia de eventos sísmicos es variable, esto depende de factores como la configuración estructural y las características de los elementos que la componen. En la actualidad ha sido el motivo del desarrollo de diferentes métodos ante un evento sísmico, para la predicción de los daños que se generarían en los elementos estructurales, elementos no estructurales, el riesgo que estos daños representarían para los ocupantes y el funcionamiento post terremoto de la estructura. Todos estos métodos de evaluación del desempeño estructural conforman la filosofía del Diseño Sísmico Basado en Desempeño. Los procedimientos de evaluación propuestos por esta filosofía de diseño son aplicables tanto al diseño de nuevas estructuras como a estructuras existentes.

Definimos el problema de investigación teniendo en cuenta que, Cajamarca está comprendida entre una de las regiones de más alta actividad sísmica existente en el Perú (ZONA: 3), por lo tanto está expuesto a este peligro, que trae consigo la pérdida de vidas humanas y pérdidas materiales, por tanto el problema que da origen a la siguiente investigación se formula así: ***¿Cuál es el nivel de desempeño sísmico del pabellón de Educación Inicial de la Institución Educativa Experimental Antonio Guillermo Urrelo - Cajamarca?***

La Institución Educativa Experimental Antonio Guillermo Urrelo de la ciudad de Cajamarca, construido aproximadamente hace 10 años, cuenta en el nivel Inicial con un pabellón, cuya estructura de 2 niveles está formado por un sistema de pórticos de concreto armado, distribuido con 4 y 2 ambientes en ambos niveles respectivamente. Esta edificación forma parte de la infraestructura que tiene el estado para impartir educación a la población. Dado que esta edificación presta un servicio al público tan importante, es de suma importancia evaluar cuidadosamente su desempeño sísmico a fin de garantizar su operatividad durante sismos extremos.

El objetivo que se ha formulado fue el de *evaluar el desempeño sismorresistente del pabellón de Educación Inicial de la Institución Educativa Experimental Antonio Guillermo Urrelo – Cajamarca*, determinando sus características estructurales, parámetros como curva de capacidad y curva de demanda. La hipótesis considerada consistió en la siguiente: *El nivel de desempeño de la estructura del Pabellón de Educación Inicial de la Institución Educativa Experimental Antonio Guillermo Urrelo – Cajamarca se encuentra en el rango de seguridad de vida, frente a los movimientos sísmicos de diseño propuestos por Applied Technology Council (ATC-40) y el Comité Visión 2000-SEAOC. (Structural Engineers Association Of California).*

Con la realización de la presente investigación *se puede predecir e identificar la secuencia del agrietamiento, cedencia y fallo de los componentes y los niveles de desempeño*. Esta investigación permitirá estimar los posibles daños en la infraestructura luego de un evento sísmico, con lo cual las autoridades podrán tomar las medidas pertinentes de reforzamiento estructural, preservando de esta manera la salud y la vida de los estudiantes y docentes que día a día concurren a esta Institución Educativa.

El trabajo se ha organizado de la siguiente manera:

- El Capítulo I, Contiene: el contexto y el problema, la justificación o importancia de la investigación, los alcances de la investigación, los objetivos y la descripción de los contenidos de los capítulos.
- El Capítulo II, referido al marco teórico, antecedentes, bases teóricas, marco conceptual, hipótesis y variables.
- El Capítulo III, describe la metodología usada en el desarrollo del trabajo de investigación.
- El Capítulo IV, presenta el análisis y discusión de los resultados de la investigación.
- El Capítulo V, Finalmente presentamos las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

En los últimos 70 años, los conceptos de resistencia y desempeño se han considerado como sinónimos. Sin embargo, con las enseñanzas aprendidas de los sismos ocurridos durante los últimos 25 años, se ha generado un importante cambio sobre la concepción de que, no necesariamente un incremento en la resistencia global de una estructura puede garantizar la seguridad y, por consiguiente, no necesariamente reduce el daño. Los conceptos a partir de los cuales ha surgido este planteamiento corresponden a los principios de diseño por capacidad, los cuales fueron introducidos en Nueva Zelanda por Park y Paulay (1975). A partir de este momento se comenzó a desarrollar una nueva filosofía de diseño, en la cual la distribución de la resistencia a lo largo de toda la estructura era más importante que el valor global del cortante basal de diseño.

Un importante avance consistió en identificar que una estructura aporticada podría comportarse mejor ante una acción sísmica, si pudiera garantizarse que las rotulas plásticas se formen en las vigas, y no en columnas (mecanismo de viga débil - columna fuerte), y si la resistencia de cortante de los miembros excediera a la correspondiente resistencia a flexión. Estos dos aspectos pueden ser considerados como el inicio de la nueva filosofía de diseño basada en el desempeño, por medio de la cual es posible controlar y predecir tanto el comportamiento de la estructura como el potencial de daño (Paulay y Priestley, 1992).

En la actualidad, los esfuerzos se concentran en desarrollar métodos de análisis, evaluación, y diseño simples y fáciles de implementar en las diferentes normativas, que incorporen los conceptos de ingeniería basados en el desempeño, y que puedan ser aplicados tanto a las estructuras nuevas como a las existentes. Las últimas investigaciones y propuestas se han centrado en la incorporación explícita de la

demanda de desplazamiento o punto de desempeño y las características de respuesta inelástica, incluyendo el daño acumulado en el procedimiento de diseño. Con el fin de definir el comportamiento deseado de las edificaciones durante los sismos, se han desarrollado propuestas para la evaluación y diseño de edificaciones basadas en los conceptos de desempeño o comportamiento sísmico en múltiples niveles de severidad sísmica. Algunas de las propuestas más relevantes son las desarrolladas por la Asociación de Ingenieros Estructurales de California, de su comité VISON 2000 (SEAOC-1995), la guía NEHRP, el ATC-40 publicado en 1996, el programa HAZUS 99, FEMA 273 y 274.

El estado del conocimiento actual ha permitido desarrollar normativas con bases para el diseño sísmico de estructuras con razonable seguridad para la vida, e incluso la aplicación de criterios económicos en el diseño sismo-resistente, optando por estructuras menos fuertes que lo necesario. Una estructura sometida a un movimiento sísmico severo puede sufrir daños controlados, sin llegar a colapsar, y disipar así una parte importante de la energía absorbida, lo que significa que al permitir degradarse la estructura puede salvarse del colapso y proteger las vidas que se encuentran en su interior. Por tanto, el comportamiento sísmico adecuado de una estructura depende, además de su resistencia, de su capacidad de disipar energía a partir del instante en que sus deformaciones exceden el límite elástico, es decir, de su ductilidad. (Vera, 2011)

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

El desempeño de una estructura se determina usando la curva de capacidad o pushover, esta ha sido aplicada también en numerosas investigaciones como la que se realizó en edificios monumentales como la iglesia de 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 la demanda sísmica, usando el método del espectro de capacidad, de este modo se realizó el análisis de riesgo sísmico (Irrizarry, 2003)

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

En el Perú 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 Atico $M_w=8.4$ en el 2001 y además se espera que tenga un comportamiento aceptable durante sismos de mayor magnitud. En cuanto a los edificios escolares tradicionales, diseñados antes de 1997, los resultados muestran que son estructuras vulnerables (Muñoz et al., 2001).

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 2013 se realizó el estudio del “Nivel de Desempeño Sísmico del Edificio “A” de la Universidad Privada del Norte – Sede Cajamarca”. Los resultados muestran que el nivel de desempeño para la demanda sísmica calculada según la norma E-030 (espectro de diseño), es excelente; alcanza una deriva de 0.15% ($D_t=2.2\text{cm}$),

y permanecería en el rango operacional con un comportamiento elástico. Además su punto de desempeño se encuentra por debajo al de sismos frecuentes.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

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 2013 se realizó el estudio del “Nivel de Desempeño Sísmico del Edificio “A” de la Universidad Privada del Norte – Sede Cajamarca”. Los resultados muestran que el nivel de desempeño para la demanda sísmica calculada según la norma E-030 (espectro de diseño), es excelente; alcanza una deriva de 0.15% ($D_t=2.2\text{cm}$), y permanecería en el rango operacional con un comportamiento elástico. Además su punto de desempeño se encuentra por debajo al de sismos frecuentes.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. DISEÑO POR DESEMPEÑO

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

Su fundamentación general, es mucho más amplia y rica que la anotada en normas o códigos, donde una provisión es resuelta directamente por los propios dueños, en lugar de aplicar una prescripción tradicional preestablecida. Como elementos alternativos, es posible establecer objetivos apropiados, niveles de desempeño y criterios de aceptación. La diferencia, es que ahora se cuenta con herramientas de cálculo que permiten evaluar y predecir el comportamiento estructural, los diferentes niveles de desempeño y tener una visión más completa de todas las etapas que puede cumplir una edificación. Además, el DS-BD puede: refinar los códigos de diseño, proporcionar una opción válida para tener niveles de desempeño, mejorar la evaluación y restauración de los edificios existentes, racionalizar la estimación de las pérdidas, mejorar la evaluación post-sísmica y aumentar la eficiencia de la investigación en ingeniería sismorresistente (Holmes, 2000).

2.2.2. NIVELES DE DESEMPEÑO

El nivel de desempeño describe un estado límite de daño discreto. Representa una condición límite o tolerable establecida en función de tres aspectos fundamentales:

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

Dos de los trabajos más importantes realizados en los que se establece los niveles de desempeño son: el ATC-40 y el comité VISION 2000; en la presente investigación se tomará en cuenta el criterio propuesto por el SEAOC VISION 2000.

A. PROPUESTA DEL COMITÉ VISION 2000

Este comité define cuatro niveles de desempeño que identifica a través de los siguientes calificativos:

1. **Totalmente operacional:** Corresponde a un nivel en el cual no ocurren esencialmente daños. La edificación permanece completamente segura para sus ocupantes. Todo el contenido y los servicios de la edificación permanecen funcionales y disponibles para su uso. En general no se requieren reparaciones.
2. **Operacional:** en este nivel se presentan daños moderados en los elementos no estructurales y en el contenido de la edificación, e incluso algunos daños leves en los elementos estructurales. El daño es limitado y no compromete la seguridad de la estructura para continuar siendo ocupada inmediatamente después del sismo, no obstante, los daños en algunos contenidos y componentes no estructurales pueden interrumpir parcialmente algunas funciones normales. En general se requieren algunas reparaciones menores.
3. **Resguardo de vida:** está asociado a la ocurrencia de daños moderados en elementos estructurales y no estructurales, así como en algunos contenidos de la construcción. La rigidez lateral de la estructura y la capacidad de resistir cargas laterales adicionales, se ven reducidas, posiblemente en un gran porcentaje, sin embargo, aún permanece un margen de seguridad frente al colapso. Los daños producidos pueden impedir que la estructura sea ocupada inmediatamente después del sismo, con lo cual, es probable que sea necesario proceder a su rehabilitación, siempre y cuando sea viable y se justifique desde un punto de vista económico.
4. **Próximo al colapso:** la degradación de la rigidez lateral y la capacidad resistente del sistema compromete la estabilidad de la estructura

aproximándose al colapso. Los servicios de evacuación pueden verse interrumpidos por fallas locales, aunque los elementos que soportan las cargas verticales continúan en funcionamiento. Bajo estas condiciones, la estructura es insegura para sus ocupantes y el costo de su reparación puede no ser técnicamente viable desde un punto de vista económico.

5. **Colapso:** La estructura no puede ya resistir acciones laterales y ha perdido su competencia para cargas de gravedad. Pérdida de verticalidad y problemas de inestabilidad. Además en el informe del comité VISION 2000 nos presenta niveles de daño permisible asociados a cada uno de los cuatro niveles de desempeño que consideran, se puede resumir en la siguiente tabla:

TABLA 2.01. Descripción de los estados de daño y niveles de desempeño

Estado de daño	Nivel de desempeño	Descripción de los daños
Despreciable	Totalmente Operacional	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo. Los sistemas de evacuación y todas las instalaciones continúan prestando sus servicios
Leve	Operacional	Agrietamiento en elementos estructurales. Daño entre leve y moderado en contenidos y elementos arquitectónicos. Los sistemas de seguridad y evacuación funcionan con normalidad.
Moderado	Resguardo de vida	Daños moderados en algunos elementos. Pérdida de resistencia y rigidez del sistema resistente de cargas laterales. El sistema permanece funcional. Algunos elementos no estructurales y contenidos pueden dañarse. Puede ser necesario cerrar el edificio temporalmente.
Severo	Pre - Colapso	Daños severos en elementos estructurales. Fallo de elementos secundarios, no estructurales y contenidos. Puede llegar a ser necesarios demoler el edificio.
Completo	Colapso	Pérdida parcial o total de soporte. Colapso parcial o total. No es posible la reparación.

Fuente: SEAOC Vision 2000 Committee, 1995

B. PROPUESTA DEL APPLIED TECHNOLOGY COUNCIL (ATC- 40)

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.

1. 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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

2. 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.

Niveles para las estructuras

En la Tabla 2.02. se muestran las combinaciones (propuestas en el ATC-40) de los niveles de desempeño de los elementos estructurales y los elementos no estructurales.

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

TABLA 2.02. Niveles de desempeño de las estructuras

Niveles de desempeño no estructural	Nivel de desempeño Estructural					
	SP - 1	SP - 2	SP - 3	SP - 4	SP - 5	SP - 6
NP - A	1 - A Operacional	2 - A	NR	NR	NR	NR
NP - B	1 - B Ocupación Inmediata	2 - B	3 - B	NR	NR	NR
NP - C	1 - C	2 - C	3 - C Seguridad de vida	4 - C	5 - C	6 - C
NP - D	NR	2 - D	3 - D	4 - D	5 - D	6 - D
NP - E	NR	NR	3 - E	4 - E	5 - E Estabilidad estructural	No Aplicable

Fuente: ATC,1996

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

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

- ✓ **Seguridad de vida 3-C:** la probabilidad de pérdidas de vidas humanas es prácticamente nula. Este nivel corresponde al desempeño esperado de la estructura con la aplicación de los códigos corrientes. Se presentan daños limitados en los elementos estructurales y algunos elementos no estructurales como acabados y fachadas, entre otros, pueden fallar, sin que esto ponga en peligro la seguridad de los ocupantes.

- ✓ **Estabilidad estructural 5-E:** el margen de seguridad del sistema resistente de cargas laterales se encuentra prácticamente al límite y la probabilidad del colapso ante la ocurrencia de posibles réplicas es bastante alta, no obstante, el sistema de cargas verticales continuas 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. MOVIMIENTOS SÍSMICOS DE DISEÑO

La amenaza sísmica incluye efectos directos tales como: ruptura en la fuente y vibración del terreno, licuefacción del suelo, desprendimientos de tierra, asentamientos diferenciales y efectos indirectos como maremotos, incendios y deslizamientos entre otros. Cada uno de estos efectos puede producir daños que afectan el nivel de desempeño deseado para una estructura. El alcance, para el cual

estas amenazas pueden afectar el desempeño de la estructura, depende de la magnitud del sismo, la distancia a la fuente, la dirección de propagación de la ruptura de falla, y las características geológicas de la región y locales. El efecto de cada uno de estos componentes de la amenaza, debe ser considerado e investigado específicamente como parte del proceso de la ingeniería basada en el desempeño.

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

A continuación se presentan los movimientos sísmicos de diseño que deben considerarse de acuerdo al comité VISION 2000.

A. Propuesta del comité VISIÓN 2000

Los movimientos sísmicos de diseño son expresados por el comité VISION 2000 en términos de un intervalo de recurrencia medio o de una probabilidad de excedencia. El intervalo de recurrencia medio, por ejemplo 475 años, es una expresión del período promedio de tiempo, expresado en años, que transcurre entre la ocurrencia de un sismo que produce daños de una severidad igual o superior a una determinada. La probabilidad de excedencia, es decir en el ejemplo anterior 10% en 50 años, es una representación estadística de la posibilidad de que el efecto de un sismo exceda una cierta severidad durante un período de tiempo determinado expresado en años. El período de retorno “TR” (intervalo de recurrencia) puede relacionarse directamente con una

probabilidad de excedencia “pe” para un número específico “t” de años, mediante la siguiente ecuación:

$$T_R = \frac{t}{\ln(1-p_e)} \quad (2.1)$$

La Tabla 2.03. Muestra los intervalos de recurrencia y las probabilidades de excedencia para los cuatro movimientos sísmicos de diseño considerados por el comité VISION 2000.

TABLA 2.03. Movimientos sísmicos de diseño

MOVIMIENTO SÍSMICO DE DISEÑO	INTERVALO DE OCURRENCIA	PROBABILIDAD DE ESCEDENCIA
Frecuente	43 años	50% en 30 años
Ocasional	72 años	50% en 50 años
Raro	475 años	10% en 50 años
Muy raro	950 años	10% en 100 años

Fuente: SEAOC Visión 2000 Committee, 1995

B. Propuesta del Applied Technology Council (ATC-40)

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

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

magnitud de estos sismos puede tomarse aproximadamente, como la mitad del sismo de diseño utilizado en los códigos y normativas. Es el sismo ocasional de la Tabla 2.03.

- ❖ **Sismo de diseño, DE:** representa un movimiento sísmico poco frecuente de intensidad entre moderada y severa, y se entiende que puede ocurrir al menos una vez durante la vida de la estructura. Se define como el movimiento del terreno que tiene una probabilidad el 10 % de ser excedido en 50 años, es decir, que tiene un período de retorno de 475 años. Este sismo como su nombre indica, es el que generalmente establecen los códigos para el diseño de estructuras convencionales. Es el sismo raro de la Tabla 2.03.
- ❖ **Sismo máximo, ME:** corresponde al máximo movimiento del terreno que puede ser esperado en el sitio donde se encuentra localizada la estructura, con una probabilidad del 5 % de ser excedido en un período de 50 años, es decir, con un período de retorno de aproximadamente 975 años. Este nivel de movimiento generalmente varía entre 1.25 y 1.50 veces el valor del sismo de diseño y, es utilizado para el diseño de estructuras esenciales. Corresponde al sismo muy raro de la Tabla 2.03.

C. Adaptación para el Perú

En la tabla 2.04 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.

TABLA 2.04. Aceleración máxima en roca para los sismos de diseño de edificios en la costa oeste de América del Sur

Sismo de Diseño	Aceleración esperada (g)
Sismos frecuentes	0.2
Sismos ocasionales	0.25
Sismos raros	0.4
Sismos muy raros	0.5

Fuente: Muñoz, 2008.

2.2.4. OBJETIVOS DEL DISEÑO POR DESEMPEÑO

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

A. PROPUESTA DEL COMITÉ VISION 2000

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

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

La Tabla 2.05. muestra la matriz propuesta por el comité VISION 2000 para la definir los objetivos de desempeño. Las filas corresponden a los movimientos sísmicos de diseño y las columnas a los niveles de desempeño. Los números corresponden a los tres tipos de estructuras considerados. Como ejemplo se muestra la Tabla 2.06. construida a partir de la propuesta del comité VISION 2000.

Para el caso de estructuras existentes, es evidente que estos niveles recomendados de desempeño pueden requerir gastos económicos que desde el punto de vista práctico resultan excesivamente altos.

TABLA 2.5. Objetivos del desempeño sísmico recomendado para estructuras

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

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

Fuente: SEAOC Vision 2000 Committee, 1995

TABLA 2.06. Objetivos de desempeño sísmico recomendados para estructuras básicas.

Movimiento sísmico de diseño	Nivel de desempeño mínimo
Frecuente	Totalmente operacional
Ocasional	Operacional
Raro	Seguridad
Muy Raro	Próximo al colapso

Fuente: SEAOC Vision 2000 Committee, 1995

B. PROPUESTA DEL APPLIED TECHNOLOGY COUNCIL (ATC-40)

Esta propuesta considera que existe una gran variedad de objetivos de desempeño para una estructura, los cuales pueden definirse combinando los niveles de desempeño estructural con los movimientos sísmicos de diseño. Estos objetivos pueden ser asignados a cualquier estructura a partir de consideraciones funcionales, legales, económicas y de preservación. A manera de ilustración, la Tabla 2.07. Muestra los objetivos de seguridad básica para estructuras convencionales. Puede verse que para el sismo de diseño, el desempeño de la estructura debe corresponder al nivel de seguridad, mientras que para el sismo máximo, el nivel de estabilidad estructural es suficiente.

TABLA 2.07. Objetivos de seguridad básica para estructuras convencionales

Movimiento Sísmico de diseño	Nivel de desempeño de edificio		
	Operacional	Ocupación Inmediata	Seguridad Estructural
Sismo de servicio, SE			
Sismo de Diseño, DE			√
Sismo Máximo, ME			√

Fuente: ATC, 1996

2.2.5. CAPACIDAD ESTRUCTURAL

La capacidad de una estructura depende de la resistencia y deformación máxima de sus componentes individuales. Para determinar sus capacidades más allá del límite elástico, es necesario utilizar algún tipo de análisis no lineal, como por ejemplo, el análisis estático no lineal (análisis pushover). Este procedimiento usa una serie de análisis elásticos secuenciales, que se superponen para aproximarse a un diagrama conocido con el nombre de curva de capacidad. Este curva relaciona las fuerzas en la base (cortante basal, V) y los desplazamientos (D) en el nivel superior de la estructura (ver Figura 2.01.). 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 monótonica hasta que la estructura alcanza su capacidad máxima.

La curva de capacidad se construye generalmente para representar la respuesta del primer modo de la estructura, basado en la hipótesis según la cual el modo fundamental de vibración se corresponde con la respuesta predominante. Esto es generalmente válido para estructuras con períodos propios menores que 1s. Para estructuras más flexibles, el análisis debe considerar la influencia de los modos más altos de vibración.

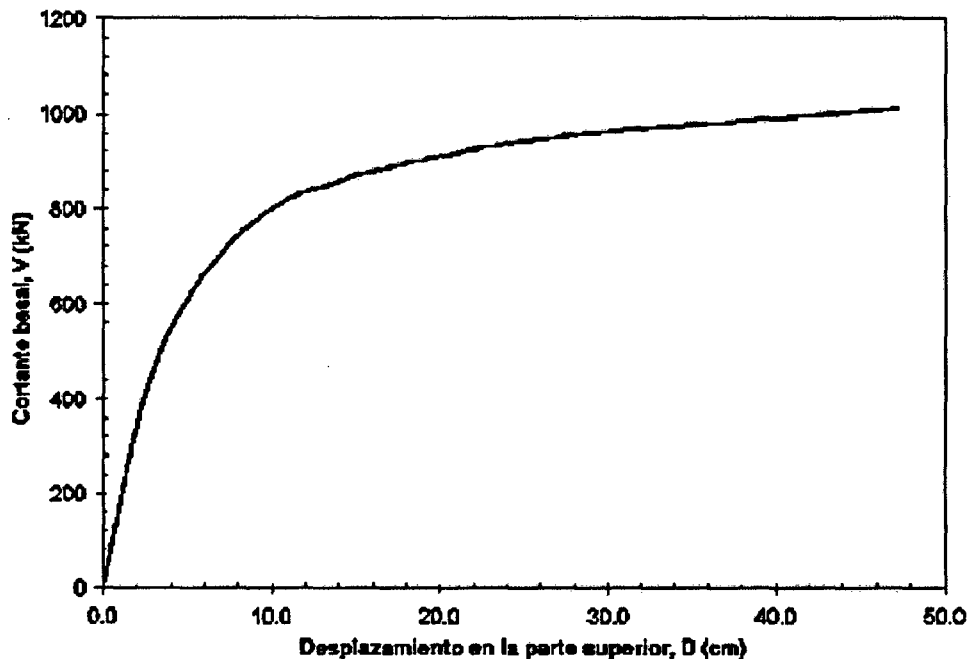


FIGURA 2.01. Ejemplo de una curva de capacidad (cortante en la base vs desplazamiento nivel superior).

A. Análisis estático no lineal (“Análisis Pushover”)

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 esperada. Este análisis se realiza sometiendo a

la estructura a un patrón de cargas laterales F_i que se incrementan de manera uniforme hasta que la estructura alcanza su capacidad máxima. Utilizando este procedimiento, es posible identificar la secuencia del agrietamiento, cedencia y fallo de los componentes, los estados límites de servicio y la historia de deformaciones y cortantes en la estructura que corresponde a la curva de capacidad (ver Figura 2.02.).

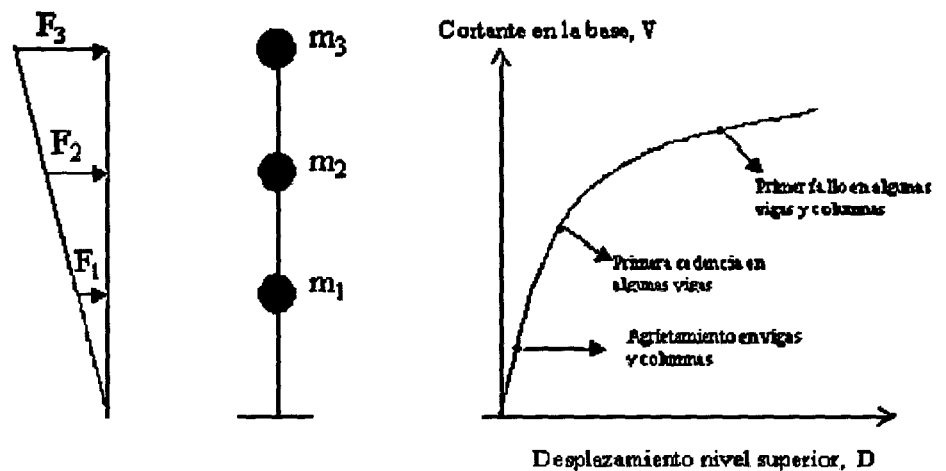


FIGURA 2.02. Esquema del procedimiento utilizado para el análisis pushover.

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

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

- Existe un consenso general en que el daño estructural es una función tanto de la deformación como de la energía. El procedimiento utilizado en el análisis pushover implícitamente asume que el daño depende sólo de la deformación lateral de la estructura, despreciando los efectos de duración y disipación de la energía acumulada. Por lo tanto, la aplicabilidad de esta medida del daño es algo simplista, particularmente para estructuras no dúctiles, cuyos cíclicos histeréticos inelásticos presentan un fuerte estrechamiento y una forma errática.
- El análisis pushover se centra sólo en la energía de deformación de una estructura, con lo cual, este procedimiento puede conducir a despreciar la energía asociada a las componentes dinámicas de las fuerzas, es decir, la energía cinética y la energía de amortiguamiento viscoso.
- Los efectos de torsión producidos por las variaciones de resistencia y rigidez no pueden ser considerados con un análisis pushover, debido a que es un análisis en dos dimensiones.
- El patrón de cargas sólo considera fuerzas sísmicas laterales e ignora por completo la carga sísmica vertical.
- Los cambios progresivos en las propiedades modales que ocurren en la estructura cuando experimenta cedencia no lineal cíclica durante un sismo, no son considerados en este tipo de análisis

B. Representación bilineal de la curva de capacidad

La representación bilineal de la curva de capacidad se utiliza para estimar el espectro de demanda reducido llamado también espectro inelástico. Para obtener esta representación, es necesario definir el punto de fluencia o punto

de cedencia y el punto de agotamiento de la capacidad o desempeño de la estructura.

En la actualidad, no existe un consenso dentro de la comunidad internacional para la definición de estos dos puntos. Han sido formuladas varias propuestas, que se traducen en un amplio espectro de desplazamientos límites y ductilidades.

Así por ejemplo, el desplazamiento de fluencia se puede definir como:

- a) El punto de intersección de la rigidez tangente inicial con la resistencia nominal.
- b) La intersección de la rigidez secante a través de la primera fluencia con la resistencia nominal.
- c) El desplazamiento en la primera fluencia, entre otras posibilidades.

El desplazamiento último, también ha sido definido de diversas formas:

- a) El desplazamiento correspondiente a la resistencia pico.
- b) El desplazamiento correspondiente al 20% o 50% de la resistencia pico o nominal.
- c) El desplazamiento en la fractura inicial del refuerzo transversal.

2.2.6. DEMANDA SÍSMICA

La demanda sísmica generalmente se representa por medio de un espectro de respuesta, el cual presenta la respuesta máxima de sistemas de un grado de

libertad (1 GDL) como una función de sus frecuencias. Tradicionalmente, en la ingeniería sísmica, se ha utilizado un espectro de respuesta de aceleraciones para procedimientos de análisis y diseño de estructuras basados en las fuerzas. Sin embargo, durante los últimos años se ha identificado que los parámetros más relevantes en el diseño son los desplazamientos y las deformaciones. Por lo tanto, se ha promovido el uso de espectros de respuesta (S_a vs S_d) para propósitos de diseño basado en el desempeño sísmico (SEAOC, 1995). Como su nombre indica, en este diagrama se gráfica en el eje de las ordenadas la aceleración espectral y en las abscisas el desplazamiento espectral. Las líneas radiales que parten desde el origen, corresponden a períodos constantes T_i (ver Figura 2.03.). La ventaja de este formato es que la capacidad y la demanda pueden superponerse en el mismo diagrama, permitiendo una solución gráfica del nivel de desempeño de una estructura (Freeman, 1995). Es importante notar que este formato es tan solo una representación diferente de los mismos datos, y no proporciona información adicional.

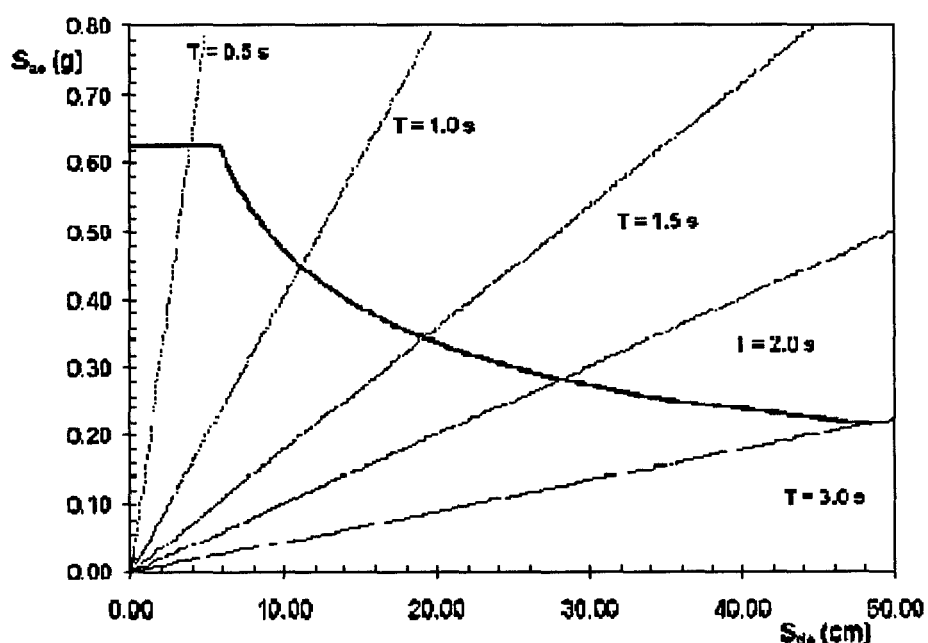


FIGURA 2.03. Espectro elástico de respuesta.

2.2.7. METODOS PARA ESTIMAR EL PUNTO DE DESEMPEÑO

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

Durante los últimos años, ha habido un incremento considerable del uso del análisis estático no lineal como una herramienta para la evaluación de la resistencia y seguridad en el campo de la ingeniería sísmica. Este procedimiento se considera generalmente, más realista en la estimación de la vulnerabilidad que los procedimientos lineales ampliamente utilizados en los diferentes códigos o normativas de diseño (Kim y D'Amore, 1999). Una variedad de procedimientos de este tipo de análisis se están consolidando y han sido descritos en detalle en estudios tales como el ATC-40 y FEMA 273. En este trabajo se describen tres de los principales métodos de análisis estático no lineal simplificados, utilizados para determinar el punto de desempeño (demanda de desplazamiento) de una estructura, estos son: el Método del Espectro de Capacidad (MEC), el Método del Coeficiente de Desplazamiento (MCD) y el método N2 (MN2).

