

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL
DE INGENIERÍA CIVIL



**“DETERMINACIÓN DE LA SEGURIDAD SÍSMICA EN ESCUELAS DEL
DISTRITO DE CAJAMARCA POR EL MÉTODO DE ESPECTRO DE
CAPACIDAD”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. EMERSSON SAMUEL AGUILAR HUAMÁN

ASESOR:

Dr. Ing. MIGUEL ÁNGEL MOSQUEIRA MORENO

CAJAMARCA – PERÚ

2018

AGRADECIMIENTO

A mi asesor Dr. Ing. Miguel Ángel Mosqueira
Moreno, por su orientación en la presente
tesis de grado.

A la Escuela Académico Profesional de Ingeniería
Civil, por las enseñanzas y vivencias
durante los años de estudios.

A Aysa por su cariño y ayuda constante.

DEDICATORIA

A Dios por la vida, la salud, por todo.

A mis padres Samuel Aguilar y Norma Huamán
por su apoyo incondicional, guía e inspiración.

A mis hermanas Judith y Gabriela por estar
presentes en cada momento de mi vida.

A mi hermano Baltazar por cada día.

A mi tía Violeta por su fortaleza en estos
momentos difíciles que le ha tocado pasar.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE DE TABLAS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	
1.1 Planteamiento del problema.....	01
1.2 Problema.....	02
1.3 Hipótesis.....	02
1.4 Justificación.....	02
1.5 Limitaciones.....	02
1.6 Alcances.....	02
1.7 Objetivos.....	03
1.7.1 Objetivo general.....	03
1.7.2 Objetivos específicos.....	03
1.8 Organización del trabajo.....	03
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes teóricos de la investigación.....	05
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	05
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	06
2.2 Bases teóricas.....	07
2.2.1 Seguridad sísmica en edificios esenciales.....	07
2.2.1.1 Requisitos de seguridad en códigos de construcción sismoresistente.....	07

2.2.2 Determinación de la seguridad sísmica en edificios esenciales.....	09
2.2.2.1 Estimación de la acción sísmica.....	09
2.2.2.2 Evaluación del comportamiento de los edificios.....	13
2.2.2.3 Evaluación de la seguridad: estimación de daños y pérdidas esperadas.....	24
2.3. Definición de términos básicos.....	34
CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1 Ubicación geográfica.....	37
3.2 Época de la investigación.....	37
3.3 Procedimiento.....	37
3.3.1 Descripción de las edificaciones a estudiar.....	37
3.3.1.1 Propiedades y especificaciones técnicas de los materiales de construcción de las instituciones educativas.....	43
3.3.1.2 Metrado de cargas.....	44
3.3.2 Seguridad Sísmica.....	44
3.3.2.1 Estimación de la acción sísmica para Cajamarca.....	44
3.3.2.2 Estimación del nivel de desempeño.....	53
3.3.2.3 Estimación de daños y pérdidas esperadas.....	61
3.3.2.4 Diagrama de la metodología.....	61
3.4 Tratamiento, análisis de datos y discusión de resultados.....	63
3.4.1 Población y muestra del estudio.....	63
3.4.2 Tipo de investigación.....	63
3.4.3 Tipo de análisis.....	63
3.4.4 Recolección de datos.....	63
3.4.5 Procesamiento de datos.....	64
3.4.6 Análisis de datos y presentación de los resultados.....	64

3.4.6.1 Modelamiento de las estructuras	64
3.4.6.2 Curvas de capacidad de las estructuras	66
3.4.6.3 Representación bilineal de las curvas de capacidad	72
3.4.6.4 Sectorización de las curvas de capacidad y nivel de desempeño para las diferentes sollicitaciones sísmicas	77
3.4.6.5 Curvas de fragilidad, matrices de probabilidad de daño y grado de daño medio normalizado para las diferentes sollicitaciones sísmicas	83
3.4.6.6 Índice de pérdida económica	94
3.4.6.7 Índice de funcionalidad	104
3.4.6.8 Tiempo de recuperación	106
3.4.6.9 Síntesis de los resultados	115
3.4.6.9 Gráficos comparativos de los resultados obtenidos para las categorías estudiadas	115

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Niveles de desempeño alcanzados	116
4.2 Grado de daño medio normalizado	118
4.3 Índice de pérdida económica	119
4.4 Índice de funcionalidad	121
4.5 Tiempo de recuperación	122

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES	125
RECOMENDACIONES	127
REFERENCIAS	128
ANEXO 01	132
ANEXO 02	145

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Categorías de edificaciones atendiendo su importancia en diversas normas sismoresistentes	7
Tabla 2.2: Periodos de retorno para los diferentes niveles de amenaza.....	10
Tabla 2.3: Valores de máximas aceleraciones esperadas (PGA) para las capitales de departamento del Perú	10
Tabla 2.4: Valores de aceleración esperada para los sismos de diseño en Cajamarca	11
Tabla 2.5: Valores de aceleración esperada escalados de los datos del IGP para los sismos de diseño en Cajamarca.....	12
Tabla 2.6: Valores de aceleración esperada para los sismos de diseño en Cajamarca aplicando la fórmula del Eurocódigo 8	12
Tabla 2.7: Valores de aceleración esperada para los sismos de diseño en Cajamarca.....	13
Tabla 2.8: Niveles de comportamiento sísmico de según el comité VISIÓN 2000 (SEAO 1995).....	15
Tabla 2.9: Niveles de comportamiento y amenaza según tipo de instalación	16
Tabla 2.10: Niveles de comportamiento estructural.....	17
Tabla 2.11: Definición de los umbrales de los diferentes estados de daño de acuerdo a la propuesta Risk-UE.....	25
Tabla 2.12: Límite inferior, límite superior y valor máxima de pertenencia de los costos de la pérdida (en porcentaje del valor de reposición del edificio), según estado de daño	29
Tabla 2.13: Tiempos de recuperación propuestos por FEMA 227	33
Tabla 3.1: Características de los materiales que caracterizan los elementos estructurales de cada institución educativa.....	43
Tabla 3.2: Valores de aceleración esperada para los sismos de diseño en Cajamarca.....	44
Tabla 3.3: Cálculo de los parámetros para los sismos de diseño en Cajamarca	44
Tabla 3.4: Valores de parámetros encontrados para diversos países según la propuesta de Aguiar (2004)	45
Tabla 3.5: Factores de zona	48
Tabla 3.6: Factores de uso (U)	48
Tabla 3.7: Factor de suelo “S”	49
Tabla 3.8: Periodos T_p y T_L	49;ii
Tabla 3.9: Coeficiente básico de reducción de fuerzas sísmicas (R_o)	50
Tabla 3.10: Parámetros de cada escuela, de acuerdo a la N.T.E.030	51

Tabla 3.11: Rangos de desplazamiento para cada nivel de desempeño	61
Tabla 3.12: Tipo de investigación	63
Tabla 3.13: Rangos de desplazamiento para cada nivel de desempeño	77
Tabla 3.14: Niveles de comportamiento sísmico esperados	77
Tabla 3.15: Intervalo y puntos de desempeño para la dirección X- I.E. Fernández Gil.....	78
Tabla 3.16: Intervalo y puntos de desempeño para la dirección Y- I.E. Fernández Gil.....	78
Tabla 3.17: Intervalo y puntos de desempeño para la dirección X- I.E. Urubamba Bajo...79	
Tabla 3.18: Intervalo y puntos de desempeño para la dirección Y- I.E. Urubamba Bajo...79	
Tabla 3.19: Intervalo y puntos de desempeño para la dirección X- I.E. Pachacútec.....	80
Tabla 3.20: Intervalo y puntos de desempeño para la dirección Y- I.E. Pachacútec.....	80
Tabla 3.21: Intervalo y puntos de desempeño para la dirección X- I.E. Santa Teresita.....	81
Tabla 3.22: Intervalo y puntos de desempeño para la dirección Y- I.E. Santa Teresita.....	81
Tabla 3.23: Intervalo y puntos de desempeño para la dirección X- I.E. Champagnat.....	82
Tabla 3.24: Intervalo y puntos de desempeño para la dirección Y- I.E. Champagnat.....	82
Tabla 3.25: Definición de los umbrales de los diferentes estados de daño de acuerdo a la propuesta Risk-UE.....	83
Tabla 3.26: Umbrales calculados para los diferentes estados de daño- Dirección X.....	83
Tabla 3.27: Umbrales calculados para los diferentes estados de daño- Dirección Y	83
Tabla 3.28: Matriz de probabilidad de daño- Dirección x.....	84
Tabla 3.29: Grado de daño medio y grado de daño medio normalizado	84
Tabla 3.30: Matriz de probabilidad de daño- Dirección y.....	85
Tabla 3.31: Grado de daño medio y grado de daño medio normalizado.....	85
Tabla 3.32: Matriz de probabilidad de daño- Dirección x.....	86
Tabla 3.33: Grado de daño medio y grado de daño medio normalizado	86
Tabla 3.34: Matriz de probabilidad de daño- Dirección y	87
Tabla 3.35: Grado de daño medio y grado de daño medio normalizado	87
Tabla 3.36: Matriz de probabilidad de daño- Dirección x	88
Tabla 3.37: Grado de daño medio y grado de daño medio normalizado	88
Tabla 3.38: Matriz de probabilidad de daño- Dirección y	89

Tabla 3.39: Grado de daño medio y grado de daño medio normalizado	89
Tabla 3.40: Matriz de probabilidad de daño- Dirección x	90
Tabla 3.41: Grado de daño medio y grado de daño medio normalizado	90
Tabla 3.42: Matriz de probabilidad de daño- Dirección y	91
Tabla 3.43: Grado de daño medio y grado de daño medio normalizado	91
Tabla 3.44: Matriz de probabilidad de daño- Dirección x	92
Tabla 3.45: Grado de daño medio y grado de daño medio normalizado	92
Tabla 3.46: Matriz de probabilidad de daño- Dirección y	93
Tabla 3.47: Grado de daño medio y grado de daño medio normalizado	93
Tabla 3.48: Índice de pérdida económica dirección “x” encontrado para cada sismo de diseño I.E. N°82030 Fernández Gil	95
Tabla 3.49: Índice de pérdida económica dirección “y” encontrado para cada sismo de diseño I.E. N°82030 Fernández Gil	96
Tabla 3.50: Índice de pérdida económica dirección “x” encontrado para cada sismo de diseño I.E. N°821396 Urubamba Bajo	97
Tabla 3.51: Índice de pérdida económica dirección “x” encontrado para cada sismo de diseño I.E. N°821396 Urubamba Bajo	98
Tabla 3.52: Índice de pérdida económica dirección “x” encontrado para cada sismo de diseño I.E. N°82594 Pachacútec	99
Tabla 3.53: Índice de pérdida económica dirección “y” encontrado para cada sismo de diseño I.E. N°82594 Pachacútec	100
Tabla 3.54: Índice de pérdida económica dirección “x” encontrado para cada sismo de diseño I.E. N°82016 Santa Teresita (primaria)	101
Tabla 3.55: Índice de pérdida económica dirección “y” encontrado para cada sismo de diseño I.E. N°82016 Santa Teresita (primaria)	102
Tabla 3.56: Índice de pérdida económica dirección “x” encontrado para cada sismo de diseño I.E. San Marcelino Champagnat	103
Tabla 3.57: Índice de pérdida económica dirección “y” encontrado para cada sismo de diseño I.E. San Marcelino Champagnat	104
Tabla 3.58: Índice de funcionalidad calculado para cada sismo de diseño I.E. N°82030 Fernández Gil	104
Tabla 3.59: Índice de funcionalidad calculado para cada sismo de diseño I.E. N°821396 Urubamba bajo	104
Tabla 3.60: Índice de funcionalidad calculado para cada sismo de diseño I.E. N°82954 Pachacútec	105

Tabla 3.61: Índice de funcionalidad calculado para cada sismo de diseño I.E. N°82016 Santa Teresita (primaria)	105
Tabla 3.62: Índice de funcionalidad calculado para cada sismo de diseño I.E. San Marcelino Champagnat	105
Tabla 3.63: Tiempo de recuperación (días) estimado para cada sismo de diseño I.E. N°82030 Fernández Gil	106
Tabla 3.64: Tiempo de recuperación estimado (días) para cada sismo de diseño I.E. N°821396 Urubamba bajo	106
Tabla 3.65: Tiempo de recuperación estimado (días) para cada sismo de diseño I.E. N°82954 Pachacútec	107
Tabla 3.66: Tiempo de recuperación estimado (días) para cada sismo de diseño I.E. N°82016 Santa Teresita (primaria)	107
Tabla 3.67: Tiempo de recuperación estimado (días) para cada sismo de diseño I.E. San Marcelino Champagnat	107
Tabla 3.68: Resumen nivel de desempeño de las instituciones educativas estudiadas- Dirección “x”	108
Tabla 3.69: Resumen nivel de desempeño de las instituciones educativas estudiadas- Dirección “y”	108
Tabla 3.70: Resumen grado de daño medio de las instituciones educativas estudiadas- Dirección “x”	109
Tabla 3.71: Resumen grado de daño medio de las instituciones educativas estudiadas- Dirección “y”	109
Tabla 3.72: Resumen índice de pérdida económica de las instituciones educativas estudiadas – Dirección “x”	109
Tabla 3.73: Resumen índice de pérdida económica de las instituciones educativas estudiadas – Dirección “y”	109
Tabla 3.74: Índice de funcionalidad para cada institución educativa – Dirección “x” ...	109
Tabla 3.75: Resumen índice de funcionalidad para cada institución educativa – Dirección “x”	110
Tabla 3.76: Resumen tiempo de recuperación estimado (días) para cada institución educativa – Dirección “x”	110
Tabla 3.77: Resumen tiempo de recuperación estimado (días) para cada institución educativa – Dirección “y”	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Curva de capacidad resultado del análisis estático no lineal. (Saavedra, 2018)	14
Figura 2.2: Patrones de carga lateral (Bolaños, 2015)	18
Figura 2.3: Curva de capacidad (Zabala, 2017)	18
Figura 2.4: Representación bilineal de la curva de capacidad –Procedimiento empleado en FEMA 356 (FEMA, 2000)	21
Figura 2.5: Conversión del espectro elástico a espectro de demanda en formato ADRS (ATC-40,1996)	22
Figura 2.6: Conversión del espectro elástico a espectro de demanda en formato ADRS (ATC-40,1996)	23
Figura 2.7: Intersección del espectro de capacidad y espectro de demanda (Risk-UE, 2003)	23
Figura 2.8: Determinación del punto de comportamiento (ATC-40, 1996)	24
Figura 2.9: Umbrales de estados de daño para la definición de curvas de fragilidad. Fuente: (Martínez, 2012)	25
Figura 2.10: Distribución acumulativa log normal calculada con la función de densidad de las curvas de fragilidad para cada estado de daño. Ejemplo para un estado de daño moderado	26
Figura 2.11: Curvas de fragilidad para diferentes niveles de daño, ejemplo de edificio con forjados reticulares. (Vielma et al, 2008)	26
Figura 2.12: Ejemplo cálculo de las probabilidades de ocurrencia para cada estado de daño de un edificio de forjados reticulares. (Vielma et al, 2008)	27
Figura 2.13: Ejemplo de matriz de probabilidad de daño para diferentes edificaciones. Nótese que las probabilidades acumuladas de todos los estados de daño deben sumar la unidad. Fuente: (Martínez, 2012)	28
Figura 2.14: Ejemplo de histograma de probabilidad de daño para el punto de capacidad por demanda de una edificación	28
Figura 2.15: Funciones de pérdida (% del valor de reposición del edificio) para cada estado de daño. Fuente: Valcárcel (2013)	30
Figura 2.16: Ejemplo de envolvente de las funciones de pertenencia normalizadas con los resultados de las matrices de probabilidad de daño para un edificio	31
Figura 2.17: Ejemplo del centroide de la envolvente de las funciones de pertenencia normalizadas. Se destaca que la abscisa del centroide corresponde al índice de pérdida económica	31
Figura 2.18: Gráfico que relaciona el índice de funcionalidad con el grado de daño medio normalizado, según la ecuación 2.14	32
Figura 2.19: Tiempo de recuperación según el grado de daño medio	33

Figura 3.1: Módulo A de la I.E. N° 82030 Fernández Gil (Fuente: propia)	38
Figura 3.2: Módulo A de la I.E. N° 82030 Fernández Gil (Fuente: propia)	38
Figura 3.3: Vista frontal del módulo N° 1 de la I.E. N° 821396 – Sector Urubamba (Fuente: propia)	39
Figura 3.4: Vista lateral del módulo N° 1 de la I.E. N° 821396 – Sector Urubamba (Fuente: propia)	39
Figura 3.5: Módulo C de la I.E. N° 82954 Pachacútec (Fuente: propia)	40
Figura 3.6: Módulo C de la I.E. N° 82954 Pachacútec (Fuente: propia)	40
Figura 3.7: Fachada principal de la I.E. N° 82016 Santa Teresita- Primaria (Fuente: propia)	41
Figura 3.8: Pabellón de educación primaria de la I.E. N° 82016 Santa Teresita (Fuente: propia)	41
Figura 3.9: Módulo estudiado de la I.E. San Marcelino Champagnat (Fuente: propia)	42
Figura 3.10: Módulo estudiado de la I.E. San Marcelino Champagnat (Fuente: propia)	42
Figura 3.11: Gráfico de espectro de respuesta elástico y espectro de respuesta inelástico	47
Figura 3.12: Espectros de respuesta calculados para los sismos de diseño y la evaluación del comportamiento sísmico para Cajamarca según el Comité Vision 2000- SUELO S2	52
Figura 3.13: Espectros de respuesta calculados para los sismos de diseño y la evaluación del comportamiento sísmico para Cajamarca según el Comité Vision 2000- SUELO S3	53
Figura 3.14: Diagrama momento curvatura encontrado con la función “section designer” para una columna de sección rectangular	56
Figura 3.15: Construcción de la rótula plástica para la columna usando el diagrama momento curvatura	56
Figura 3.16: Definición de la rótula en el programa Etabs v.16 usando el diagrama momento curvatura	57
Figura 3.17: Identificación de respuestas límites en una columna. (Fuente: FEMA 2000)	57
Figura 3.18: Esquema simplificado de la o linealidad de un elemento estructural viga	58
Figura 3.19: Parámetros para la modelación y criterios de aceptación numérica para procedimientos de análisis no lineal. Fuente: ASCE 41 -13 (Tabla 10-7)	59
Figura 3.20: Modelación de la rótula para viga en Etabs v.16	60
Figura 3.21: Criterios para la sectorización de la curva de capacidad (Fuente: SEAOC 2000)	61
Figura 3.22: Estructura del módulo A de la I.E. N°82030 Fernandez Gil	64
Figura 3.23: Estructura del módulo N° 1 de la I.E. N°821396 Urubamba Bajo	65
Figura 3.24: Estructura del módulo C de la I.E. N°82594 Pachacútec	65

Figura 3.25: Estructura del módulo de primaria de la I.E. N°82016 Santa Teresita	65
Figura 3.26: Estructura del módulo estudiado de la I.E. San Marcelino Champagnat	66
Figura 3.27: Curva de capacidad dirección X, V vs Despl.	67
Figura 3.28: Curva de capacidad dirección X, en coordenadas espectrales	67
Figura 3.29: Curva de capacidad dirección Y, V vs Despl.	67
Figura 3.30: Curva de capacidad dirección Y, en coordenadas espectrales	67
Figura 3.31: Curva de capacidad dirección X, V vs Despl.	68
Figura 3.32: Curva de capacidad dirección X, en coordenadas espectrales	68
Figura 3.33: Curva de capacidad dirección Y, V vs Despl.	68
Figura 3.34: Curva de capacidad dirección Y, en coordenadas espectrales	68
Figura 3.35: Curva de capacidad dirección X, V vs Despl.	69
Figura 3.36: Curva de capacidad dirección X, en coordenadas espectrales	69
Figura 3.37: Curva de capacidad dirección Y, V vs Despl.	69
Figura 3.38: Curva de capacidad dirección Y, en coordenadas espectrales	69
Figura 3.39: Curva de capacidad dirección X, V vs Despl.	70
Figura 3.40: Curva de capacidad dirección X, en coordenadas espectrales	70
Figura 3.41: Curva de capacidad dirección Y, V vs Despl.	70
Figura 3.42: Curva de capacidad dirección Y, en coordenadas espectrales	70
Figura 3.43: Curva de capacidad dirección X, V vs Despl.	71
Figura 3.44: Curva de capacidad dirección X, en coordenadas espectrales	71
Figura 3.45: Curva de capacidad dirección Y, V vs Despl.	71
Figura 3.46: Curva de capacidad dirección Y, en coordenadas espectrales	71
Figura 3.47: Curva Bilineal – Sismo Dirección X	71
Figura 3.48: Curva Bilineal – Sismo Dirección Y	71
Figura 3.49: Curva Bilineal – Sismo Dirección X	73
Figura 3.50: Curva Bilineal – Sismo Dirección Y	73
Figura 3.51: Curva Bilineal – Sismo Dirección X	74
Figura 3.52: Curva Bilineal – Sismo Dirección Y	74
Figura 3.53: Curva Bilineal – Sismo Dirección X	75
Figura 3.54: Curva Bilineal – Sismo Dirección Y	75
Figura 3.55: Curva Bilineal – Sismo Dirección X	76
Figura 3.56: Curva Bilineal – Sismo Dirección Y	76
Figura 3.57: Nivel de desempeño– Sismo Dirección X –I.E. Fernández Gil	78

Figura 3.58: Nivel de desempeño– Sismo Dirección Y – I.E. Fernández Gil	78
Figura 3.59: Nivel de desempeño– Sismo Dirección X – I.E. Urubamba Bajo	79
Figura 3.60: Nivel de desempeño– Sismo Dirección Y – I.E. Urubamba Bajo	79
Figura 3.61: Nivel de desempeño– Sismo Dirección X – I.E. Pachacútec	80
Figura 3.62: Nivel de desempeño– Sismo Dirección Y – I.E. Pachacútec	80
Figura 3.63: Nivel de desempeño– Sismo Dirección X – I.E. Santa Teresita	81
Figura 3.64: Nivel de desempeño– Sismo Dirección Y - I.E. Santa Teresita	81
Figura 3.65: Nivel de desempeño– Sismo Dirección X – I.E. Champagnat	82
Figura 3.66: Nivel de desempeño– Sismo Dirección Y – I.E. Champagnat	82
Figura 3.67: Curvas de fragilidad I.E. N°82030 Fernández Gil- Dirección x, intersección con los puntos de desempeño para los sismos de diseño	84
Figura 3.68: Curvas de fragilidad I.E. N°82030 Fernández Gil- Dirección y, intersección con los puntos de desempeño para los sismos de diseño	85
Figura 3.69: Curvas de fragilidad I.E. N°821396- Urubamba Bajo - Dirección x, intersección con los puntos de desempeño para los sismos de diseño	86
Figura 3.70: Curvas de fragilidad I.E. N°821396- Urubamba Bajo – Dirección y, intersección con los puntos de desempeño para los sismos de diseño	87
Figura 3.71: Curvas de fragilidad I.E. N°82594 Pachacútec - Dirección x, intersección con los puntos de desempeño para los sismos de diseño	88
Figura 3.72: Curvas de fragilidad I.E. N°82594 Pachacútec - Dirección x, intersección con los puntos de desempeño para los sismos de diseño	89
Figura 3.73: Curvas de fragilidad I.E. N°82016 Santa Teresita (primaria) - Dirección x, intersección con los puntos de desempeño para los sismos de diseño	90
Figura 3.74: Curvas de fragilidad I.E. N°82016 Santa Teresita (primaria) - Dirección y, intersección con los puntos de desempeño para los sismos de diseño	91
Figura 3.75: Curvas de fragilidad I.E. San Marcelino Champagnat - Dirección x, intersección con los puntos de desempeño para los sismos de diseño	92
Figura 3.76: Curvas de fragilidad I.E. San Marcelino Champagnat - Dirección y, intersección con los puntos de desempeño para los sismos de diseño	93
Figura 3.77: Funciones de pertenencia normalizadas con los resultados de las curvas de fragilidad para estimar el índice de pérdida económica para cada sismo de diseño	94
Figura 3.78: Funciones de pertenencia normalizadas con los resultados de las curvas de fragilidad para estimar el índice de pérdida económica para cada sismo de diseño	95
Figura 3.79: Funciones de pertenencia normalizadas con los resultados de las curvas de fragilidad para estimar el índice de pérdida económica para cada sismo de diseño	96
Figura 3.80: Funciones de pertenencia normalizadas con los resultados de las curvas de fragilidad para estimar el índice de pérdida económica para cada sismo de diseño	97

Figura 3.81: Funciones de pertenencia normalizadas con los resultados de las curvas de fragilidad para estimar el índice de pérdida económica para cada sismo de diseño	98
Figura 3.82: Funciones de pertenencia normalizadas con los resultados de las curvas de fragilidad para estimar el índice de pérdida económica para cada sismo de diseño	99
Figura 3.83: Funciones de pertenencia normalizadas con los resultados de las curvas de fragilidad para estimar el índice de pérdida económica para cada sismo de diseño	100
Figura 3.84: Funciones de pertenencia normalizadas con los resultados de las curvas de fragilidad para estimar el índice de pérdida económica para cada sismo de diseño	101
Figura 3.85: Funciones de pertenencia normalizadas con los resultados de las curvas de fragilidad para estimar el índice de pérdida económica para cada sismo de diseño	102
Figura 3.86: Funciones de pertenencia normalizadas con los resultados de las curvas de fragilidad para estimar el índice de pérdida económica para cada sismo de diseño	103
Figura 3.87: Gráfico de los niveles de comportamiento obtenidos para las instituciones educativas analizadas para cada sismo de diseño, dirección “x”	111
Figura 3.88: Gráfico de los niveles de comportamiento obtenidos para las instituciones educativas analizadas para cada sismo de diseño, dirección “y”	111
Figura 3.89: Gráfico del grado de daño medio calculado para las instituciones educativas analizadas para los sismos de diseño dirección “x”	112
Figura 3.90: Gráfico del grado de daño medio calculado para las instituciones educativas analizadas para los sismos de diseño dirección “y”	112
Figura 3.92: Gráfico del índice de pérdida económica calculado para las instituciones educativas analizadas para los sismos de diseño dirección “x”	113
Figura .92: Gráfico del índice de pérdida económica calculado para las instituciones educativas analizadas para los sismos de disereewweño dirección “x”	113
Figura 3.93: Gráfico del índice de funcionalidad calculado para las instituciones educativas analizadas para los sismos de diseño dirección “x”	114
Figura 3.94: Gráfico del índice de funcionalidad calculado para las instituciones educativas analizadas para los sismos de diseño dirección “y”	114
Figura 3.95: Gráfico del tiempo de recuperación estimado para las instituciones educativas analizadas para los sismos de diseño dirección “x”	115
Figura 3.96: Gráfico del tiempo de recuperación estimado para las instituciones educativas analizadas para los sismos de diseño dirección “y”	115

RESUMEN

La presente investigación tiene el propósito de determinar el nivel de seguridad sísmica de cinco escuelas ubicadas en el distrito de Cajamarca. Para ello, se ha aplicado el método de espectro de capacidad establecido por el ATC – 40, caracterizando la seguridad sísmica a través de cinco categorías: comportamiento, grado de daño medio, índice de pérdida económica, índice de funcionalidad y tiempo de recuperación. El desempeño de las edificaciones se ha determinado por medio del análisis estático no lineal (pushover), haciendo uso del software Etabs v.16. El grado de daño medio se ha calculado a través de curvas de fragilidad analíticas que permiten estimar probabilidades para distintos estados de daño, las que también se emplean para definir el índice de pérdida económica (funciones de pertenencia), el índice de funcionalidad (según el estado de daño probable) y el tiempo de recuperación. Se alcanzó un nivel de seguridad sísmica medio para los sismos frecuente y ocasional tanto en la dirección “x” como en la dirección “y”. Sin embargo, para los sismos raro y muy raro la seguridad sísmica es baja en ambas direcciones, principalmente en la dirección “y”, ya que no se cumplen los objetivos de comportamiento propuestos por el SEAOC, el grado de daño medio es muy alto, el índice de pérdida económica es elevado, la funcionalidad es nula y el tiempo de recuperación es cercano a los límites máximos sugeridos por el FEMA 227.

Palabras clave: comportamiento, desempeño, análisis estático no lineal, espectro de capacidad, pérdida económica, funcionalidad, curvas de fragilidad, grado de daño medio.

ABSTRACT

The present investigation has the purpose of determining the level of seismic safety of five schools located in the district of Cajamarca. For this, the capacity spectrum method established for the ATC - 40 was applied, characterizing the seismic safety through five categories: performance, degree of medium damage, economic loss index, functionality index and recovery time. The performance of buildings has been determined through non-linear static analysis (pushover), using the Etabs v.16 software. The degree of average damage has been obtained using analytical fragility curves that allow us to estimate the probabilities for the different damage states, which are used to define economic loss index (the membership functions), the index of functionality (according to the probable damage status) and recovery time. A medium level of seismic safety is seen for frequent and occasional earthquake both in the "x" direction and in the "y" direction. However, for both rare and very rare earthquake the seismic safety is low because performance objectives defined by SEAOC are not met, the degree of average damage is very high, the rate of economic loss is high, the functionality is null and the recovery time is close to the maximum limits suggested by FEMA 227.

Key words: performance, non-linear static analysis, capacity spectrum, economic loss, functionality, fragility curves, degree of average damage.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

A nivel mundial cada vez aumenta el interés por realizar investigaciones en el ámbito de la ingeniería sísmica. Asimismo, en el campo de la seguridad sísmica dicho interés ha estado motivado por los daños y pérdidas en los edificios luego de un terremoto.

Esto conduce al desarrollo constante de metodologías en cuanto al concepto de seguridad sísmica en edificios nuevos y existentes, con el objeto de prevenir daños, pérdidas económicas y de funcionalidad. Para este fin, un método muy difundido es la evaluación de comportamiento sísmico, el cual se basa en el cumplimiento de estándares que influyen en el grado de aversión a pérdidas potenciales así como los criterios necesarios para garantizar los niveles de seguridad deseados.

La presente investigación se desarrolló con la finalidad de determinar la seguridad sísmica de un grupo de escuelas del distrito de Cajamarca, objetivo que se logrará usando la metodología basada en espectros de capacidad. Primero, estimado la acción sísmica, luego evaluando el comportamiento de los edificios y finalmente calculando los daños y pérdidas esperadas.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La seguridad sísmica hace referencia al conjunto de estándares de comportamiento requeridos para un elemento ante la ocurrencia de eventos sísmicos de determinada severidad (Valcárcel, 2013, p.12). Además, implica identificar variables como los daños y pérdidas esperadas que ayudan a priorizar el estudio detallado de las instalaciones y el desarrollo de acciones y programas orientados a la prevención.

En cuanto a la peligrosidad sísmica, el territorio peruano está situado sobre el Cinturón de Fuego Circunpacífico, lugar donde ocurren más del 80% de los sismos que afectan al planeta (INDECI- PUND, 2002). Asimismo, de acuerdo a la NT E 0.30, en base a la distribución espacial de la sismicidad, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de estos con la distancia epicentral, Cajamarca se ubica en zona sísmica 3, siendo zona de alta sismicidad (Vivienda, 2016, p. 576295).

En adición, la NT E 0.30 recomienda usar el sistema dual (muros y pórticos) para estructuras de concreto armado en edificaciones esenciales ubicadas en zona sísmica 3. Sin embargo, la mayoría de escuelas no se han diseñado considerando esta disposición en

nuestro país, de allí la importancia de conocer el nivel de seguridad sísmica que tienen para diferentes solicitaciones sísmicas.

Respecto a lo anterior, en Ica por ejemplo, después del terremoto del año 2007, aun cuando se asume que las edificaciones educativas fueron diseñadas siguiendo las normas vigentes de la época, un total de 1010 instituciones suspendieron sus clases. Además, fueron 76 millones de nuevos soles la inversión realizada hasta el año 2009 para la reconstrucción de escuelas y colegios en la zona afectada (Minedu, citado en Universia, 2009).

Cabe agregar que las instituciones educativas son importantes, no solo por la función social que cumplen a diario con la educación de niños y niñas, sino también porque sus estructuras pueden servir como refugios en situaciones de emergencia o desastre (Coronel y López, 2013, p.66). Se agrega también que, de acuerdo a ESCALE (2018), en el departamento de Cajamarca hay 6912 servicios educativos de gestión pública, las cuales están expuestos al peligro sísmico mencionado anteriormente.

En consecuencia, las edificaciones escolares deben ser objeto de estudio constante y análisis. Por ello, la presente investigación busca aplicar procedimientos analíticos que permitan determinar la seguridad sísmica de las edificaciones educativas cajamarquinas de manera efectiva.

1.2 PROBLEMA

¿Cuál es el nivel de seguridad sísmica de las escuelas en el distrito de Cajamarca?

1.3 HIPÓTESIS

Existe un nivel de seguridad sísmica bajo para el sismo raro y el sismo muy raro, y un nivel de seguridad sísmica medio para el sismo frecuente y el sismo ocasional en las cinco instituciones educativas estudiadas en Cajamarca.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La investigación se justifica considerando la ubicación geográfica y la categoría de las edificaciones estudiadas, ya que considerando la NT E030, las instituciones educativas son edificaciones esenciales (Ver tabla 3.6). Asimismo, su infraestructura alberga a diario gran número de personas, por lo que resulta importante conocer el nivel de seguridad

sísmica que ofrecen para luego fomentar una cultura de prevención y evitar al máximo las pérdidas humanas durante la ocurrencia de un sismo.

Igualmente, este estudio presenta una alternativa diferente al análisis de desempeño que se ha realizado en numerosas investigaciones de la Universidad Nacional de Cajamarca. Ya que además de estimar el comportamiento, se incluyen otras variables como el grado de daño medio, el índice de pérdida económica, el índice de funcionalidad y el tiempo de recuperación, teniendo así un alcance más global de la seguridad sísmica.

Entonces, se espera que el estudio posteriormente ayude a fomentar la evaluación de seguridad sísmica no solo en escuelas, sino también en edificaciones de distintos usos ubicadas en zonas de peligro sísmico.