A. Método del espectro de Capacidad (MEC)

El método del espectro de capacidad fue propuesto por Freeman (1975), como un método rápido para la evaluación del riesgo sísmico. Posteriormente fue utilizado para correlacionar movimientos sísmicos con las observaciones del desempeño de construcciones existentes (ATC, 1982). En la actualidad, el método constituye un procedimiento simple para determinar el punto de desempeño de una estructura cuando se ve sometida a movimientos sísmicos de diferente intensidad. Mediante un procedimiento gráfico, se compara la

capacidad para resistir fuerzas laterales con la demanda sísmica, representada por medio de un espectro de respuesta reducido (Freeman, 1995). La representación gráfica hace posible una evaluación visual de cómo podría comportarse la estructura cuando se somete a un determinado movimiento sísmico.

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

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

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

B. Método del coeficiente de desplazamientos (MCD)

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

C. Método N2 (MN2)

El método N2 ha sido el resultado de un largo trabajo desarrollado por el grupo de investigación de la Universidad de Ljubljana en los últimos 15 años. Las bases de este procedimiento corresponden al modelo Q desarrollado por Saiidi y Sozen (1981). A partir de su primera versión, publicada en 1987, el método ha sido lentamente desarrollado hasta la presente versión, en la cual se utiliza el formato Aceleración - Desplazamiento (AD) y que combina las ventajas de la representación visual del método del espectro de capacidad (Freeman, 1998) con las bases físicas del espectro de demanda inelástico (Fajfar, 1999). De hecho, este nuevo formato constituye una variante del método del espectro de capacidad (MEC). Las características básicas del método son: el uso de dos modelos matemáticos separados, la aplicación del espectro de respuesta, el análisis estático no lineal (análisis “pushover”) y la elección de un modelo que considera el daño acumulado. Este último aspecto se considera de gran importancia para el caso de estructuras existentes, las cuales frecuentemente no han sido construidas para resistencia sostenida a través de muchos ciclos de respuesta dentro del rango inelástico (Fajfar y Gaspersic, 1996). El método puede ser usado para la evaluación sísmica tanto de estructuras existentes como para el diseño de nuevas estructuras.

2.3. 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. DIAGRAMA MOMENTO GIRO

Es una representación de los valores obtenidos de la relación Momento Curvatura de un elemento, en la que el giro está representado por la multiplicación del valor de la curvatura por la longitud (LP) de la rótula plástica.

2.3.7. 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)

2.3.8. 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. 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).

2.3.11. 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)

2.3.12. 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).

2.3.13. 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 L_P correspondiente a una aproximación de 0.4 a 0.5 veces el peralte del elemento. (Paulay y Priestley, 1992).

2.3.14. RELACIÓN MOMENTO CURVATURA

La relación momento-curvatura es de gran importancia en el diseño de estructuras ante cargas estáticas y dinámicas, ya que de forma rápida se visualiza que tan dúctil y resistente es un miembro. Además, el área bajo la curva representa la energía interna, la parte bajo la región elástica es la energía de deformación acumulada en el miembro, mientras que el área bajo la región de postfluencia corresponde a la energía disipada en las deformaciones plásticas del mismo.

De la relación momento-curvatura se obtiene la máxima capacidad a flexión del elemento M_u , la curvatura última ϕ_u , así como también sus respectivos momento y curvatura de fluencia, de tal forma que estas cantidades pueden compararse con las demandas que se tienen en el diseño.

CAPITULO III: MATERIALES Y METODOS

3.1. LOCALIZACIÓN

La presente investigación determinará el nivel de desempeño sísmico del pabellón de Educación Inicial de la Institución Educativa Experimental Antonio Guillermo Urrelo - Cajamarca, ubicada dentro de la Ciudad Universitaria Av. Atahualpa N° 1050, Distrito de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Departamento de Cajamarca, Perú.

La ubicación Geográfica cuyas coordenadas UTM son las siguientes: (Ver plano en el anexo de la página 137)

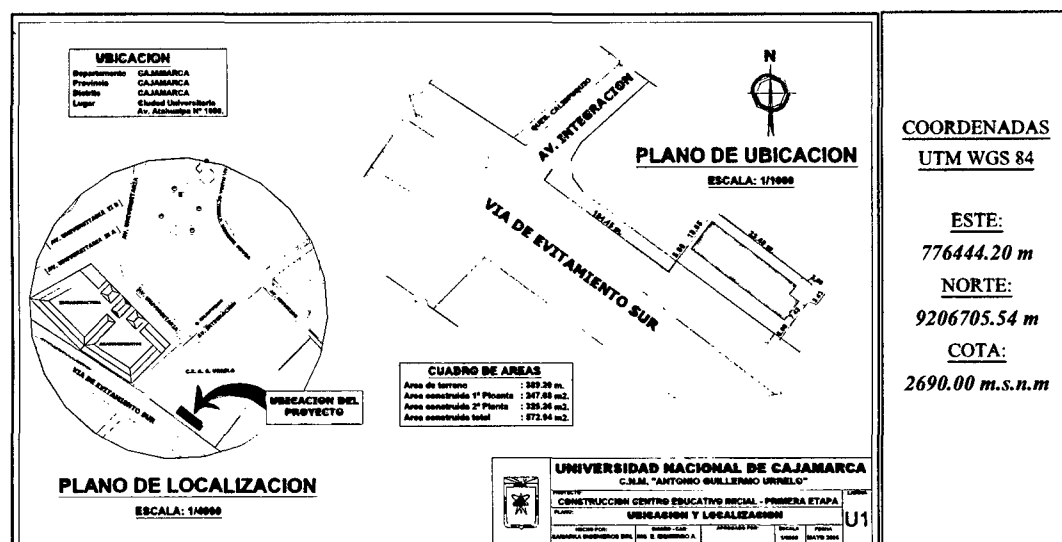


FIGURA 3.01. Plano de Ubicación Geográfica con coordenadas UTM de la I.E. Experimental Antonio Guillermo Urrelo – Cajamarca.

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

Altitud sobre el nivel del Mar	:	2690.00 m.s.n.m
Temperatura Ambiente	:	6 °C / 21 °C
Condiciones Atmosféricas	:	Templada/ Seco /Soleado
Calificación Sísmica (RNC)	:	Zona 3

Se presenta un perfil de suelo heterogéneo, compuesto por materiales finos: arena arcillosa y arcilla de alta plasticidad en diferentes estratos; así como la capacidad admisible del terreno al nivel de cimentación (1.60m) es 0.80 kg/cm². (Ver planos de estructura del anexo de la página 137)

3.2. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS E INFORMANTES O FUENTES PARA OBTENER LOS DATOS.

La información necesaria para elaborar la presente investigación corresponde al *Expediente Técnico de la edificación*, al cual se tiene acceso; y principalmente a elementos de relevancia, en este caso: planos de construcción (planos de replanteo), especificaciones técnicas y características de materiales empleados, así como las características de la fundación.

Se considera como técnicas directas de recolección de información: la observación y medición, los cuales permitieron elaborar los planos de construcción del proyecto, en cuanto a verificación y en otros casos a cambios realizados en obra; también acerca de los materiales y demás elementos utilizados según especificaciones técnicas.

El procesamiento de datos se realizará en forma computarizada usando softwares como el SAP2000 v.15, CSI Section designer, el cual requiere del ingreso de datos e información descrita según las especificaciones técnicas y algunos ensayos.

El análisis a realizar es de tipo Descriptivo cuyos resultados serán presentados a través de gráficos y tablas y para ello utilizaremos las bases teóricas enunciadas en este estudio, con la que se determinó el nivel de desempeño de pabellón de Educación Inicial de la Institución Educativa Experimental Antonio Guillermo Urrello – Cajamarca.

3.2.1. ELECCIÓN DE AREAS DE TRATAMIENTOS DE DATOS.

Para la realización de la siguiente investigación se tomó la estructura del pabellón de Educación Inicial de I.E. Experimental Antonio Guillermo Urrelo - Cajamarca como área de estudio, ya que en este lugar se imparten enseñanzas a muchos niños; y debido a que nuestra ciudad se encuentra en una zona de más alta actividad sísmica que existe en el Perú (Zona 3) y está expuesta a este peligro que trae consigo la pérdida de vidas humanas y pérdidas materiales, es por ello que debe evaluar cuidadosamente su desempeño sísmico a fin de evitar hechos lamentables, como pérdida de vidas humanas, daños estructurales, pérdidas económicas de gran magnitud, se hace imprescindible la evaluación por desempeño sismoresistente.

En el ensayo esclerométrico que se realizó a la estructura del pabellón de Educación Inicial, se tomó en cuenta las siguientes áreas de tratamiento de datos:

- El ensayo se realizó en las columnas centrales del primer nivel, debido a que el área de influencia de las losas y techos son mayores en estos puntos, además son las que reciben mayor carga a compresión.
- Se tiene fácil acceso, no interrumpiendo la clase de los niños.
- La Directora de la I.E. nos limitó hacer el ensayo, debido a que el ministerio de educación supervisaría la infraestructura.

3.2.2. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA.

La estructura a analizar corresponde al *pabellón de Educación Inicial de la Institución Educativa Experimental Antonio Guillermo Urrelo de la ciudad de Cajamarca*, construido aproximadamente hace 10 años. Es una estructura de dos niveles formado por un sistema de pórticos de concreto armado. Existe un solo tipo de tabiquería: muros de ladrillo de arcilla en todo el perímetro del pabellón, en ambientes de servicios higiénicos; y en separación entre aulas; los entrepisos están constituidos por losas aligeradas armadas en una dirección. El techo de este

pabellón está formado por una estructura metálica con cobertura de teja andina de fibro-cemento de dimensiones de 1.16 x 0.72 m. de 5mm de espesor, además la conexión entre niveles es mediante escaleras de concreto armado en forma de “U”.

A continuación se detallaremos por niveles:

El primer nivel: está conformado por tres aulas y una sala de profesores, hacia el exterior, la elevación principal da al Jardín de la Institución y la elevación posterior a la vía de evitamiento Sur. El nivel de piso terminado tanto de aulas y servicios higiénicos se encuentran al nivel del jardín interior de la Institución Educativa.

El Segundo nivel: está conformado por un auditorio, pasadizo y servicios higiénicos.

El techo: está conformado por una cobertura de teja andina de fibro-cemento de dimensiones de 1.16 x 0.72 m. de 5mm de espesor, apoyada sobre una estructura metálica, y esta a su vez apoyada sobre la estructura de concreto armado del segundo piso.

3.2.3. CARACTERÍSTICA DE LOS MATERIALES.

a. Ensayo esclerométrico.

Este *ensayo no destructivo* se usa para tener una idea de la *resistencia del concreto*.

El esclerómetro sirve para medir la resistencia del concreto endurecido y el principio en el cual se basa su funcionamiento es el siguiente: Presionando la punta del esclerómetro contra la superficie a examinar se carga un muelle. Cuando la punta ha entrado totalmente en el esclerómetro, se desengancha automáticamente una masa que golpea la misma punta en la extremidad interna y a través de ésta la superficie del concreto. Por reacción la punta

retransmite a la masa el contragolpe o rebote que es tanto mayor cuanto más duro y compacto es el concreto. En el curso del rebote la masa arrastra un índice que queda bloqueado en el punto máximo de retorno indicando contemporáneamente un valor de referencia sobre la escala. Este número transferido al diagrama proporciona un valor de la resistencia a compresión en función del ángulo de golpeo. (Ver resultados en el anexo de la pagina 127)

b. Propiedades y especificaciones técnicas del concreto

Las propiedades de los materiales se obtuvieron de las especificaciones técnicas que figuran en los planos y los ensayos con esclerómetro que se realizaron en las columnas.

TABLA 3.01. Especificaciones técnicas de concreto.

DESCRIPCIÓN	VALOR	UND.	
◆ Resistencia a la compresión en columnas ($f'c$)	217.00	kg/cm ²	¹
◆ Resistencia a la compresión en vigas $f'c$)	217.00	kg/cm ²	¹
◆ Peso Unitario.	2400.00	kg/m ³	²
◆ Módulo de elasticidad del concreto (E_c)	220963.7979	kg/cm ²	³
◆ Módulo de Poisson	0.20		⁴
◆ Módulo de Corte (G_c)	92068.25	kg/cm ²	⁵
◆ Coeficiente de expansión térmica	12×10^{-6}	°C	⁶
◆ Recubrimiento en columnas y vigas	0.03	m	⁷

³ $E_c = 15000 \cdot \sqrt{f'c}$

⁴ El valor de este parámetro para el concreto oscila entre 0.15 y 0.20.

⁵ $G_c = E_c / 2(1 + \mu)$

⁶ Su valor oscila entre $9.2 \times 10^{-6} / ^\circ C$ y $12 \times 10^{-6} / ^\circ C$.

⁷ De las especificaciones técnicas.

¹ Del ensayo con esclerómetro.

² Propiedad del concreto.

Fuente: Diseño de estructuras de concreto armado Teodoro E. Harmsen

c. Propiedades y especificaciones técnicas del acero

TABLA 3.02. Especificaciones técnicas del acero

DESCRIPCIÓN	VALOR	UND.
♦ Esfuerzo de fluencia (f_y)	4200.00	kg/cm ² ¹
♦ Peso Unitario (μ_s)	7850.00	kg/m ³ ²
♦ Módulo de elasticidad de acero (E_s)	2039000.00	kg/cm ² ³
♦ Módulo de Corte (G_s)	989805.53	kg/cm ² ⁴
♦ Módulo de Poisson	0.03	⁵
♦ Coeficiente de expansión térmica	11×10^{-6}	°C ⁶
♦ Recubrimiento en columnas y vigas	0.04	m ⁷

¹ De las especificaciones técnicas del acero.

² De las especificaciones técnicas del acero.

³ $E_c = 15000 \cdot \sqrt{f_c}$

⁴ $G_c = E_c / 2(1 + \mu)$

⁵ Parámetro que oscila entre 0.15 y 0.30.

⁶ Su valor oscila entre $9.2 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ y $12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

⁷ De las especificaciones técnicas de los planos

Fuente: Diseño de estructuras de concreto armado Teodoro E. Harmsen

3.3. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

En base a la información recopilada sobre el pabellón en estudio (planos de construcción, materiales empleados, características de la fundación, etc.) se procede a elaborar un modelo estructural (idealización) de la edificación, asistido por el software SAP2000 v15.00 Educational; teniendo en cuenta las características no lineales de los materiales para este tipo de análisis; además de considerar las cargas de servicio (carga muerta y carga viva) que actúan sobre la edificación.

La estructura se somete a un *Análisis Pushover* en la dirección longitudinal y transversal, previamente se definen rótulas plásticas discretas asignadas sobre los elementos columnas y vigas, según las disposiciones del documento FEMA 356 (FEMA, 2000).

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

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

A. Nivel 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 y la amenaza sobre la seguridad de los ocupantes de la edificación posterior al terremoto (ATC-40, 1996).

El desempeño sísmico en una edificación está determinado por la comparación de la respuesta máxima de la estructura (punto de desempeño) con los niveles de desempeño sísmico esperado, establecidos por el comité Visión 2000 (SEAOC, 1995).

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 elementos estructurales o no estructurales, etc.) (SEAOC, 1995)

B. Método del espectro Capacidad – Demanda

El método se fundamenta en una representación aproximada de las características globales no lineales de la estructura, obtenidas mediante el reemplazo del sistema no lineal por un sistema lineal equivalente usando como base procedimientos del análisis modal (ATC-40, 1996).

Consiste en *comparar el espectro de capacidad de la estructura con el espectro de la demanda sísmica* para identificar el desplazamiento máximo o punto de desempeño, donde la capacidad y la demanda se igualan, permitiendo estimar la respuesta máxima de la edificación, la cual servirá de base para compararla con el nivel de desempeño sísmico esperado.

1. Espectro de Capacidad

A través de un análisis estático no lineal incremental (análisis PUSHOVER) de un modelo representativo de la estructura se obtiene la curva de capacidad, la cual generalmente se *representa como el corte basal (V_o)*, obtenido para varios incrementos del estado de carga lateral (patrón de cargas), *respecto al desplazamiento lateral del último nivel de la edificación (D_n)*. Esta curva consiste en una serie de segmentos de rectas con pendiente decreciente, asociados a la progresiva degradación de la rigidez, la cedencia en elementos y en general al daño (ATC-40, 1996). El análisis Pushover está influenciado por el esquema de carga lateral supuesto; sin embargo, existen recomendaciones como establecerlos de manera racional, por ejemplo, que la misma sea consistente con la distribución de las fuerzas inerciales o con la forma de vibración del modo considerado. Además la pendiente de la línea trazada desde el origen de coordenadas hasta un punto de la curva definido por un desplazamiento (d) representa la rigidez efectiva o secante de la estructura asociada a dicho desplazamiento.

Usando las propiedades modales asociadas al modo fundamental de vibración, es posible transformar la curva de capacidad a un nuevo formato ADRS (Acceleration Displacement Response Spectral), donde se representa la aceleración espectral (S_a) respecto al desplazamiento espectral, denominado espectro de capacidad

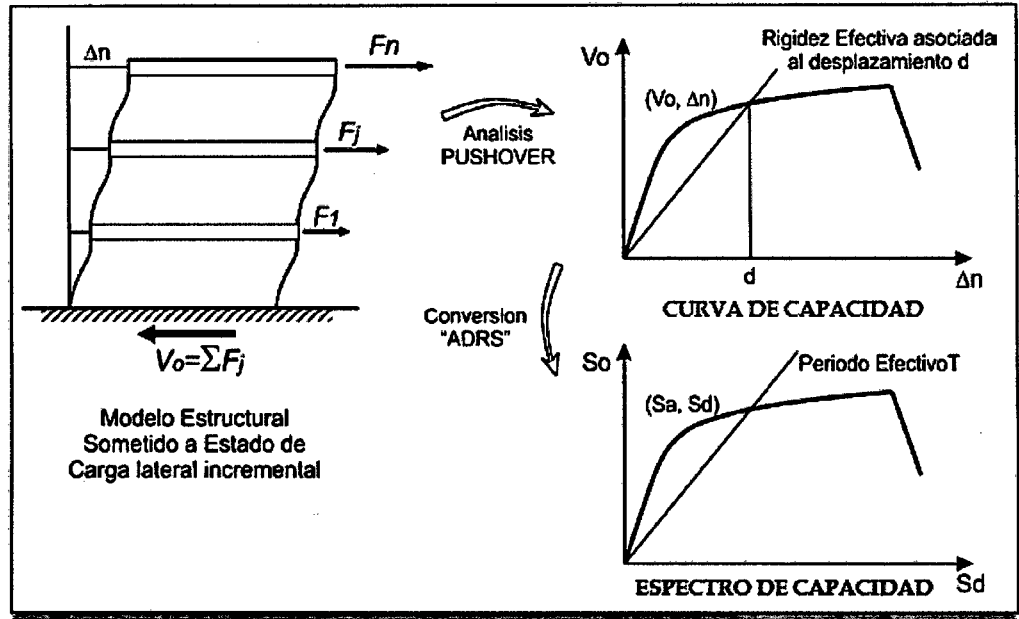


FIGURA 3.02. Espectro de Capacidad

2. Espectro de Demanda

La demanda sísmica inicialmente se caracteriza usando el espectro de respuesta de aceleración típicamente definido para un amortiguamiento del 5%, el cual debe ser transformado a un formato ADRS (“Acceleration – Displacement Response Spectra”), es decir de aceleración espectral (S_a como una fracción de la aceleración de la gravedad (g) respecto al desplazamiento espectral. Para dicha conversión cada punto (S_a, T_i) del espectro de respuesta, donde T_i es el periodo en segundos, corresponde a un punto (S_a, S_d) del espectro de demanda según:

$$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_{ai} g \quad (3.1)$$

De manera que el espectro de demanda es una representación gráfica de la aceleración máxima de respuesta respecto al correspondiente desplazamiento máximo para un periodo y nivel de amortiguamiento dado. Este espectro de respuesta elástico debe ser sucesivamente ajustado para un factor de

amortiguamiento compatible con el nivel de deformación esperado. De hecho para altos niveles de deformación se esperan importantes incrementos en la capacidad de disipar energía. Para tal fin, diversas recomendaciones proponen valores de amortiguamiento característico para diferentes sistemas estructurales y factores de modificación de la respuesta elástica dependiente del amortiguamiento, los cuales deben aplicarse de manera consistente para cada nivel de movimiento del terreno especificado.

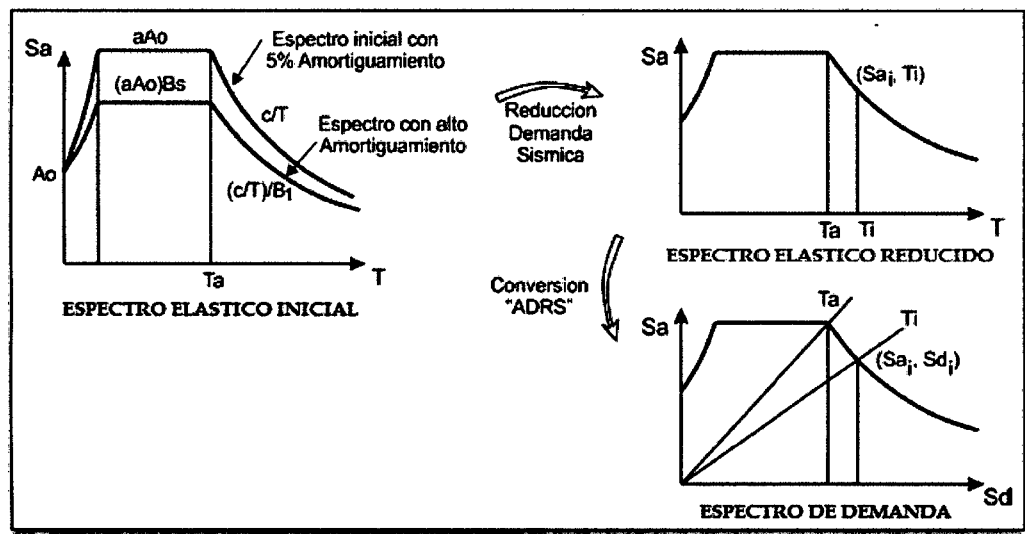


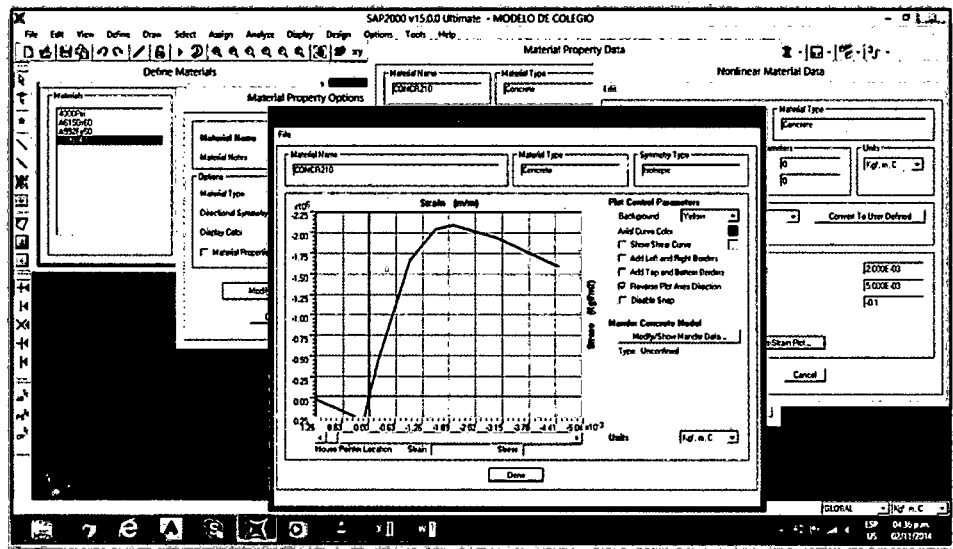
FIGURA 3.03. Espectro de Demanda

3.3.1. CARACTERISTICAS NO LINEALES DE LOS MATERIALES

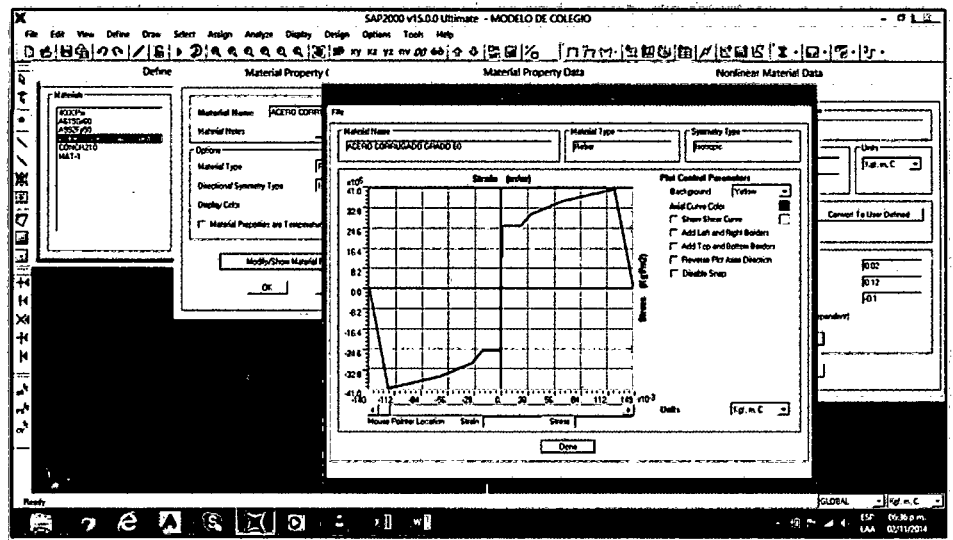
Los principales materiales que intervienen en el análisis de la estructura son los correspondientes a concreto armado y al acero estructural (armaduras), y cuyas características no lineales están determinados por modelos de comportamiento inelástico referentes a sus curvas de esfuerzo – deformación,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

1. Curva de Esfuerzo – Deformación de materiales.

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



(a)



(b)

FIGURA 3.04. Curvas Esfuerzo-Deformación: a) Concreto $f_c=210$ kg/cm² b) Acero de refuerzo ASTM A - 615 – Grado 60

3.3.2. METRADO DE CARGAS

RESUMEN DE CARGAS MUERTAS

VIGAS PRINCIPALES

PRIMER NIVEL

TABLA 3.03. Cargas Muertas de Vigas principales del Primer Nivel.

EJE	LOSA	PISO	MUROS	TOTAL
	ALIGERADA	TERMINADO		CARGA
	Carga (Ton/m)	Carga (Ton/m)	Carga (Ton/m)	Carga (Ton/m)
A	0.837	0.245	1.607	2.688
B	1.673	0.510	1.125	3.308
C	1.673	0.510		2.183
D	1.673	0.510		2.183
E	1.673	0.510		2.183
F	1.673	0.510		2.183
G	1.362	0.394	1.607	3.362

SEGUNDO NIVEL

TABLA 3.04. Cargas Muertas de vigas principales del Segundo Nivel.

EJE	TEJA	CORREAS
	FIBRO CEMENTO	
	Carga (Ton/m)	Carga (Ton/m)
A	0.038	0.010
B	0.060	0.016
C	0.060	0.016
D	0.060	0.016
E	0.060	0.016
F	0.060	0.016
G	0.038	0.010

VIGAS SECUNDARIAS

PRIMER NIVEL

TABLA 3.05. Cargas Muertas de Vigas Secundarias del Primer Nivel.

EJE	LOSA ALIGERADA Carga (Ton/m)	PISO TERMINADO Carga (Ton/m)	MUROS Carga (Ton/m)	TOTAL CARGA Carga (Ton/m)
1	0.175	0.050	0.450	0.675
3	0.350	0.100	0.450	0.900

SEGUNDO NIVEL

TABLA 3.06. Cargas Muertas de Vigas Secundarias del Segundo Nivel.

EJE	CARGA EN VIGAS SEC. Carga (Ton/m)
1	0.175
2	0.350
3	0.35

RESUMEN DE CARGAS VIVAS

VIGAS PRINCIPALES

PRIMER NIVEL

TABLA 3.07. Cargas Vivas de Vigas Principales del Primer Nivel.

EJE	Descrip.	Carga (Tn/m)
A entre 1 - Voladizo	Auditorio SS.HH.	0.717 0.717
B entre 1 - Voladizo	Auditorio SS.HH.	1.530 0.717
C entre 1- Vol.	Auditorio	1.530
D entre 1- Vol.	Auditorio	1.530
E entre 1- Vol.	Auditorio	1.530
F entre 1- Vol.	Auditorio	1.530
G entre 1- Vol.	Pasadizo Auditorio	0.600 0.717

SEGUNDO NIVEL

TABLA 3.08. Cargas Vivas de Vigas Principales del Segundo Nivel.

EJE	Carga (Tn)
A	0.26
B	0.26
C	0.26
D	0.26
E	0.26
F	0.26
G	0.26

VIGAS SECUNDARIAS

PRIMER NIVEL

TABLA 3.09. Cargas Vivas de Vigas Secundarias del Primer Nivel.

EJE	Descrip.	Carga (Tn/m)
1 de A - G	Auditorio	0.15
	Pasadizo	0.2
3 de A - B	Auditorio	0.3
	SS.HH.	0.3
3 de B - G	Auditorio	0.3
	Pasadizo	0.4

SEGUNDO NIVEL

TABLA 3.10. Cargas Vivas de Vigas Secundarias del Segundo nivel.

EJE	Carga (Tn/m)
1	0.025
2	0.5
3	0.05

3.3.3. TRATAMIENTO DE LOS DATOS

A. Configuración Estructural.

De acuerdo con esto, el objetivo es definir la regularidad de una estructura, esto se hace según los siguientes criterios de irregularidades en altura y planta:

1. Irregularidades estructurales en altura.

a. Irregularidad de Rigidez (Piso Blando)

Se comparan la suma de las áreas de las secciones transversales de un piso con el otro, lo que para nuestro caso siempre será de igual valor, dado que tenemos una sola planta típica para los 2 pisos.

b. Irregularidad de Masa

Al igual que el anterior criterio, cada piso es similar al otro por lo que tendrán la misma masa en todos los pisos, excepto en la Techo.

c. Irregularidad Geométrica vertical

Esto se refiere a la continuidad vertical de muros en una dirección entre un piso y otro adyacente debe ser la misma, lo cual para nuestro edificio se cumple siempre.

d. Discontinuidad en los sistemas existentes

No existe ninguna discontinuidad en los elementos verticales puesto que la distribución de todos ellos para un piso es la misma para todos los demás.

2. Irregularidades estructurales en planta.

a. Esquinas entrantes

Debido a la uniformidad de las plantas no existen esquinas entrantes pronunciadas en el edificio.

b. Discontinuidad de diafragma

El edificio no presenta este tipo de discontinuidad ya que el diafragma rígido se mantiene a lo largo de toda la losa sin ser interrumpido seriamente por algún ducto.

En conclusión podemos decir que la estructura del edificio es **REGULAR** en ambas direcciones principales debido a la torsión que se genera al aplicar cargas de sismo.

B. Obtención de Espectro de Respuesta.

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

1. Factor de Zona (Z)

Ubicación de la estructura: ***Cajamarca***

Zona: ***3***

Factor de Zona (Z): ***0.35***

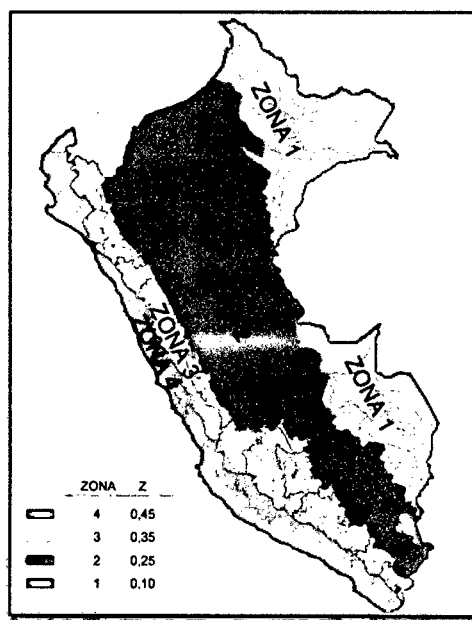


TABLA 3.11. Categoría de las edificaciones. Fuente: Norma Técnica E-030.