1.5 LIMITACIONES

- La investigación no considera los efectos de interacción suelo estructura.
- El estudio no contempla análisis dinámicos.
- Para las características de los materiales no se consideran ensayos de esclerometría, debido al número de escuelas por estudiar y a las restricciones del Ministerio de Educación respecto al uso de la infraestructura pública. Por ello, se consideran los datos los expedientes técnicos.
- No se tienen registros históricos de sismos ocurridos en Cajamarca

1.6 ALCANCES

La presente tesis pretende evaluar la seguridad sísmica de las estructuras de un grupo de escuelas públicas en el distrito de Cajamarca, aplicando la metodología basada en espectros de capacidad, la cual consiste en estimar la acción sísmica, evaluar el comportamiento de los edificios y calcular los daños y pérdidas esperadas.

De esta manera, se busca determinar la seguridad sísmica en términos de comportamiento esperado, grado de daño medio, índice de pérdida económica, índice de funcionalidad y tiempo estimado de recuperación. La investigación tiene un alcance descriptivo-aplicativo y se enmarca en el distrito de Cajamarca.

Las cinco escuelas por analizar son: **I.E. N°82030 Fernández Gil, I.E. N°82594 Pachacútec, I.E. 82016 Santa Teresita (primaria), I.E. 821396- Urubamba bajo y I.E. San Marcelino Champagnat**, cabe resaltar que todas tienen sistema estructural

parecido. Además, todas las escuelas han sido diseñadas antes del año 2014, por lo que se asume fueron calculadas con la norma Norma Técnica E.030 del año 2003. No obstante, la evaluación sísmica se realizará usando la normativa más actual del año 2016.

1.7 OBJETIVOS

1.7.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el nivel de seguridad sísmica de las escuelas: I.E. N°82030 Fernández Gil, I.E. N°82594 Pachacútec, I.E. 82016 Santa Teresita (primaria), I.E. 821396- Urubamba bajo y I.E. San Marcelino Champagnat, por el método de espectro de capacidad.

1.7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para todas las instituciones educativas se realizará lo siguiente:

- Verificar de los niveles desempeño sísmico.
- Estimar el daño: evaluación de las curvas de fragilidad.
- Estimar las matrices de probabilidad de daño y del grado de daño medio.
- Estimar el índice de pérdida económica.
- Estimar el índice de funcionalidad.
- Estimar el tiempo de recuperación aproximado, referido a una medida proporcional al estado de daño.
- Realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos entre las escuelas consideradas.

1.7 ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO

El trabajo se ha organizado de la siguiente manera:

- El Capítulo I: Contiene el contexto y el problema (pregunta principal e hipótesis), la justificación, las limitaciones, los alcances de la investigación y sus objetivos.
- El capítulo II: Incluye los antecedentes teóricos de la investigación, bases teóricas y definición de términos básicos.
- El capítulo III: Describe el procedimiento, el tratamiento y análisis de datos y la presentación de resultados.
- El capítulo IV: Describe, explica y discute los resultados de la investigación.
- El capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones.

- Referencias bibliográficas.
- Anexos.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Coronel y Betancourt (2010) desarrollaron una metodología para la estimación de daños y niveles de riesgo sísmico por medio de curvas de fragilidad para edificios escolares en Venezuela. Para ello, realizaron el análisis de desempeño sísmico por el método de coeficientes para un total de 630 escuelas. Los resultados muestran que 53% de las edificaciones estudiadas presentan un nivel de riesgo alto o un riesgo relativamente mayor al resto.

Martínez (2012) de la Universidad Austral de Chile desarrolló la investigación: “Caracterización de la vulnerabilidad sísmica utilizando curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño para algunas tipologías estructurales de hormigón armado”. En dicho estudio emplea el método de espectro de capacidad del ATC-40 para evaluar el desempeño de las estructuras. Concluye que los edificios de muros tienen un mejor comportamiento que los edificios de pórticos para baja y mediana altura en relación a la probabilidad de daño que alcanza cada estructura para su punto de desempeño.

En el 2013 en la Universidad Politécnica de Cataluña, Valcárcel realizó la investigación: “Análisis y Gestión del Riesgo Sísmico de Edificios y Sistemas Esenciales”. En este trabajo se evalúa la seguridad sísmica de edificios destinados a servicios educativos y de salud. Para ello, se emplea como base principal la metodología del análisis de desempeño sísmico, a partir del cual se deducen índices de daño y pérdidas esperadas. Los resultados muestran que la mayoría de edificaciones estudiadas cumplen con el requisito de seguridad de vida, siendo la pérdida económica promedio inferior al 30%.

Irizarry, Valcárcel, Goula y Bosch (2013) desarrollaron una investigación en España titulada “Riesgo sísmico de los edificios especiales de Val d’ Aran y de los centros educativos de la provincia de Girona”. En esta investigación se evaluó la seguridad sísmica de un grupo de centros educativos. Sus resultados muestran que el 95% de los

edificios estudiados cumplen con el criterio operacional. Asimismo, se encontró que para un periodo de retorno de 975 años, un 40% de los edificios estudiados presentan un índice de pérdida superior al 30%. Finalmente se encuentra que para un sismo raro, el 50% de los edificios estudiados presentan un tiempo de recuperación inferior a 30 días.

Moreno Gonzalez y Bairán García (2012) elaboraron la investigación “Evaluación sísmica de los edificios de mampostería típicos de Barcelona aplicando la metodología Risk UE”. Utilizan la metodología simplificada de espectros de capacidad para encontrar el grado de daño medio de las edificaciones. Concluyen que el menor grado de daño medio se obtiene para las edificaciones situadas en suelo tipo A, mientras que los mayores daños se encontraron para los edificios ubicados en suelo tipo D, siendo un factor importante la irregularidad geométrica de las construcciones.

En el 2013 Vargas, Pujades, Barbath y Hurtado realizaron en España el estudio “Evaluación probabilista de capacidad, fragilidad y daño sísmico de edificios de hormigón armado”. Se presenta una comparación entre el análisis probabilístico usando dinámica estocástica no lineal y el método de análisis estático no lineal por espectros de capacidad para un edificio simétrico de hormigón armado. Los resultados muestran pequeñas diferencias en cuanto al cálculo del daño medio aunque existe gran semejanza en la aproximación lineal equivalente en ambos métodos.

2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES

Velásquez (2006) de la Pontificia Universidad Católica del Perú, realizó un estudio para proponer una metodología para la Estimación de Pérdidas por sismo en edificios peruanos mediante curvas de fragilidad analíticas en dos colegios típicos peruanos “780 antiguo” y “780 moderno”. Se obtuvo como resultado que el colegio “780 moderno” tiene baja probabilidad de daños severos para sismos moderados a diferencia del colegio “780 antiguo” que tiene mayor probabilidad de colapso, siendo el daño promedio para esta estructura 43.75%.

En 2006, en la Pontificia Universidad Católica del Perú, Astorga y Aguilar realizaron la investigación “Evaluación del riesgo sísmico de edificaciones educativas peruanas”. En dicha investigación estudiaron cinco tipos estructurales de colegios representativos del país. Los resultados muestran que para un sismo frecuente, 50 años de periodo de retorno, el factor de daño medio en los edificios de adobe sería de 45%, en los edificios de concreto albañilería construidos antes de 1997 alrededor de 20% y en los edificios

recientes de concreto-albañilería de sólo 5%. Sin embargo, en un sismo raro, los resultados muestran que el factor de daño medio para los edificios de adobe sería de 95%, alrededor de 65% para los de concreto-albañilería anteriores a 1997 y de 38% para los edificios de concreto albañilería posteriores a 1997.

En la Universidad Nacional de Cajamarca se han realizado numerosas investigaciones que utilizan el análisis de desempeño sísmico para evaluar estructuras de concreto armado: Bolaños (2015), Merino (2013), Huaripata (2014), Ramírez (2014), Orrillo (2014), Soto (2015), entre otros. Asimismo, cabe destacar que Bolaños (2015) y Ramírez (2014) han llegado a desarrollar curvas de fragilidad estructural de acuerdo a la metodología HAZUS (2003, p.38) para las edificaciones estudiadas, concluyendo en estimación de daños para cada nivel de los sismos de diseño en las dos direcciones ortogonales x e y.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 SEGURIDAD SÍSMICA EN EDIFICIOS ESENCIALES

De acuerdo con Valcárcel (2013), la problemática de la seguridad sísmica ha sido gradualmente conocida y enfrentada a medida que han ocurrido eventos desastrosos, realizándose progresivas mejoras en los estudios de peligrosidad sísmica en los códigos de construcción sismo resistente.

Así, los códigos sismo resistentes por lo general tienen como principal objetivo proveer estándares mínimos de seguridad para preservar la vida, la salud, la propiedad, el bienestar y riqueza pública. Ello mediante el control, regulación del diseño y construcción de las edificaciones, del uso de su infraestructura, su ubicación y mantenimiento (Holmes, 2009).

2.2.1.1 REQUISITOS DE SEGURIDAD EN CÓDIGOS DE CONSTRUCCIÓN SISMORRESISTENTE

Muchos de los códigos de construcción sismorresistente del mundo clasifican las edificaciones de acuerdo a su importancia con la finalidad de diferenciar las exigencias en el diseño de los edificios, asignando a cada categoría un factor de incremento de acciones sísmicas. En otras palabras, para los niveles de seguridad especificados en cada norma sismoresistente, los edificios de mayor importancia serán diseñados para tener menos daños esperados.

De esta manera, normativas de Latinoamérica como la NSR-10 en Colombia, la AGIES NR-1:2000 en Guatemala, la norma INPRES-CIRSOC 103 de Argentina, la norma NEC-SE-DS de Ecuador, la norma Covenin 1756 – 1 en Venezuela, incluso el Eurocódigo 8 EC8 presentan una clasificación para las edificaciones de acuerdo a su importancia, densidad de ocupación, valores de contenidos, entre otros. La tabla 2.1 muestra la clasificación de las edificaciones para diversas normativas sismorresistentes:

Tabla 2.1: Categorías de edificaciones atendiendo su importancia en diversas normas sismorresistentes

NORMATIVA	CLASIFICACIÓN DE EDIFICACIONES			
NSR 10 (Colombia)	I: Ocupación Normal	II: Estructuras de ocupación especial (densidad de ocupación)	III: De atención a la comunidad. Este grupo comprende aquellas edificaciones y sus accesos que son indispensables después de un temblor para atender la emergencia y preservar a salud y seguridad de las personas exceptuando las incluidas en el grupo IV	IV: Indispensables: Son aquellas edificaciones de atención a la comunidad que debe funcionar durante y después de un sismo, y cuya operación puede ser trasladada rápidamente a un lugar alterno.
Covenin 1756- 1 (2001) (Venezuela)	C	B2 Edificios de uso público o privado de baja ocupación.	B1: Edificios de uso público o privado densamente ocupados.	A: Edificios que albergan instalaciones esenciales de funcionamiento vital en condiciones de emergencia o cuya falla pueda dar lugar a cuantiosas pérdidas humanas o económicas
AGIES NR-1:2000 (2002) (Guatemala)	Obras utilitarias	Obras ordinarias	Importantes: Son aquellas que albergan o pueden afectar a gran número de personas, aquellas donde los ocupantes estén restringidos a desplazarse, aquellas donde se prestan servicios importantes, obra que albergan valores culturales reconocidos o equipos de alto coste.	Esenciales: Son aquellas que deben permanecer operantes durante y después de un desastre o evento adverso.
NEC-SE-DS (Ecuador)		Otras estructuras: Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores.	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente.	Hospitales clínicas, centros de salud o de emergencia, instalaciones militares, bomberos, defensa civil. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua, que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.

E.030 (2016) (Perú)	D: Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.	C: Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósito e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales.	B: Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, establecimientos penitenciarios, museos y bibliotecas. Depósitos de granos y otros importantes para el abastecimiento.	A1: Establecimientos de salud públicos y privados del segundo y tercer nivel, según lo normado por el ministerio de salud. A2: Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de un sismo severo: Establecimientos de salud, puertos, aeropuertos, estaciones de bomberos, policía, instituciones educativas, institutos, universidades.
------------------------	---	--	---	--

IMPRES-CIRSOC 103 (2013) (Argentina)	Grupo C: Construcciones o instalaciones aisladas con ocupación inferior a 10 personas que no estén incluidas en los grupos anteriores y que no afecten a construcciones incluidas en los grupos siguientes: depósitos, establos, silos, tanques apoyados, etc.	Grupo B: Construcciones destinadas a vivienda unifamiliar o multifamiliar; hoteles, comercios e industrias no incluidos en el grupo A. Construcciones cuya falla pueden afectar a una del grupo A. Obras de infraestructura primaria no incluidas en el grupo A.	Grupo A: Construcciones o instalaciones cuyo colapso tiene gran repercusión debido a la ocupación o el uso. Construcciones cuyo contenido es de gran valor o de gran importancia pública. Ejemplos son: edificios de servicios médicos, centrales telefónicas, escuelas, colegios, universidades, entre otros.	Grupo Ao: Construcciones, instalaciones y equipamientos que cumplen funciones esenciales o bien el colapso total o parcial podría producir efectos catastróficos sobre importantes sectores de la población. Ejemplos son sectores y componentes radiactivos de instalaciones, depósitos de gases o líquidos inflamables o tóxicos, áreas esenciales de aeropuertos, entre otros.
EC 8 (Europa)	I: Edificios de menor importancia para la seguridad pública	II: Edificios ordinarios que no pertenecen a las otras categorías	III: Edificios con un importante número de ocupantes.	IV: Edificios que tienen instalaciones esenciales que son requeridas para la recuperación post terremoto y aquellas que contienen sustancias peligrosas.

Fuente: Elaboración propia (en base a las normativas Indicadas en la tabla)

- **Edificios esenciales: escuelas y colegios**

Como lo muestra la tabla 2.1, la Norma Técnica E.030 define los edificios esenciales como aquellos cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo. Asimismo, son todas las edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre, entre ellas se incluyen las **instituciones educativas**. (Explicar la definición de refugio)

Entonces, dada la importancia de estas edificaciones es indispensable el análisis de seguridad sísmica, el cual está asociado a un umbral definido, descrito por el nivel de comportamiento y nivel de amenaza, de acuerdo a la filosofía de diseño basado en

comportamiento y en los requerimientos de los códigos de construcción sismo resistente, complementando este análisis con una estimación de las pérdidas esperadas.

2.2.2. DETERMINACIÓN DE LA SEGURIDAD SÍSMICA EN EDIFICIOS ESENCIALES

Para determinar la seguridad sísmica se adopta la metodología de espectros de capacidad, la cual en síntesis abarca tres grandes aspectos: 1) *Estimación de la acción sísmica* 2) *valuación del comportamiento de los edificios* 3) *Evaluación de la seguridad: estimación de daños y pérdidas esperadas.*

2.2.2.1 ESTIMACIÓN DE LA ACCIÓN SÍSMICA

2.2.2.1.1 Solicitaciones Sísmicas, cálculo de aceleraciones esperadas para los sismos de diseño en Cajamarca

El comité VISION 2000 (1995) citado en.. establece cuatro niveles de severidad para las sollicitaciones sísmicas, cada uno de los cuales se define por un sismo de diseño. Dado que los sismos son tratados como sucesos aleatorios, la cuantificación de sus efectos sólo puede hacerse en términos de probabilidad y riesgo. Así, la peligrosidad se define a partir de la vida útil del proyecto y la probabilidad de excedencia de los parámetros de movimiento del suelo en dicho periodo. La siguiente tabla muestra las sollicitaciones de diseño:

Tabla 2.2: Periodos de retorno para los diferentes niveles de amenaza

Clasificación del evento	Periodo de retorno años	Probabilidad de excedencia
Frecuente	43	50% en 30 años
Ocasional	75	50% en 50 años
Raro	475	10% en 50 años
Muy raro	975	10% en 100 años

Fuente: SEAOC (1995) citado en...

En esta línea, *el estudio de Re-evaluación del Peligro Sísmico Probabilístico para el Perú (2014)*, proyecto del Instituto Geofísico del Perú en cooperación con el Banco Mundial presenta los valores correspondientes a las aceleraciones máximas PGA (gals = cm/s²) para diferentes periodos de retorno y periodos estructurales que coinciden con los periodos de retorno de los sismos de diseño mostrados en la tabla 2.2. Los valores de aceleraciones sísmicas estimados para cada capital de departamento del Perú se presentan en la tabla 2.3.

Tabla 2.3: Valores de máximas aceleraciones esperadas (PGA) para las capitales de departamento del Perú

Ciudad	Coordenadas Geográficas		Aceleraciones Máximas PGA (gals) por periodo de retorno en años Tr			
	Latitud	Longitud	Tr = 50	Tr = 100	Tr = 475	Tr = 975
Tumbes	-3.56	-80.45	181.72	228.43	409.05	494.84
Piura	-5.2	-80.63	181.32	228.89	412.19	499.87
Chiclayo	-6.77	-79.84	166.02	201.69	366.46	437.97
Trujillo	-8.11	-79.03	181.79	230.2	41356	498.62
Huaraz	-9.53	-77.53	102.48	158.22	253.8	312.68
Lima	-12.05	-77.05	188.66	246.28	444.23	541.15

Ica	-14.07	-75.73	206.92	279.28	473.32	569.62
Arequipa	-16.4	-71.54	175.97	218.77	382.99	452.52
Moquegua	-16.93	-70.98	188.69	238.96	426.17	499.97
Tacna	-17.99	-70.24	198.93	260.6	445.1	543.08
Cajamarca	-7.17	-78.52	88.29	120.23	214.97	265.05
Chachapoyas	-6.21	-77.85	101.34	155.27	249.55	314.96
Moyobamba	-6.05	-76.97	160.98	192.42	321.88	399.27
Huánuco	-9.93	-76.24	94.63	135.73	228.31	283.42
C. Pasco	-10.43	-75.15	97.65	145.38	242.28	305.37
Huancayo	-12.07	-75.23	100.84	153.50	244.94	306.88
Huancavelica	-12.76	-74.98	108.3	164.01	255.14	318.98
Ayacucho	-13.16	-74.22	99.17	149.89	235.34	292.69
Abancay	-13.63	-72.88	92.59	129.96	222.82	271.12
Puno	-15.83	-70.03	109.45	164.54	250.6	309.96
Cusco	-13.52	-71.98	84.89	111.43	196	238.01
P.Maldonado	-12.61	-69.18	33.11	41.72	75.39	91.4
Pucallpa	-8.38	-74.54	136.61	180.17	285.73	360.72
Iquitos	-3.75	-73.25	25.37	34.18	57.95	74.68

Fuente: Instituto Geofísico del Perú (2014).

De la tabla 2.3 podemos determinar las aceleraciones máximas (g) por periodo de retorno para el distrito de Cajamarca:

Tabla 2.4: Valores de aceleración esperada para los sismos de diseño en Cajamarca

Sismo de diseño	Periodo de retorno	Aceleración esperada (gals)	Aceleración esperada (g)
Frecuente	50	88.29	0.09

Ocasional	100	120.23	0.12
Raro	475	214.97	0.22
Muy raro	975	264.05	0.27

2.2.2.1.2 Espectros de demanda

En países de Sudamérica como Venezuela, Colombia, Chile y Argentina las normativas sísmicas vigentes al 2016 establecen como espectro de diseño el sismo raro que tiene probabilidad de 10% de excedencia en 50 años. Inclusive en el Eurocódigo 8 EC8 (EN-2004), la acción sísmica está definida de la misma manera.

Acerca de nuestro país, la Norma técnica peruana E. 030 contiene cuatro zonas sísmicas y a cada una se le asigna un factor Z que se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido, con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años.

En otras palabras, el espectro de diseño peruano también corresponde a un sismo raro, evento de 475 años de periodo de retorno (incluir la formula). Cajamarca se encuentra en zona 3, siendo entonces la aceleración correspondiente de 0.35g.

Por tanto, debido a que los valores de las aceleraciones para cada periodo de retorno encontrados en la tabla 2.4 para los sismos de diseño en Cajamarca son menores, habría que corregir los datos incluyendo el valor de la aceleración de **0.35g** para el sismo raro, logrando así que coincida con la normativa. (explicar la metodología usada por sencico para las aceleraciones esperadas y la metodlogía usada por la norma)

Tabla 2.5: Valores de aceleración esperada escalados de los datos del IGP para los sismos de diseño en Cajamarca

Sismo de diseño	Periodo de retorno (años)	Aceleración esperada (g)	Factor de corrección	Aceleración esperada corregida (g)
Frecuente	50	0.09	0.35/0.22	0.14
Ocasional	100	0.12	0.35/0.22	0.20
Raro	475	0.22	0.35/0.22	0.35
Muy raro	975	0.27	0.35/0.22	0.43

2.2.2.1.3 Verificación de las aceleraciones obtenidas para los sismos de diseño en Cajamarca.

Con la finalidad de comprobar que las aceleraciones obtenidas en la tabla 2.5 sean correctas, aplicamos la expresión que se incluye en el anexo A de la parte 2 del Eurocódigo 8, (mostrar) para estimar aceleraciones correspondientes a cierto periodo de retorno en función de una aceleración conocida, de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$\frac{a_2}{a_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^k \dots (2.1)$$

*Justificar xq se escoge esta fórmula.

Donde:

T1= periodo de retorno 1

T2 = periodo de retorno 2

a1 = aceleración correspondiente al periodo de retorno T1

a2 = aceleración correspondiente al periodo de retorno T2

k = coeficiente que varía entre 0.3 y 0.4

Como la aceleración para sismo raro es conocida y su valor de acuerdo a la N.T. E.030 es 0.35g (Vivienda, 2016) asignado a un periodo de retorno de 475 años, entonces usando un valor para k de 0.3 y reemplazando en la fórmula 2.1 tenemos:

Tabla 2.6: Valores de aceleración esperada para los sismos de diseño en Cajamarca aplicando la fórmula del Eurocódigo 8

	T2	T1	k	a1 (g)	a2 (g)
Frecuente	50	475	0.3	0.35	0.17
Ocasional	100	475	0.3	0.35	0.21
Raro	475	475	0.3	0.35	0.35
Muy raro	975	475	0.3	0.35	0.43

Haciendo una comparación de las aceleraciones obtenidas en la tabla 2.6 con los valores obtenidos en la tabla 2.5 escalados de los datos del I.G.P. observamos:

Tabla 2.7: Valores de aceleración esperada para los sismos de diseño en Cajamarca

	Aceleración calculada método Eurocódigo E8 a2 (g)	Aceleración escalada del IGP (g)
Frecuente	0.17	0.14
Ocasional	0.21	0.20
Raro	0.35	0.35
Muy raro	0.43	0.43

De la tabla 2.7 notamos que los datos escalados para las aceleraciones propuestas por el IGP (2014) tienen buena correspondencia con resultados calculados con ecuaciones aproximadas como la del Eurocódigo 8. Por tanto aceptamos las aceleraciones de la tabla 2.5 para el cálculo y construcción de los espectros elásticos para la verificación del comportamiento sísmico.

2.2.2.2 EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE LOS EDIFICIOS

Según el informe ATC 40 (ATC 1996), (colocar la página) el comportamiento de un edificio es evaluado mediante el cruce entre su espectro de capacidad y el espectro de demanda. A través de un análisis estático no lineal (pushover), la curva de capacidad de una edificación puede definirse y representa un diagrama de fuerza desplazamiento de la estructura.

Entonces, el espectro de capacidad es obtenido convirtiendo cada punto de la curva de capacidad en coordenadas espectrales del primer modo de la estructura. En cambio, el espectro de demanda se obtiene de manera simplificada del espectro de respuesta elástico amortiguado al 5% y reducido para tomar en cuenta el comportamiento inelástico de la estructura. (Colocar la referencia de la página)

La intersección entre el espectro de capacidad y el de demanda es denominado punto de comportamiento (performance point), o punto de capacidad por demanda del edificio y representa el desplazamiento espectral máximo (S_{dp}) de la estructura ante la acción sísmica considerada. Esta medida corresponde a la variable de decisión empleada para describir los estados de daño del edificio.

2.2.2.2.1 Análisis Estático No Lineal

El análisis estático no lineal, o análisis pushover es una técnica basada en el diseño por desempeño, la cual utilizando un patrón de cargas lateral, que se incrementa en cada iteración, lleva la estructura más allá del rango elástico, y, posteriormente, al colapso o hasta una deformación máxima (Zabala, 2017). Así, es posible obtener el gráfico que representa la capacidad de la estructura.

Asimismo, este tipo de análisis permite no sólo determinar la capacidad estructural sino también la demanda sísmica. Esto último puede calcularse utilizando: (1) procedimientos

del método de capacidad estructural, (2) método de aproximación de igual desplazamiento o (3) con el método del coeficiente de desplazamiento.

El atractivo de este método aproximado reside en su simplicidad y capacidad gráfica para obtener el comportamiento de la estructura ante cargas horizontales de origen sísmico. Luego es factible estimar el punto de desempeño analizando los potenciales mecanismos de fallo.

Los métodos de análisis estático no lineal más populares por su implementación en los códigos son:

- Método de Espectro de Capacidad (MCE) del ATC- 40. (Precisar la página)
- Método N2 (MN2) del EC8. (Precisar el significado y pagina)
- Método del Coeficiente de Desplazamiento de ASCE-41 y FEMA 273. (Precisar el significado y pagina)

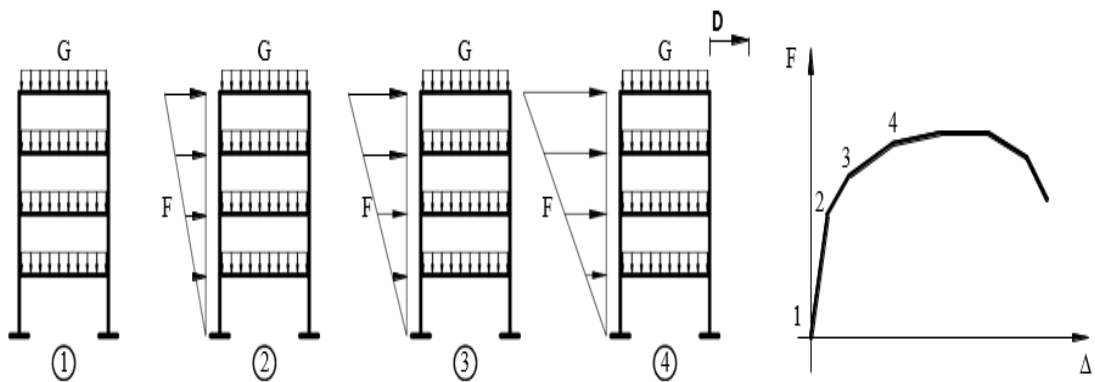


Figura 2.1: Curva de capacidad resultado del análisis estático no lineal (Saavedra, 2018.)

2.2.2.2.2 Niveles de Comportamiento Sísmico

El nivel de desempeño describe un estado límite de daño. Representa una condición límite o tolerable establecida en función de los posibles daños físicos sobre la edificación, la amenaza sobre la seguridad de los ocupantes inducidos por estos daños y la funcionalidad de la edificación posterior al terremoto. (Colocar la referencia de la página)

El nivel de desempeño es una expresión de la máxima extensión del daño, donde se considera tanto la condición de los elementos estructurales como la de los elementos no estructurales y su contenido, relacionado con la función de la edificación. (Colocar la referencia de la página)

El comité VISIÓN 2000 (SEAOC 1995) definió el marco metodológico para el diseño de las estructuras de acuerdo a un conjunto de niveles de comportamiento. En la tabla 2.8 se presentan los niveles de comportamiento establecidos, así como el estado de daño y los requisitos de la deriva asociados.

Tabla 2.8: Niveles de comportamiento sísmico de según el comité VISIÓN 2000 (SEAOC 1995) --- TRADUCIDO O ADAPTADO...

Nivel de Comportamiento	Grado o nivel de daño	Descripción	Estado de daño	Máxima permisible de piso
Totalmente operacional	Nulo	Servicio continuo. Sin daño estructural y sin daño no estructural	Sin daño	<0.2%
Operacional	Leve	La estructura se puede ocupar de forma segura. La mayoría de las funciones y operaciones se pueden retomar inmediatamente. Las operaciones esenciales se encuentran protegidas y las no esenciales pueden interrumpirse. Se deben reparar servicios no esenciales.	Reparable	<0.5%

Seguridad de la vida	Moderado	La estructura es estable y la seguridad de vida está protegida. El edificio puede ser evacuado ante un futuro evento sísmico. La reparación de los daños es posible pero económicamente no es práctica.	No compensa reparar	<1.5%
Prevención de colapso	Severo	No hay colapso estructural. Pueden caer elementosno estructurales.	No reparable	<2.5%

Fuente: SEAOC (1995)

2.2.2.2.3 Niveles esperados de comportamiento sísmico

Considerando los niveles de amenaza vistos en la tabla 2.2, el nivel de diseño se define al relacionar la amenaza con los niveles de comportamiento esperados. Así, el comité VISION 2000 (SEAOC 1995) propone las relaciones entre el nivel de comportamiento, el tipo de instalación y el nivel de amenaza, de acuerdo con las clasificaciones presentadas en la tabla 2.9.

Tabla 2.9: Niveles de comportamiento y amenaza según tipo de instalación

Clasificación de evento	Totalmente operacional	Operacional	Seguridad de la vida	Prevención de colapso	
Frecuente					<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: #cccccc; margin-bottom: 5px;"></div> Inst. básicas <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: #808080; margin-bottom: 5px;"></div> Inst. esenciales <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: #404040; margin-bottom: 5px;"></div> Inst. críticas </div>
Ocasional					
Raro					
Muy raro					

Fuente: SEAOC (1995)

De esta manera, para edificios esenciales, se espera que la edificación se mantenga plenamente operacional en el caso que ocurra un sismo raro y sólo en el caso del sismo muy raro, se permite un nivel de daño que en ningún caso ponga en peligro la vida de sus ocupantes.

De igual forma, de acuerdo a Valcárcel (2013) los documentos FEMA 273 (1997) y FEMA 356 (2000) presentan un conjunto de objetivos para la rehabilitación sísmica de edificios considerando diferentes niveles de comportamiento para elementos estructurales y no estructurales.

El comportamiento de estos elementos puede describirse en términos de la seguridad de los ocupantes, los costos de la pérdida, el tiempo de restauración, la viabilidad económica de la reparación de los daños, así como los potenciales impactos económicos, arquitectónicos o históricos en la comunidad. Dichas características están directamente relacionadas a la extensión de los daños que pueden presentarse en los edificios (FEMA 356, 2000).

Tabla 2.10: Niveles de comportamiento estructural TRADUCIDO O ADAPTADO DE..

Nivel	Descripción
S1	Ocupación Inmediata: corresponde a daños estructurales limitados. No se esperan degradaciones de la resistencia ni de la rigidez de la estructura. El riesgo de que los ocupantes sean afectados como resultado del daño estructural es muy bajo. Algunas reparaciones menores deben realizarse.
S2	Control de daños: daños entre el estado de ocupación inmediata y de seguridad de vida. Este nivel es deseable para minimizar el tiempo de reparación así como la interrupción del funcionamiento. Este nivel de comportamiento es una alternativa para proteger equipos y contenidos valiosos, o para prever elementos históricos importantes.
S3	Seguridad de la vida: corresponde a daños significativos en la estructura, no obstante, todavía se presenta un margen de seguridad respecto al colapso estructural. Algunos elementos estructurales pueden verse severamente afectados, pero esto no conduce a grandes escombros dentro o fuera del edificio. Pueden ocurrir heridos durante el

	terremoto, sin embargo, el riesgo de afectación a la vida de los ocupantes se espera que sea bajo.
S4	Seguridad limitada: corresponde a los daños esperados entre la seguridad de vida y la prevención de colapso.
S5	Prevención de colapso: corresponde a daños cercanos al colapso parcial o total del edificio luego de un evento sísmico. El daño esperado en la estructura es sustancial, incluyendo una significativa degradación de la resistencia y de la rigidez del sistema resistente a cargas laterales; se esperan grandes deformaciones laterales permanentes y degradación en la capacidad de soporte de las cargas verticales.
S6	No considerado: corresponde a un reforzamiento que no está enfocado en el comportamiento estructural del edificio. Algunos dueños, pueden desear incluir aspectos relacionados a la vulnerabilidad no estructural en el proyecto de reforzamiento, los cuales pueden ser atractivos ya que permiten una reducción de pérdidas de estos elementos a un bajo costo

Fuente: Fema 356 (2000)

2.2.2.2.4 Estimación del nivel de desempeño por el método de espectro de capacidad ATC-40.

El método del Espectro de Capacidad consiste en comparar la curva de capacidad o pushover y el espectro de diseño, representados ambos en formato aceleración-desplazamiento espectral (formato *ADRSK*), para determinar el punto de desempeño de una estructura bajo la acción sísmica.

Este procedimiento es considerado como herramienta de diseño en el ATC-40. Los pasos a seguir son:

a. Determinación de la curva de capacidad de la estructura

Debido al Análisis Estático No Lineal, se obtiene un cortante en la base que va incrementándose progresivamente manteniendo constante el patrón de fuerzas sísmicas distribuido en toda la altura del edificio. Asimismo, dicho patrón de cargas deben seguir la forma del modo fundamental de vibración, como puede ser triangular invertida, parabólica o uniforme.

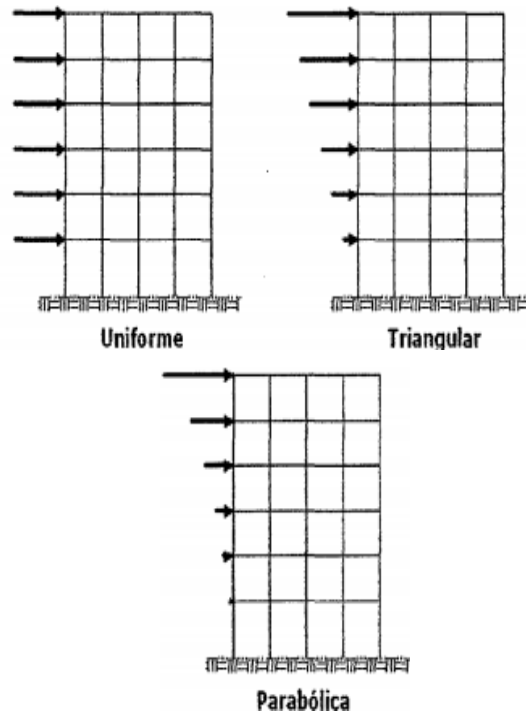


Figura 2.2: Patrones de carga lateral (Bolaños, 2015)

Como resultado de la aplicación del patrón de cargas, el procedimiento se convierte en una serie de análisis elásticos secuenciales, que se superponen para aproximarse a un diagrama conocido con el nombre de curva de capacidad, gráfico que relaciona las fuerzas en la base (cortante basal V) y los desplazamientos (D) en el nivel superior de la estructura (Martínez, 2012).