ZONA	Z
1	0.1
2	0.25
3	0.35
4	0.45

FIGURA 3.05. Zonas Sísmicas para proyecto de Norma E-030

2. Factor de Suelo (S)

Tipo de perfil del suelo: **S3 (Suelos medianamente flexibles).**

Factor de suelo (S): **1.20**

TP (s): **1.0**

TL (s): **1.6**

Tabla 3.12. Factor “S” por tipo de perfil de suelo

	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
Z ₁	0.8	1	1.6	2
Z ₂	0.8	1	1.2	1.4
Z ₃	0.8	1	1.15	1.2
Z ₄	0.8	1	1.05	1.1

Tabla 3.13. Periodos T_p y T_l

	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
T _p	0.3	0.4	0.6	1
T _l	3	2.5	2	1.6

3. Factor de Uso e Importancia (U)

Cada estructura debe ser clasificada de acuerdo con las categorías indicadas en la Tabla 3.14. El coeficiente de uso e importancia (U), definido en la Tabla 3.14 se usará según la clasificación que se haga. (Norma Técnica E-030)

TABLA 3.14. Categoría de las edificaciones. Fuente: Norma Técnica E-030.

CATEGORIA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
	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
A EDIFICACIONES ESCENCIALES	A2: Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo tales como: <ul style="list-style-type: none"> ◆ 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. Todas aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre, tales como colegios, institutos superiores tecnológicos y universidades. Se incluyen edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos.	1.5
B EDIFICACIONES IMPORTANTES	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. como museos, bibliotecas y archivos especiales. También se considerarán depósitos de granos y	1.3

	otros almacenes importantes para el abastecimiento	
C EDIFICACIONES COMUNES	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.	1.0
D EDIFICACIONES TEMPORALES	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.	VER NOTA 3
<p><i>Nota 1:</i> Estas edificaciones tendrán aislamiento sísmico en la base, excepto en condiciones de suelo desfavorables al uso del sistema de aislamiento. <i>Nota 2:</i> Estas edificaciones tendrán un sistema de protección sísmica por aislamiento o disipación de energía cuando se ubiquen en las zonas sísmicas 4 y 3. <i>Nota 3:</i> En estas edificaciones deberá proveerse resistencia y rigidez adecuadas para acciones laterales, a criterio del proyectista.</p>		

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

Categoría: **A**

Factor de Uso e Importancia (U): **1.50**

4. Coeficientes Básicos de reducción de Fuerzas sísmicas (R_0)

Los sistemas estructurales se clasifican según los materiales usados y el sistema de estructuración sismorresistente predominante en cada dirección tal como se indica en la Tabla 3.15 que se muestra a continuación.

Tabla 3.15. Coeficiente de reducción (R). Fuente: Proyecto de Norma Técnica E-030

SISTEMA ESTRUCTURAL	COEFICIENTES BÁSICOS DE REDUCCION R₀ (*)
Acero	
" <i>Pórticos dúctiles con uniones resistentes a momentos</i>	8
Otras estructuras de Acero	
" <i>Arriostres Excéntricos</i>	7
" <i>Arriostres Concéntricos</i>	6
Concreto Armado	
" <i>Pórticos</i>	8
" <i>Dual</i>	7
" <i>De muros estructurales</i>	6
" <i>Muros de ductilidad limitada</i>	4
Albañilería Armada y confinada	3
Madera (Por esfuerzos admisibles)	7

(*) Estos coeficientes se aplicarán únicamente a estructuras en las que los elementos verticales y horizontales permitan la disipación de la energía manteniendo la estabilidad de la estructura. No se aplican a estructuras tipo péndulo invertido.

Como la estructura en estudio es un edificio aporricado, entonces el coeficiente R será:

Coeficiente de reducción de Solicitaciones Sísmicas (R): **8.00**

5. Restricciones de Irregularidad.

Categoría: ***No se permiten Irregularidades***

TABLA 3.16. Categoría y regularidades de las Edificaciones

Categoría de la Edificación.	Zona	Restricciones
A1 y A2	4, 3 y 2	No se permiten irregularidades
	1	No se permiten irregularidades extremas
B	4, 3 y 2	No se permiten irregularidades extremas
	1	Sin restricciones
	4 y 3	No se permiten irregularidades extremas
C	2	No se permiten irregularidades extremas excepto en edificios de hasta 2 pisos u 8 m de altura total
	1	Sin restricciones

6. Factores de Irregularidad.

Si la estructura no presenta irregularidades en altura o en planta, el factor I_a o I_p será igual a 1.

Irregularidad en Altura, I_a : 01 Regular

$$I_a = 1.00$$

Irregularidad en Planta, I_p : 01 Regular

$$I_p = 1.00$$

7. Coeficiente de Reducción de Fuerzas Sísmicas.

El coeficiente de reducción de la fuerza sísmica se determinará como el producto del coeficiente Básico de Reducción de Fuerza Sísmica R_0 y de los factores I_a , I_p obtenidos de los factores de Irregularidad.

$$R = R_0 + I_a + I_p = 8 \quad (3.2)$$

8. *Cálculo y Gráfico del Espectro de Sismo de Diseño(Sa/g)*

Tabla 3.17. Valores de la aceleración espectral y de los coeficientes de amplificación

T (s)	C	Sa/g	T (s)	C	Sa/g
0.000	2.500	0.197	0.950	2.500	0.197
0.020	2.500	0.197	1.000	2.500	0.197
0.040	2.500	0.197	1.100	2.273	0.179
0.060	2.500	0.197	1.200	2.083	0.164
0.080	2.500	0.197	1.300	1.923	0.151
0.100	2.500	0.197	1.400	1.786	0.141
0.120	2.500	0.197	1.500	1.667	0.131
0.140	2.500	0.197	1.600	1.563	0.123
0.160	2.500	0.197	1.700	1.384	0.109
0.180	2.500	0.197	1.800	1.235	0.097
0.200	2.500	0.197	1.900	1.108	0.087
0.250	2.500	0.197	2.000	1.000	0.079
0.300	2.500	0.197	2.200	0.826	0.065
0.350	2.500	0.197	2.400	0.694	0.055
0.400	2.500	0.197	2.600	0.592	0.047
0.450	2.500	0.197	2.800	0.510	0.040
0.500	2.500	0.197	3.000	0.444	0.035
0.550	2.500	0.197	4.000	0.250	0.020
0.600	2.500	0.197	5.000	0.160	0.013
0.650	2.500	0.197	6.000	0.111	0.009
0.700	2.500	0.197	7.000	0.082	0.006
0.750	2.500	0.197	8.000	0.063	0.005
0.800	2.500	0.197	9.000	0.049	0.004
0.850	2.500	0.197	10.000	0.040	0.003
0.900	2.500	0.197			

La siguiente figura muestra el espectro de respuesta que relaciona los valores obtenidos de la aceleración espectral calculados para cada valor del periodo T. (Ver Figura 3.06).

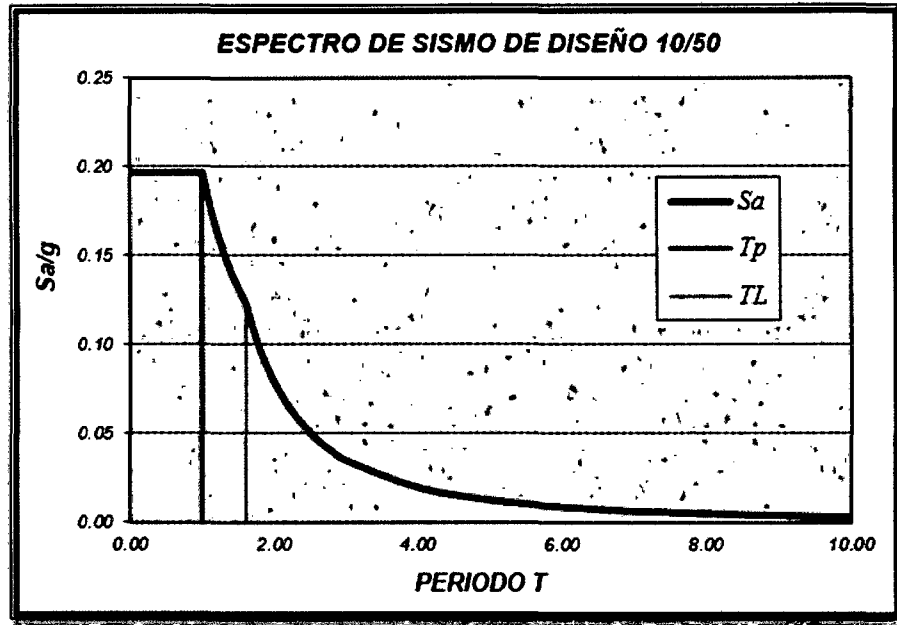


FIGURA 3.06. Espectro de respuesta calculado

C. Modelo estructural.

La elaboración del modelo estructural corresponde a la idealización del Pabellón, con respecto a sus elementos estructurales básicos: vigas, columnas, losas aligeradas, placas y armaduras (tijerales), mediante el software SAP2000 v15 Educacional. Además de tener en cuenta las cargas actuantes sobre la estructura según el uso y categoría del Pabellón (cargas muertas y cargas vivas).

Las vigas, columnas, armaduras (tijerales) y placas son generadas como elementos “frame”, las losas aligeradas y escaleras como elementos “shell”, se considera que la cimentación brinda características de empotramiento a la base del edificio.

Los elementos de características no estructurales como *la tabiquería*: muros de ladrillo arcilla, muros de ladrillo pandereta y muros “drywall”; cobertura de teja, machihembrado, vigas de madera y correas de madera *son transformados a carga muerta* y distribuidos de manera uniforme a los elementos estructurales básicos correspondientes.

Todos los elementos “frame” han sido ingresados al software SAP2000 v15.00 Educacional, mediante su módulo “Section designer”, el cual permite dibujar cualquier forma de sección, asignar el acero de refuerzo y los materiales correspondientes a concreto armado, según sus características no lineales. Se considera el confinamiento de las secciones de concreto armado según el modelo de Mander, el cual toma en cuenta tanto el refuerzo longitudinal como el transversal (estribos) y también su disposición. Esto permite obtener diagramas de esfuerzo - deformación para cada sección de concreto armado, donde se puede observar un aumento considerable, tanto de la resistencia como de la deformación unitaria con respecto al concreto no confinado.

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

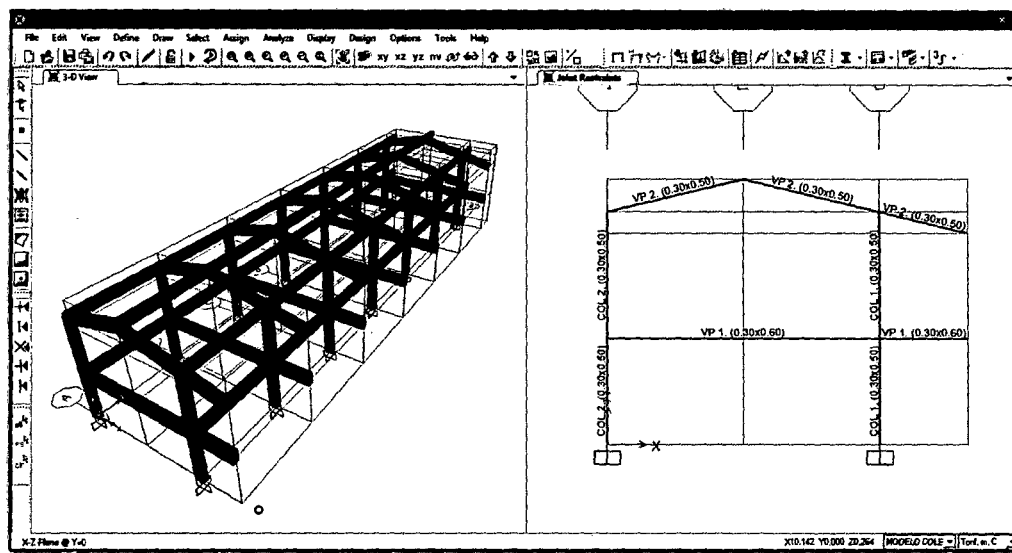


FIGURA 3.07. Modelo estructural en Sap2000 v15.00 del Pabellón de Educación Inicial de la I.E.E. Antonio Guillermo Urrelo - Cajamarca

D. Diagrama Momento – Curvatura y Momento – Giro.

Para poder empezar con el cálculo de la capacidad de la estructura, es necesario hacer las gráficas de momento giro se a partir de los datos de las relaciones momento curvatura obtenidos con la aplicación de la función *Section Designer* del programa *SAP 2000*, para lo cual ***se modeló las secciones correspondientes a la ubicación de las rótulas plásticas ubicadas en vigas principales, en vigas secundarias y en columnas.*** Para obtener el giro correspondiente en cada punto representativo del diagrama Momento Giro, y como ya se definió anteriormente, se multiplico cada valor de la curvatura por la longitud de cada rótula plástica (LP), que está dada por la siguiente fórmula:

$$L_p = 0.5xh \quad (3.3)$$

Donde:

Lp = Longitud de rótula plástica.

h = Peralte del elemento.

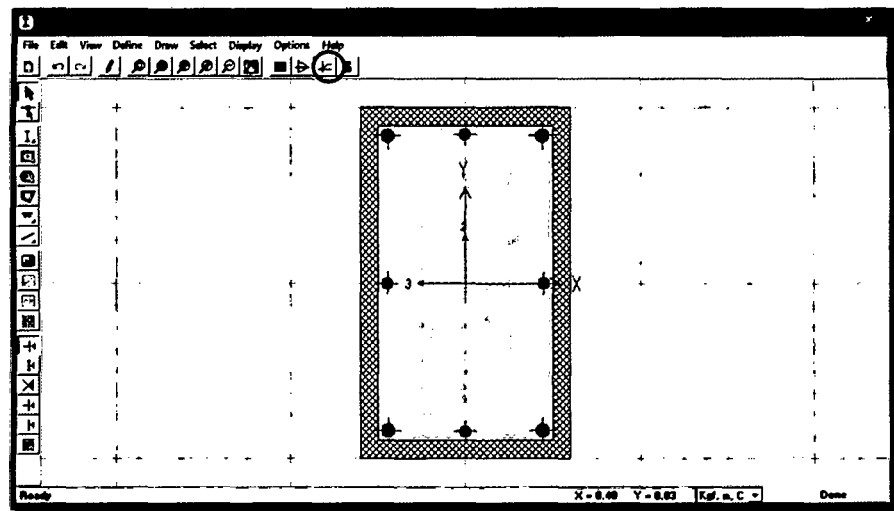
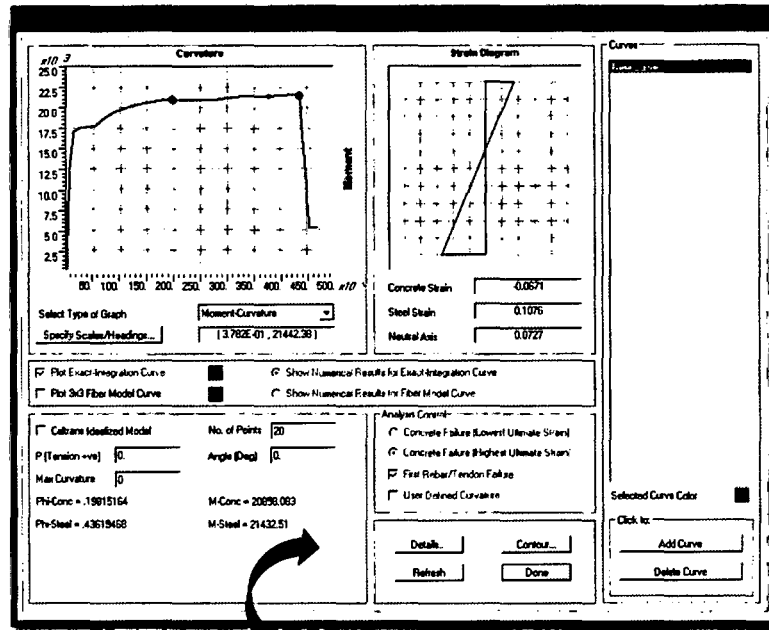


FIGURA 3.08. Diagrama de Momento – Curvatura generado mediante SAP2000

1. Diagrama de momento Giro para Vigas.

A continuación 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.

PORTICOS PRINCIPALES – PRIMER NIVEL

(VP 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107 – Sección Típica)

Los pórticos principales del primer nivel se encuentran ubicados según el plano adjunto del anexo de la página 137.

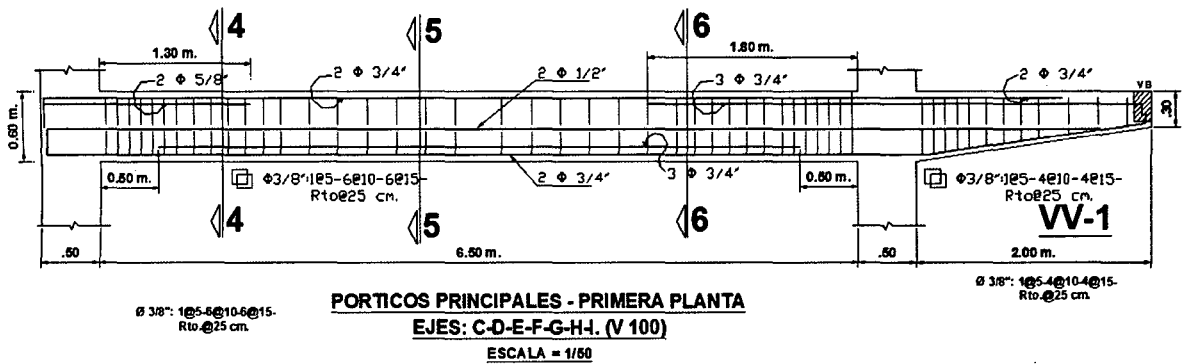


FIGURA 3.09. Detalle de pórtico principal de primer nivel.

- **DIAGRAMA DE MOMENTO DE GIRO DEL PORTICO PRINCIPAL – SECCIÓN 4 – 4**

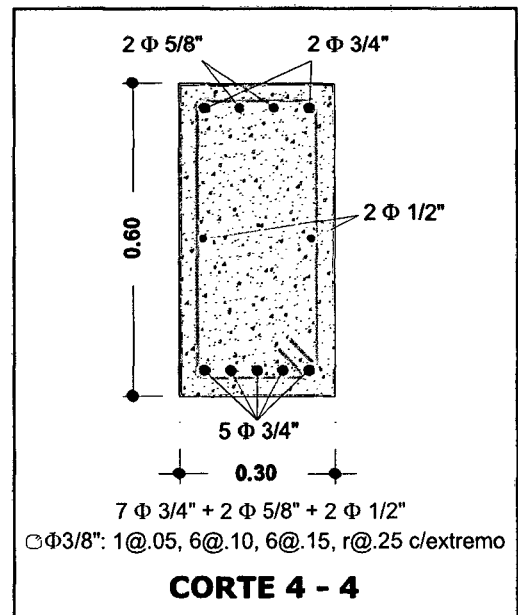
TABLA 3.18. Datos para obtención de diagrama de momento de Giro: a) Datos de la viga de sección 4-4. b) Datos obtenidos en Sap2000 sección 4-4. c) Datos de la relación de momento curvatura y obtención del giro en vigas de Sección 4-4.

Descripción	Peralte (h)	Base (b)
Sección 4 - 4	0.60 m	0.30 m

(a)

RESULTADOS DE SAP2000	
$\phi_y(\text{Initial})$	0.006786
My	20.4503
ϕ_{max}	0.5388
Mmax	32.5717
ϕ_{concrete}	0.1788
Mconcrete	29.9325
ϕ_{steel}	N/A
Msteel	N/A

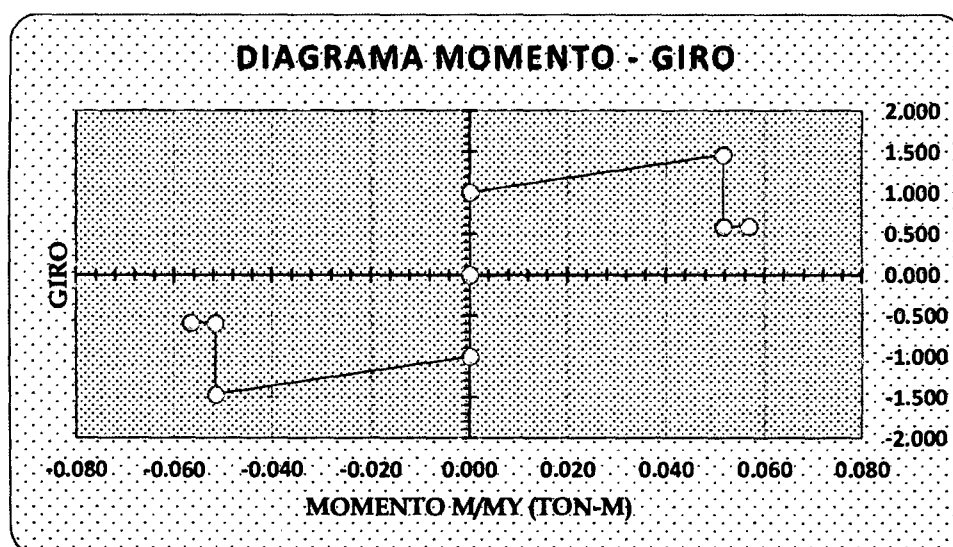
(b)



(d)

PUNTO	MOMENTO	CURVATURA	Lp	GIRO	M/My	ϕ/ϕ_y
- E	-31.808	-0.189	0.300	-0.057	-0.587	-27.883
- D	-30.717	-0.172	0.300	-0.052	-0.587	-25.348
- C	-30.030	-0.172	0.300	-0.052	-1.468	-25.348
- B	-28.990	0.000	0.300	0.000	-1.000	0.000
A	0.000	0.000	0.300	0.000	0.000	0.000
B	28.990	0.000	0.300	0.000	1.000	0.000
C	30.030	0.172	0.300	0.052	1.468	25.348
D	30.717	0.172	0.300	0.052	0.587	25.348
E	31.808	0.189	0.300	0.057	0.587	27.883

(c)



(e)

FIGURA 3.10. Información de la viga de sección 4-4: d) Detalle de viga de Sección 4-4 de pórtico principal del primer nivel. e) Diagrama de momento de giro de la viga de Sección 4-4.

• **DIAGRAMA DE MOMENTO DE GIRO DEL PORTICO PRINCIPAL – SECCIÓN 5 – 5**

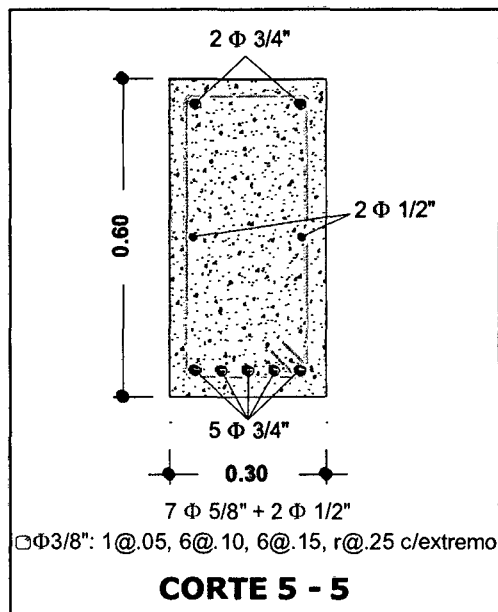
TABLA 3.19. Datos para obtención de diagrama de momento de Giro: a) Datos de la viga de sección 5-5. b) Datos obtenidos en Sap2000 de la viga de sección 5-5. c) Datos de la relación de momento curvatura y obtención del giro en vigas de Sección 5-5.

Descripción	Peralte (h)	Base (b)
Sección 5 - 5	0.60 m	0.30 m

(a)

RESULTADOS DE SAP2000	
$\phi_y(\text{Initial})$	0.005545
M_y	24.8558
ϕ_{max}	0.3852
M_{max}	9.4752
ϕ_{concrete}	0.1311
M_{concrete}	31.983
ϕ_{steel}	N/A
M_{steel}	N/A

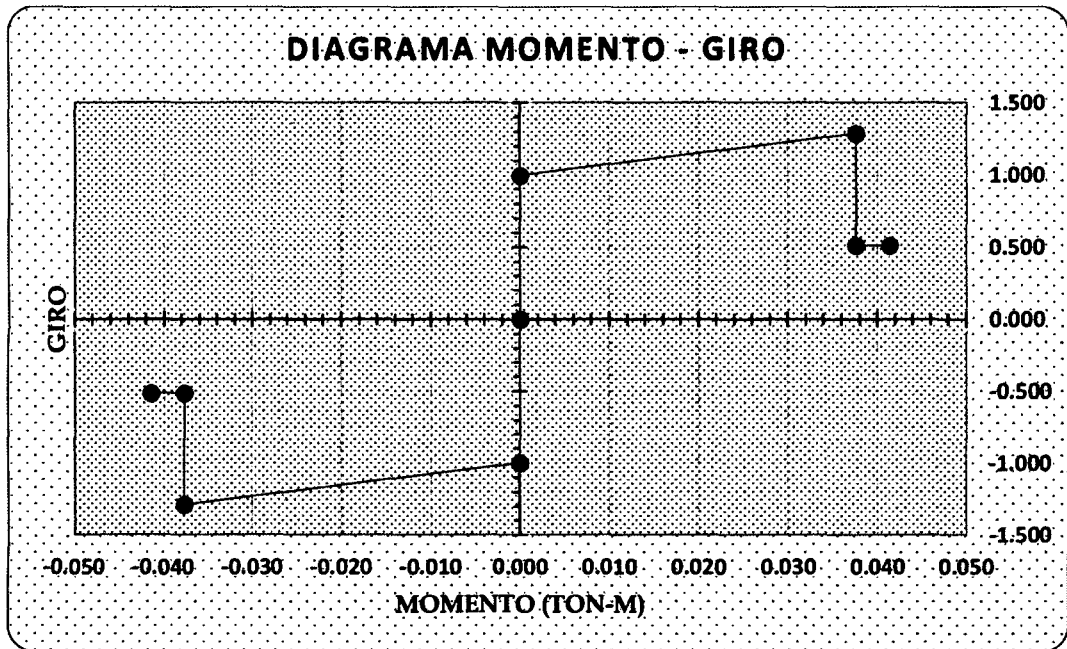
(b)



(d)

PUNTO	MOMENTO	CURVATURA	L_p	GIRO	M/M_y	ϕ/ϕ_y
- E	-9.475	-0.138	0.300	-0.041	-0.515	-24.907
- D	-9.498	-0.126	0.300	-0.038	-0.515	-22.643
- C	-31.983	-0.126	0.300	-0.038	-1.287	-22.643
- B	-33.607	0.000	0.300	0.000	-1.000	0.000
A	0.000	0.000	0.300	0.000	0.000	0.000
B	33.607	0.000	0.300	0.000	1.000	0.000
C	31.983	0.126	0.300	0.038	1.287	22.643
D	9.498	0.126	0.300	0.038	0.515	22.643
E	9.475	0.138	0.300	0.041	0.515	24.907

(c)



(d)

FIGURA 3.11. Información de la viga de sección 5-5: c) Detalle de la viga de Sección 5-5 de pórtico principal del primer nivel. d) Diagrama de momento de giro de viga de sección 5-5.

• **DIAGRAMA DE MOMENTO DE GIRO DEL PORTICO PRINCIPAL –
SECCIÓN 6 – 6**

TABLA 3.20. Datos para obtención de diagrama de momento de Giro: a) Datos de la viga de sección 6-6. b) Datos obtenidos en Sap2000 de la viga de sección 6-6. c) Datos de la relación de momento curvatura y obtención del giro en vigas de Sección 6-6.

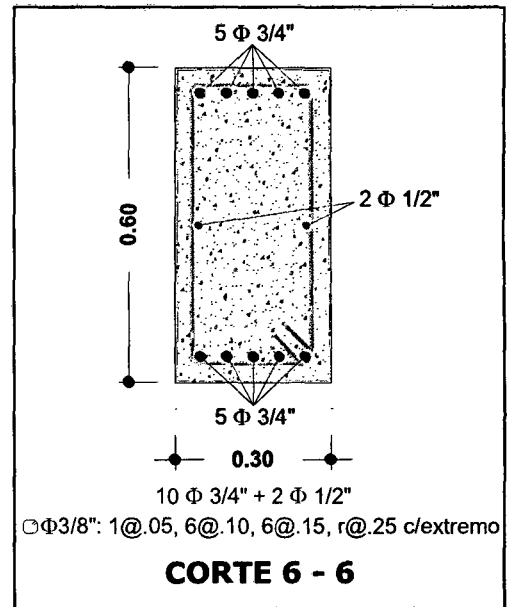
Descripción	Peralte (h)	Base (b)
Sección 6 - 6	0.60 m	0.30 m

(a)

**RESULTADOS DE
SAP2000**

$\phi_y(\text{Initial})$	0.005288
M_y	26.1968
ϕ_{max}	0.38
M_{max}	4.1262
ϕ_{concrete}	0.2185
M_{concrete}	44.4845
ϕ_{steel}	0.3021
M_{steel}	41.5473

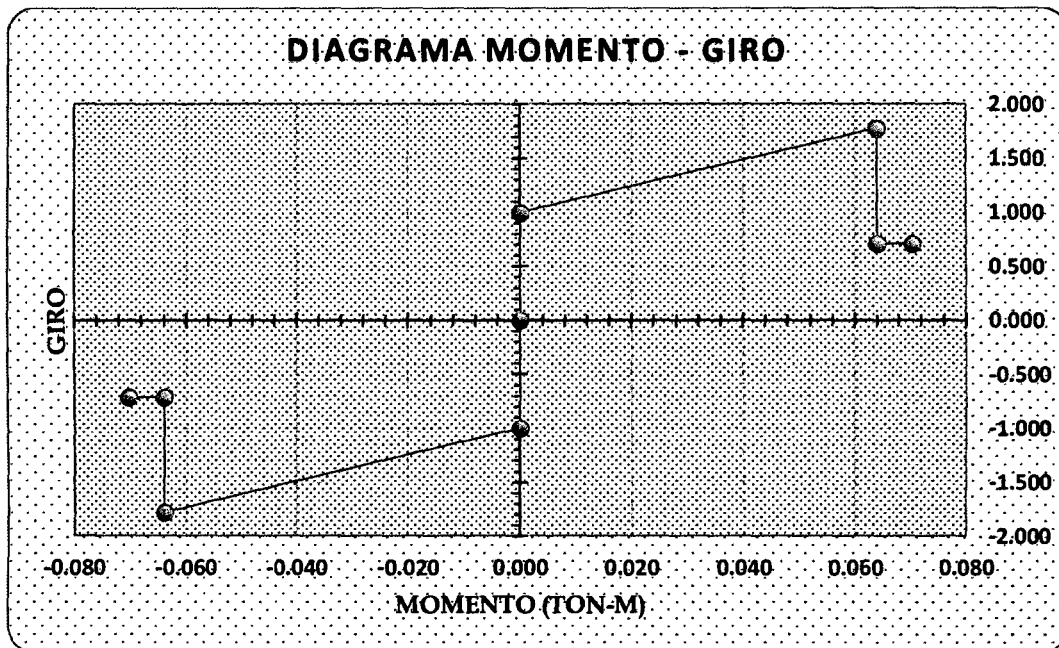
(b)



(d)

PUNTO	MOMENTO	CURVATURA	L_p	GIRO	M/M_y	ϕ/ϕ_y
- E	-4.126	-0.235	0.300	-0.070	-0.712	-44.352
- D	-4.026	-0.213	0.300	-0.064	-0.712	-40.320
- C	-46.650	-0.213	0.300	-0.064	-1.781	-40.320
- B	-33.384	0.000	0.300	0.000	-1.000	0.000
A	0.000	0.000	0.300	0.000	0.000	0.000
B	33.384	0.000	0.300	0.000	1.000	0.000
C	46.650	0.213	0.300	0.064	1.781	40.320
D	4.026	0.213	0.300	0.064	0.712	40.320
E	4.126	0.235	0.300	0.070	0.712	44.352

(c)



(e)

FIGURA 3.12. Información de viga de sección 6-6: d) Detalle de la viga de sección 6-6 del pórtico principal del primer nivel. e) Diagrama de momento de Giro de viga de sección 6-6.