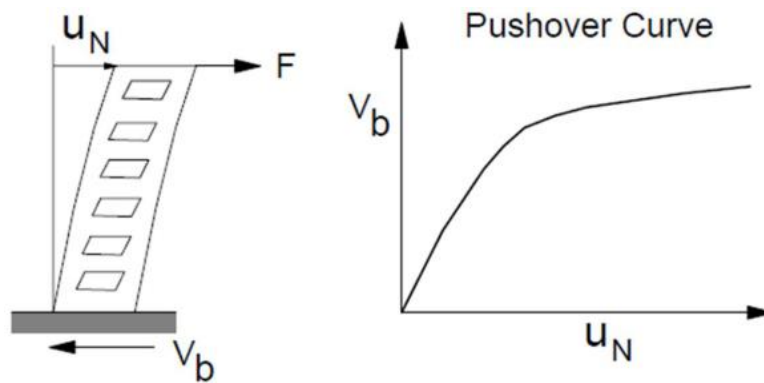


Figura 2.3: Curva de capacidad (Zabala, 2017).

b. Modelo bilineal de la curva de capacidad

El modelo bilineal de la curva de capacidad se emplea para estimar el espectro de demanda reducido, denominado espectro elástico. Para definir esta representación es necesario definir el punto de fluencia y el punto de agotamiento de capacidad o

desempeño de la estructura. Actualmente, no existe un consenso para la definición de estos puntos, siendo varios los métodos que se pueden emplear. (Martínez, 2012).

Para el desplazamiento de fluencia:

- El punto de intersección de la rigidez tangente inicial con la resistencia nominal.
- La intersección de la rigidez secante a través de la primera fluencia con la resistencia nominal
- El desplazamiento en la primera fluencia.

Para el desplazamiento último:

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

Hay varios métodos para estimar el modelo bilineal de la curva de capacidad resistente con el que se determina el punto en el cual la estructura deja de trabajar en el rango elástico e inicia su comportamiento en el rango no lineal. A este punto se le denomina punto de fluencia de la estructura.

A continuación se mencionan cuatro criterios para la determinación del punto de fluencia en una estructura, y por consiguiente la determinación de la representación bilineal

- Criterio de la rigidez tangente horizontal.
- Criterio de rigideces tangentes.
- Criterio de áreas iguales.
- Ajuste por mínimos cuadrados.

El procedimiento propuesto en FEMA 356 (2000) para obtener la representación bilineal de la curva de capacidad corresponde al criterio de áreas iguales. Esta idealización se basa específicamente en que la energía disipada por la estructura, dada por el área bajo la curva real o de pushover sea igual a la energía disipada por la curva idealizada mediante un sistema elastoplástico, de acuerdo a como sigue:

- Definición del desplazamiento último D_u y el correspondiente valor del cortante en la base V_u al que puede llegar la estructura antes que se inicie el mecanismo de colapso. Estos valores definen el punto B de la figura 2.4 más adelante.

- El cálculo del área bajo la curva de capacidad A_{curva} , utilizando un método de integración.
- Estimación del cortante basal de fluencia V_y^i . Este valor, que es un primer paso, se elige arbitrariamente, y se redefine mediante un proceso iterativo que iguala las áreas bajo la curva real A_{curva} y la curva bilineal idealizada $A_{bilineal}$. El superíndice indica el paso “i” del proceso iterativo.
- Cálculo de la pendiente inicial K_e^i de la curva bilineal. Se obtiene uniendo, con una línea recta, el origen “O” y el punto sobre la curva de capacidad real con un cortante basal igual a $0.60 V_y^i$.
- Cálculo del desplazamiento de fluencia D_y^i , el cual se define como:

$$D_y^i = \frac{V_y^i}{K_e^i} \quad \dots (2.2)$$

- Definición de la curva bilineal. Se define mediante las rectas OA, AB. Ver figura 05
- Cálculo del factor reductor (α) de la rigidez de la estructura después de la fluencia, mediante la siguiente ecuación:

$$\alpha^i = \frac{\frac{V_u}{V_y^i} - 1}{\frac{V_u}{D_y^i} - 1} \quad \dots (2.3)$$

- Cálculo del área bajo la curva bilineal OAB, $A_{bilineal}$.
- Se determina el error ϵ en la representación bilineal como:

$$\epsilon = \frac{A_{curva} - A_{bilineal}}{A_{curva}} * 100 \quad \dots (2.4)$$

- Si el error ϵ excede el nivel de tolerancia preestablecido, se requiere de un proceso iterativo, es decir, se calcula el nuevo valor de cortante basal de fluencia.

$$V_y^{i+1} = V_y^i \frac{A_{curvatura}}{A_{bilineal}} \quad \dots (2.5)$$

- Se repiten los pasos anteriores con el nuevo valor V_y^{i+1} .

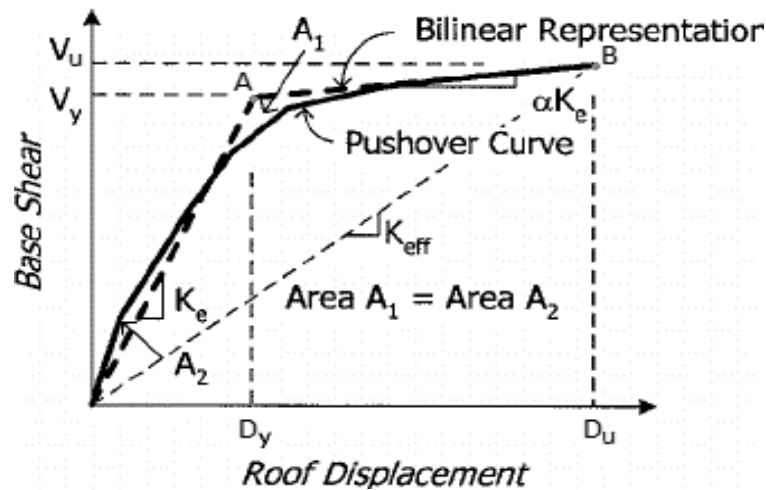


Figura 2.4: Representación bilineal de la curva de capacidad –Procedimiento empleado en FEMA 356 (FEMA, 2000).

c. Espectro de capacidad (formato ADRS) para un sistema equivalente de 1gdl

Para la correcta aplicación del método de espectro de capacidad (ATC 40, 1996) es necesario transformar la curva de capacidad a una gráfica que relacione el desplazamiento espectral S_d con la aceleración espectral S_a . De esta manera, es factible comparar directamente la demanda con la capacidad de la estructura.

Para convertir a espectro de capacidad se emplean las siguientes ecuaciones:

$$Sd_j = \frac{D_{tj}}{\gamma_M \phi_{t1}} \quad \dots (2.6)$$

$$Sa_j = \frac{V_j}{M_T \alpha} \quad \dots (2.7)$$

El subíndice j corresponde a los puntos de la curva de capacidad resistente que se consideran. Cabe añadir que para cada j existe un desplazamiento máximo en el tope que se ha denominado D_{tj} asociado al cortante V_j y un vector de amplitud laterales de cada uno de los pisos ϕ , sobre la base de la cual se determina ϕ_{t1} que es la amplitud en el tope de la estructura asociado al primer modo.

Asimismo, γ_1 es el factor de participación del modo 1, α_1 es el factor de participación del modo 1 en el cortante basal del primer modo, M_T es la masa total de la estructura.

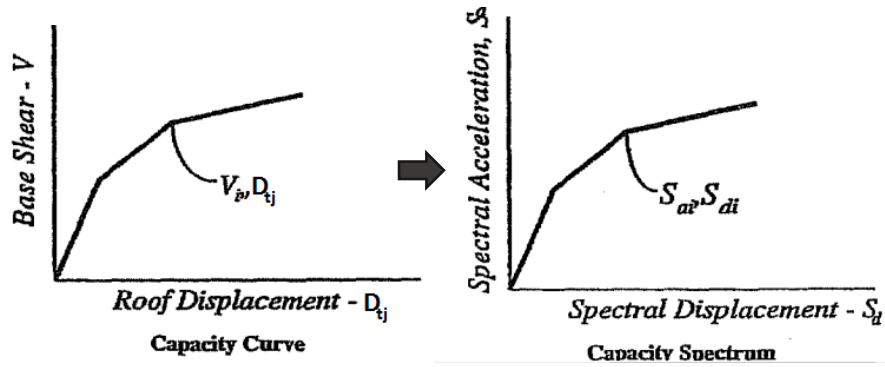


Figura 2.5: Conversión del espectro elástico a espectro de demanda en formato ADRS (ATC-40,1996)

Las ecuaciones anteriores sirven para desarrollar el espectro de capacidad de la estructura asociada al primer modo de vibración. En consecuencia, los periodos de vibración que se obtienen del espectro de capacidad están asociados con dicho modo.

d. Espectro de diseño elástico o espectro de demanda con amortiguamiento estándar (ϵ) en formato ADRS.

La demanda sísmica usualmente se presenta por medio de un espectro de respuesta elástico. No obstante, en los últimos años se ha promovido el uso de espectros de respuesta en formato AD (S_a v/s S_d) para propósitos de diseño basado en desempeño sísmico. Dicho diagrama grafica en el eje de las ordenadas la aceleración espectral y en las abscisas el desplazamiento espectral. De esta manera la capacidad y la demanda pueden superponerse para permitir una solución gráfica del desempeño de la estructura (ATC-40, 1996).

Para la construcción del espectro de demanda elástico se identifica S_a y S_d como la aceleración y el desplazamiento espectral considerando que el espectro inelástico se obtiene dividiendo el espectro elástico para el factor de reducción de fuerzas sísmicas R_μ :

$$S_a = \frac{S_{ae}}{R_\mu} \quad \dots (2.8)$$

$$S_d = \frac{\mu S_{de}}{R_\mu} = \frac{\mu T^2}{R_\mu 4\pi^2} S_{ae} = \mu \frac{T^2}{4\pi^2} S_a \quad \dots (2.9)$$

Donde μ es la ductilidad.

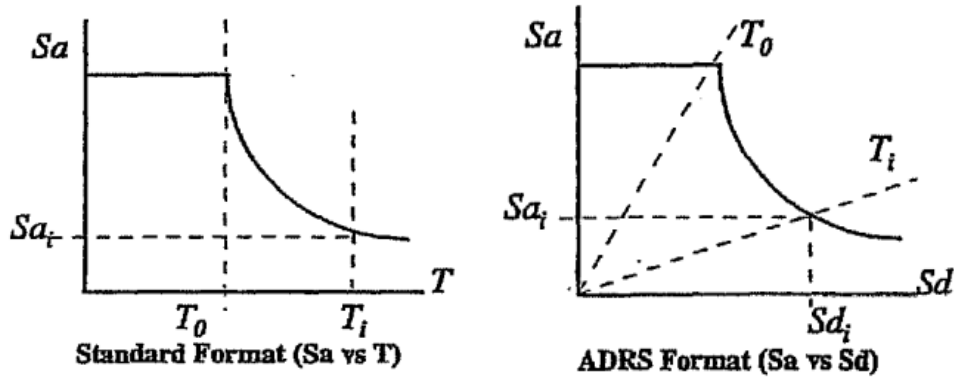


Figura 2.6: Conversión del espectro elástico a espectro de demanda en formato ADRS (ATC-40,1996).

e. Obtener el punto inicial de desempeño

Tanto el espectro de capacidad como el espectro de demanda deben plotearse en el mismo gráfico. Como ambos están definidos con las mismas ordenadas y abscisas, es muy probable que se intersecten en algún punto.

De acuerdo al ATC 40 (1996), la intersección de los espectros de demanda y capacidad, si está localizado en el rango lineal de la capacidad, se definiría el desplazamiento para la estructura, aunque esto no ocurre en la mayoría de los casos. Esto debido a que la mayoría de análisis incluyen comportamiento no lineal inelástico.

Entonces, para encontrar el punto donde la demanda y la capacidad son iguales, el ingeniero debe seleccionar un punto en el espectro de capacidad como una estimación inicial. Para ello, esta primera estimación puede ser el desplazamiento obtenido usando la hipótesis del igual desplazamiento, o el punto final del espectro de capacidad, o cualquier otro punto basado en el juicio de un experto (Risk-UE, 2000).

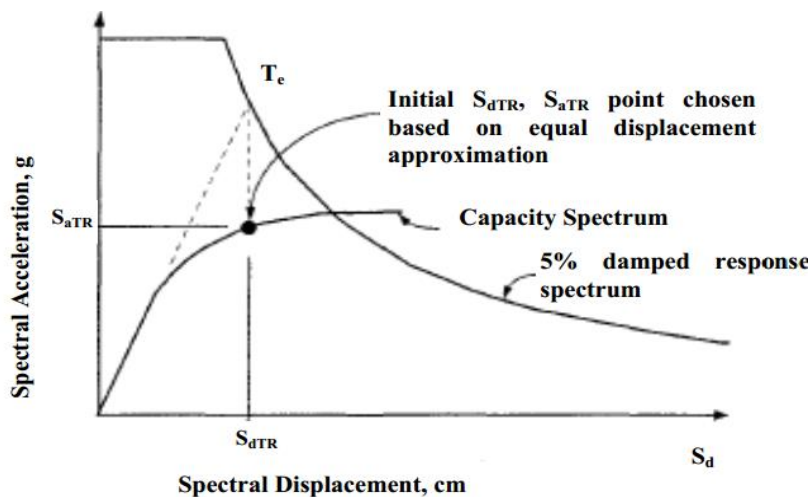


Figura 2.7: Intersección del espectro de capacidad y espectro de demanda (Risk-UE, 2003).

Luego, usando la aceleración espectral y el desplazamiento definidos por este punto, el ingeniero puede calcular factores de reducción para aplicar al 5% del espectro elástico para tener en cuenta la disipación de la energía histerética, o la amortiguación efectiva asociada con el punto específico.

Así, según el ATC-40 (1996), si el espectro de demanda reducido intersecta el espectro de capacidad sobre o cerca al punto estimado inicialmente, luego es la solución para el único punto donde la capacidad iguala a la demanda. En cambio, si la intersección no está razonablemente cerca del punto inicial estimado, entonces el ingeniero puede asumir un nuevo punto inicial y repetir el proceso hasta que la solución es alcanzada.

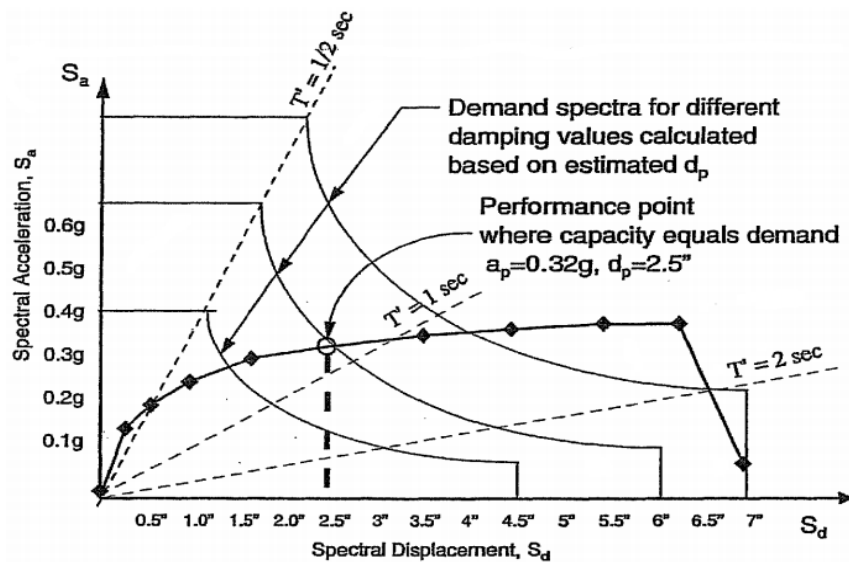


Figura 2.8: Determinación del punto de comportamiento (ATC-40, 1996).

2.2.2.3 EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD: ESTIMACIÓN DE DAÑOS Y PÉRDIDAS ESPERADAS.

2.2.2.3.1 CURVAS DE FRAGILIDAD

Las curvas de fragilidad permiten representar en el eje de las ordenadas, la probabilidad de excedencia o falla asociado a un estado de daño permitido, en función de un parámetro representativo de la severidad del movimiento sísmico o de la respuesta estructural en el eje de las abscisas (Rojas, 2010).

Entonces, usando una función del desplazamiento espectral de la estructura en el punto de capacidad por demanda, se definen las probabilidades de excedencia de estados de daño para construir las curvas de fragilidad. Se emplea la propuesta de Risk-UE.

Tabla 2.11: Definición de los umbrales de los diferentes estados de daño de acuerdo a la propuesta Risk-UE (Colocar si es adaptado o traducido de..)

ESTADO DE DAÑO (DS)	UMBRALES $\mu_i = Sd_i$
Leve	$Sd_1 = 0.7Sd_y$
Moderado	$Sd_2 = Sd_y$
Extensivo	$Sd_3 = Sd_y + \frac{1}{4}(Sd_u - Sd_y)$
Completo	$Sd_4 = Sd_u$

Fuente: (Risk-UE, 2003)

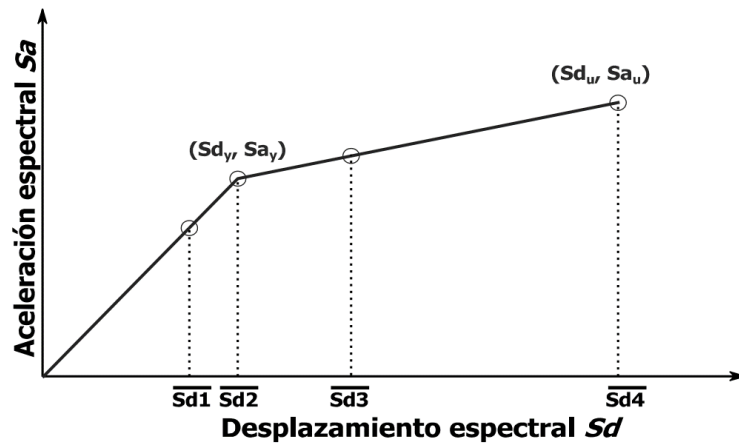


Figura 2.9: Umbrales de estados de daño para la definición de curvas de fragilidad. Fuente: (Martínez, 2012).

De acuerdo a Coronel, G. y Betancourt, N. (2010) las curvas de fragilidad siguen una distribución de probabilidad Lognormal y se definen a través del valor medio $\bar{S}_{d,ds}$, es decir, el umbral $\mu_i = Sd_i$ correspondiente a cada estado de daño ds , según los criterios establecidos en la tabla 2.11 y su desviación estándar β_d . Así, HAZUS y RISK-UE suponen que las curvas de fragilidad son de la forma:

$$P \left[\frac{ds}{Sd} \right] = \Omega \left[\frac{1}{\beta_{ds}} \ln \left(\frac{Sd}{\bar{S}_{d,DSi}} \right) \right] \dots (2.10)$$

En donde Sd es el desplazamiento espectral correspondiente al punto de capacidad por demanda, $\bar{S}_{d,DSi}$ es el valor medio del desplazamiento en el que el edificio alcanza un umbral del estado de daño DS_i , β_{ds} es la desviación estándar del logaritmo natural del desplazamiento espectral del estado de daño DS_i y Ω es la función de distribución acumulativa log normal.

Dado que la ecuación 2.10 muestra una función de distribución lognormal, la función de densidad correspondiente a las curvas de fragilidad es:

$$F_{T,gai}(Sd) = \frac{1}{\beta Sd \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{1}{\beta} \ln \frac{Sd}{Sd_0}\right)^2\right) \dots (2.11)$$

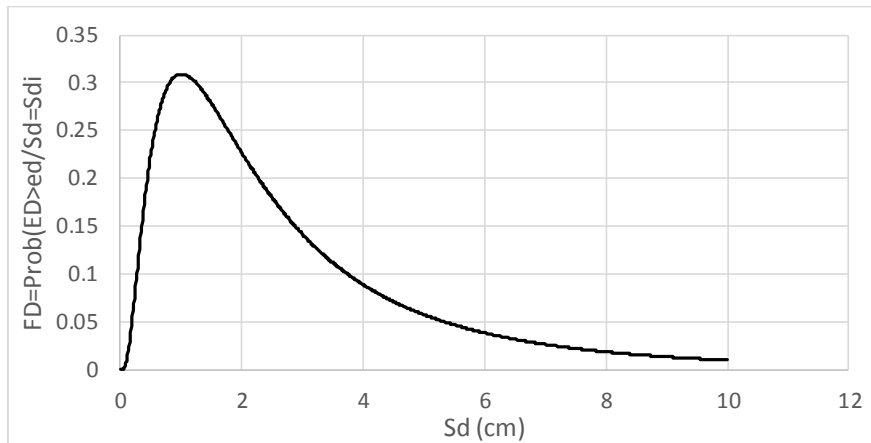


Figura 2.10: Distribución acumulativa log normal calculada con la función de densidad de las curvas de fragilidad para cada estado de daño. Ejemplo para un estado de daño moderado.

Luego, la curva de fragilidad, es decir, la probabilidad de que un edificio iguale o exceda un estado de daño considerado, viene dada por la sumatoria o integral entre 0 y Sd de la función de densidad de probabilidad dada en la ecuación antes mencionada, es decir:

$$P(Sd) = \int_0^{Sd} F_{T,GDi}(Sd) d(Sd) \dots (2.12)$$

Con ello, se obtiene finalmente las curvas de fragilidad como lo muestra la figura 2.11.

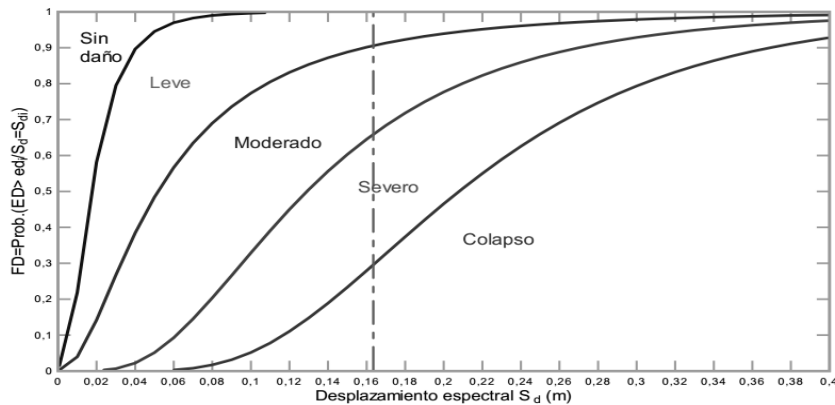


Figura 2.11: Curvas de fragilidad para diferentes niveles de daño, ejemplo de edificio con forjados reticulares. (Vielma et al, 2008)

2.2.2.3.2 MATRICES DE PROBABILIDAD DE DAÑO

Definidas las curvas de fragilidad es posible estimar las probabilidades de excedencia de cada estado de daño $P[ds > DSi / Sdp]$. Con la siguiente ecuación es posible obtener las matrices de probabilidad de daño (Coronel y López 2013)..

$$P[ds > DS_i | Sdp] = 1 - \sum_{j=1}^{k-1} P(DS = DS_j | Sdp) \dots (2.11)$$

La ecuación 2.11, señala que la probabilidad de ocurrencia para cada estado de daño se obtiene al restar la probabilidad encontrada de la intersección del desplazamiento espectral con la curva de fragilidad para un estado de daño determinado de las probabilidades de los estados siguientes, como lo indica la figura 2.12.

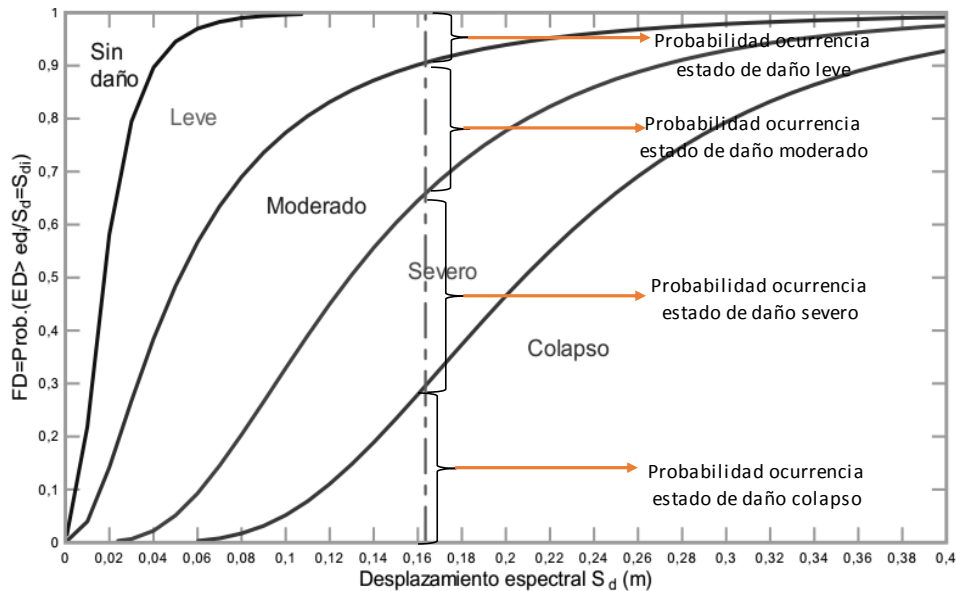


Figura 2.12: Ejemplo cálculo de las probabilidades de ocurrencia para cada estado de daño de un edificio de forjados reticulares. (Vielma et al, 2008)

Posteriormente, con las probabilidades encontradas de la ecuación 2.11 se construyen las matrices de probabilidad de daño tabulando lo datos para cada edificación que se evalúe como lo muestra la figura 2.13.

Probabilidades de los estados de daño						
EDIFICIO	Sin Daño	Leve	Moderado	Severo	Completo	Total
1	0,00014828	5,0671E-05	0,42996486	0,43383204	0,13600415	1
2	0,00014834	0,00015619	0,41288447	0,44324425	0,14356675	1
3	0,00014829	5,5851E-05	0,50755609	0,39475378	0,09748598	1
4	0,23960906	0,41794539	0,25801986	0,08210141	0,00232428	1
5	0,00014828	2,1554E-05	0,64803285	0,31240453	0,03939278	1
6	0,00014829	6,1221E-05	0,40136347	0,445047656	0,15338046	1

Figura 2.13: Ejemplo de matriz de probabilidad de daño para diferentes edificaciones. Nótese que las probabilidades acumuladas de todos los estados de daño deben sumar la unidad.

Fuente: (Martinez, 2012)

2.2.2.3.3 GRADO DE DAÑO MEDIO

El grado de daño promedio puede estimarse como una suma de los estados de daño ponderados por su correspondiente probabilidad obtenida de la matriz de probabilidad de daño (Coronel y Betancourt, 2010). Para ello, con las probabilidades de ocurrencia se construyen histogramas, como el que se muestra en la figura 2.14.

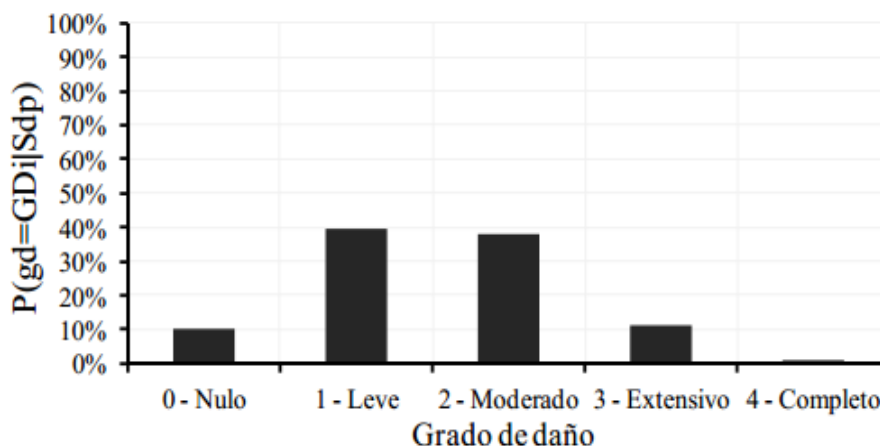


Figura 2.14: Ejemplo de histograma de probabilidad de daño para el punto de capacidad por demanda de una edificación.

Luego, considerando los estados de daño no nulos de la propuesta Risk- UE, 2003: Leve (1), moderado (2), extensivo (3) y completo (4) se multiplica cada probabilidad por el coeficiente para el estado de daño. Asimismo, de Valcárcel (2013) señala que el grado de daño medio puede normalizarse en forma simplificada en el intervalo (0,1), dividiéndolo por el número total de estados de daño no nulos.

2.2.2.3.4 ÍNDICE DE PÉRDIDA ECONÓMICA

El índice de pérdida económica es un parámetro que se mide en porcentaje del valor de reposición del edificio, donde 1 representa el 100% del costo inicial de la edificación.

Se emplea la metodología simplificada propuesta por Valcárcel (2013). Se considera para cada estado de daño un rango de valores posibles del costo de pérdida, expresado como porcentaje del valor de reposición del edificio.

Los valores posibles del costo de pérdida están definidos por funciones de pertenencia. En estas funciones las abscisas corresponden a un determinado porcentaje de pérdida respecto al valor de reposición del edificio (x) y las ordenadas a la pertenencia $\chi_{DS}(x)$, o a la posibilidad de encontrar dicho porcentaje de pérdida en el estado de daño DS.

Las ordenadas de las funciones de pertenencia $\chi_{DS}(x)$ se calculan como sigue:

$$\chi_{DS}(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq \text{linf}_{DS} \\ 1 - \left(\frac{Vmax_{DS} - x}{Vmax_{DS} - \text{linf}_{DS}} \right)^2 & \text{si } \text{linf}_{DS} < x < Vmax_{DS} \\ 1 - \left(\frac{x - Vmax_{DS}}{\text{lsup}_{DS} - Vmax_{DS}} \right)^2 & \text{si } Vmax_{DS} < x < \text{lsup}_{DS} \\ 0 & \text{si } x > \text{lsup}_{DS} \end{cases} \dots (2.13)$$

En donde linf_{DS} corresponde al límite inferior de la función de pertenencia del estado de daño DS , $Vmax_{DS}$ corresponde al valor de máxima pertenencia y lsup_{DS} corresponde al límite superior de la función de pertenencia. En la Tabla 2.12 se presentan estos valores para cada uno de los estados de daño.

Tabla 2.12: Límite inferior, límite superior y valor máxima de pertenencia de los costos de la pérdida (en porcentaje del valor de reposición del edificio), según estado de daño

Estado de daño (DS)	Costos de la pérdida (% del valor de reposición del edificio)		
	Límite inferior	Valor de max. pertenencia	Límite superior
Nulo	0%	2.5%	5%
Leve	0%	10%	20%
Moderado	5%	25%	40%
Extensivo	30%	35%	70%
Completo	50%	90%	100%

Fuente: Valcárcel (2013)

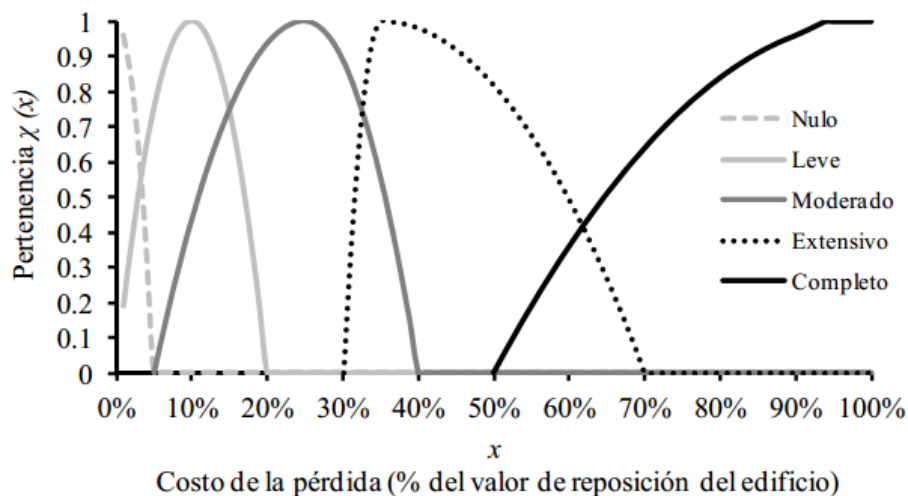


Figura 2.15: Funciones de pérdida (% del valor de reposición del edificio) para cada estado de daño. Fuente: Valcárcel (2013).

El procedimiento para estimar el índice de pérdida económica propuesto por Valcárcel (2013) es el siguiente:

- Para cada estado de daño, multiplicar (normalizar) las ordenadas de las funciones de pertenencia por la probabilidad de daño correspondiente, de acuerdo a los resultados de la matriz de probabilidad de daño.
- Calcular la envolvente de las funciones de pertenencia normalizadas. Un ejemplo se presente en la figura 2.16.
- Calcular el centroide de la envolvente de las funciones de pertenencia normalizadas. Un ejemplo se muestra en la figura 2.17.
- Si en la matriz de probabilidad de daño, la probabilidad de estado de daño completo es menor que 0.1%, entonces el centroide corresponde al índice de pérdida. De lo contrario, si la probabilidad del estado de daño completo es mayor a 0.1%, dividir el centroide por 0.7972, dicho valor corresponderá al índice de pérdida.

A continuación se presenta un ejemplo del cálculo del índice de pérdida económica usando funciones de pertenencia normalizadas con las probabilidades de ocurrencia obtenidas de las curvas de fragilidad.