PORTICOS PRINCIPALES – SEGUNDO NIVEL

(VP 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207 – Sección Típica)

Los pórticos principales del segundo nivel se encuentran ubicados según el plano adjunto del anexo de la página 137.

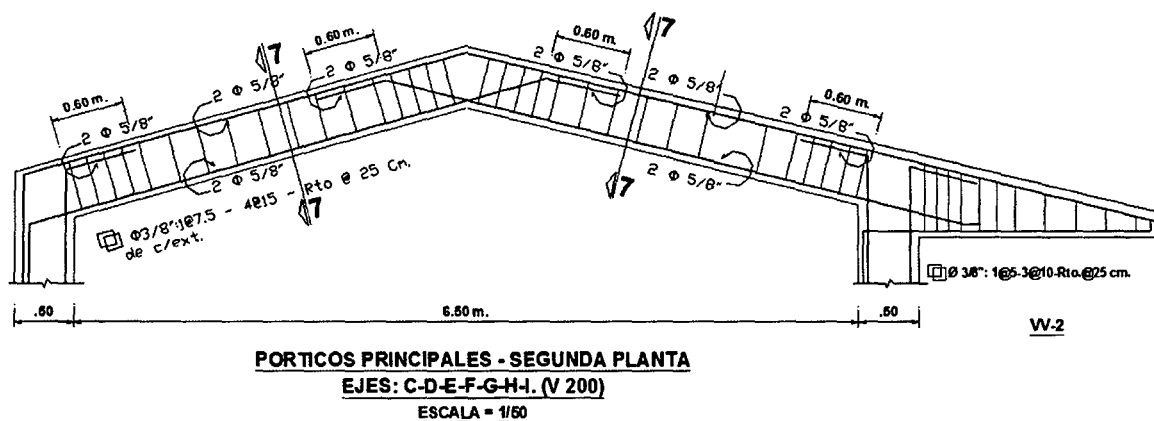


FIGURA 3.13. Detalle de pórtico principal de segundo nivel.

• **DIAGRAMA DE MOMENTO DE GIRO DEL PORTICO PRINCIPAL – SECCIÓN 7 – 7**

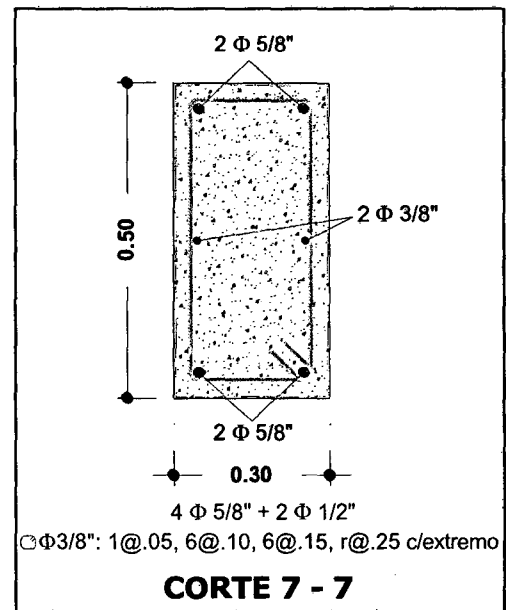
TABLA 3.21. Datos para obtención de diagrama de momento de Giro: a) Datos de la viga de sección 7-7. b) Datos obtenidos en Sap2000 de la viga de sección 7-7. c) Datos de la relación de momento curvatura y obtención del giro en vigas de Sección 7-7.

Descripción	Peralte (h)	Base (b)
Sección 7 - 7	0.50 m	0.30 m

(a)

RESULTADOS DE SAP2000	
$\phi_y(Initial)$	0.005749
My	7.2885
ϕ_{max}	0.4667
Mmax	1.8646
$\phi_{concrete}$	N/A
Mconcrete	N/A
ϕ_{steel}	0.2954
Msteel	8.4992

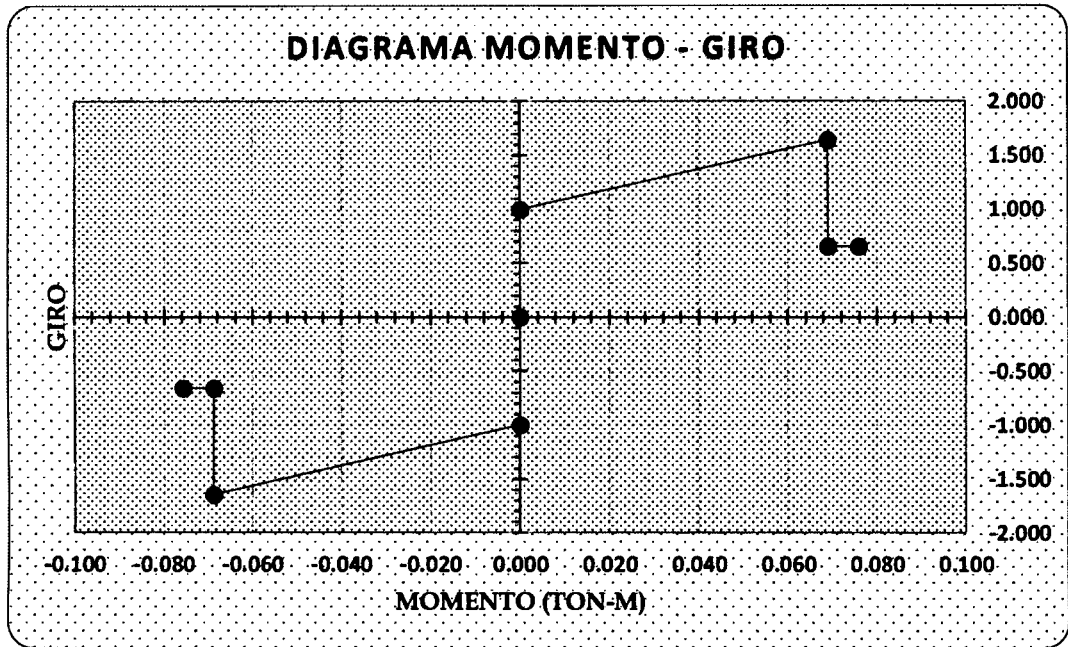
(b)



(d)

PUNTO	MOMENTO	CURVATURA	Lp	GIRO	M/My	ϕ/ϕ_y
- E	-1.865	-0.303	0.250	-0.076	-0.658	-52.781
- D	-1.760	-0.276	0.250	-0.069	-0.658	-47.982
- C	-11.983	-0.276	0.250	-0.069	-1.644	-47.982
- B	-8.669	0.000	0.250	0.000	-1.000	0.000
A	0.000	0.000	0.250	0.000	0.000	0.000
B	8.669	0.000	0.250	0.000	1.000	0.000
C	11.983	0.276	0.250	0.069	1.644	47.982
D	1.760	0.276	0.250	0.069	0.658	47.982
E	1.865	0.303	0.250	0.076	0.658	52.781

(c)



(e)

FIGURA 3.14. Información de viga de sección 7-7: d) Detalle de la viga de sección 7-7 del pórtico principal del segundo nivel. e) Diagrama de momento de Giro de viga de sección 7-

7.

VIGAS SECUNDARIAS – PRIMER NIVEL (VS 101, 102 – Sección Típica)

Los pórticos secundarios del primer nivel se encuentran ubicados según el plano adjunto del anexo de la página 137.

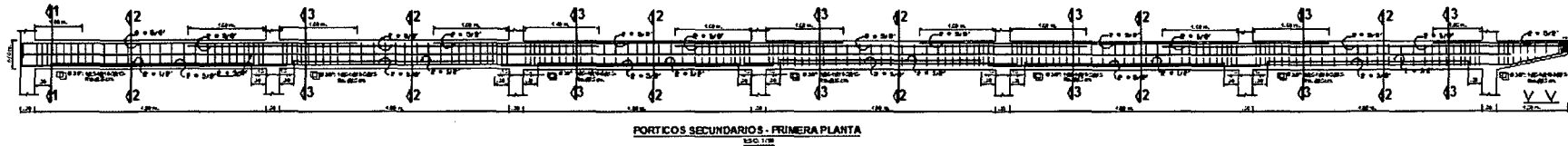


FIGURA 3.15. Detalle de vigas secundarias de primer nivel.

• **DIAGRAMA DE MOMENTO DE GIRO DE VIGA SECUNDARIA DE SECCIÓN 1 – 1**

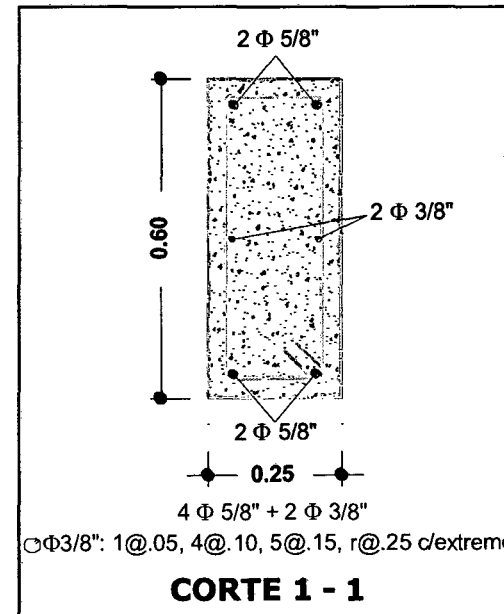
Descripción	Peralte (h)	Base (b)
Sección 1 - 1	0.60 m	0.25 m

(a)

RESULTADOS DE SAP2000

$\phi_y(\text{Initial})$	0.004771
M_y	8.6565
ϕ_{max}	0.3829
M_{max}	2.3011
ϕ_{concrete}	N/A
M_{concrete}	N/A
ϕ_{steel}	0.2503
M_{steel}	13.2268

(b)

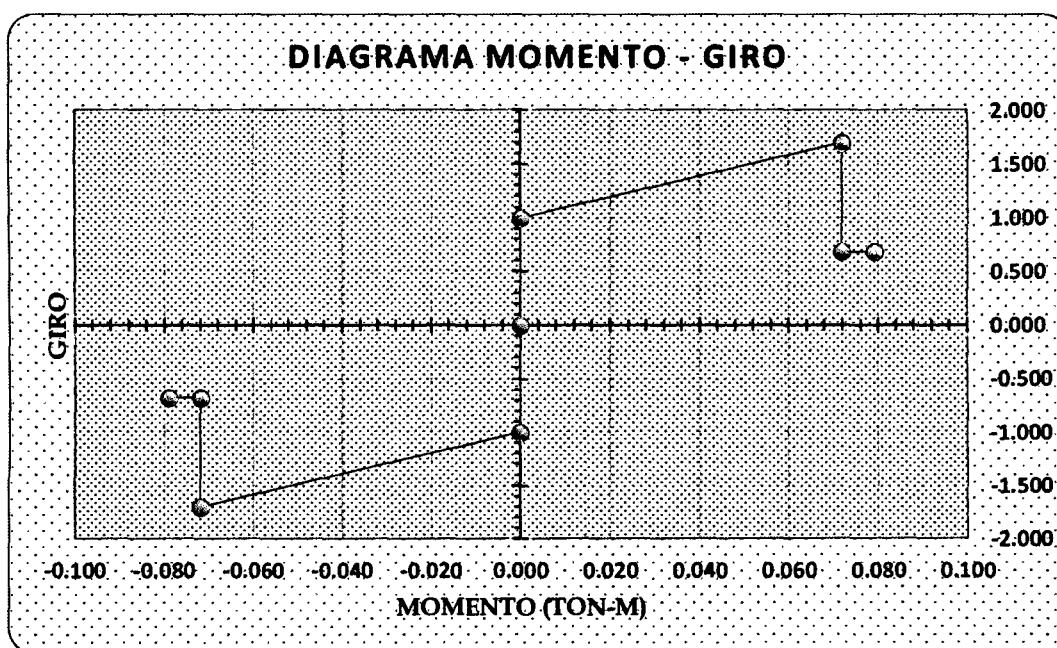


(d)

TABLA 3.22. Datos para obtención de diagrama de momento de Giro: a) Datos de la viga de sección 1-1. b) Datos obtenidos en Sap2000 de la viga de sección 1-1. c) Datos de la relación de momento curvatura y obtención del giro en vigas de Sección 1-1.

PUNTO	MOMENTO	CURVATURA	Lp	GIRO	M/My	ϕ/ϕ_y
-E	-2.301	-0.263	0.300	-0.079	-0.679	-55.226
-D	-2.197	-0.240	0.300	-0.072	-0.679	-50.205
-C	-14.692	-0.240	0.300	-0.072	-1.697	-50.205
-B	-10.554	0.000	0.300	0.000	-1.000	0.000
A	0.000	0.000	0.300	0.000	0.000	0.000
B	10.554	0.000	0.300	0.000	1.000	0.000
C	14.692	0.240	0.300	0.072	1.697	50.205
D	2.197	0.240	0.300	0.072	0.679	50.205
E	2.301	0.263	0.300	0.079	0.679	55.226

(c)



(e)

FIGURA 3.16. Información de viga de sección 1-1: d) Detalle de la viga de sección 1-1 del pórtico secundario de primer nivel. e) Diagrama de momento de Giro de viga secundaria de Sección 1-1.

• **DIAGRAMA DE MOMENTO DE GIRO DE VIGA SECUNDARIA – SECCIÓN 2 – 2**

TABLA 3.23. Datos para obtención de diagrama de momento de Giro: a) Datos de la viga de sección 2-2. b) Datos obtenidos en Sap2000 de la viga de sección 2-2. c) Datos de la relación de momento curvatura y obtención del giro en vigas Sección 2-2.

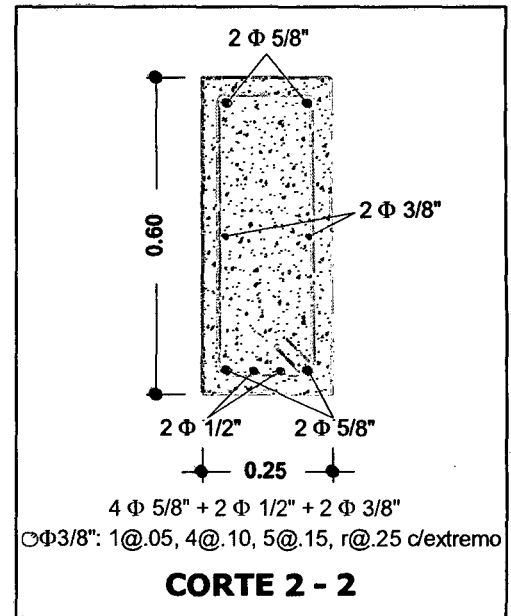
Descripción	Peralte (h)	Base (b)
Sección 2 -2	0.60 m	0.25 m

(a)

RESULTADOS DE SAP2000

$\phi_y(\text{Initial})$	0.005081
M_y	12.7119
ϕ_{max}	0.4334
M_{max}	18.4636
ϕ_{concrete}	0.245
M_{concrete}	19.3786
ϕ_{steel}	N/A
M_{steel}	N/A

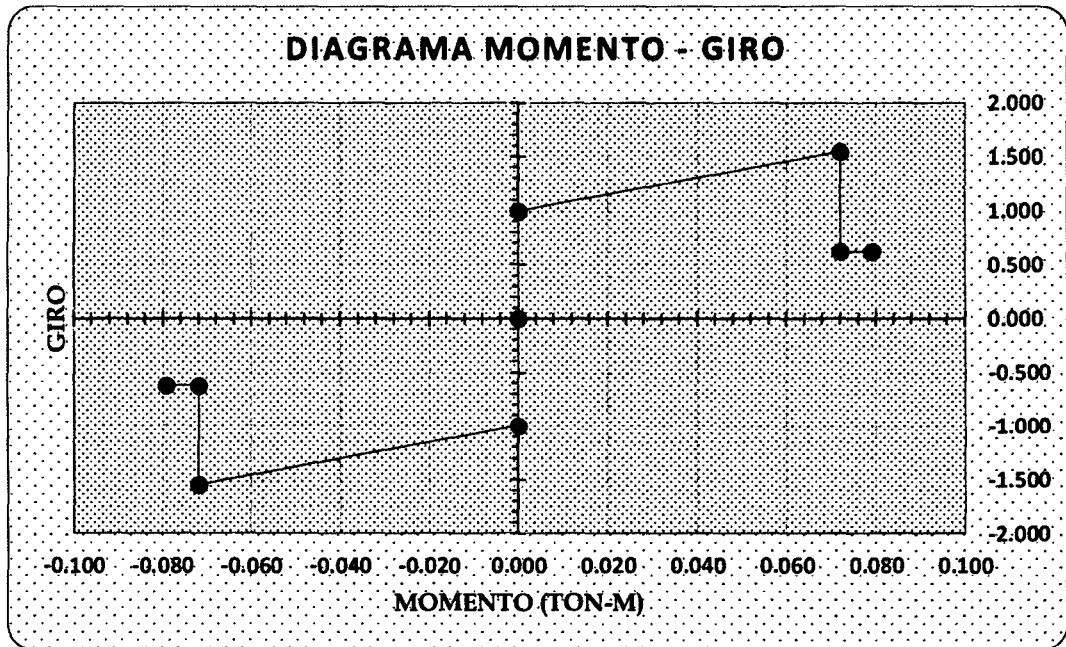
(b)



(d)

PUNTO	MOMENTO	CURVATURA	L_p	GIRO	M/M_y	ϕ/ϕ_y
-E	-18.464	-0.264	0.300	-0.079	-0.618	-51.941
-D	-18.137	-0.240	0.300	-0.072	-0.618	-47.219
-C	-19.643	-0.240	0.300	-0.072	-1.545	-47.219
-B	-16.275	0.000	0.300	0.000	-1.000	0.000
A	0.000	0.000	0.300	0.000	0.000	0.000
B	16.275	0.000	0.300	0.000	1.000	0.000
C	19.643	0.240	0.300	0.072	1.545	47.219
D	18.137	0.240	0.300	0.072	0.618	47.219
E	18.464	0.264	0.300	0.079	0.618	51.941

(c)



(e)

FIGURA 3.17. Información de viga de sección 2-2: d) Detalle de la viga de sección 2-2 de viga secundaria del primer nivel. e) Diagrama de momento de Giro de viga secundaria de sección 2-2.

• **DIAGRAMA DE MOMENTO DE GIRO VIGA SECUNDARIA – SECCIÓN 3**
– 3

TABLA 3.24. Datos para obtención de diagrama de momento de Giro: a) Datos de la viga sección 3-3. b) Datos obtenidos en Sap2000 de la viga de sección 3-3. c) Datos de la relación de momento curvatura y obtención del giro en vigas de Sección 3-3.

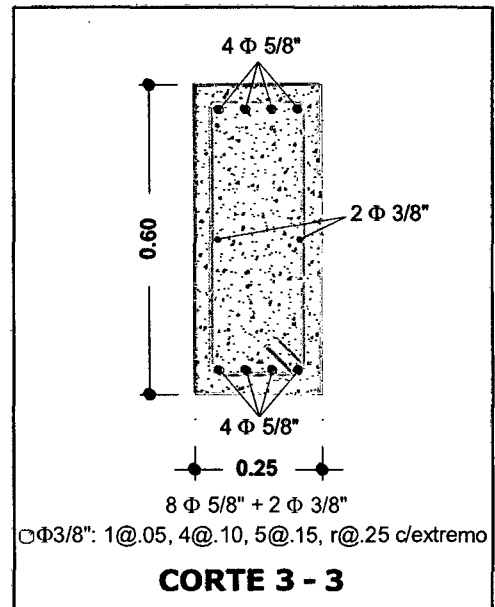
Descripción	Peralte (h)	Base (b)
Sección 3 - 3	0.60 m	0.25 m

(a)

**RESULTADOS DE
SAP2000**

$\phi_y(\text{Initial})$	0.006366
M_y	12.409
ϕ_{max}	0.4667
M_{max}	1.8561
ϕ_{concrete}	0.3585
M_{concrete}	21.6295
ϕ_{steel}	0.3674
M_{steel}	20.8794

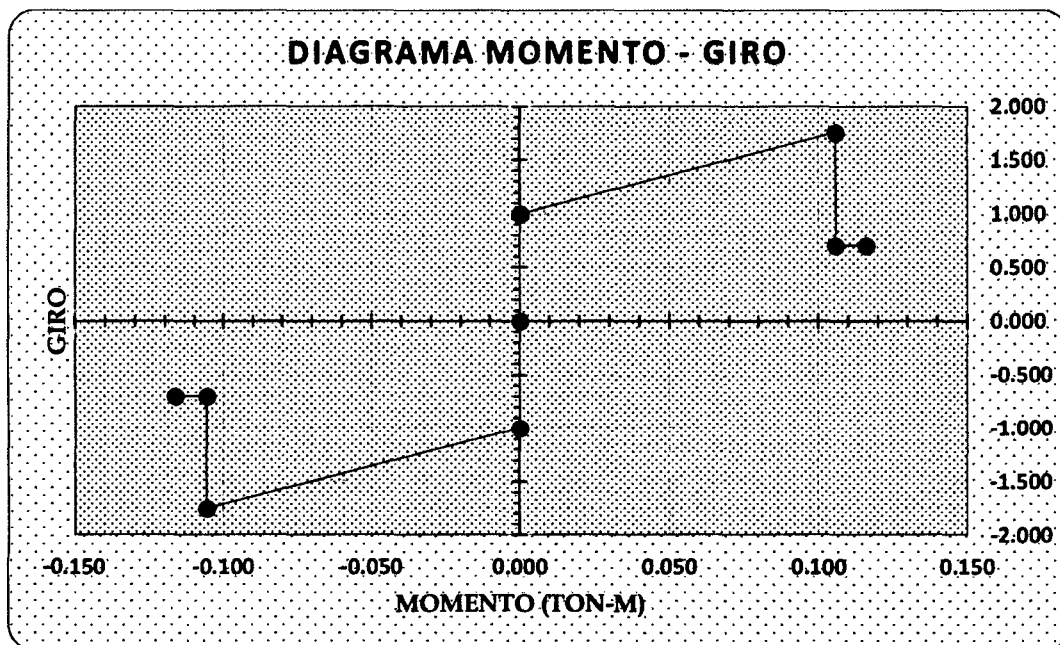
(b)



(d)

PUNTO	MOMENTO	CURVATURA	L_p	GIRO	M/M_y	ϕ/ϕ_y
-E	-1.856	-0.387	0.300	-0.116	-0.700	-60.846
-D	-1.809	-0.352	0.300	-0.106	-0.700	-55.315
-C	-21.708	-0.352	0.300	-0.106	-1.749	-55.315
-B	-15.565	0.000	0.300	0.000	-1.000	0.000
A	0.000	0.000	0.300	0.000	0.000	0.000
B	15.565	0.000	0.300	0.000	1.000	0.000
C	21.708	0.352	0.300	0.106	1.749	55.315
D	1.809	0.352	0.300	0.106	0.700	55.315
E	1.856	0.387	0.300	0.116	0.700	60.846

(c)



(e)

FIGURA 3.18. Información de la viga de sección 3-3: d) Detalle de la viga de Sección 3-3 del pórtico secundario del primer nivel. e) Diagrama de momento de Giro de viga secundaria de sección 3-3.

VIGAS SECUNDARIAS – SEGUNDO NIVEL (VS 102, 102, 103 – Sección Típica)

Los pórticos secundarios del segundo nivel se encuentran ubicados según el plano adjunto del anexo de la página 137.

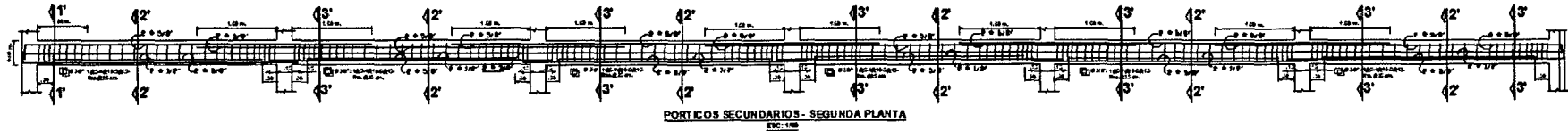


FIGURA 3.19. Detalle de viga secundaria de segundo nivel.

- **DIAGRAMA DE MOMENTO DE GIRO DE VIGA SECUNDARIA DE SECCIÓN 1' – 1'**

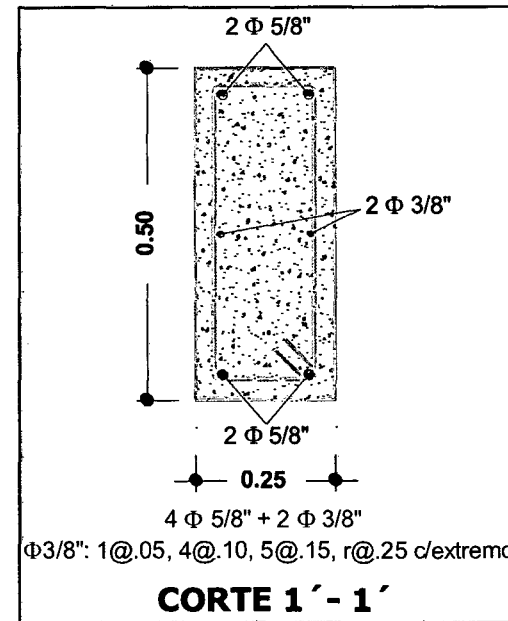
Descripción	Peralte (h)	Base (b)
Seccion 1' - 1'	0.50 m	0.25 m

(a)

RESULTADOS DE SAP2000

$\phi_y(\text{Initial})$	0.005931
My	7.0256
ϕ_{max}	0.4731
Mmax	1.8651
ϕ_{concrete}	N/A
Mconcrete	N/A
ϕ_{steel}	0.3264
Msteel	10.689

(b)

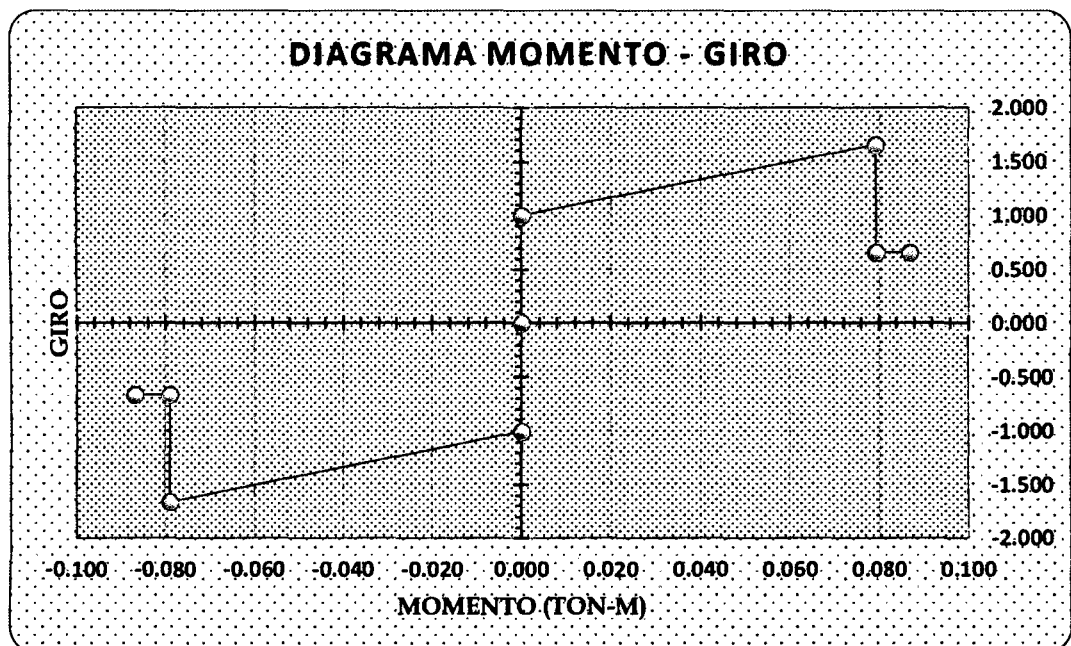


(d)

TABLA 3.25. Datos para obtención de diagrama de momento de Giro: a) Datos de la viga de sección 1'-1'. b) Datos obtenidos en Sap2000 de la viga de sección 1'-1'. c) Datos de la relación de momento curvatura y obtención del giro en vigas de sección 1'-1'.

PUNTO	MOMENTO	CURVATURA	Lp	GIRO	M/My	ϕ/ϕ_y
-E	-1.865	-0.348	0.250	-0.087	-0.664	-58.657
-D	-1.781	-0.316	0.250	-0.079	-0.664	-53.325
-C	-11.659	-0.316	0.250	-0.079	-1.660	-53.325
-B	-8.620	0.000	0.250	0.000	-1.000	0.000
A	0.000	0.000	0.250	0.000	0.000	0.000
B	8.620	0.000	0.250	0.000	1.000	0.000
C	11.659	0.316	0.250	0.079	1.660	53.325
D	1.781	0.316	0.250	0.079	0.664	53.325
E	1.865	0.348	0.250	0.087	0.664	58.657

(c)



(e)

FIGURA 3.20. Información de viga: d) Detalle de Sección 1'-1' de viga secundaria. e) Diagrama de momento de Giro de viga secundaria de sección 1'-1'.

• **DIAGRAMA DE MOMENTO DE GIRO DE VIGA SECUNDARIA – SECCIÓN 2' – 2'**

TABLA 3.26. Datos para obtención de diagrama de momento de Giro: a) Datos de la viga de sección 2'-2'. b) Datos obtenidos en Sap2000 de la viga de sección 2'-2'. c) Datos de la relación de momento curvatura y obtención del giro en vigas Sección 2'-2'.