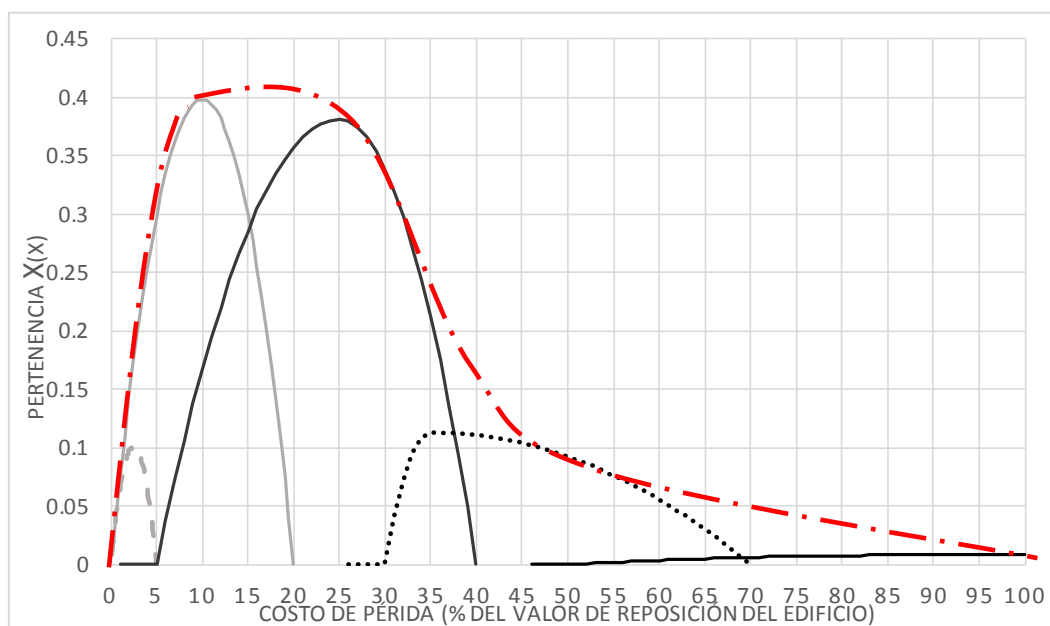


Figura 2.16: Ejemplo de envolvente de las funciones de pertenencia normalizadas con los resultados de las matrices de probabilidad de daño para un edificio.

La figura 2.15 muestra un ejemplo de la envolvente graficada de acuerdo a las curvas resultantes de la normalización de las funciones de pertenencia. Luego, como lo indica el paso d), se encuentra el centroide de la envolvente, el cual corresponde al índice de pérdida económica.

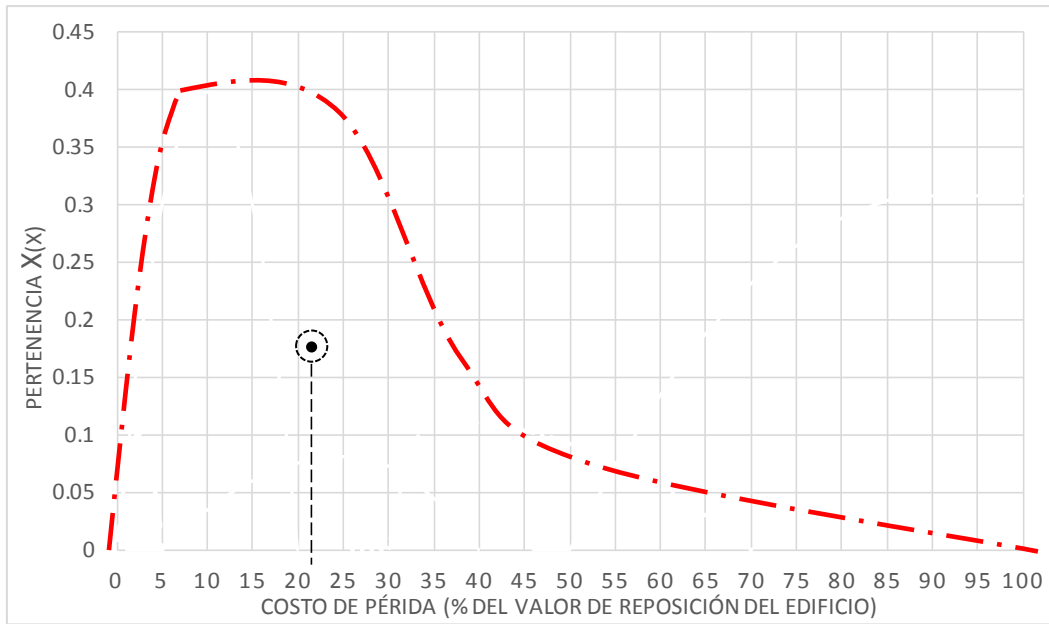


Figura 2.17: Ejemplo del centroide de la envolvente de las funciones de pertenencia normalizadas. Se destaca que la abscisa del centroide corresponde al índice de pérdida económica.

La estimación del índice de pérdida económica puede repetirse para un mismo edificio, considerando un conjunto de eventos sísmicos. Para cada evento y siguiendo el método de espectro de capacidad es posible estimar el desplazamiento espectral en el punto de capacidad por demanda, evaluar las curvas de fragilidad y obtener la matriz de probabilidad de daño. Así para cada escenario es posible estimar un índice de pérdida económica.

2.2.2.3.5 ÍNDICE DE FUNCIONALIDAD

El índice de funcionalidad es una medida relacionada con el nivel de daño esperado en la edificación y señala la capacidad de la edificación para mantenerse en funcionamiento luego de un evento sísmico.

Se aplica la metodología propuesta por Valcárcel (2013) en la que se propone un índice de funcionalidad $L_f(ED)$ a partir de los valores del índice de daño presentados para caso de la metodología de FEMA 273 (1997) y del comité VISION 2000 (SEAOC 1995),

así como los niveles de comportamiento propuestos en los documentos FEMA 273 (1997) y FEMA 356 (2000).

El $L_f(ED)$ se define según intervalos de acuerdo al valor esperado de daño ED .

$$L_f(ED) = \begin{cases} 1 - 0.5 ED & \text{si } ED \leq 0.2 \\ \exp(\text{LOG}(0.5) \cdot (\frac{ED}{C1})^{C2}) & \text{si } ED \leq 0.7 \dots (2.14) \\ 0 & \text{si } ED > 0.7 \end{cases}$$

Dónde ED corresponde al valor esperado del daño medio normalizado, $C1$ y $C2$ a constantes definidas en 0.3 y 3 respectivamente. Así, realizando una tabulación de la ec. 2.14 se construye el siguiente gráfico, el cual relaciona el índice de funcionalidad con el grado de daño medio normalizado.

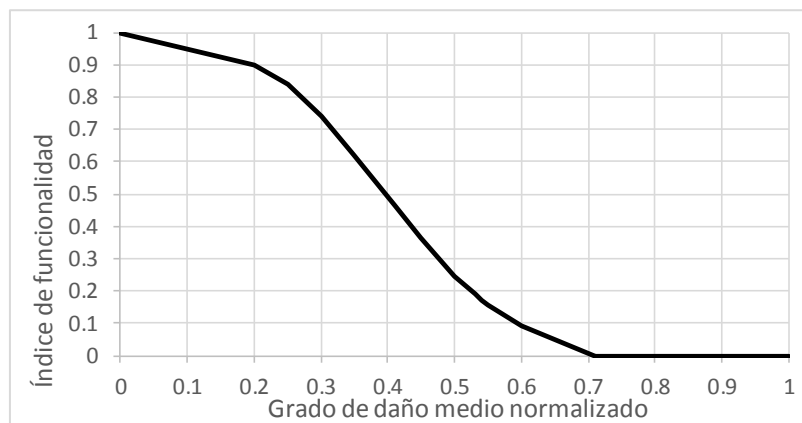


Figura 2.18: Gráfico que relaciona el índice de funcionalidad con el grado de daño medio normalizado, según la ecuación 2.14

2.2.2.3.6 TIEMPO DE RECUPERACIÓN (Explicar mejor)

El tiempo de recuperación asociado al daño esperado en la instalación se adoptó considerando los valores típicos para edificios comerciales, edificios de oficinas y edificios para servicios profesionales, técnicos y de negocios, propuestos en el documento FEMA 227 (FEMA 1992).

Tabla 2.13: Tiempos de recuperación propuestos por FEMA 227

ESTADO DE DAÑO	Tiempo (días)
Ninguno	0
Ligero	3.4
Leve	12.08
Moderado	44.72
Extensivo	125.66
Colapso parcial	235.76
Colapso	346.93

Entonces se relaciona el grado de daño medio, el cual es una medida ponderada de los estados de daño totales, con el tiempo de recuperación. Se observa que es una relación directamente proporcional, entre más daño haya, el tiempo de recuperación de la edificación será mayor.

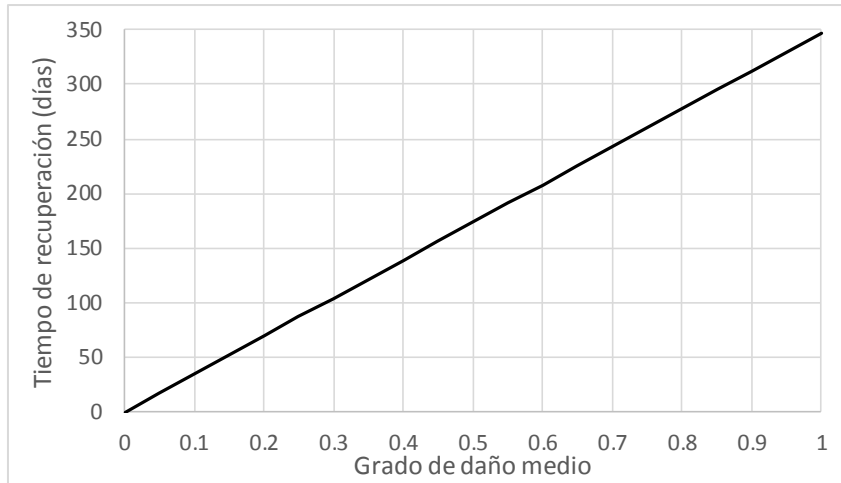


Figura 2.19: Tiempo de recuperación según el grado de daño medio.

Cabe agregar que los tiempos de recuperación adoptados corresponden a propuestas realizadas por expertos, que pueden estar asociadas a diferentes condiciones socioeconómicas. Estos valores corresponden a una primera estimación que luego bien pueden ser calibrados y discutidos en el contexto local, ello con el fin de identificar el periodo que puede tardar un determinado tipo de instalación en recuperarse después del daño sufrido por un evento sísmico probable.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Método de espectro de capacidad**

Es un procedimiento gráfico, se compara la capacidad estructural con la demanda del movimiento sísmico sobre la estructura. La representación gráfica hace posible una evaluación visual de cómo la estructura se comporta cuando está sujeta a un terremoto (ATC-40, 1996).

- **Análisis estático no lineal**

Se basa en el análisis estático considerando la respuesta no lineal de los materiales. Dicho análisis se realiza sometiendo la estructura a un patrón de cargas laterales F_i que se incrementan de manera monótonica hasta que la estructura alcanza su capacidad máxima.

Con este procedimiento, es posible identificar la secuencia del agrietamiento, fluencia y fallo de los componentes, los estados límites de servicio y la historia de deformaciones. (ATC-40, 1996).

- **Relación momento curvatura**

La relación momento curvatura proporciona puntos de momento resistente interno y su curvatura correspondiente para un diagrama de deformaciones que cumpla con la compatibilidad y equilibrio de fuerzas internas. Los puntos más importantes de la gráfica son aquellos donde los materiales del elemento fallan o fluyen, Delma, Almada, Barcena, Enciso (2012).

- **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. (Bolaños, 2015).

- **Curva de capacidad**

Es un gráfico que representa el desplazamiento vs el cortante general que estima la respuesta máxima esperada de la estructura para una determinada demanda. El modelo de capacidad se desarrolla para representar la primera respuesta del modo del edificio asumiendo que es el modo de vibración predominante. (RISK UE, 2003).

- **Espectro de capacidad**

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

- **Demanda**

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

- **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).

- **Punto de desempeño**

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

- **Nivel de desempeño**

Es el estado límite de daños o condición descrita por el daño físico dentro de la edificación, la amenaza a la seguridad de vida de los ocupantes debido a los daños del edificio, y del servicio post-terremoto del mismo.

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).

- **Rotula plástica**

Zonas previamente seleccionadas de los componentes estructurales, adecuadamente diseñadas y detalladas para que puedan desarrollar deformaciones inelásticas y disipar energía sin degradación importante de resistencia. (INPRES- CIRSOC 103).

- **Curvas de fragilidad**

Es la representación gráfica de la función de distribución acumulada, de la probabilidad de alcanzar o exceder un estado de daño límite específico, dada una respuesta estructural ante una acción sísmica determinada. (Rojas, 2010).

- **Matrices de probabilidad de daño**

Son tablas que contienen las probabilidades de que los umbrales de daño sean superados y corresponden a valores calculados a partir de las curvas de fragilidad para una media específica como el desplazamiento del punto de capacidad por demanda (Vielma, Barbar y Oller, 2008).

- **Grado de daño medio**

El grado de daño promedio puede estimarse como una suma de los estados de daño ponderados por su correspondiente probabilidad obtenida de la matriz de probabilidad de daño (Coronel y Betancourt, 2010).

- **Índice de pérdida económica**

El índice de pérdida económica es un parámetro que se mide en porcentaje del valor de reposición del edificio (Valcárcel, 2013).

- **Índice de funcionalidad**

El índice de funcionalidad es una medida relacionada con el nivel de daño esperado en la edificación y señala la capacidad de la edificación para mantenerse en funcionamiento luego de un evento sísmico (Valcárcel, 2013).

CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La presente investigación determinó la seguridad sísmica de cinco instituciones educativas I.E. N°82030 Fernández Gil, I.E. 821396- Urubamba bajo, I.E. N°82594 Pachacútec, I.E. 82016 Santa Teresita (primaria) y I.E. San Marcelino Champagnat, por el método de espectro de capacidad, ubicadas en el **distrito, provincia y departamento de Cajamarca.**

3.2 ÉPOCA DE LA INVESTIGACIÓN

Este estudio se realizó en el año 2018 desde el mes de junio hasta el mes de octubre del mismo año de acuerdo a lo planificado en el proyecto de tesis. Cabe agregar que dicho periodo se destinó al estudio de los expedientes técnicos de cada institución educativa, a visitar cada edificación, al análisis de cada modelo estructural, al procesamiento de los resultados y la elaboración del informe

3.3 PROCEDIMIENTO

El procedimiento seguido en esta investigación fue el siguiente:

3.3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS EDIFICACIONES A ESTUDIAR

A continuación se describirán las características de cada institución educativa que se analizará en la presente tesis. Cabe resaltar que los planos de las edificaciones se encuentran en el anexo 02.

a. I.E. N° 82030 – FERNÁNDEZ GIL

Año de culminación de la obra: 2014

Año de elaboración de los planos: 2012 (Uso de NT E030 del año 2003)

Es una institución de educación primaria ubicada en el centro poblado de Pariamarca en la provincia y distrito de Cajamarca. En este estudio se evaluará el Módulo A de dos niveles que contiene los siguientes ambientes:

- Primer nivel: 04 aulas para primaria, servicios higiénicos.
- Segundo nivel: Dirección, laboratorio de cómputo, sala de profesores, guardianía, departamento de educación física, servicios higiénicos.



Figura 3.1: Módulo A de la I.E. N° 82030 Fernández Gil



Figura 3.2: Módulo A de la I.E. N° 82030 Fernández Gil

b. I.E. N° 821396- URUBAMBA BAJO

Año de culminación de la obra: 2014

Año de elaboración de los planos: 2013 (Uso de NT E030 del año 2003)

Es una escuela primaria en el caserío Urubamba Sector III, en la provincia y distrito de Cajamarca. Para esta investigación se analizará el módulo n° 01 de dos niveles en cual se distribuye de la siguiente manera:

- Primer nivel: 03 aulas para los 06 grados existentes.

- Segundo nivel: S.U.M. Aula de computación y dirección



Figura 3.3: Vista frontal del módulo N° 1 de la I.E. N° 821396 – Sector Urubamba



Figura 3.4: Vista lateral del módulo N° 1 de la I.E. N° 821396 – Sector Urubamba

a. I.E. N° 82954 PACHACÚTEC

Año de culminación de la obra: 2013

Año de elaboración de los planos: 2011 (Uso de NT E030 del año 2003)

Es una institución educativa primaria ubicada en el barrio Pachacútec de la provincia y distrito de Cajamarca. En la presente tesis se evaluará el módulo C, que se distribuye así:

- Primer nivel: Recepción, guardianía, dirección, archivo, servicios higiénicos, sala de profesores, aula.
- Segundo nivel: Auditorio, sala de cómputo, aula, servicios higiénicos.



Figura 3.5: Módulo C de la I.E. N° 82954 Pachacútec



Figura 3.6: Vista lateral del módulo C de la I.E. N° 82954 Pachacútec

b. I.E. N° 82016 SANTA TERESITA- PRIMARIA

Año de culminación de la obra: 2015

Año de elaboración de los planos: 2008 (Uso de NT E030 del año 2003)

Es un colegio emblemático reconocido en Cajamarca ubicado en la ciudad misma a pocos minutos de la plaza de armas. Para este análisis se estudiará el módulo de primaria considerándolo hasta la primera junta sísmica. La distribución es la siguiente:

- Primer nivel: Dos aulas y servicios higiénicos.
- Segundo nivel: Dos aulas y servicios higiénicos.