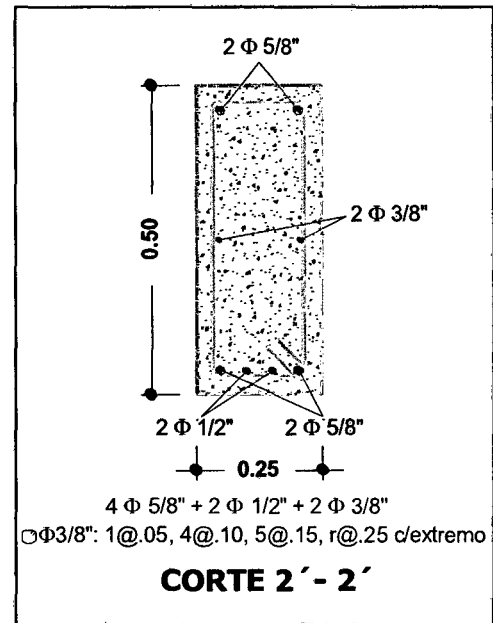
Descripción	Peralte (h)	Base (b)
Sección 2' - 2	0.50 m	0.25 m

(a)

RESULTADOS DE SAP2000

$\phi_y(\text{Initial})$	0.006341
M_y	10.2603
ϕ_{max}	0.5617
M_{max}	14.9629
ϕ_{concrete}	0.2743
M_{concrete}	15.2315
ϕ_{steel}	N/A
M_{steel}	N/A

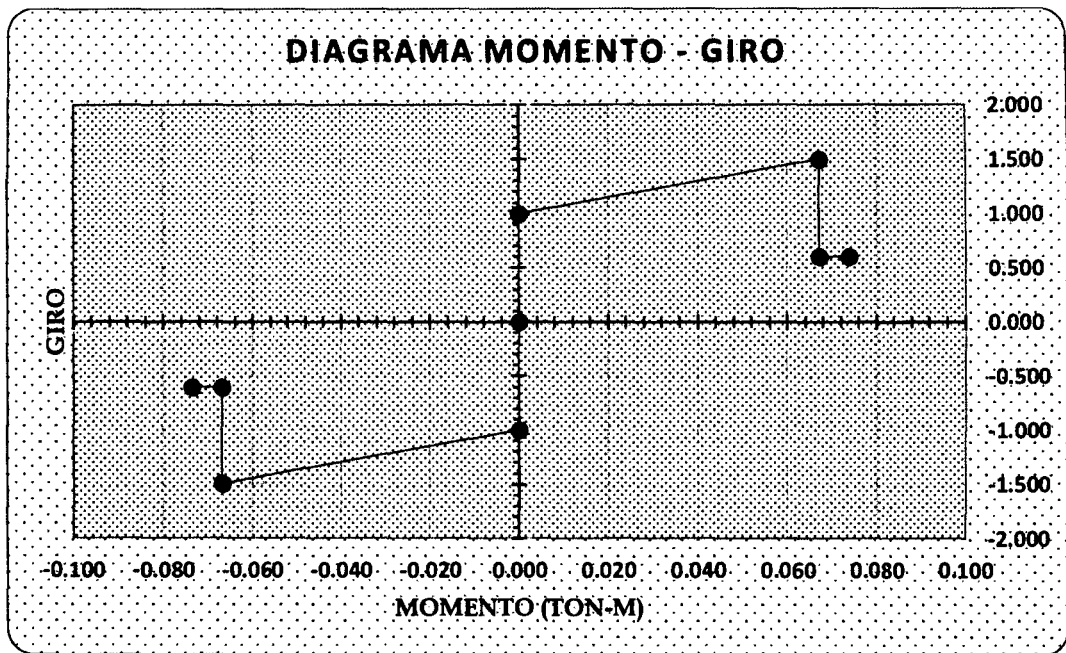
(b)



(d)

PUNTO	MOMENTO	CURVATURA	Lp	GIRO	M/My	ϕ/ϕ_y
- E	-14.963	-0.295	0.250	-0.074	-0.599	-46.484
- D	-14.321	-0.268	0.250	-0.067	-0.599	-42.258
- C	-15.372	-0.268	0.250	-0.067	-1.498	-42.258
- B	-12.993	0.000	0.250	0.000	-1.000	0.000
A	0.000	0.000	0.250	0.000	0.000	0.000
B	12.993	0.000	0.250	0.000	1.000	0.000
C	15.372	0.268	0.250	0.067	1.498	42.258
D	14.321	0.268	0.250	0.067	0.599	42.258
E	14.963	0.295	0.250	0.074	0.599	46.484

(c)



(e)

FIGURA 3.21. Información de viga de sección 2'-2': d) Detalle de la viga de sección 2'-2' de viga secundaria del segundo nivel. e) Diagrama de momento de Giro de viga secundaria de sección 2'-2'.

• **DIAGRAMA DE MOMENTO DE GIRO DE VIGA SECUNDARIA – SECCIÓN 3' – 3'**

TABLA 3.27. Datos para obtención de diagrama de momento de Giro: a) Datos de sección 3'-3'. b) Datos obtenidos en Sap2000 de la viga de sección 3'-3'. c) Datos de la relación de momento curvatura y obtención del giro en vigas Sección 3'-3'.

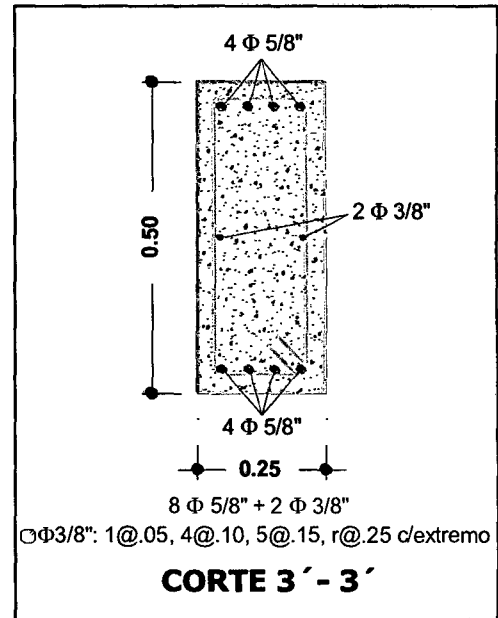
Descripción	Peralte (h)	Base (b)
Sección 3'-3	0.50 m	0.25 m

(a)

RESULTADOS DE SAP2000

$\phi_y(\text{Initial})$	0.006366
My	12.409
ϕ_{max}	0.4667
Mmax	1.8561
ϕ_{concrete}	0.3585
Mconcrete	21.6295
ϕ_{steel}	0.3674
Msteel	20.8794

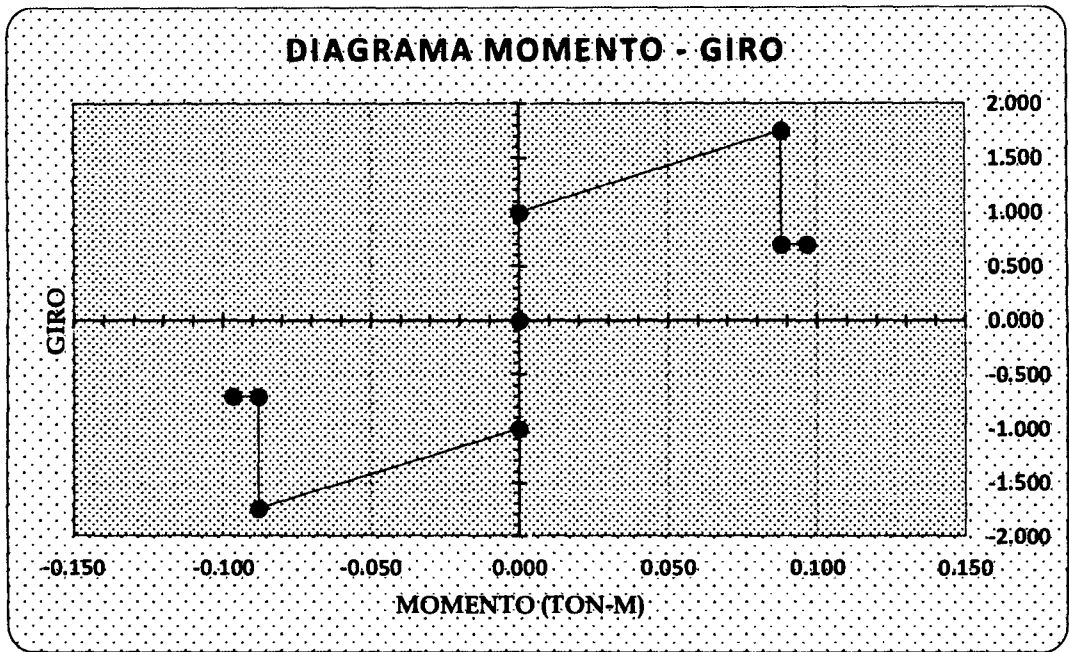
(b)



(d)

PUNTO	MOMENTO	CURVATURA	Lp	GIRO	M/My	ϕ/ϕ_y
-E	-1.856	-0.387	0.250	-0.097	-0.700	-60.846
-D	-1.809	-0.352	0.250	-0.088	-0.700	-55.315
-C	-21.708	-0.352	0.250	-0.088	-1.749	-55.315
-B	-15.565	0.000	0.250	0.000	-1.000	0.000
A	0.000	0.000	0.250	0.000	0.000	0.000
B	15.565	0.000	0.250	0.000	1.000	0.000
C	21.708	0.352	0.250	0.088	1.749	55.315
D	1.809	0.352	0.250	0.088	0.700	55.315
E	1.856	0.387	0.250	0.097	0.700	60.846

(c)



(e)

FIGURA 3.22. Información de viga de sección 3'-3': d) Detalle de la viga de sección 3'-3' de viga secundaria del segundo nivel. e) Diagrama de momento de Giro de viga secundaria de sección 3'-3'.

2. Diagrama de momento Giro para Columnas.

A continuación se presentan las relaciones momento curvatura y los diagramas de momento giro de las columnas que se usarán para modelar las rótulas plásticas en el programa SAP 2000.

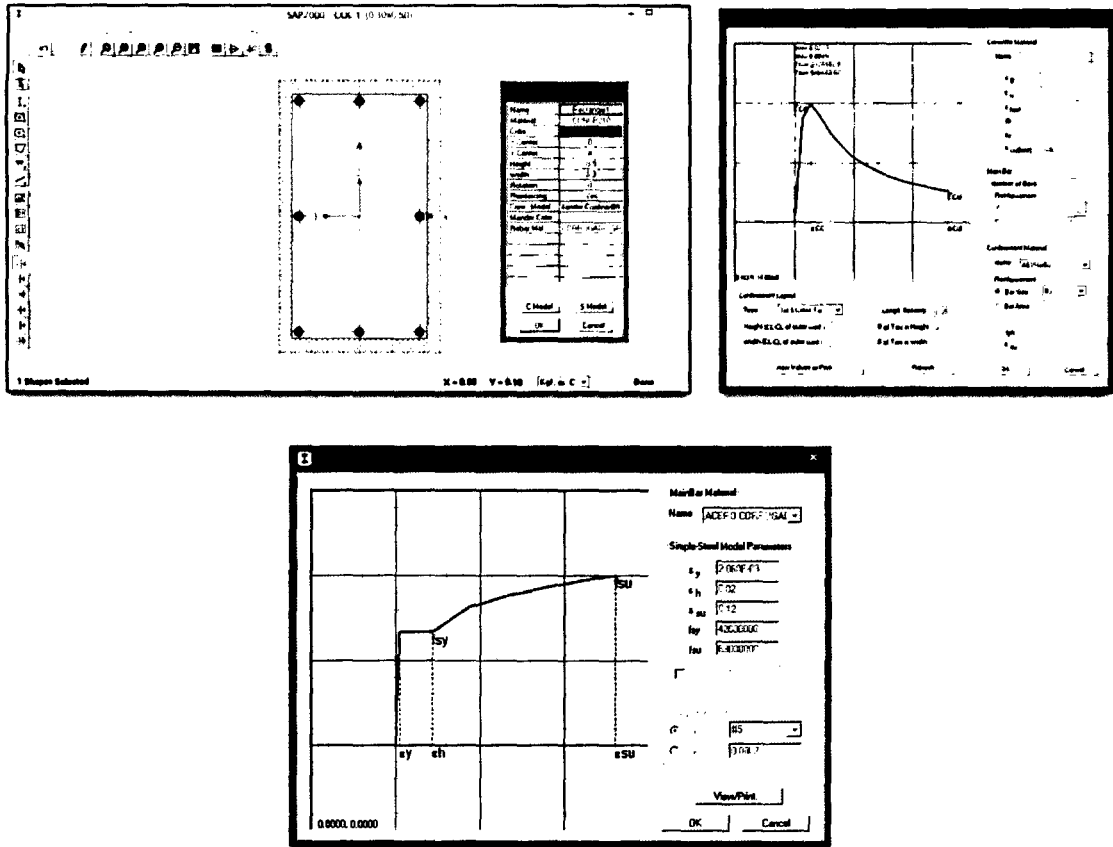


FIGURA 3.23. Definición de Secciones para elementos estructurales (Frame) en SAP2000

• **DIAGRAMA DE MOMENTO DE GIRO DE COLUMNA 1 (0.30x0.50)**

Para una fuerza Axial de 22.74 Ton

TABLA 3.28. Datos para obtención de diagrama de momento de Giro: a) Datos de sección de columna 1. b) Datos obtenidos en Sap2000 de la columna 1. c) Datos de la relación de momento curvatura y obtención del giro en Columna 1.

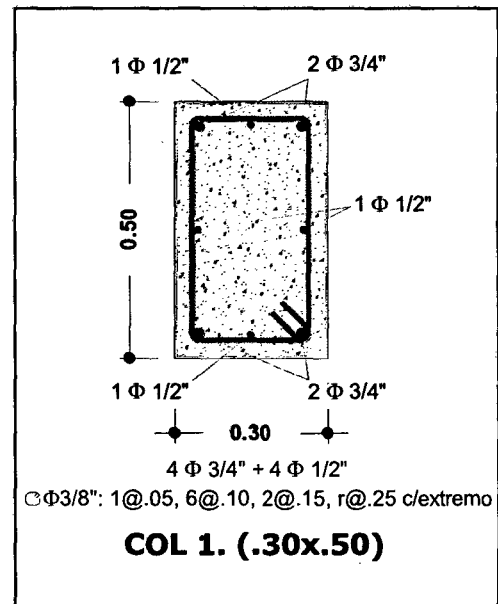
Descripción	Peralte (h)	Base (b)
COLUMNA 1	0.50 m	0.30 m

(a)

**RESULTADOS DE
SAP2000**

$\phi_y(\text{Initial})$	0.006094
M_y	11.6089
ϕ_{max}	0.4696
M_{max}	3.3589
ϕ_{concrete}	0.2883
M_{concrete}	19.3598
ϕ_{steel}	0.3638
M_{steel}	19.5122

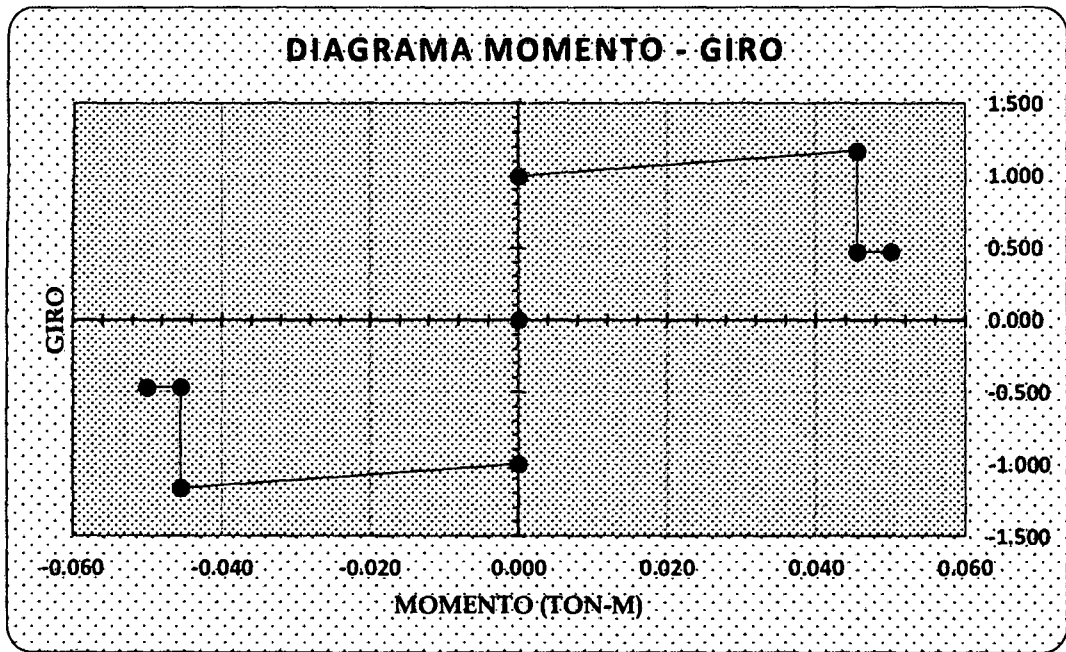
(b)



(d)

PUNTO	MOMENTO	CURVATURA	L_p	GIRO	M/M_y	ϕ/ϕ_y
-E	-3.359	-0.201	0.250	-0.050	-0.468	-28.656
-D	-3.272	-0.182	0.250	-0.046	-0.468	-26.051
-C	-19.876	-0.182	0.250	-0.046	-1.170	-26.051
-B	-14.808	0.000	0.250	0.000	-1.000	0.000
A	0.000	0.000	0.250	0.000	0.000	0.000
B	14.808	0.000	0.250	0.000	1.000	0.000
C	19.876	0.182	0.250	0.046	1.170	26.051
D	3.272	0.182	0.250	0.046	0.468	26.051
E	3.359	0.201	0.250	0.050	0.468	28.656

(c)



(e)

FIGURA 3.24. Información de columnas 1: d) Detalle de Columna 1 de pórtico principal. e) Diagrama de momento de Giro de la Columna 1.

• **DIAGRAMA DE MOMENTO DE GIRO DE COLUMNA 2 (0.30x0.50)**

Para una fuerza Axial de 20.22 Ton

TABLA 3.29. Datos para obtención de diagrama de momento de Giro: a) Datos de sección de la columna 2. b) Datos obtenidos en Sap2000 de la sección de la columna 2. c) Datos de la relación de momento curvatura y obtención del giro en Columna 2.

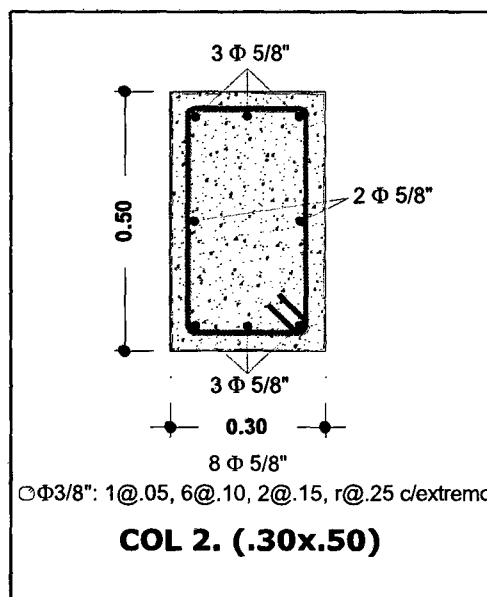
Descripción	Peralte (h)	Base (b)
COLUMNA 2	0.50 m	0.30 m

(a)

**RESULTADOS DE
SAP2000**

$\phi_y(\text{Initial})$	0.006118
My	10.7421
ϕ_{max}	0.4731
Mmax	5.1738
ϕ_{concrete}	0.2613
Mconcrete	17.4433
ϕ_{steel}	0.4141
Msteel	16.8646

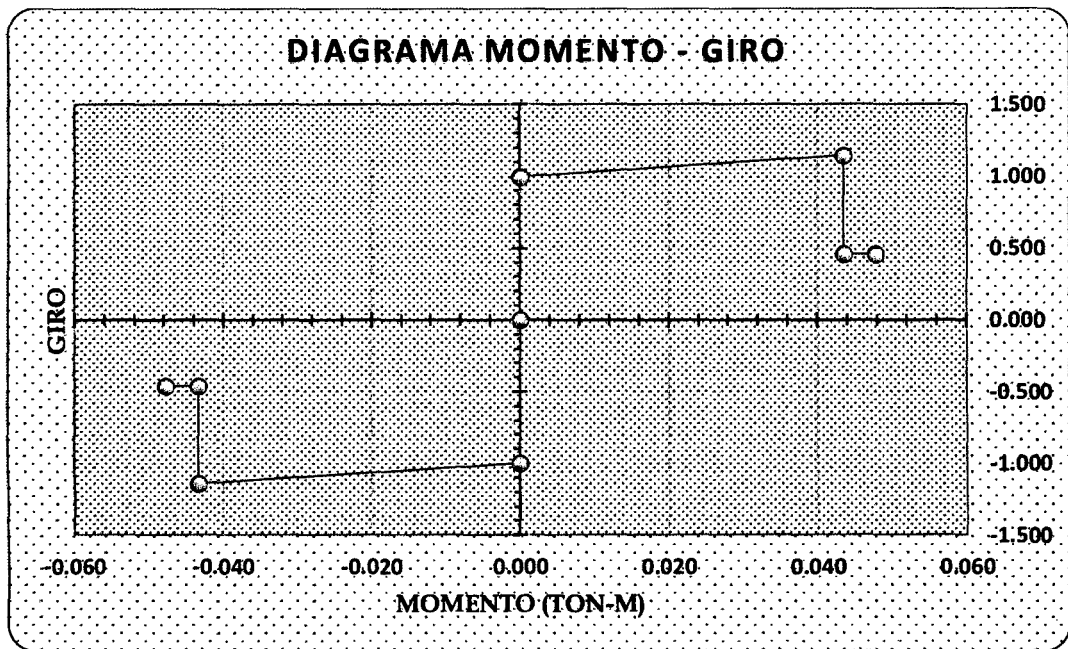
(b)



(d)

PUNTO	MOMENTO	CURVATURA	Lp	GIRO	M/My	ϕ/ϕ_y
- E	-5.174	-0.191	0.250	-0.048	-0.457	-27.624
- D	-5.143	-0.174	0.250	-0.043	-0.457	-25.113
- C	-17.511	-0.174	0.250	-0.043	-1.144	-25.113
- B	-14.255	0.000	0.250	0.000	-1.000	0.000
A	0.000	0.000	0.250	0.000	0.000	0.000
B	14.255	0.000	0.250	0.000	1.000	0.000
C	17.511	0.174	0.250	0.043	1.144	25.113
D	5.143	0.174	0.250	0.043	0.457	25.113
E	5.174	0.191	0.250	0.048	0.457	27.624

(c)



(e)

FIGURA 3.25. Información Columna 2: d) Detalle de Columna 2 del pórtico principal.
e) Diagrama de momento de Giro de Columnas 2.

En cada una de las tablas figuran los valores de los puntos de la misma forma en que son ingresados en el SAP2000 para generar las rótulas en cada elemento. En el caso de las columnas se generan 2 rótulas, puesto que en éstos elementos tenemos dos puntos vulnerables, uno en cada extremo generado por los momentos; y en las vigas 3 rótulas, ya que en los diagramas de momento ubicamos tres puntos representativos o donde aparecen los momentos máximos.

Como se observa en cada una de las tablas y sus correspondientes gráficos, tenemos puntos notables en las curvas (B, C, D y E); en términos generales son descritos a continuación:

B: Es el inicio del segmento inelástico, sucede cuando la primera fibra de acero en tracción alcanza la fluencia.

C: Aquí alcanza la capacidad resistente, sucede cuando la fibra en compresión del concreto alcanza la deformación de rotura.

D: Luego de alcanzar la capacidad resistente, la curvatura se mantiene y el momento se reduce.

E: Aquí el momento se mantiene y la curvatura aumenta hasta que la sección alcanza su máxima deformación.

El tramo inicial desde el origen hasta el punto B corresponde a la etapa elástica, antes de alcanzar el momento de fluencia en la sección. El tramo BC corresponde a la etapa inelástica, al final de la cual la sección alcanza su capacidad resistente nominal. El tramo CDE corresponde a la descarga de la sección debida a la disminución de su capacidad resistente.

E. Generación de Rótulas Plásticas.

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

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

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

Las características de cada articulación plástica asignada, se define a través de curvas fuerza versus deformación generalizadas. Los parámetros de modelación pueden representar relaciones carga-deformación o relaciones carga-razón de deformación. Esta razón de deformación se define como el cociente entre el desplazamiento horizontal experimentado por un elemento y su longitud. Típicamente la flexión se asocia con la deformación y el corte con la razón de deformación (Verdi, 2004)

1. Criterios de aceptación para deformación en elementos

El código FEMA 356 (FEMA, 2000) ha desarrollado procedimientos de modelado, criterios de aceptación y procedimientos para el análisis Pushover. Así mismo define criterios de fuerza-deformación para las articulaciones usadas en el análisis Pushover, se identifican los puntos A, B, C, D, y E que son usados para definir el comportamiento de deflexión de la articulación, además de tres puntos IO, LS y CP que son usados para definir los criterios de aceptación para la articulación. (Los puntos IO, LS y CP significan Ocupación Inmediata, Seguridad de Vida y Prevención de Colapso respectivamente.), los valores de deformación que pertenecen a cada uno de estos puntos IO, LS, CP varían dependiendo del tipo de elemento estructural así como muchos otros parámetros definidos por FEMA-356. Para identificar las respuestas límites de Ocupación Inmediata (IO), Seguridad de Vida (LS) y Prevención de Colapso (CP) en los gráficos de Fuerza – Deformación, se usará las mismas proporciones dadas en el ATC-40 y FEMA 356 que son las siguientes:

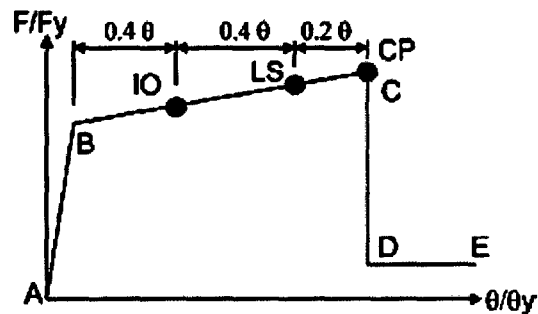


FIGURA 3.26. Identificación de respuestas límites en una viga
(FEMA, 2000)

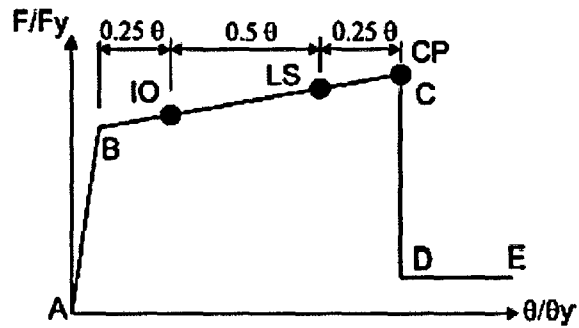


FIGURA 3.27. Identificación de respuestas límites en una Columna (FEMA, 2000)

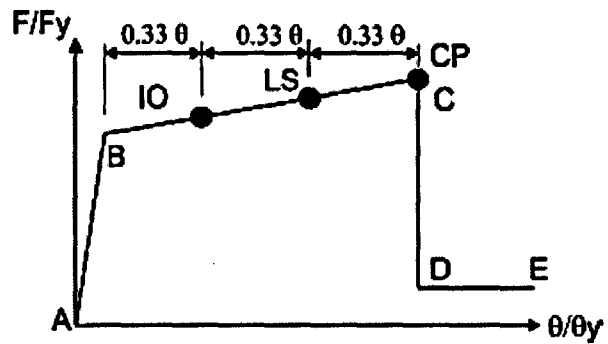


FIGURA 3.28. Identificación de respuestas límites en muro de concreto controlado por flexión (FEMA, 2000)

2. Asignación de Rótulas plásticas en vigas.

Se definen un solo tipo de articulación plástica, la que predomina a flexión ($M3$), y son asignadas al principio y final de la luz de cada viga.

Los valores de los parámetros numéricos A, B, C y D; y de aceptación IO, CP y LS, que definen la curva constitutiva de las rótulas plásticas por flexión son extraídos según los diagramas de Momento-giro calculados y que son normalizados según los valores de fluencia (M_y) de las secciones de cada elemento estructural.

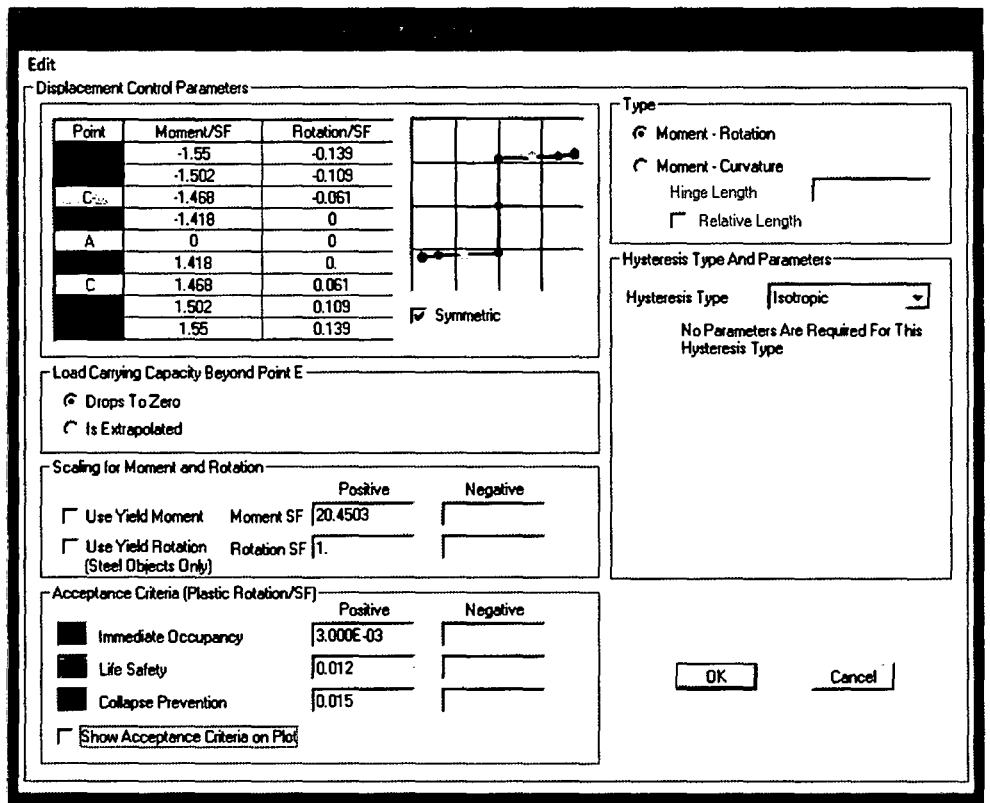


FIGURA 3.29. Generación de rotulas plásticas para Vigas.

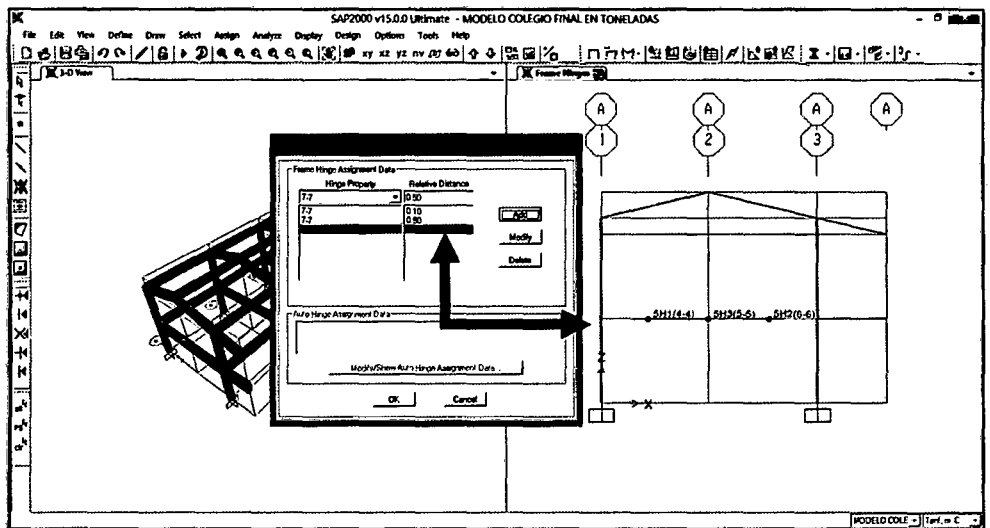


FIGURA 3.30. Asignación de rotulas plásticas para Vigas.

3. Asignación de Rótulas Plásticas en Columnas.

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

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

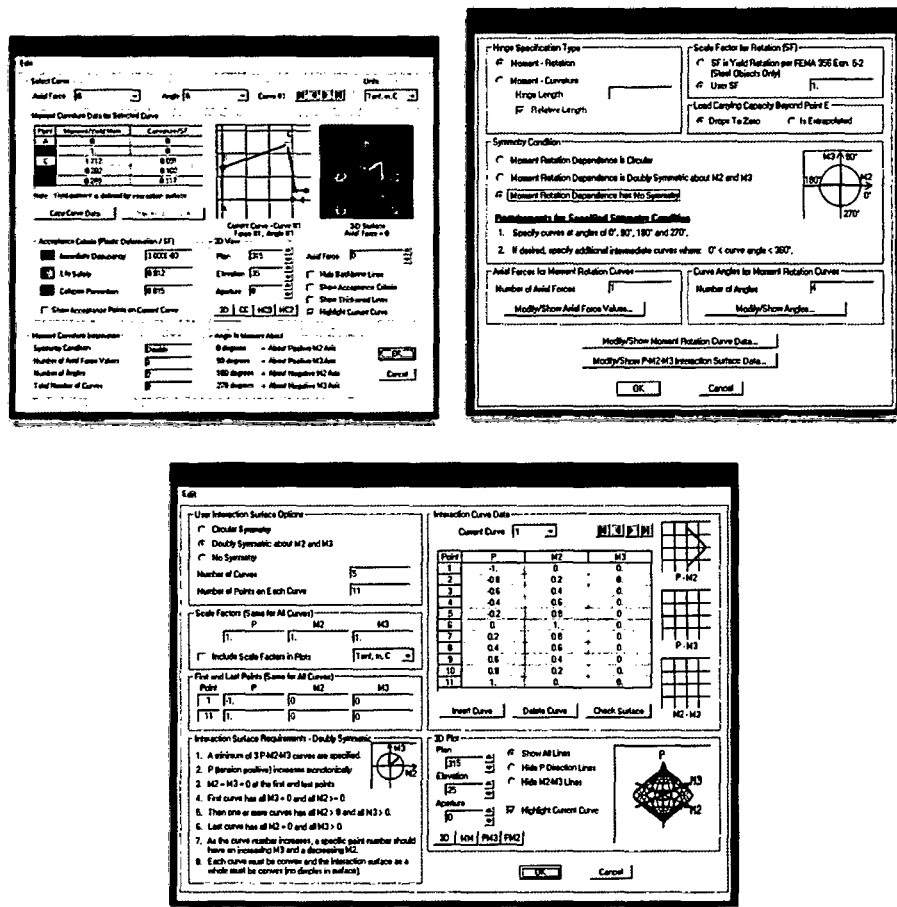


FIGURA 3.31. Generación de rótulas plásticas para columnas

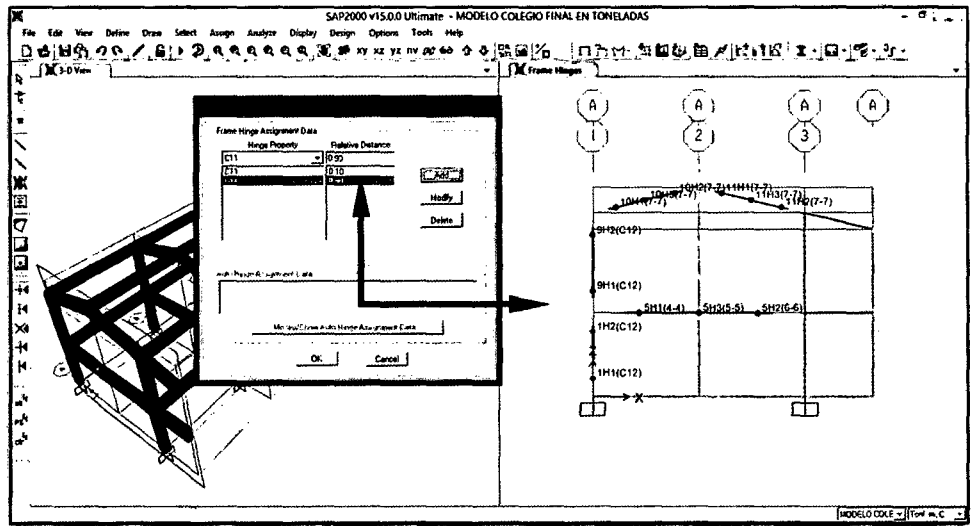


FIGURA 3.32. Asignación de Rotulas plásticas para columnas

3.4. FORMA DE ANALISIS DE LAS INFORMACIONES

El análisis de la Información es de tipo descriptivo mediante gráficos y tablas y para ello se usó las Bases Teóricas enunciadas en este estudio.

A. Modos de vibración

TABLA 3.30. Modo de vibración del pabellón de Educación Inicial.

Modo	Periodo (s)	Modal Participating Mass Ratios		
		Ux	Uy	Uz
1	0.244	0.025	0.429	0.001
2	0.198	0.087	0.053	0.000
3	0.193	0.394	0.004	0.005

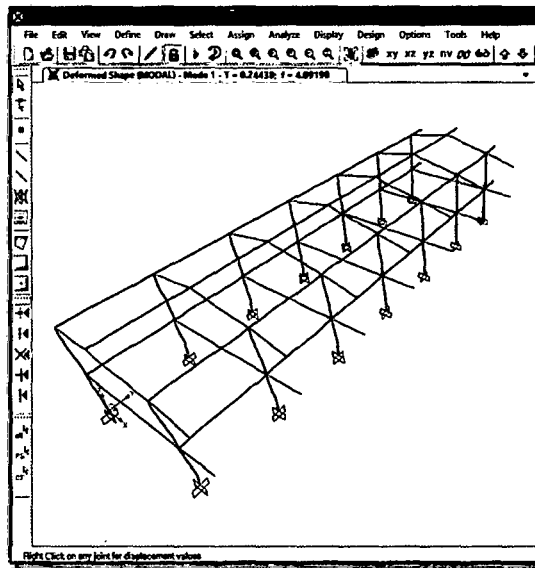


FIGURA 3.33. Modo Fundamental de Vibración (Dirección transversal Y-Y)

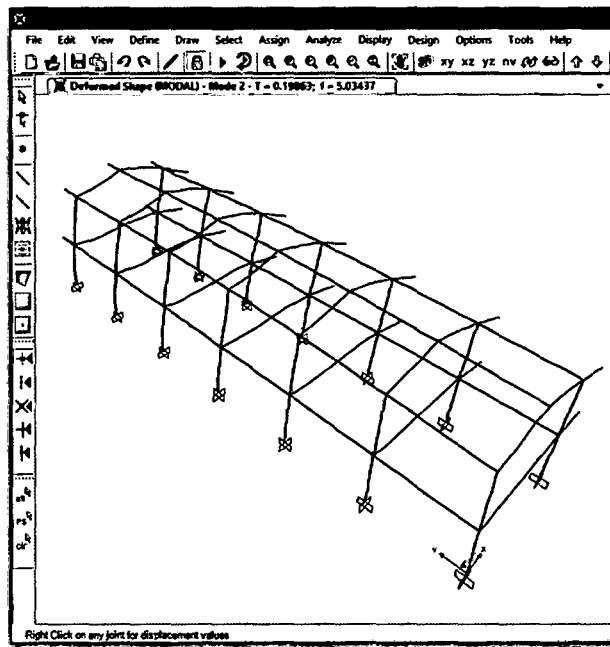


FIGURA 3.34. Modo de Vibración 2 (Dirección longitudinal X-X)

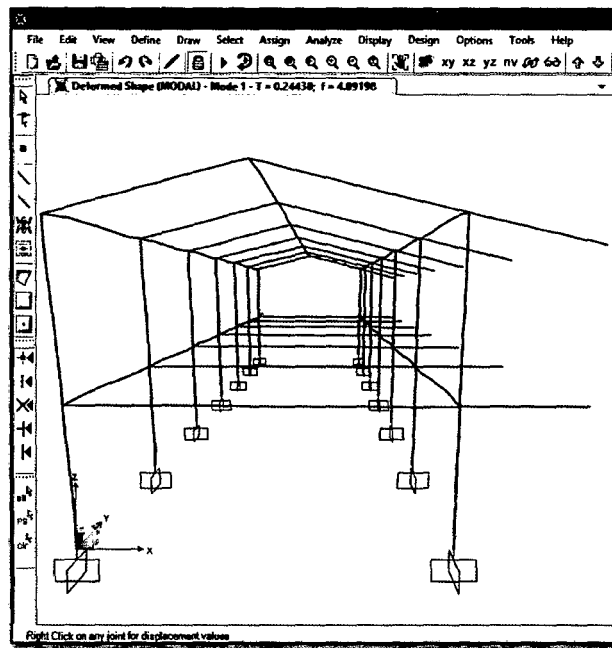


FIGURA 3.35. Modo de Vibración 3 (Torsión)

B. Análisis Pushover

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

SAP2000 permite obtener dos curvas de capacidad representativas, una para cada sentido del sismo, ya que se realizó el análisis de la estructura aplicando el sismo tanto en dirección del eje X, como en la dirección del eje Y.

El análisis estático no lineal se realiza para un desplazamiento controlado en la dirección del primer modo fundamental (dirección X) hasta alcanzar el colapso, donde se aprecia el mecanismo de progresión de las rotulas plásticas; obteniéndose así la curva de capacidad estructural de la edificación como una función de la Carga lateral y el desplazamiento. Para llevar a cabo el análisis estático no lineal se definieron los siguientes casos o combinaciones de carga:

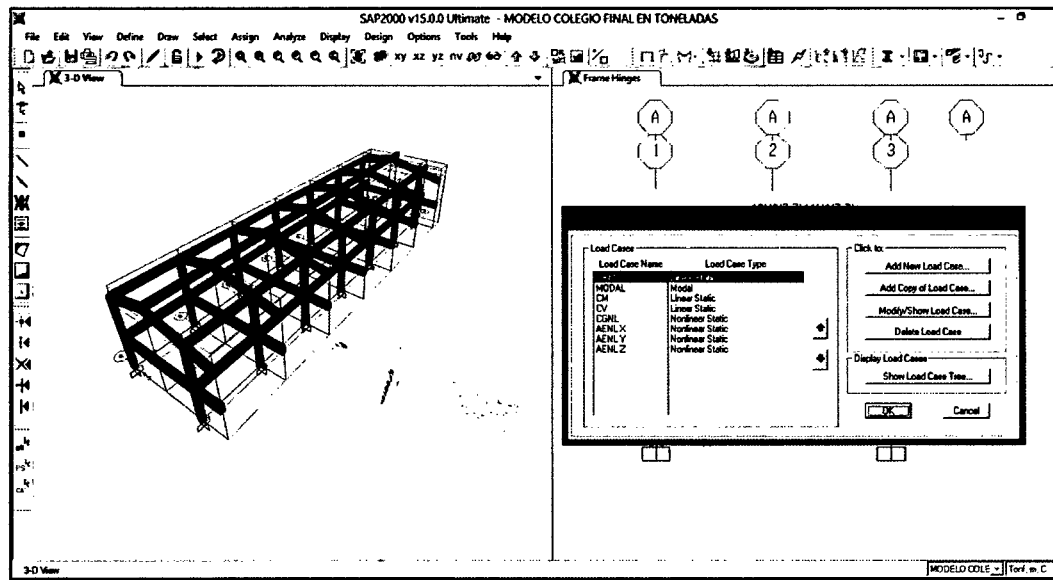


FIGURA 3.36. Modo de Vibración 3 (Torsión)

1. Combinación de Carga Gravitacional

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

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

$$\checkmark \text{ Carga de Servicio} = \text{Carga Muerta} + K\% \text{ Carga Viva} \quad (3.4.)$$

La presente investigación contempla a la edificación dentro de la categoría esencial, por lo que se elegirá el 50% de la carga viva.

Así entonces la combinación previamente descrita se utiliza para definir un estado de carga estático no lineal de la cual sólo interesa su etapa final. El estado estructural provocado por la combinación de cargas gravitacionales descrita por la ecuación (2.2) sirve como condición inicial del estado de carga

estático no lineal monotónicamente creciente que se define en los siguientes puntos.

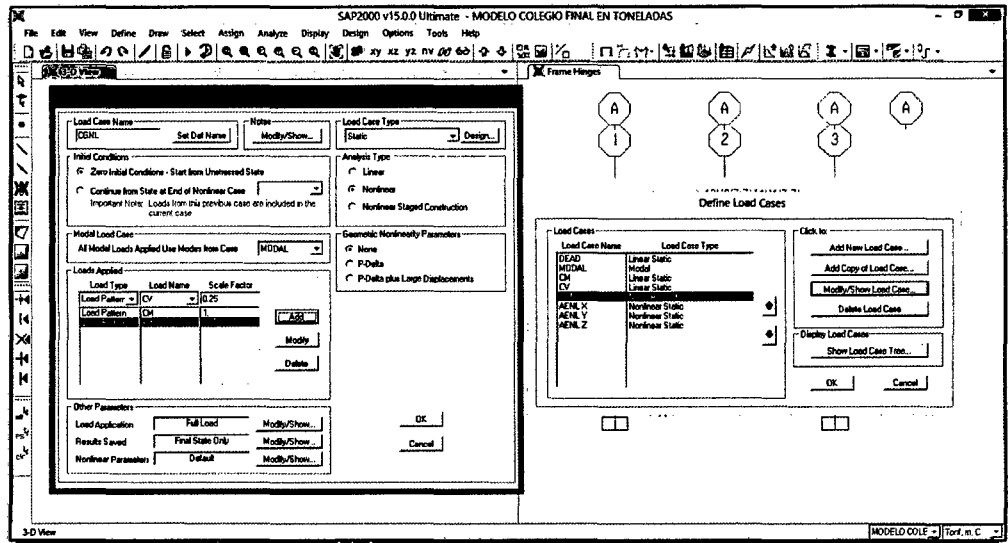


FIGURA 3.37. Modo de Vibración 3 (Torsión)

2. Casos de carga no lineal

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

Patrón de cargas aplicado: El patrón de desplazamientos incrementales está condicionado al modo más representativo de cada dirección; el modo 1 para la dirección "X" y el modo 2 para la dirección "Y" respectivamente. El centro de gravedad del Techo es usado como punto para el control de desplazamientos. El análisis de desplazamientos incrementales se detuvo cuando se produjo la ruptura de la primera rótula plástica.

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

deformarse ante solicitaciones dinámicas bajo el modo fundamental, de este modo un patrón de cargas triangular es una aproximación de éste.

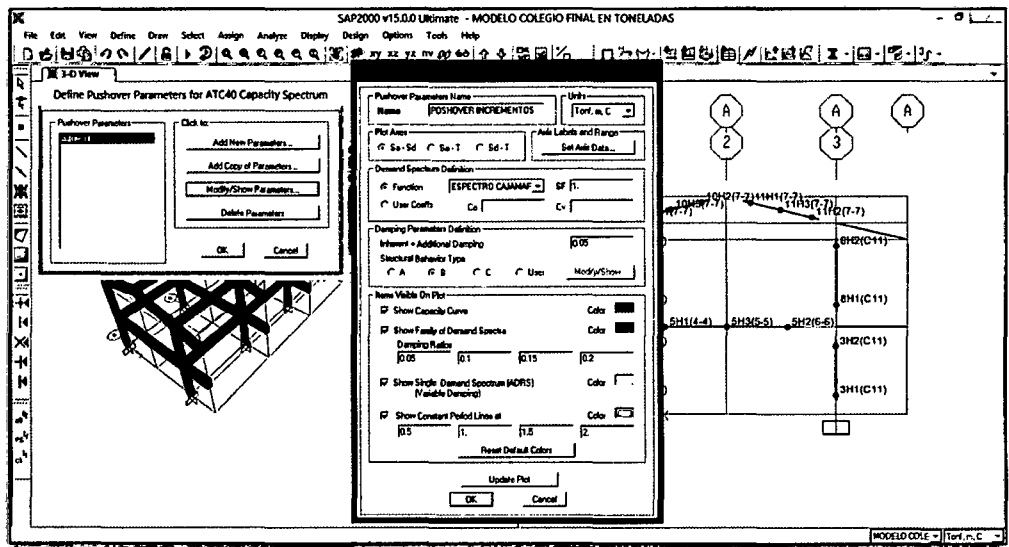


FIGURA 3.38. Parámetros Pushover según ATC 40.

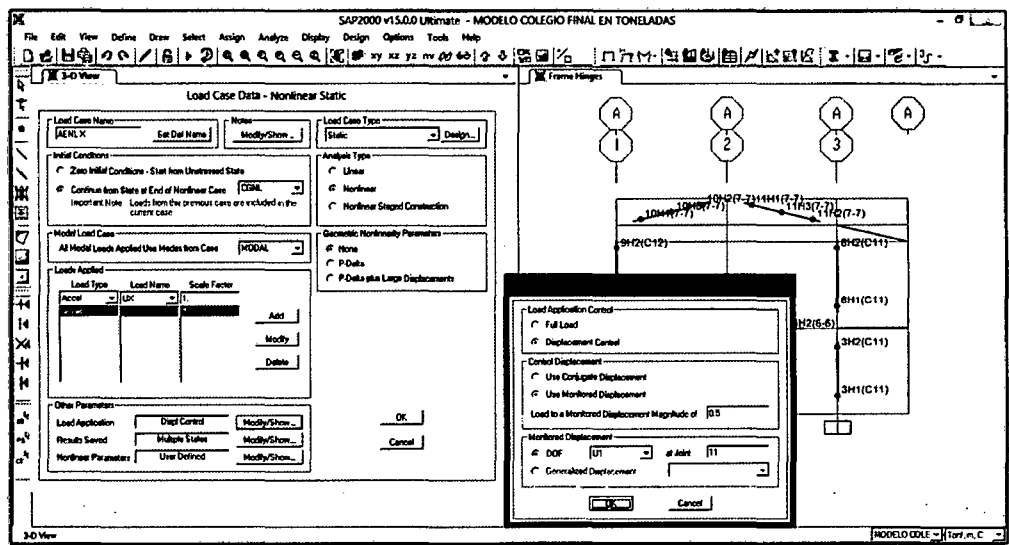


FIGURA 3.39. Punto de Control de la Edificación en Estudio.

3.5. PRESENTACION DE RESULTADOS

La presentación de los resultados es a través de Gráficos y tablas. El análisis se realizó utilizando las Bases Teóricas enunciadas en este estudio, con la que se determinó el nivel de desempeño del Pabellón de Educación Inicial de la Institución Educativa Experimental Antonio Guillermo Urrelo - Cajamarca.

A. ANALISIS DE DESPLAZAMIENTO INCREMENTAL

Se realiza un análisis incremental, primero realizando un análisis con las cargas de gravedad y luego un análisis de desplazamiento incremental. El *análisis con las cargas de gravedad* se realiza con ayuda del metrado de cargas. Las cargas son aplicadas a la estructura ya que durante la acción de un sismo actúa una carga de servicio que se define según la norma E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) para edificaciones de categoría A se adicionará el 50% de la carga viva, siendo entonces:

$$\text{Carga de servicio} = \text{Carga Muerta} + 50\% \text{ Carga Viva}$$

Posteriormente se realizó el análisis de desplazamiento incremental, donde el punto de control fue el techo de la estructura; para efectuar el análisis se tiene como punto de partida el modo fundamental de la estructura, a diferencia del análisis de cargas de gravedad, se consideró como dirección de la aplicación de las cargas la horizontal X-X. Éste análisis parte del final del análisis anterior.

El programa relaciona el giro de las rótulas con los diferentes niveles de desempeño, asignándole a cada uno un color diferente que cambia a medida que crece el giro de la rótula plástica, eso se muestra en la figura 3.40.

LS		C			
Operacional	Funcional	Resguardo de vida	Cerca al Colapso	Colapso	Posterior al colapso

FIGURA 3.40 Colores designados para la evolución de las rótulas

1. SECUENCIA DE FORMACION DE ROTULAS

Se muestran a continuación algunas etapas representativas de la secuencia de formación de rótulas en el pórtico del pabellón de Educación Inicial de la I.E. Experimental Antonio Guillermo Urrelo – Cajamarca.

a. Secuencia de deformación de Rotula en el Eje X.

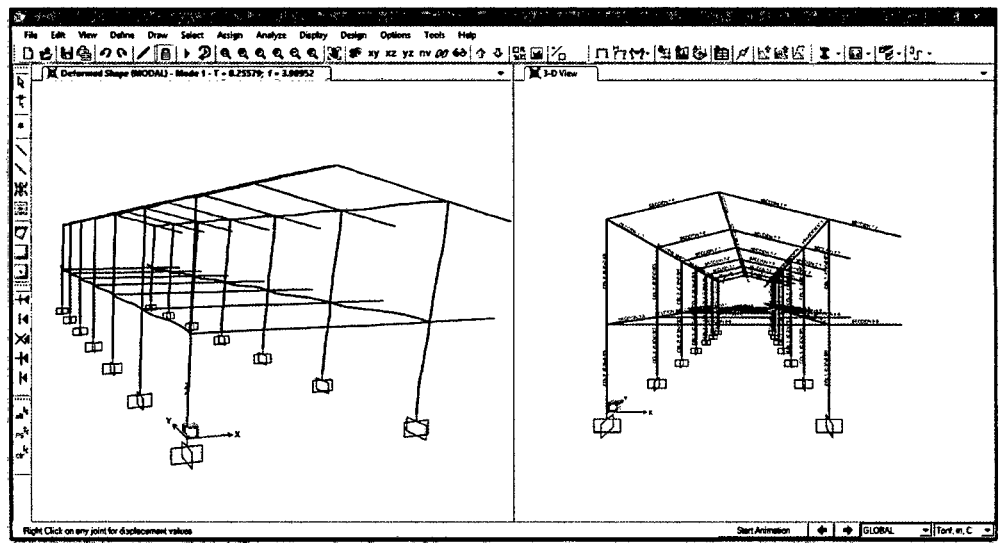


FIGURA 3.41. Deformada del Análisis Inelástico de Gravedad del pabellón. Sismo en dirección X-X

La figuras 3.41. se muestra la deformación de los pórticos debido a las cargas de gravedad. Como se observa ninguna sección ha llegado al rango inelástico, pues los momentos actuantes son menores que los momentos de fluencia de las secciones.

Luego de realizado el análisis considerando las fuerzas de gravedad se procede al análisis de desplazamiento incremental.

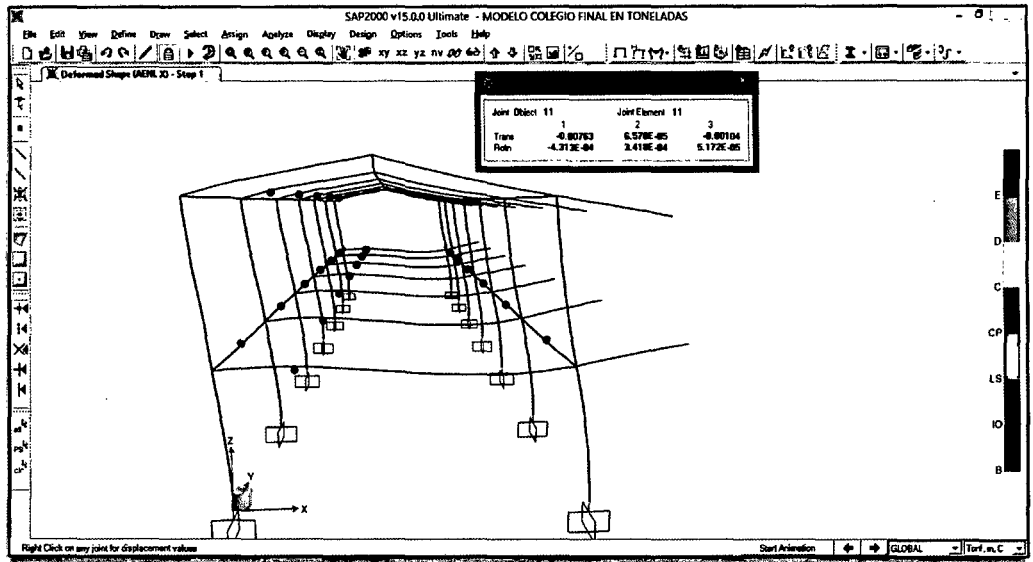


FIGURA 3.42. Primera incursión Inelástica del pabellón. Sismo en dirección X-X

La *figura 3.42. se muestra* las primeras incursiones inelásticas. Se observa que las rótulas se forman en las vigas antes que en las columnas frente a un desplazamiento horizontal en el techo de 0.763 cm.

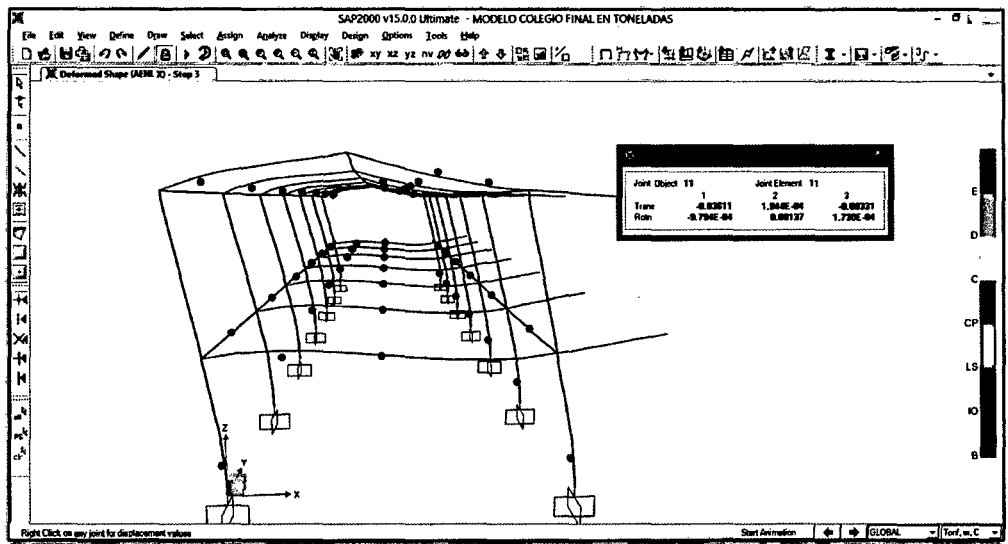


FIGURA 3.43. Nivel funcional en vigas del pabellón. Sismo en dirección X-X.

La figura 3.43. se muestra la primera incursión de las secciones de la viga en el nivel Funcional en cuyo caso se produce un desplazamiento horizontal del techo de 3.61 cm.

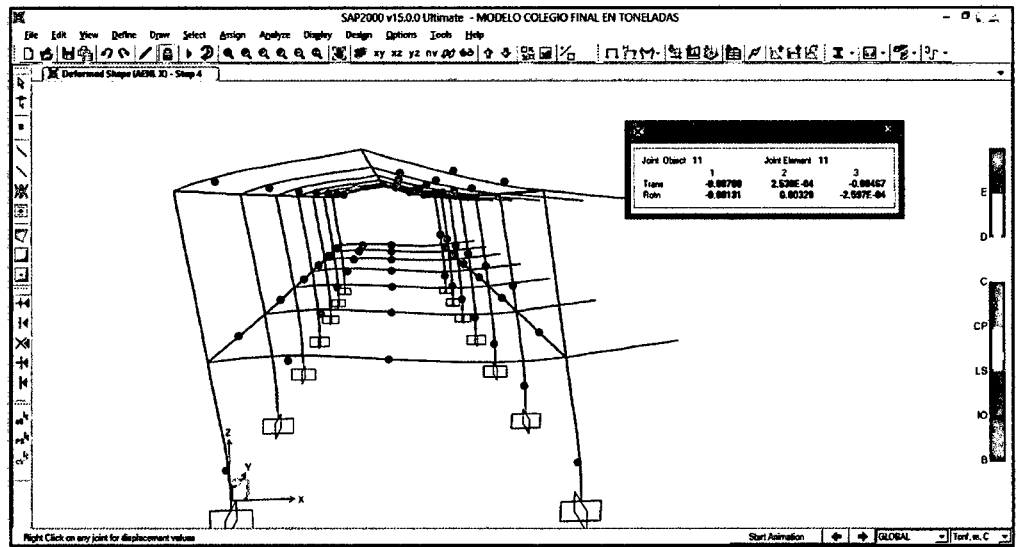


FIGURA 3.44. Nivel Cerca al colapso en vigas del pabellón. Sismo en dirección X-X.

Las figuras 3.44. se muestra la primera incursión de las secciones de la viga en el nivel Cerca al colapso en cuyo caso se produce un desplazamiento horizontal del techo de 8.71 cm.

b. Secuencia de deformación de Rotulas en el Eje Y.

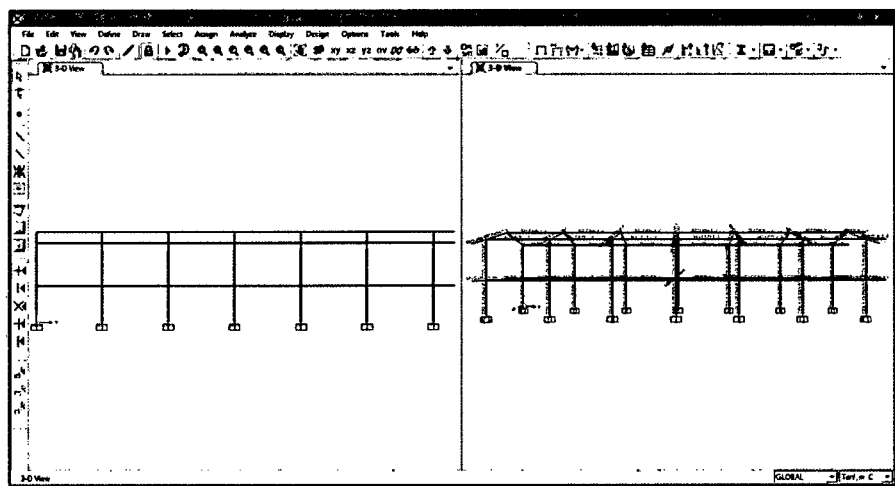


FIGURA 3.45. Deformada del Análisis de Inelástico de Gravedad del pabellón. Sismo en la dirección Y.

La figuras 3.45. se muestra la deformación de los pórticos debido a las cargas de gravedad. Como se observa ninguna sección ha llegado al rango inelástico, pues los momentos actuantes son menores que los momentos de fluencia de las secciones.

Luego de realizado el análisis considerando las fuerzas de gravedad se procede al análisis de desplazamiento incremental.

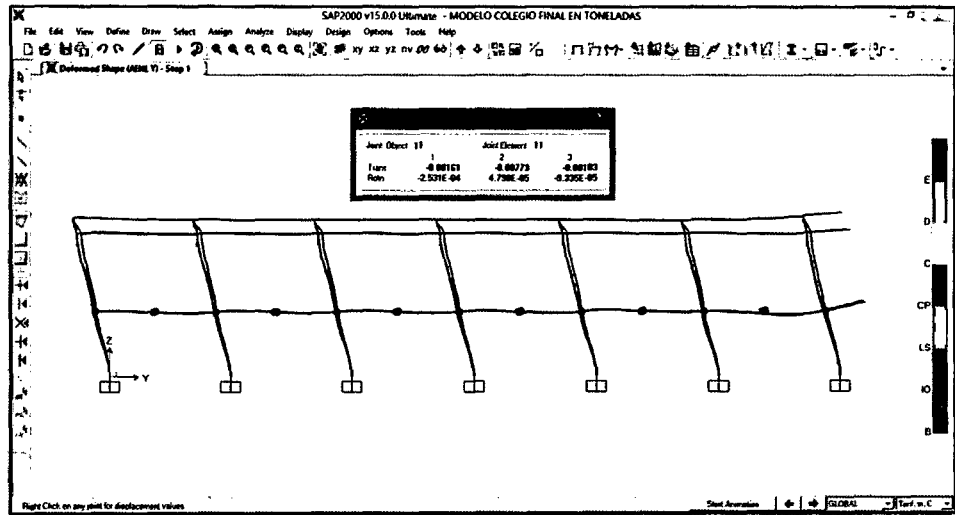


FIGURA 3.46. Primera incursión Inelástica del pabellón. Sismo en Y

La figura 3.46. Muestran las primeras incursiones inelásticas. Se observa que las rótulas se forman en las vigas antes que en las columnas frente a un desplazamiento horizontal en el techo de 0.161 cm.

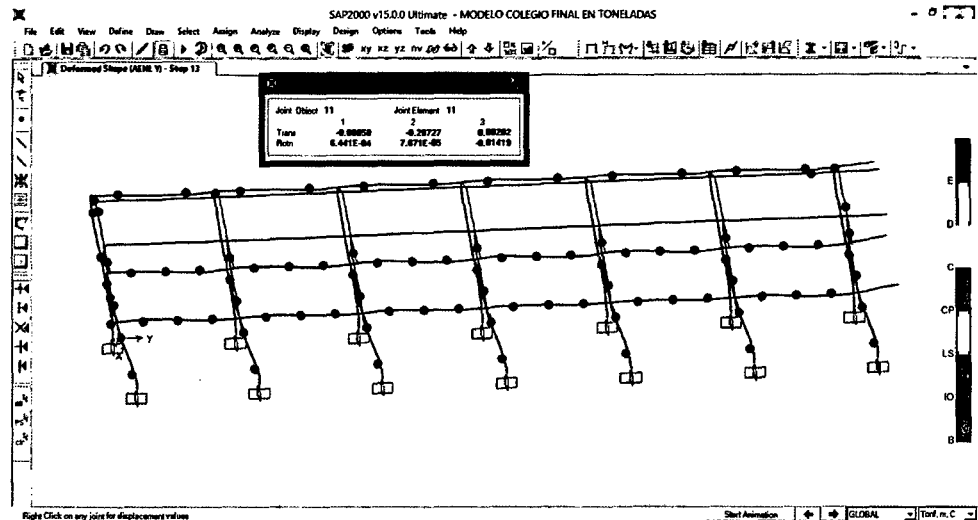


FIGURA 3.47 Nivel funcional e Inicio al nivel de Colapso en vigas del pabellón. Sismo en la dirección Y.

La figuras 3.47. muestra la primera incursión de las secciones de la viga en el nivel Funcional en cuyo caso se produce un desplazamiento horizontal del techo de 6.05 cm.

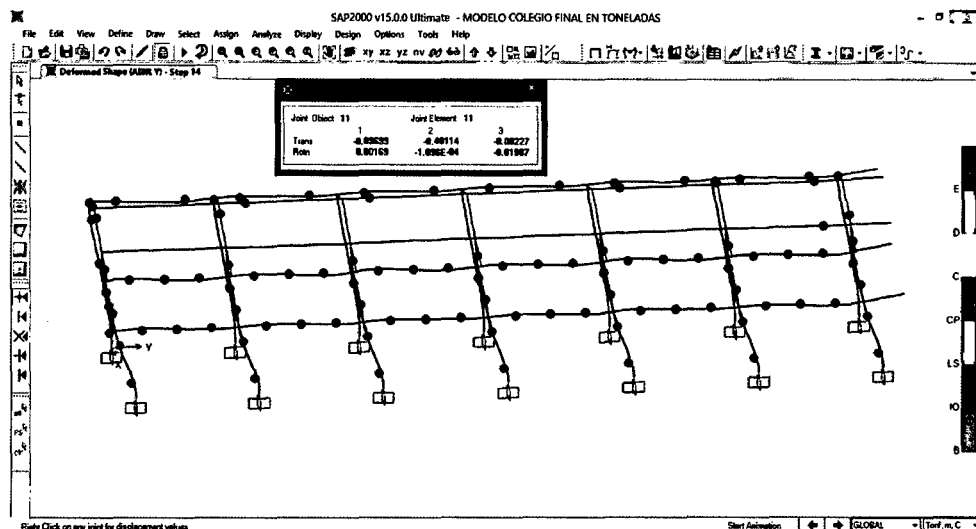
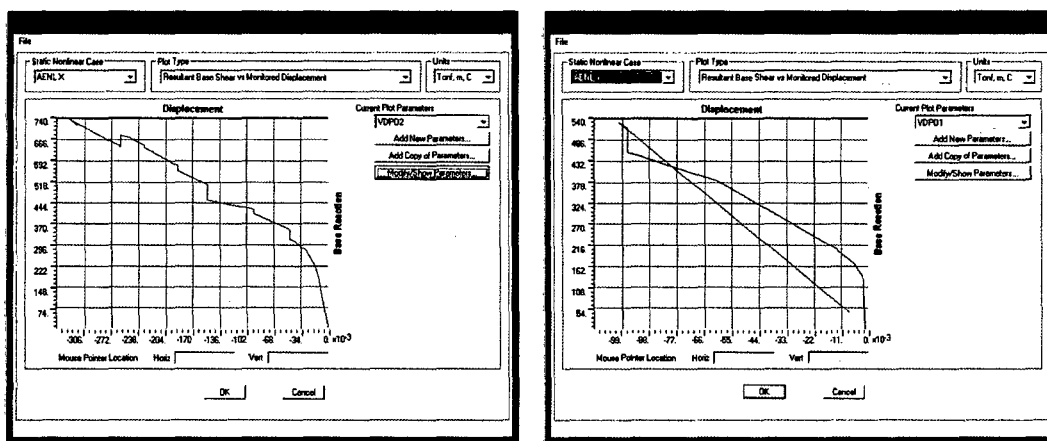


FIGURA 3.48. Nivel Cerca al colapso e inicio del nivel posterior al colapso en vigas del pabellón. Sismo en dirección Y.

La figuras 3.48. se muestra la primera incursión de las secciones de la viga en el nivel Cerca al colapso e inicio del nivel posterior al colapso en cuyo caso se produce un desplazamiento horizontal del techo de 9.70 cm.

B. CURVAS DE CAPACIDAD DE LA ESTRUCTURA

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



(a)

(b)

FIGURA 3.49. Curva de Capacidad Estructural a) Curva de capacidad en la dirección de Sismo transversal (Eje X). b) Curva de capacidad en la dirección de Sismo Longitudinal (Eje Y)

C. ESPECTRO DE DISEÑO SEGÚN EL NUEVO PROYECTO DE NORMA E-030

Para la determinación del espectro de respuesta se usaron las fórmulas, factores y coeficientes de sitio del Proyecto de Norma Técnica E-030 (Norma de Diseño Sismorresistente). Una vez determinado el Espectro de Respuesta para una estructura ubicada en la ciudad de Cajamarca se procede a Introducirlo al SAP2000, para ello los datos del Periodo (T_s) y Aceleración (S_a) deben estar en formato Text.

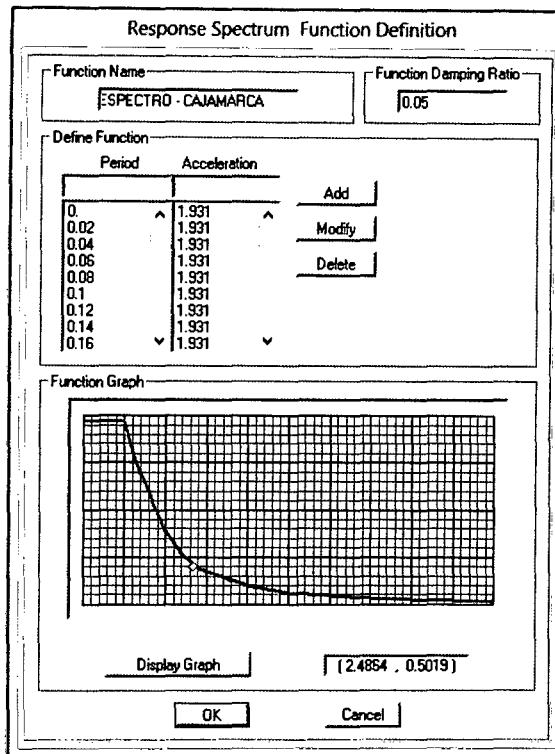


FIGURA 3.50. Generación del Espectro de Diseño en Sap2000 v.15.0

D. PUNTO DE DESEMPEÑO

El punto de desempeño se encuentra de la intersección del espectro de capacidad y el espectro de demanda, y determina la respuesta máxima de la estructura, establecido como la capacidad que tiene de incursionar en el rango inelástico.

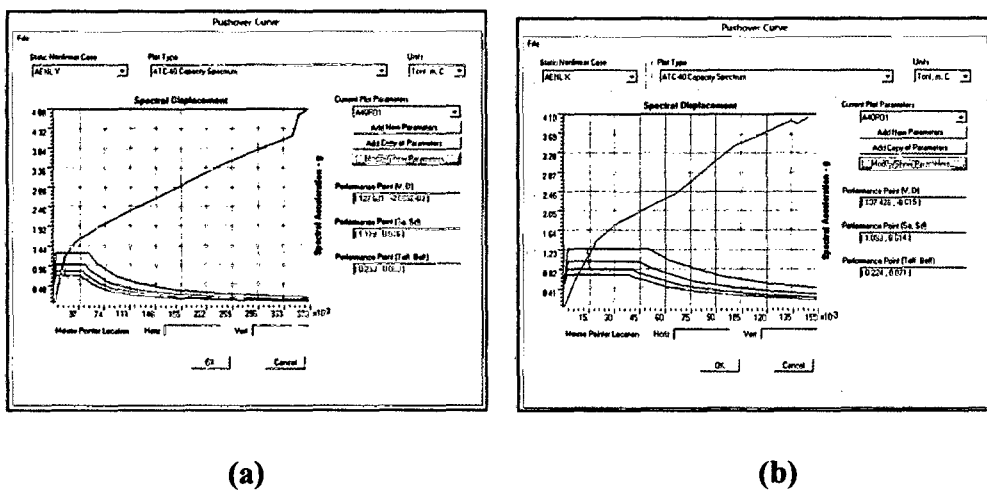


FIGURA 3.51. Punto de Desempeño para Sismo muy raro a) Punto de desempeño para sismo muy raro en la dirección X. b) Punto de desempeño para sismo muy raro en la dirección Y.

CAPITULO IV: ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El desempeño sismorresistente es una concepción de ingeniería estructural que predice y evalúa con un aceptable nivel de confianza las demandas y capacidades estructurales de un determinada obra, de sus componentes y el mantenimiento a largo plazo. El nivel de desempeño de una estructura está dado por el estado límite de 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 de su servicio post-terremoto.

4.1. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1.1. Curva de Capacidad Estructural

Al someter una estructura a una fuerza cuya intensificación es controlada y gradualmente creciente, ésta se defleca de tal modo que a partir de cierto nivel de fuerza comienza a producir fallas locales producto de plastificaciones. Las curvas de capacidad grafican dicha deformación lateral medida en el último nivel versus el corte basal acumulado de la estructura.

La forma de la curva está definida por la naturaleza de la fuerza incremental, además de la capacidad resistente de los componentes individuales, afecta también la configuración estructural, ya que de ella depende la adecuada distribución de esfuerzos y la posibilidad de la estructura para redistribuirlos y de esta manera agotar la capacidad de todos los elementos resistentes de ser posible.

Se obtuvieron dos curvas de capacidad representativas, una para cada sentido del sismo, ya que se realizó el análisis de la estructura aplicando el sismo tanto en dirección del eje X, como en la dirección del eje Y.

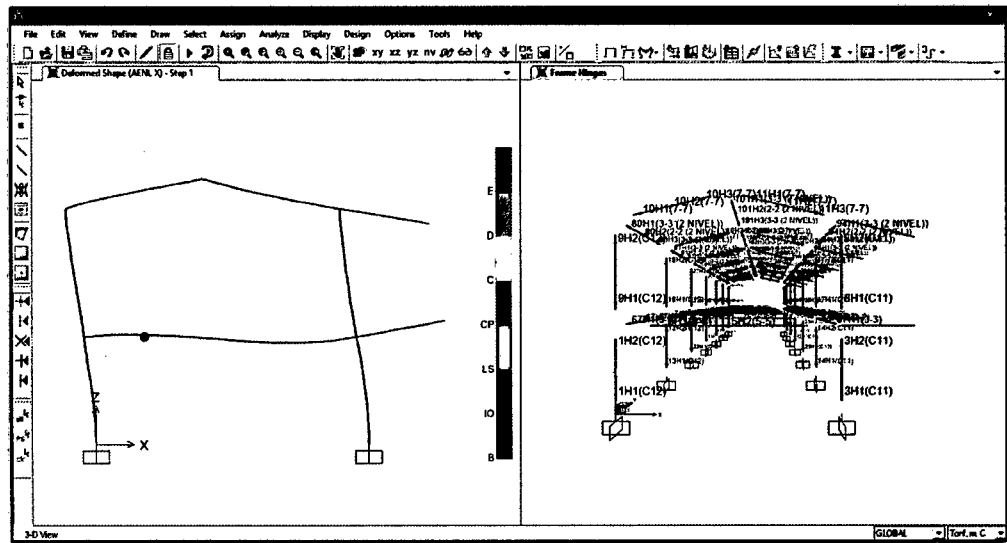
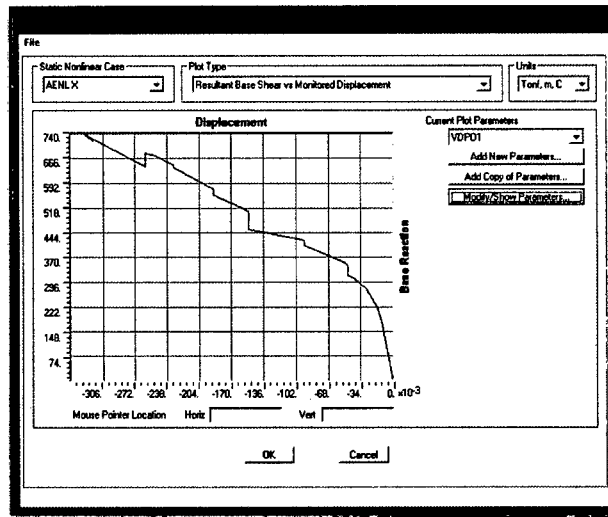


Figura 4.01. Curva de Capacidad Estructural (Dirección transversal X)

a. Curva de Capacidad para el Sismo en la dirección del Eje X

Al someter a la estructura en estudio al análisis incremental de cargas laterales inducidas por el sismo en dirección del eje X se obtuvieron los valores del desplazamiento en el nudo de control ubicado en el punto más alto del techo generados por los correspondientes valores de cortantes basales. A continuación se muestra la tabla 4.01 que contiene dichos valores obtenidos.

TABLA 4.01. Valores representativos de la curva de capacidad en la dirección X.

PASO	DESPLAZAMIENTO EN EL TECHO (m)	CORTANTE BASAL (Ton)
0	0.001	0.000
1	0.008	57.818
2	0.020	139.537
3	0.036	178.545
4	0.087	238.444
5	0.090	241.690
6	0.090	245.534
7	0.143	326.845
8	0.145	329.286
9	0.145	305.016
10	0.160	331.364
11	0.160	297.286
12	0.203	363.435
13	0.203	349.181
14	0.220	374.338
15	0.220	368.508
16	0.230	383.104

Como ya se explicó anteriormente al graficar los valores de la tabla 4.01. se obtiene la curva de capacidad estructural que relaciona la cortante basal y el desplazamiento registrado en el techo de la estructura mediante el *nudo de control de desplazamientos*. La curva de capacidad de la estructura para el sismo aplicado en la dirección X se muestra a continuación en la figura 4.02.

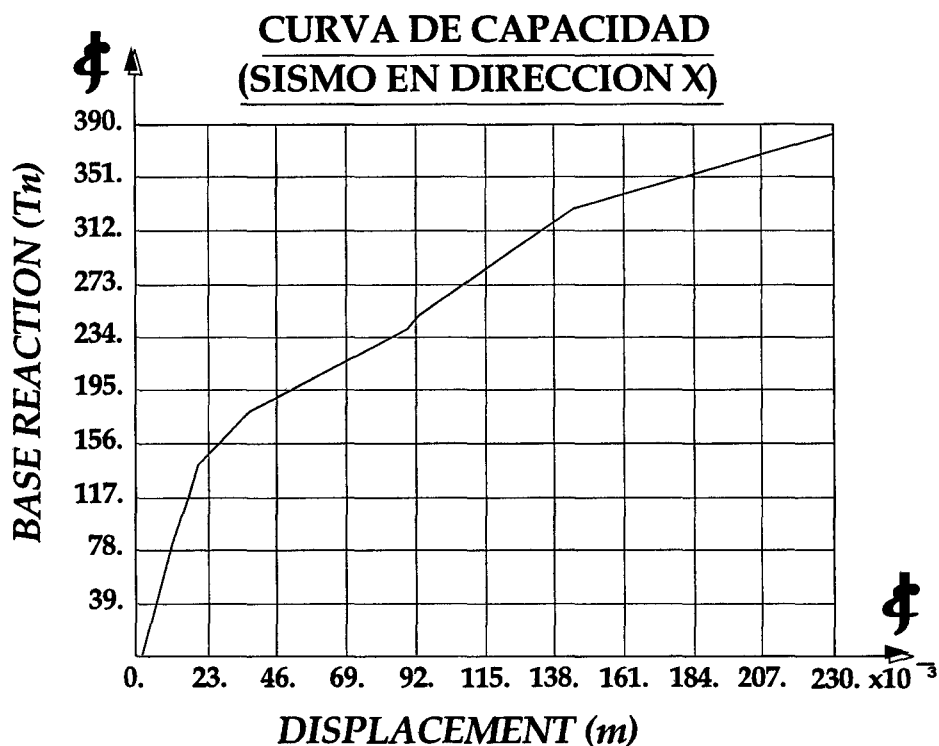


FIGURA 4.02. Curva de Capacidad (Sismo en la dirección X).

i. Sectorización de la curva de Capacidad

Para determinar los cinco niveles de desempeño propuestos por la SEAOC en su documento VISION 2000 es necesario sectorizar la curva de capacidad para así poder limitar a cada nivel de desempeño, asignándole a cada uno un rango con respecto al desplazamiento del nudo de control. La sectorización de la curva de capacidad es necesaria para poder determinar el nivel de desempeño que desarrolla una estructura frente a un determinado sismo.

El procedimiento a seguir para realizar la sectorización de la curva de capacidad inicia con la obtención de la representación bilineal de la curva de capacidad, para lo que se usó el criterio de las rigideces tangentes, y la determinación del punto de fluencia efectiva que es el punto que separa el rango elástico del rango plástico.

La figura 4.03. se muestra la representación bilineal y las coordenadas del punto de fluencia efectiva.

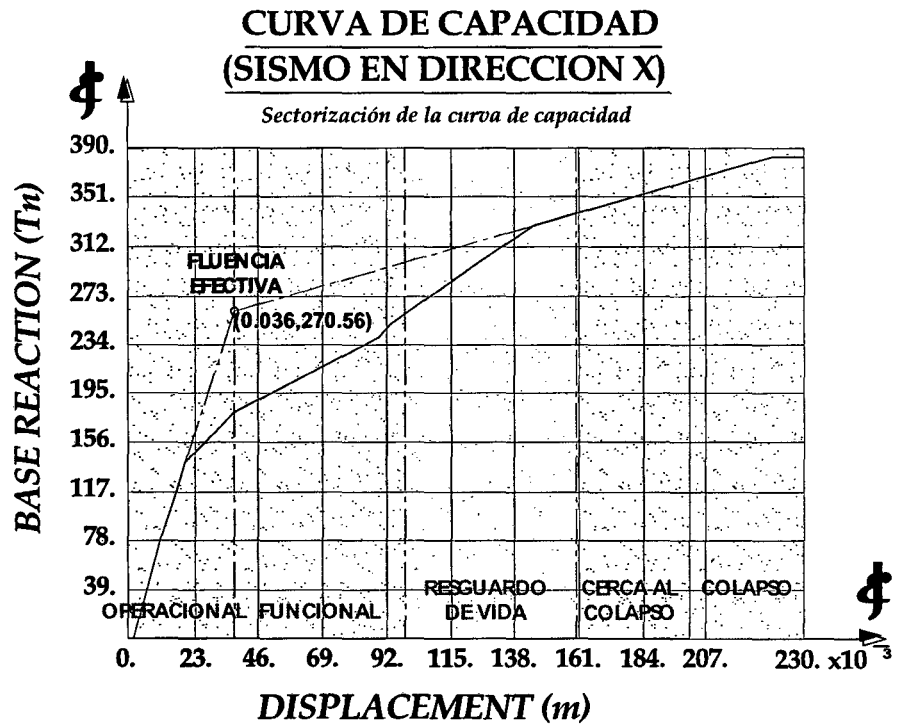


FIGURA 4.03. Sectorización de la Curva de Capacidad para el Sismo en la dirección X.

En la figura se muestra el punto de fluencia efectiva hallado mediante la aplicación del criterio de rigideces tangentes. Las coordenadas del punto de fluencia efectiva son las siguientes.

$$PFE: (0.036 \text{ m.}, 270.56 \text{ Tn.})$$

Por lo tanto los rangos elástico y plástico quedan delimitados de la siguiente manera en la Tabla 4.02:

TABLA 4.02. Límites de los rangos elástico y plástico según la curva de capacidad.

RANGO	DESPLAZAMIENTO	
	Límite Inferior	Límite Superior
Rango Elástico	0	0.036
Rango Plástico	0.036	0.23

La sectorización de la curva de capacidad en el rango plástico se realizará según el criterio propuesto por la SEAOC conforme a lo que indica la tabla 4.03.

TABLA 4.03. Rangos de desplazamiento para cada nivel de desempeño

NIVEL DE DESEMPEÑO	DESPLAZAMIENTO	
	Límite Inferior	Límite Superior
Operacional	0	ΔFE
Funcional	ΔFE	$\Delta FE + 0.30\Delta p$
Seguridad de Vida	$\Delta FE + 0.30\Delta p$	$\Delta FE + 0.60\Delta p$
Cerca del Colapso	$\Delta FE + 0.6\Delta p$	$\Delta FE + 0.80\Delta p$
Colapso	$\Delta FE + 0.80\Delta p$	$\Delta FE + \Delta p$

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

Δp : Rango Plástico

Los valores del desplazamiento del nudo de control asociados a cada nivel de desempeño calculado según la tabla 4.03. determinan los valores límites para cada uno de los cinco niveles de desempeño propuestos por la SEAOC. Los resultados del cálculo de los desplazamientos asociados a cada nivel de desempeño se muestran en la tabla 4.04.

TABLA 4.04. Valores de desplazamiento para cada nivel de desempeño

NIVEL DE DESEMPEÑO	DESPLAZAMIENTO	
	Límite Inferior	Límite Superior
Operacional	0.000	0.036
Funcional	0.036	0.094
Seguridad de Vida	0.094	0.152
Cerca del Colapso	0.152	0.191
Colapso	0.191	0.230

Los valores obtenidos son importantes para poder determinar en qué nivel de desempeño se encuentra la estructura de acuerdo a punto de desempeño que se evaluará más adelante para cada sismo de diseño.

b. Curva de Capacidad para el Sismo en la dirección de Eje Y

Al someter a la estructura en estudio al análisis incremental de cargas laterales inducidas por el sismo en dirección del eje Y se obtuvieron los valores del desplazamiento en el nudo de control ubicado en el punto más alto del techo generados por los correspondientes valores de cortantes basales. A continuación se muestra la tabla 4.05. que contiene dichos valores obtenidos.

TABLA 4.05. Valores de los representativos de la curva de capacidad

PASO	DESPLAZAMIENTO EN EL TECHO (m)	CORTANTE BASAL (Ton)
0	0.001	0.000
1	0.002	48.158
2	0.002	121.913
3	0.002	125.937
4	0.002	132.711
5	0.003	135.859
6	0.003	139.279
7	0.005	163.424
8	0.006	165.863
9	0.006	170.497
10	0.006	170.938
11	0.012	199.738
12	0.013	206.832
13	0.061	381.423
14	0.097	455.739
15	0.097	518.377
16	0.100	530.808

Como ya se explicó anteriormente al graficar los valores de la tabla 4.05 se obtiene la curva de capacidad estructural que relaciona la cortante basal y el desplazamiento registrado en el techo de la estructura mediante el *nudo de control de desplazamientos*. La curva de capacidad de la estructura para el sismo aplicado en la dirección Y se muestra a continuación en la figura 3.24.

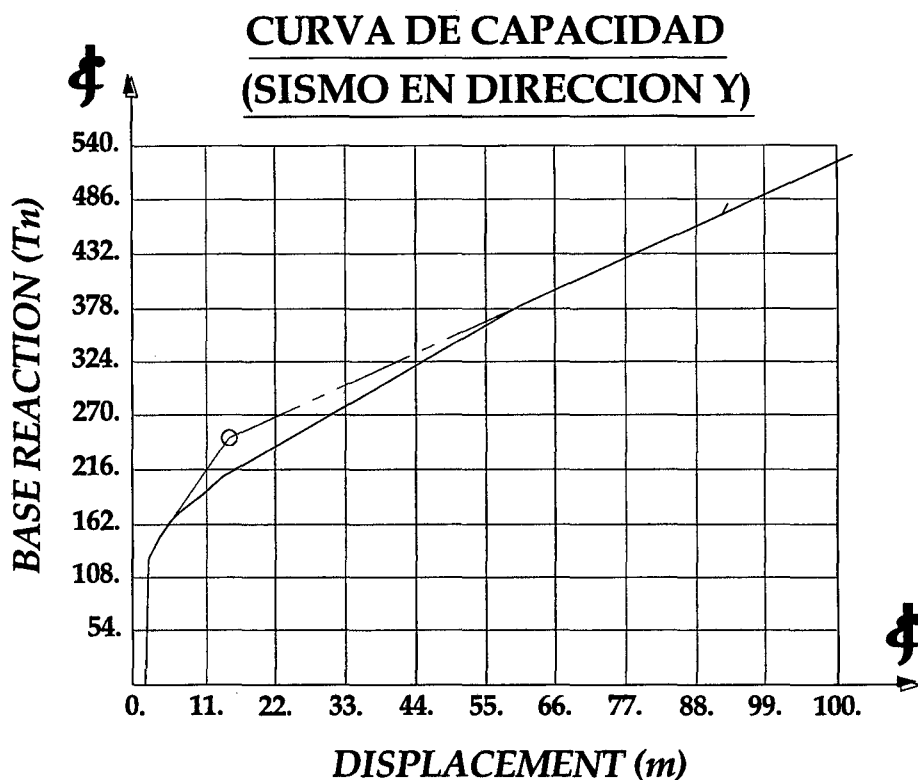


FIGURA 4.04. Curva de Capacidad (Sismo en dirección Y).

i. Sectorización de la curva de Capacidad

Para determinar los cinco niveles de desempeño propuestos por la SEAOC en su documento VISION 2000 es necesario sectorizar la curva de capacidad para así poder limitar a cada nivel de desempeño, asignándole a cada uno un rango con respecto al desplazamiento del nudo de control. La sectorización de la curva de capacidad es necesaria para poder determinar el nivel de desempeño que desarrolla una estructura frente a un determinado sismo.

El procedimiento a seguir para realizar la sectorización de la curva de capacidad inicia con la obtención de la representación bilineal de la curva de capacidad, para lo que se usó el criterio de las rigideces tangentes, y la determinación del punto de fluencia efectiva que es el punto que separa el rango elástico del rango plástico.

La figura 4.05 muestra la representación bilineal y las coordenadas del punto de fluencia efectiva.

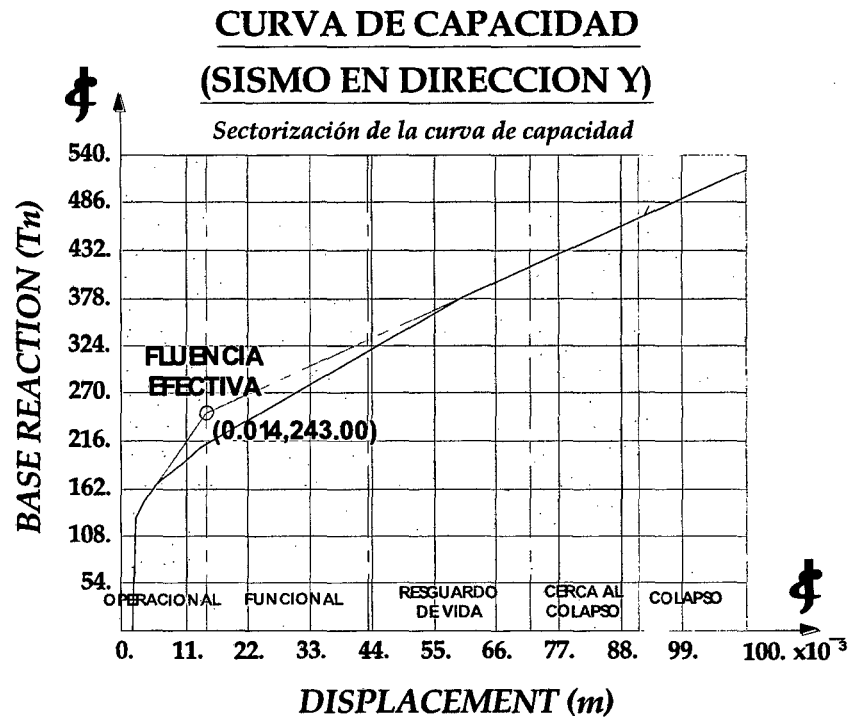


FIGURA 4.05. Sectorización de la Curva de Capacidad para el Sismo en la dirección Y.

En la figura se muestra el punto de fluencia efectiva hallado mediante la aplicación del criterio de rigideces tangentes. Las coordenadas del punto de fluencia efectiva son las siguientes.

$$PFE: (0.014 \text{ m.}, 243.00 \text{ Tn.})$$

Por lo tanto los rangos elástico y plástico quedan delimitados de la siguiente manera en la tabla 4.06.

TABLA 4.06. Límites de los rangos elástico y plástico según la curva de capacidad.

RANGO	DESPLAZAMIENTO	
	Límite Inferior	Límite Superior
Rango Elástico	0	0.014
Rango Plástico	0.014	0.100

La sectorización de la curva de capacidad en el rango plástico se realizará según el criterio propuesto por la SEAOC conforme a lo que indica la tabla 4.07.

TABLA 4.07. Rangos de desplazamiento para cada nivel de desempeño

NIVEL DE DESEMPEÑO	DESPLAZAMIENTO	
	Límite Inferior	Límite Superior
Operacional	0	ΔFE
Funcional	ΔFE	$\Delta FE + 0.30\Delta p$
Seguridad de Vida	$\Delta FE + 0.30\Delta p$	$\Delta FE + 0.60\Delta p$
Cerca del Colapso	$\Delta FE + 0.6\Delta p$	$\Delta FE + 0.80\Delta p$
Colapso	$\Delta FE + 0.80\Delta p$	$\Delta FE + \Delta p$

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

Δp : Rango Plástico

Los valores del desplazamiento del nudo de control asociados a cada nivel de desempeño calculado según la *tabla 4.07*, determinan los valores límites para cada uno de los cinco niveles de desempeño propuestos por la SEAOC. Los resultados del cálculo de los desplazamientos asociados a cada nivel de desempeño se muestran en la *tabla 4.08*.

TABLA 4.08. Valores de desplazamiento para cada nivel de desempeño

NIVEL DE DESEMPEÑO	DESPLAZAMIENTO	
	Límite Inferior	Límite Superior
Operacional	0.000	0.014
Funcional	0.014	0.040
Seguridad de Vida	0.040	0.057
Cerca del Colapso	0.057	0.082
Colapso	0.082	0.100

Los valores obtenidos son importantes para poder determinar en qué nivel de desempeño se encuentra la estructura de acuerdo a punto de desempeño que se evaluará más adelante para cada sismo de diseño.

4.1.2. DETERMINACION DE LOS PUNTOS DE DESEMPEÑO SISMICO

Como ya se indicó, la estructura en estudio corresponde a la categoría A (Edificación Esencial) del proyecto de Norma Técnica de Diseño Sismorresistente E-030, por lo que para determinar sus puntos de desempeño, no será evaluada para los cuatro sismos de diseño que indica la SEAOC en su documento VISION 2000 para estructuras de ésta categoría, sino solo para los sismos ocasional, raro y muy raro como lo indica la tabla 4.09 propuesta por la SEAOC.

TABLA 4.09. Niveles de Desempeño Alcanzados por Edificaciones Esenciales para los sismos indicados

		Niveles 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

Se calculó los puntos de desempeño para los sismos ocasional, raro y muy raro, para el caso del sismo aplicado en la dirección X y para el sismo aplicado en la dirección Y. Para esto se usaron los coeficientes sísmicos C_a y C_v indicados a continuación para cada tipo de sismo.

TABLA 4.10. Coeficientes sísmicos para cada sismo

Sismo de Diseño	C_a	C_v
Frecuente	0.2	0.2
Ocasional	0.25	0.25
Raro	0.4	0.4
Muy Raro	0.5	0.5

Cabe indicar que también se realizará el análisis de la estructura para el espectro de respuesta calculado en el ítem 3.3.3, que es el espectro representativo de Cajamarca para la categoría A (Edificación Esencial), según el nuevo proyecto de Norma Técnica de Diseño Sismorresistente E-030.

1. Punto de Desempeño de la Estructura para Sismo en X

En la Tabla 4.11. se muestran los puntos de desempeño estructural para los sismos indicados aplicados en la dirección X, los cuales están

representados en dos tipos de coordenadas que son los de *desplazamiento del nudo de control Δ versus la cortante basal V* y también en coordenadas ADRS, representados como el desplazamiento espectral SD versus la aceleración espectral SA. Para nuestro análisis del nivel de desempeño de la estructura usaremos el par correspondiente a (Δ, V) , debido a que la curva de capacidad se encuentra graficada en estas coordenadas y la sectorización de los niveles de desempeño sísmico se realizó en dichas curvas de capacidad.

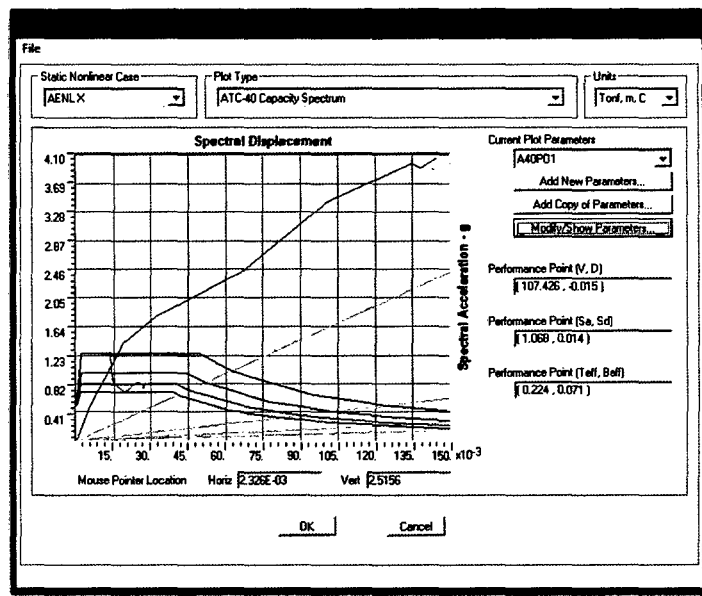


FIGURA 4.06. Punto de Desempeño para Sismo Muy Raro (Sismo en dirección transversal X)

Se determinó la respuesta del edificio ante los tres niveles de peligro sísmico, obteniéndose los puntos de desempeño sísmico mostrados en la Tabla 4.11. (Ocasional, raro y muy raro).

TABLA 4.11. Puntos de desempeño (dirección X) para los sismos indicados.

DIRECCIÓN	SISMO	V (Tn)	Δ (m)	SA (g)	SD (m)	T (seg)	B (%)
X	E - 030	20.483	0.004	0.197	0.002	0.209	0.050
	Ocasional	62.650	0.008	0.606	0.006	0.210	0.052
	Raro	89.284	0.012	0.881	0.011	0.218	0.063
	Muy Raro	107.426	0.015	1.068	0.014	0.224	0.071

2. Punto de Desempeño de la Estructura para Sismo en Y

En la figura 4.07. se muestra el punto de desempeño para sismo muy raro y en Tabla 4.12. se muestran los puntos de desempeño estructural para los sismos indicados aplicados en la dirección Y, representados en dos tipos de coordenadas como ya se indicó en el ítem anterior.

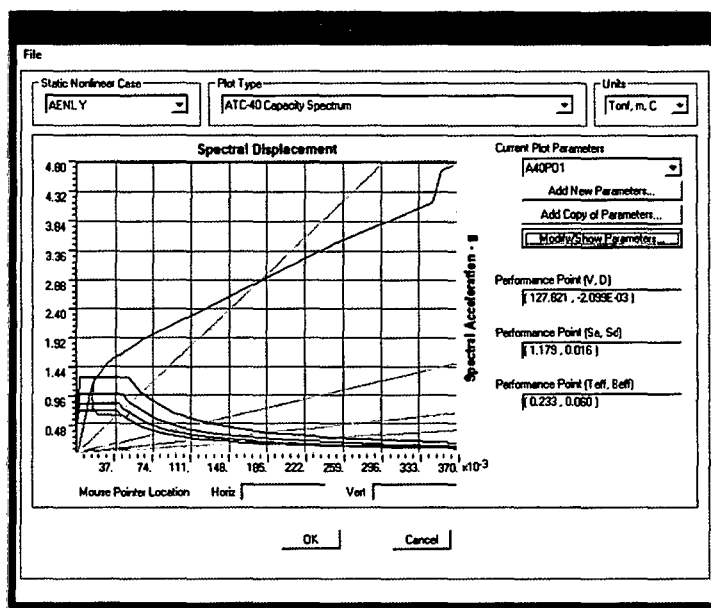


FIGURA 4.07. Punto de Desempeño para Sismo Muy Raro (Dirección longitudinal Y-Y)

TABLA 4.12. Puntos de desempeño (dirección Y) para los sismos indicados

DIRECCIÓN	SISMO	V (Tn)	Δ (m)	SA (g)	SD (m)	T (seg)
Y	E - 030	100.66	0.016	0.263	0.01	0.393
	Ocasional	215.29	0.037	0.567	0.023	0.407
	Raro	273.82	0.055	0.733	0.036	0.441
	Muy Raro	295.71	0.065	0.795	0.043	0.468

4.1.3. NIVELES DE DESEMPEÑO ALCANZADOS POR LA ESTRUCTURA

Para determinar el nivel de desempeño sísmico alcanzado por la estructura en cada nivel de sismo aplicado, se compara el desplazamiento del punto de desempeño para cada sismo con los rangos calculado en la sectorización para cada nivel de desempeño. Con esta comparación se verá en que rango se encuentra el desplazamiento y por lo tanto el nivel de desempeño será aquel que lo contenga.

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

Los desplazamiento de los puntos de desempeño para los sismo en dirección X se muestran en la tabla 4.13.

TABLA 4.13. Desplazamiento de los puntos de desempeño alcanzados para cada sismo

DIRECCION	SISMO	Δ (m)	Δ (cm)
X	E-030	0.004	0.40
	OCASIONAL	0.008	0.80
	RARO	0.012	1.20
	MUY RARO	0.015	1.50

Estos valores se compararán con los valores de la sectorización de la curva de capacidad para el sismo en dirección en X calculados en el ítem 4.1.1. mostrados en la tabla 4.14.

TABLA 4.14. Rangos de desplazamiento para cada nivel de desempeño
(Sismo en X)

NIVEL DE DESEMPEÑO	DESPLAZAMIENTO	
	Límite Inferior	Límite Superior
Operacional	0.000	0.036
Funcional	0.036	0.094
Seguridad de Vida	0.094	0.152
Cerca del Colapso	0.152	0.191
Colapso	0.191	0.230

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

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

$$\Delta = 0.004 \text{ m} = 0.40 \text{ cm}$$

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

$$0 < \Delta = 0.004 \text{ m} < 0.036$$

2. Nivel de desempeño para el sismo ocasional

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

$$\Delta = 0.008 \text{ m} = 0.80 \text{ cm}$$

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

$$0 < \Delta = 0.008 \text{ m} < 0.036$$

3. Nivel de desempeño para el sismo raro

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

$$\Delta = 0.012 \text{ m} = 1.2 \text{ cm}$$

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

$$0 < \Delta = 0.012 \text{ m} < 0.036$$

4. Nivel de desempeño para el sismo muy raro

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

$$\Delta = 0.015 \text{ m} = 1.5 \text{ cm}$$

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

$$0 < \Delta = 0.015 \text{ m} < 0.036$$

La tabla 4.15. se muestra con un aspa el desempeño alcanzado y muestra también como la casilla sombreada de color anaranjado los niveles de desempeño sísmico que debería alcanzar la estructura.

TABLA 4.15. Comparación entre los niveles alcanzados para sismos en X y los niveles según la SEAOC

INSTALACIÓN ESENCIAL	NIVEL DE DESEMPEÑO SÍSMICO			
	OPERACIONAL	FUNCIONAL	SEGURIDAD DE VIDA	CERCA AL COLAPSO
Frecuente (T=43 años)				
Ocasional (T=72 años)	X			
Raro (T=475 años)	E - 030			
Muy Raro (T=970 años)	X			

B. Niveles de Desempeño Para los Sismos Aplicados en la Dirección Y

Los desplazamiento de los puntos de desempeño para los sismo en dirección Y se muestran en la tabla 4.16.

TABLA 4.16. Desplazamiento de los puntos de desempeño alcanzados para cada sismo

DIRECCION	SISMO	Δ (m)	Δ (cm)
Y	E-030	0.0015	0.15
	OCASIONAL	0.0017	0.17
	RARO	0.0019	0.19
	MUY RARO	0.0021	0.21

Estos valores se compararán con los valores de la sectorización de la curva de capacidad para el sismo en dirección en Y calculados en el ítem 4.1.1 mostrados en la tabla 4.17.

TABLA 4.17. Rangos de desplazamiento para cada nivel de desempeño
(Sismo en Y)

NIVEL DE DESEMPEÑO	DESPLAZAMIENTO	
	Límite Inferior	Límite Superior
Operacional	0.000	0.014
Funcional	0.014	0.040
Seguridad de Vida	0.040	0.057
Cerca del Colapso	0.057	0.082
Colapso	0.082	0.100

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

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

$$\Delta = 0.0015 \text{ m} = 0.15 \text{ cm}$$

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

$$0 < \Delta = 0.0015 \text{ m} < 0.036$$

6. Nivel de desempeño para el sismo ocasional

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

$$\Delta = 0.0017 \text{ m} = 0.17 \text{ cm}$$

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

$$0 < \Delta = 0.0017 \text{ m} < 0.036$$

7. Nivel de desempeño para el sismo raro

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

$$\Delta = 0.0019 \text{ m} = 0.19 \text{ cm}$$

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

$$0 < \Delta = 0.0019 \text{ m} < 0.036$$

8. Nivel de desempeño para el sismo muy raro

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

$$\Delta = 0.0021 \text{ m} = 0.21 \text{ cm}$$

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

$$0 < \Delta = 0.21 \text{ m} < 0.036$$

La tabla 4.18 muestra con un aspa el desempeño alcanzado y muestra también como la casilla sombreada de color anaranjado los niveles de desempeño sísmico que debería alcanzar la estructura.

TABLA 4.18. Comparación entre los niveles alcanzados para sismos en Y, y los niveles según la SEAOC

INSTALACIÓN ESENCIAL	NIVEL DE DESEMPEÑO SÍSMICO			
	OPERACION AL	FUNCIONAL	SEGURIDAD DE VIDA	CERCA AL COLAPSO
Frecuente (T=43 años)				
Ocasional (T=72 años)	X			
Raro (T=475 años)	E - 030			
Muy Raro (T=970 años)	X			

4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. Niveles de Desempeño alcanzado

a. Niveles de desempeño alcanzados para los sismos aplicados en X

Los resultados que muestran la tabla 4.15. Indican que para el espectro de respuesta calculado con la norma E.030, para el sismo ocasional, para el sismo raro y para el sismo muy raro la estructura alcanza el nivel de desempeño operacional, lo que indica un excelente desempeño de la estructura ante la ocurrencia de estos sismos en la dirección X. estos excelente resultados se explican debido a la posición de las columnas en la dirección X. No se necesitan reparaciones.

b. Niveles de desempeño alcanzados para los sismos aplicados en Y

Los resultados que muestran la tabla 4.18 indican que para el espectro de respuesta calculado con la norma E.030, para el sismo ocasional, para el sismo raro y para el sismo muy raro la estructura alcanza el nivel de desempeño operacional, lo que indica un excelente desempeño de la estructura ante la ocurrencia de estos sismos en la dirección Y. estos excelente resultados se explican debido a la posición de las columnas en la dirección Y. No se necesitan reparaciones.

B. Comparación de resultados con antecedentes teóricos.

En comparación con los estudios realizados tanto a nivel Internacional, Nacional y local, como el trabajo desarrollado en México, edificios monumentales como la iglesia de Santa María del Mar en Barcelona, de los estudios de desempeño sismorresistente de los colegios modernos construidos antes y después de la norma peruana sismorresistente de 1997, de los estudios del “Desempeño Sismorresistente del Edificio 2B de la Universidad Nacional de Cajamarca” y del “Nivel de Desempeño Sísmico del Edificio “A” de la Universidad Privada del Norte – Sede Cajamarca”, podemos decir que el nivel de desempeño del Pabellón de Educación Inicial de la Institución Educativa Experimental Antonio Guillermo Urrelo – Cajamarca es excelente ya que el nivel alcanzado se encuentra en el *rango Operacional* bajo el criterio del Proyecto de Norma E-030 y los tres tipos de demanda indicados por el SEAOC en su documento VISION 2000, cuyos desplazamiento en el eje transversal y longitudinal es como a continuación se detalla: En la dirección Transversal para los sismos Ocasionales se obtuvo un desplazamiento de 3.47% (Dt=0.80cm); ante sismos Raros el desplazamiento alcanzado es de 5.22% (Dt=1.20 cm), ante sismos Muy raros el desplazamiento es de hasta 6.52% (Dt=1.50cm); y para el proyecto de norma E-030 se obtuvo un desplazamiento de 1.74% (Dt=0.40cm). En la dirección longitudinal para los sismos Ocasionales se obtuvo un desplazamientos de 1.7% (Dt=0.17cm); ante sismos Raros el desplazamiento alcanzado es de 1.90% (Dt=0.19 cm), ante sismos Muy raros los desplazamientos son de hasta 2.1% (Dt=0.21cm); y para el proyecto de norma E-030 se obtuvo un desplazamiento de 1.5% (Dt=0.15cm).

De los resultados obtenidos de la infraestructura del pabellón de Educación Inicial de la I.E. Antonio Guillermo Urrelo – Cajamarca, podemos decir que el nivel encontrado con respecto a los antecedentes teóricos tenemos mejores resultados, encontrándose en el *rango Operacional*, bajo el criterio del Proyecto de Norma E-030 y los tres tipos de demanda indicados por el SEAOC en su documento VISION 2000, lo que no sucede con las investigaciones hechas según los antecedentes teóricos en las cuales los niveles encontrados son Operacional y funcional.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El nivel de desempeño en la dirección del eje transversal (Dirección X) de la Infraestructura del pabellón de Educación Inicial de la Institución Educativa Experimental Antonio Guillermo Urrelo – Cajamarca, se encuentra en el *rango Operacional* bajo el criterio del Proyecto de Norma E-030 y los tres tipos de demanda indicados por el SEAOC en su documento VISION 2000: frente a **sismos Ocasionales** se obtuvo un **desplazamiento de 3.47% (Dt=0.80cm)**; ante **sismos Raros** el **desplazamiento alcanzado es de 5.22% (Dt=1.20 cm)**, ante **sismos Muy raros** el **desplazamiento es de hasta 6.52% (Dt=1.50cm)**; y para el **proyecto de norma E-030** se obtuvo un **desplazamiento de 1.74% (Dt=0.40cm)**, encontrándose esta edificación con daños moderados en los elementos no estructurales y en el contenido de la edificación, e incluso algunos daños leves en los elementos estructurales. El daño es limitado y no compromete la seguridad de la estructura para continuar siendo ocupada inmediatamente después del sismo, no obstante, los daños en algunos contenidos y componentes no estructurales pueden interrumpir parcialmente algunas funciones normales. En general se requieren algunas reparaciones menores.
- El nivel de desempeño en la dirección del eje Longitudinal (Dirección y) de la Infraestructura del pabellón de Educación Inicial de la Institución Educativa Experimental Antonio Guillermo Urrelo – Cajamarca, se encuentra en el *rango Operacional* bajo el criterio del Proyecto de Norma E-030 y los tres tipos de demanda indicados por el SEAOC en su documento VISION 2000: frente a **sismos Ocasionales** se obtuvo un **desplazamientos de 1.7% (Dt=0.17cm)**; ante **sismos Raros** el **desplazamiento alcanzado es de 1.90% (Dt=0.19 cm)**, ante **sismos Muy raros** los **desplazamientos son de hasta 2.1% (Dt=0.21cm)**; y para el **proyecto de norma E-030** se obtuvo un **desplazamiento de 1.5% (Dt=0.15cm)**, encontrándose esta edificación con daños moderados en los elementos no estructurales y en el contenido de la edificación, e incluso algunos daños leves en los elementos estructurales. El daño es limitado y no compromete la seguridad de la estructura para continuar siendo ocupada inmediatamente

después del sismo, no obstante, los daños en algunos contenidos y componentes no estructurales pueden interrumpir parcialmente algunas funciones normales. En general se requieren algunas reparaciones menores.

- Luego de los ensayos esclerométricos podemos concluir que la Infraestructura del pabellón de Educación Inicial de la Institución Educativa Experimental Antonio Guillermo Urrelo-Cajamarca, notamos que éstos tienen gran resistencia a la compresión puesto que el concreto del que son conformados es de 217 Kg/cm² y no 210 Kg/cm², como figuraba en los planos originales.
- Los resultados del Análisis Pushover, muestran que la capacidad estructural del Pabellón de Educacionn Inicial de la Institución Educativa Experimental Antonio Guillermo Urrelo - Cajamarca cumple con lo propuesto en las especificaciones técnicas frente a cargas laterales; en la dirección del eje transversal presenta un *cortante basal máximo de 383.104 Tn*, y un *desplazamiento máximo de 23 cm* . En la dirección del eje longitudinal del Pabellón se tiene un *cortante basal máximo de 530.808 Tn* y un *desplazamiento máximo de 10 cm*.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para el uso del esclerómetro se recomienda buscar información o agenciarse de un manual de uso, para obtener mejores resultados en la resistencia del concreto de la edificación en estudio.
- Se recomienda para posteriores trabajos de investigación, realizar el desempeño sísmico de los otros pabellones de la Institución Educativa Experimental Antonio Guillermo Urrelo – Cajamarca, los cuales no se hicieron en dicha Investigación.
- Elaborar planes de contingencia para realizar los reforzamientos y reparaciones respectivas como prevención, y en otros casos como reparación de los edificios.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Andrade, L. 2004. Control de la deriva en las normas de diseño sismoresistente: Introducción. Tesis Bachiller. Cajamarca, Perú, UNC. 3 p.
- Muñoz A., León H., Quintana U., Blondet M. 2005. Desempeño sismoresistente de los colegios peruanos modernos: Resumen. Tesis Bachiller. Cajamarca, Perú, UNC. 1 p.
- Carrillo, J. 2007. Evaluación de la vulnerabilidad Sísmica de estructuras utilizando un diseño por desempeño: Caso de estudio. Tesis Bachiller. Cajamarca, Perú, UNC. 2-5 p.
- Irizarry, J. Podesta, S., Resemini, S. 2003. Curvas de capacidad para edificios monumentales: La Iglesia Santa María del Mar de Barcelona. Tesis Bachiller. Cajamarca, Perú, UNC. 541 p.
- Bertero, V. 1992. Lecciones aprendidas de terremotos catastróficos recientes y otras investigaciones: Filosofía y estado de la práctica del diseño sismoresistente. Tesis Bachiller. Cajamarca, Perú, UNC. 12-18 p.
- Aguiar, R. 2003. Análisis sísmico por desempeño: Descripción de la técnica del Pushover y modelos de Plasticidad. Tesis Bachiller. Cajamarca, Perú, UNC. 30 p.
- ATC-40. 1996. Seismic evaluation and retrofit of concrete building: Performace objectives. Tesis Bachiller. Cajamarca, Perú, UNC. 3-1 p.
- Taipe, J. 2003. Criterios de diseño por desempeño para la norma peruana de diseño sismoresistente: Propuesta de Objetivos de desempeño. Tesis Bachiller. Cajamarca, Perú, UNC. Capitulo 4, 1/33 p.
- Bardales, W. 2010. Desempeño sismoresistente del edificio 2B de la Universidad Nacional De Cajamarca: Bases Teóricas Tesis Bachiller. Cajamarca, Perú, UNC. 28 p.
- ATC-40. 1996. Seismic evaluation and retrofit of concrete building: Excecutive Summary. Tesis Bachiller. Cajamarca, Perú, UNC. XVII p.

ANEXO N° 01

PRUEBA CON ESCLERÓMETRO (MÉTODO ESTÁNDAR DEL NÚMERO DE REBOTES EN CONCRETO ENDURECIDO).

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

MATERIAL : CONCRETO SIMPLE **RESPONSABLE :**
OBRA : TESIS EN DESEMPEÑO SISMORESISTENTE DEL PABELLÓN DE **OPERADOR :** J.I.H.S
 EDUCACIÓN INICIAL DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA **FECHA :** 11 OCTUBRE 2014
 EXPERIMENTAL ANTONIO GUILLERMO URRELO - CAJAMARCA

UBICACIÓN : DISTRITO: CAJAMARCA. PROVINCIA: CAJAMARCA. REGION: CAJAMARCA.
NORMA TECNICA : A.S.T.M. C 805 - 97.
SOLICITANTE : BACH. JOSUÉ ISAAC HUARIPATA SAMÁN

COLUMNA 1 DE SECCIÓN 0.34x0.50 - $f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ INTERSECCIÓN DE LOS EJES D Y I (g)			
UBICACIÓN DE ENSAYO	Ensayo N°	N° REBOTE	ACEPTACIÓN
	1	30	VALIDO
	2	24	VALIDO
	3	34	VALIDO
	4	32	VALIDO
INFRAESTRUCTURA DE LA LE. EXPERIMENTAL ANTONIO GUILLERMO URRELO - COLUMNA 2 (a)	5	28	VALIDO
	6	27	VALIDO
	7	29	VALIDO
	8	31	VALIDO
	9	26	VALIDO
	10	33	VALIDO

COLUMNA 2 DE SECCIÓN 0.34x0.50 - $f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ INTERSECCIÓN DE LOS EJES B Y I (c)			
UBICACIÓN DE ENSAYO	Ensayo N°	N° REBOTE	ACEPTACIÓN
	1	22	NO VALIDO
	2	28	VALIDO
	3	26	VALIDO
	4	34	VALIDO
INFRAESTRUCTURA DE LA LE. EXPERIMENTAL ANTONIO GUILLERMO URRELO - COLUMNA 2 (c)	5	30	VALIDO
	6	30	VALIDO
	7	30	VALIDO
	8	31	VALIDO
	9	30	VALIDO
	10	34	VALIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA

PROMEDIO : 29
DESVIACION ESTANDAR : 3.2
 DATO DEL N° REBOTE - RESISTENCIA A
 COMPRESIÓN DEL CONCRETO, DEL GRAFICO DEL
 ESCLEROMETRO **227 kg/cm²**

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA

PROMEDIO : 30
DESVIACION ESTANDAR : 2.5
 DATO DEL N° REBOTE - RESISTENCIA A COMPRESIÓN
 DEL CONCRETO, DEL GRAFICO DEL ESCLEROMETRO **242 kg/cm²**

COLUMNA 1 DE SECCIÓN 0.30x0.50 - $f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ INTERSECCIÓN DE LOS EJES C Y I (b)			
UBICACIÓN DE ENSAYO	Ensayo N°	N° REBOTE	ACEPTACIÓN
	1	29	VALIDO
	2	28	VALIDO
	3	24	VALIDO
	4	25	VALIDO
INFRAESTRUCTURA DE LA LE. EXPERIMENTAL ANTONIO GUILLERMO URRELO - COLUMNA 2 (b)	5	22	VALIDO
	6	26	VALIDO
	7	30	VALIDO
	8	23	VALIDO
	9	26	VALIDO
	10	24	VALIDO

DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA	RESISTENCIA PROMEDIO
COLUMNA 2 (a)	227	
COLUMNA 2 (b)	242	217 kg/cm ²
COLUMNA 2 (c)	182	

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA

PROMEDIO : 26
DESVIACION ESTANDAR : 2.6
 DATO DEL N° REBOTE - RESISTENCIA A
 COMPRESIÓN DEL CONCRETO, DEL GRAFICO DEL
 ESCLEROMETRO **182 kg/cm²**

ANEXO N° 02

METRADO DE CARGAS

En el Análisis estructural usado el software SAP2000 no se usa el peso propio de los elementos, pues el programa lo calcula por sí mismo, entonces los cálculos realizados tan solo son los siguientes.

A. PRIMER NIVEL

a. Cargas muertas en vigas principales.

❖ Cargas muertas provenientes de losa aligerada.

EJE	W (kg/m ²)	Ancho de Influencia (m)	Carga (kg/m)	Carga (Tn/m)
A	350	2.39	836.5	0.837
B	350	4.78	1673	1.673
C	350	4.78	1673	1.673
D	350	4.78	1673	1.673
E	350	4.78	1673	1.673
F	350	4.78	1673	1.673
G	350	3.89	1361.5	1.362

❖ Cargas muertas provenientes de piso terminado.

EJE	W (kg/m ²)	Ancho de Influencia (m)	Carga (kg/m)	Carga (Tn/m)
A	100	2.45	245	0.245
B	100	5.1	510	0.510
C	100	5.1	510	0.510
D	100	5.1	510	0.510
E	100	5.1	510	0.510
F	100	5.1	510	0.510
G	100	3.94	394	0.394

❖ Cargas muertas provenientes de muros.

EJE	W (kg/m ³)	Espesor (m)	Altura muro (m)	Carga (kg/m)	Carga (Tn/m)
A entre 1 - Volado	1800	0.25	3.57	1606.5	1.607
B entre 3 - volado	1800	0.25	2.5	1125	1.125
G entre 1 - Volado	1800	0.25	3.57	1606.5	1.607

b. Cargas vivas en vigas principales.

EJE	Descrip.	W (kg/m ²)	Ancho de Influencia (m)	Carga (kg/m)	Carga (Tn/m)
A entre 1 - Voladizo	Auditorio	300	2.39	717	0.717
	SS.HH.	300	2.39	717	0.717
B entre 1 - Voladizo	Auditorio	300	5.1	1530	1.530
	SS.HH.	300	2.39	717	0.717
C entre 1-Vol.	Auditorio	300	5.1	1530	1.530
D entre 1-Vol.	Auditorio	300	5.1	1530	1.530
E entre 1-Vol.	Auditorio	300	5.1	1530	1.530
F entre 1-Vol.	Auditorio	300	5.1	1530	1.530
G entre 1-Vol.	Pasadizo	400	1.5	600	0.600
	Auditorio	300	2.39	717	0.717

c. Cargas muertas en vigas secundarias.

❖ Cargas muertas provenientes de losa aligerada.

EJE	W (kg/m ²)	Ancho de Influencia (m)	Carga (kg/m)	Carga (Tn/m)
1	350	0.5	175	0.175
3	350	1	350	0.35

❖ Cargas muertas provenientes de piso terminado.

EJE	W (kg/m ²)	Ancho de Influencia (m)	Carga (kg/m)	Carga (Tn/m)
1	100	0.5	50	0.05
3	100	1	100	0.1

❖ Cargas muertas provenientes de muros.

EJE	W (kg/m ³)	Espesor (m)	Altura muro (m)	Carga (kg/m)	Carga (Tn/m)
1	1800	0.25	1	450	0.45
3	1800	0.25	1	450	0.45

d. Cargas vivas en vigas secundarias.

EJE	Descrip.	W (kg/m ²)	Ancho de Influencia (m)	Carga (kg/m)	Carga (Tn/m)
1 de A - G	Auditorio	300	0.5	150	0.15
	Pasadizo	400	0.5	200	0.2
3 de A - B	Auditorio	300	0.5	150	0.3
	SS.HH.	300	0.5	150	0.3
3 de B - G	Auditorio	300	1	300	0.3
	Pasadizo	400	1	400	0.4

B. SEGUNDO NIVEL.

a. Cargas muertas en vigas principales.

❖ Cargas muertas de teja fibro cemento.

EJE	W (kg/m ²)	Ancho de Influencia (m)	Longitud (m)	Carga (kg)	Carga (Tn/m)
A	10.24	1.00	3.25	33.28	0.038
B	10.24	1.00	5.1	52.22	0.060
C	10.24	1.00	5.1	52.22	0.060
D	10.24	1.00	5.1	52.22	0.060
E	10.24	1.00	5.1	52.22	0.060
F	10.24	1.00	5.1	52.22	0.060
G	10.24	1.00	3.25	33.28	0.038

❖ Cargas muertas provenientes de correas de acero.

EJE	W (kg/ml)	Longitud (m)	Carga (kg)	Carga (Tn/m)
A	2.77	3.25	9.0025	0.010
B	2.77	5.1	14.127	0.016
C	2.77	5.1	14.127	0.016
D	2.77	5.1	14.127	0.016
E	2.77	5.1	14.127	0.016
F	2.77	5.1	14.127	0.016
G	2.77	3.25	9.0025	0.010

b. Cargas vivas en vigas principales.

EJE	W (kg/m ²)	Ancho de Influencia (m)	Longitud (m)	Carga (kg)	Carga (Tn)
A	50	1.00	5.1	255.00	0.26
B	50	1.00	5.1	255.00	0.26
C	50	1.00	5.1	255.00	0.26
D	50	1.00	5.1	255.00	0.26
E	50	1.00	5.1	255.00	0.26
F	50	1.00	5.1	255.00	0.26
G	50	1.00	5.1	255.00	0.26

c. Cargas muertas en vigas secundarias.

EJE	W (kg/m²)	Ancho de Influencia (m)	Carga (kg/m)	Carga (Tn/m)
1	350	0.5	175	0.175
2	350	1	350	0.35
3	350	1	350	0.35

d. Cargas vivas en vigas secundarias.

EJE	W (kg/m²)	Ancho de Influencia (m)	Carga (kg/m)	Carga (Tn/m)
1	50	0.5	25	0.025
2	50	1	50	0.5
3	50	1	50	0.05

ANEXO N° 03

PANEL FOTOGRÁFICO



Foto 01: vista de la fachada principal - vía de evitamiento sur.



Foto 02: vista del Esclerómetro y otros materiales usado para realizar el ensayo.



Foto 03: Preparar la superficie a examinar quitando el enlucido que recubren el concreto.

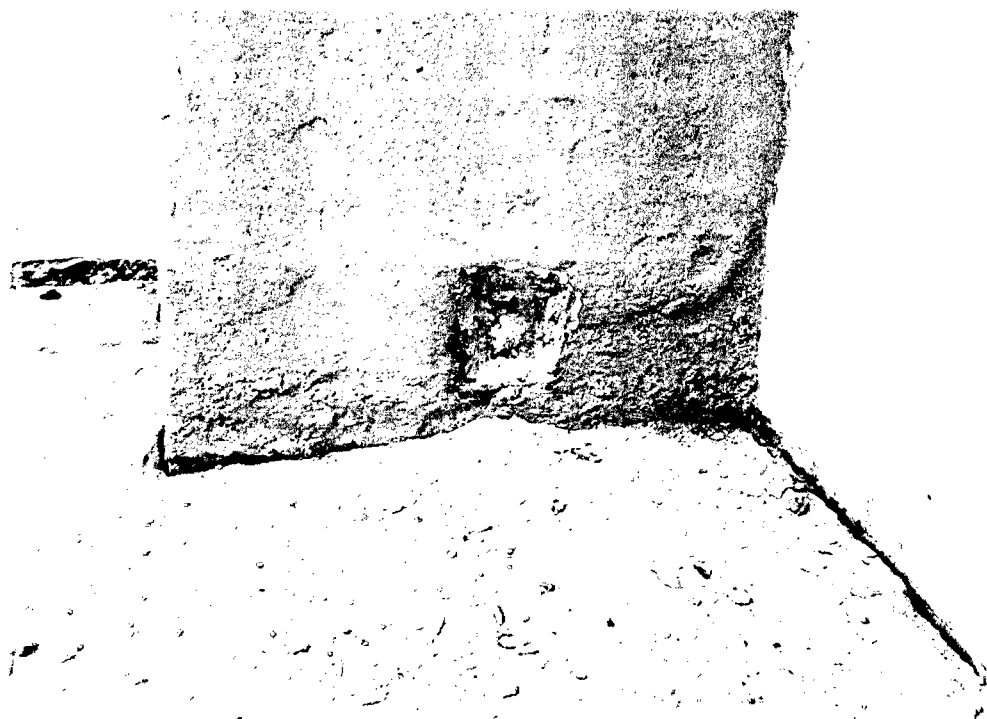


Foto 04: Superficie en la cual se realizó el ensayo con Esclerómetro debe de estar liso.



Foto 05: Realizando el ensayo y para ello hay que dar al menos 10 golpes por pieza a examinar y descartando las lecturas que difieran del promedio en más de 5 unidades.



Foto 06: Vista panorámica de las columnas a, b y c en los cuales se realizó el ensayo.

ANEXO N° 04

PLANOS