Figura 3.7: Fachada principal de la I.E. N° 82016 Santa Teresita- Primaria



Figura 3.8: Pabellón de educación primaria de la I.E. N° 82016 Santa Teresita

c. I.E. SAN MARCELINO CHAMPAGNAT

Año de culminación de la obra: 2015

Año de elaboración de los planos: 2013 (Uso de NT E030 del año 2003)

Es un colegio de primaria y secundaria reconocido en Cajamarca. Esta investigación estudiará el módulo inaugurado en el año 2015, cabe agregar que es la única edificación analizada que tiene tres niveles, los cuales tienen los siguientes ambientes:

- Primer nivel: Auditorio y servicios higiénicos.
- Segundo nivel: Laboratorio de física y servicios higiénicos.
- Tercer nivel. Biblioteca y servicios higiénicos



Figura 3.9: Módulo estudiado de la I.E.San Marcelino Champagnat



Figura 3.10: Módulo estudiado de la I.E. San Marcelino Champagna

3.3.1.1 PROPIEDADES Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE LAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS.

A continuación se presentan las características más importantes del concreto y del acero correspondientes a los elementos estructurales de cada escuela, datos que son indispensables para el modelamiento de edificaciones. Es importante aclarar que los datos han sido obtenidos de los expedientes técnicos de cada edificación proporcionados por la Municipalidad de Cajamarca.

Tabla 3.1: Características de los materiales que caracterizan los elementos estructurales de cada institución educativa

	I.E. N°82030 Fernández Gil	I.E. 821396- Urubamba bajo	I.E. N°82594 Pachacútec	I.E. 82016 Santa Teresita	I.E. San Marcelino Champagnat
Resistencia a la compresión columnas f'c	210 Kg/cm ²	210 Kg/cm ²	210 Kg/cm ²	210 Kg/cm ²	210 Kg/cm ²
Resistencia a la compresión en vigas (f'c)	210 Kg/cm ²	210 Kg/cm ²	210 Kg/cm ²	210 Kg/cm ²	210 Kg/cm ²
f'c en losa aligerada	210 Kg/cm ²	210 Kg/cm ²	210 Kg/cm ²	210 Kg/cm ² *	210 Kg/cm ²
Módulo de elasticidad del concreto columnas (E)	218819.79 kg/cm ²	218819.79 kg/cm ²	218819.79 kg/cm ²	218819.79 kg/cm ²	218819.79 kg/cm ²
Módulo de elasticidad del concreto vigas (E)	218819.79 kg/cm ²	218819.79 kg/cm ²	218819.79 kg/cm ²	218819.79 kg/cm ²	218819.79 kg/cm ²
Peso unitario	2400 kg/m ³	2400 kg/m ³	2400 kg/m ³	2400 kg/m ³	2400 kg/m ³
Módulo de Poisson	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Recubrimiento columnas	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm	3 cm
Recubrimiento vigas p.	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm	3 cm
Recubrimiento vigas ch.	2 cm	2 cm	2 cm	-	3 cm
Recubrimiento losas	2 cm	2.5 cm	2 cm	-	2 cm
Esfuerzo de fluencia acero	4200 Kg/cm ²	4200 Kg/cm ²	4200 Kg/cm ²	4200 Kg/cm ²	4200 Kg/cm ²
Peso unitario acero	7850 kg/m ³	7850 kg/m ³	7850 kg/m ³	7850 kg/m ³	7850 kg/m ³
Módulo de elasticidad acero	2100000 tn/m ²	2100000 tn/m ²	2100000 tn/m ²	2100000 tn/m ²	2100000 tn/m ²

* Losa armada en dos direcciones

3.3.1.2 METRADO DE CARGAS

Para el metrado de cargas de las edificaciones se han considerado cargas muertas, vivas y cargas vivas de techo, las que se obtuvieron de la NTP. E.020: Cargas y de las especificaciones técnicas de los expedientes técnicos correspondientes a cada institución educativa.

3.3.2 SEGURIDAD SÍSMICA

Para evaluar la seguridad del conjunto de escuelas se emplea la metodología basada en espectros de capacidad tal como han sido propuestas en el ATC-40, la cual se resume en los siguientes pasos:

3.3.2.1 ESTIMACIÓN DE LA ACCIÓN SÍSMICA PARA CAJAMARCA

En este acápite se definirán los espectros para los sismos de diseño recomendados por el comité VISION 2000. Para ello, se empleará la metodología propuesta por Aguiar (2004), usando las aceleraciones sísmicas vistas en el apartado 2.2.2.1.2.

Tabla 3.2: Valores de aceleraciones esperadas para los sismos de diseño en Cajamarca

Sismo de diseño	Periodo de retorno (años)	Aceleración esperada (g)
Frecuente	50	0.14
Ocasional	100	0.20
Raro	475	0.35
Muy raro	975	0.43

A continuación aplicamos el criterio de Aguiar (2004), de su propuesta para encontrar *espectros sísmicos de riesgo uniforme para verificar desempeño estructural en países sudamericanos*.

Tabla 3.3: Cálculo de los parámetros para los sismos de diseño en Cajamarca

Sismo de diseño	Aceleración esperada (g)	$\frac{Ac\ Ocas}{Ac\ Frec}$	$\frac{Ac\ M\ Raro}{Ac\ Raro}$	$\frac{Ac\ Norma}{Ac\ Frec}$
Frecuente	0.14	1.36	1.23	2.43
Ocasional	0.20			
Raro	0.35			
Muy raro	0.43			

Ahora reemplazamos los valores obtenidos de la tabla 3.3, en la tabla propuesta por Aguiar (2004), parámetros encontrados:

Tabla 3.4: Valores de parámetros encontrados para diversos países según la propuesta de Aguiar (2004)

País	$\frac{Ac\ Ocas}{Ac\ Frec}$	$\frac{Ac\ M\ Raro}{Ac\ Raro}$	$\frac{Ac\ Norma}{Ac\ Frec}$	$\frac{Ac\ Norma}{Ac\ Umbral}$
Venezuela	1.235	1.190	3.370	
	1.284	1.243	4.440	
		1.288		
Colombia				8.700
				4.060
Ecuador	1.322	1.467	4.820	
	1.204	1.269	2.630	
Perú	1.36	1.23	2.43	

Fuente: Aguiar (2004)

3.3.2.1.1 CONTRUCCIÓN DE FORMAS ESPECTRALES

Para el caso de **Sismo Frecuente**, la propuesta de Aguiar (2004) es obtener el espectro para un factor de amortiguamiento ε del 2%, empleando la misma forma del espectro elástico que consta en la normativa sísmica, pero con una valor aceleración igual al que está en la norma para el sismo raro dividido para tres. Para ello se usa la ecuación de Newmark y Hall (1982) para encontrar espectros con cualquier amortiguamiento.

$$a_2 = a_1 * \frac{(2.31 - 0.41 * Ln(\varepsilon_2))}{(2.31 - 0.41 * Ln(\varepsilon_1))} \quad \dots (3.1)$$

Donde:

a_2 = aceleración correspondiente al factor de amortiguamiento ε_2

a_1 = aceleración correspondiente al factor de amortiguamiento ε_1

$0 < \varepsilon_2 < 100$ (En porcentaje)

$0 < \varepsilon_1 < 100$ (En porcentaje)

Para el **Sismo Ocasional**, se emplea la recomendación de Guendelman (2002), que consiste en multiplicar el espectro de sismo frecuente por 1.4, valor que corresponde adecuadamente con el coeficiente encontrado en la tabla 3.4. Luego, para el **Sismo Raro**, se emplea el espectro elástico de la normativa correspondiente.

Finalmente para el **Sismo Muy Raro** se propone multiplicar el espectro elástico por 1.3 en base a los parámetros de la tabla 3.4 y considerando que al multiplicar el espectro elástico de las normativas por 1.3, la probabilidad de excedencia se reduce a 5% en un tiempo de 100 años, esto para un valor de $a = 0.40$ g, (Aguiar y Haro, 2000), pero como se esperan sismos más frecuentes, la probabilidad de excedencia va a subir al orden de 10%. Un valor más alto a 1.3 implicaría la reducción de la probabilidad de excedencia y un incremento del período medio de retorno.

3.3.2.1.2 ESPECTRO DE RESPUESTA DE LA NORMA E.030 (SISMO RARO)

El mapa peruano de zonificación sísmica tiene un periodo de retorno de 475 años correspondiente a un sismo raro, a través del cual se elabora el espectro de respuesta elástico considerando como variables el suelo, el tipo de estructura y el nivel de importancia.

Sin embargo, el uso de un espectro de respuesta elástico implica diseñar estructuras que soporten sismos intensos sin ningún daño, lo cual es muy costoso y poco conveniente en el desarrollo de proyectos por las dimensiones resultantes de los elementos (Hernández, 2018).

Considerando la baja probabilidad de ocurrencia de un sismo raro o intenso durante la vida útil de la estructura, la norma propone el uso de un espectro de respuesta inelástico, aplicando una reducción de fuerzas sísmicas, asumiendo que la misma superará su rango elástico y disipará energía para lo cual se requiere que sea lo suficientemente dúctil.

El factor de reducción de fuerzas sísmicas, sigue la siguiente ecuación:

$$R = R_{\mu} * R_{\Omega} * R_{\rho} \dots (3.2)$$

Donde:

R_{μ} : Factor de respuesta por ductilidad

R_{Ω} : Factor de sobrerresistencia

R_{ρ} : Factor de reducción de respuesta asociado a la redundancia

La figura 3.11 muestra las diferencias en los gráficos entre el espectro de respuesta elástico y el espectro de respuesta inelástico.

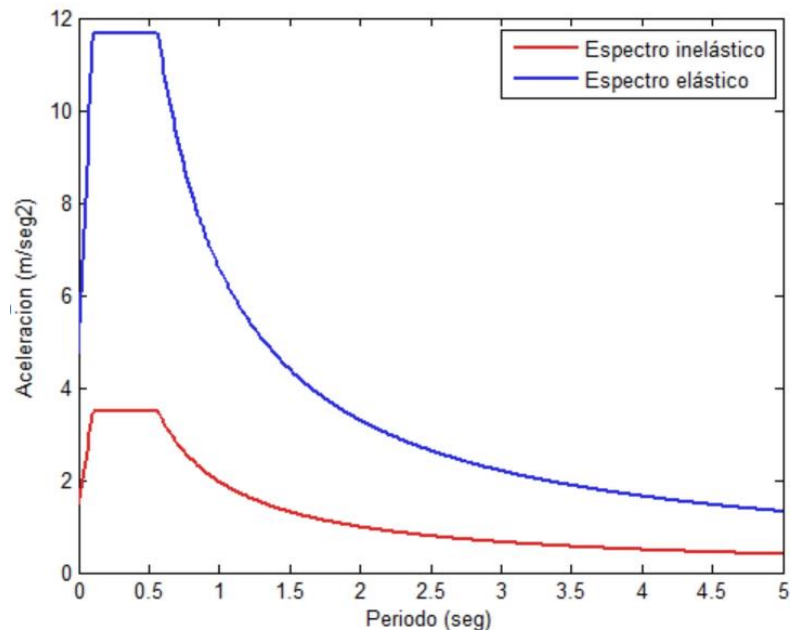


Figura 3.11: Gráfico de espectro de respuesta elástico y espectro de respuesta inelástico

a. Espectro Elástico (Espectro para la verificación del desempeño sísmico)

El espectro elástico de diseño corresponde al espectro sin reducir, es decir, el gráfico que no será afectado por el factor de reducción de respuesta R. Entonces la aceleración de respuesta espectral corresponde a:

$$S_a = Z * U * C * S * g \quad \dots (3.3)$$

Donde:

Sa= Aceleración espectral.

Z= Factor de zona.

U= Factor de Uso.

C= Factor de amplificación sísmica.

S= Factor de suelo.

g= Aceleración de la gravedad

a.1 Factor de Zona

Corresponde de acuerdo a la Zonificación Sísmica expuesta en la N.T.P. E.030 “Diseño Sismo resistente”.

Tabla 3.5: Factores de zona

FACTORES DE ZONA "Z"	
ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Fuente: N.T.P. E 0.30 "Diseño Sismorresistente", 2016

a.2 Categoría de las edificaciones y factor de uso (U)

Cada estructura pertenece a una Categoría determinada y el factor de uso depende de ésta:

Tabla 3.6: Factores de uso (U)

CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES		
CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A Edificaciones esenciales	A1: Establecimientos de salud del Sector Salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud.	Ver nota 1
	A2: Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo tales como: -Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1. - Puertos, aeropuertos, locales municipales, centrales de comunicaciones. Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía. - Instalaciones de generación y transformación de electricidad y plantas de tratamiento de agua. Todas aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre, tales como instituciones educativas, 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. Edificios que almacenen archivos o información esencial del Estado.	1.5
B Edificaciones importantes	Edificaciones que reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas. También se consideran depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.	1.3
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
D Edificaciones Temporales	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares	Ver nota 2

Fuente: N.T.P. E 0.30 "Diseño Sismorresistente", 2016

a.3 Parámetros de sitio: factor de Suelo (S)

La N.T.P. E.030 señala que deberá considerarse el tipo de perfil que mejor describa las condiciones locales, utilizándose los correspondientes valores de factor de amplificación del suelo S y de los periodos T_p y T_L dados en las siguientes tablas:

Tabla 3.7: Factor de suelo "S"

FACTOR DE SUELO "S"				
SUELO ZONA	S0	S1	S2	S3
Z4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z1	0.80	1.00	1.60	2.00

Fuente: N.T.P. E 0.30 "Diseño Sismorresistente", 2016

Tabla 3.8: Periodos T_p y T_L

PERIODOS T_p y T_L				
	S0	S1	S2	S3
TP(S)	0.80	1.00	1.05	1.10
TL(S)	0.80	1.00	1.15	1.20

Fuente: N.T.P. E 0.30 "Diseño Sismorresistente", 2016

a.4 Factor de Amplificación Sísmica (C)

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

$$T < T_p \quad C = 2.5 \quad \dots (3.4)$$

$$T_p < T < T_L \quad C = 2.5 * \frac{T_p}{T} \quad \dots (3.5)$$

$$T > T_L \quad C = 2.5 * \frac{T_p T_L}{T^2} \quad \dots (3.6)$$

Donde T es el periodo fundamental de vibración. Este coeficiente se interpreta como el factor de amplificación de la aceleración estructural respecto de la aceleración en el suelo.

b. Espectro Inelástico de Diseño

Este espectro corresponde al gráfico reducido del espectro elástico de diseño aplicando el factor R. Entonces, la aceleración de respuesta espectral se obtiene de la ecuación:

$$S_a = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot g \quad \dots (3.7)$$

Donde:

- Sa= Aceleración espectral.
- Z= Factor de zona.
- U= Factor de Uso.
- C= Factor de amplificación sísmica.
- S= Factor de suelo.
- R= Coeficiente de reducción de fuerza sísmica.
- g= Aceleración de la gravedad

Los coeficientes Z, U, C y S se muestran en el ítem anterior. El factor de reducción de respuesta R se muestra a continuación.

b.1 Coeficiente básico de reducción de fuerzas sísmicas (Ro)

Los sistemas estructurales se clasifican según los materiales usados y el sistema de estructuración sismo resistente en cada dirección de análisis.

Tabla 3.9: Coeficiente básico de reducción de fuerzas sísmicas (Ro)

SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistema estructural	Coeficiente Básico de Reducción Ro(*)
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	7
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	6
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostados (SCBF)	8
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostados (OCBF)	6
Pórticos Excéntricamente Arriostados (EBF)	8
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería armada o confinada	
	3
Madera (por esfuerzos admisibles)	
	7

Fuente: N.T.P. E 0.30 "Diseño Sismorresistente", 2016

3.3.2.1.3 PARÁMETROS DE LAS EDIFICACIONES ESTUDIADAS DE ACUERDO A LA NORMA DE DISEÑO SISMORRESISTENTE E.030 (2016).

Tabla 3.10: Parámetro de cada escuela, de acuerdo a la N.T. E 0.30

Item	Descripción	Parámetro	I.E. N°82030 Fernández Gil	I.E. 821396- Urubamba bajo	I.E. N°82594 Pachacútec	I.E. 82016 Santa Teresita	I.E. San Marcelino Champagnat
Categoría	Edificación de uso educativo (esencial)	A,B,C,D	A	A	A	A	A
Sistema estructural	Estructura formada por pórticos	-	Pórticos	Pórticos	Pórticos	Pórticos	Pórticos
Configuración estructural	No presenta irregularidades notables en planta y en altura	Regular/ Irregular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
Factor de zona	Ubicación: Distrito de Cajamarca	Z	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Factor de uso	Edificación de categoría A	U	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Factor de reducción de F.S.	Sistema de pórticos	R	8	8	8	8	8
Tipo de suelo	Tipo de suelo	S	S2	S2	S2	S3	S3
Factor de amplificación de suelo	Factor que depende del tipo de suelo	S	1.15	1.15	1.15	1.20	1.15
Período que define la plataforma del espectro	Factor que depende del tipo de suelo	Tp	0.60	0.60	0.60	1.00	0.6
Peso de la edificación	Considerará carga permanente + 50% de la carga viva (Edificación esencial)	P	CP+0.50 CV	CP+0.50 CV	CP+0.50 CV	CP+0.50 CV	CP+0.50 CV
Altura	Altura total de la edificación (m)	hn	7.39 m	7.44 m	7.09 m	7.59 m	11.50 m
Factor de amplificación sísmica	Factor de amplificación de la respuesta estructural respecto a la aceleración del suelo.	C	$\frac{hn}{CT}$	$\frac{hn}{CT}$	$\frac{hn}{CT}$	$\frac{hn}{CT}$	$\frac{hn}{CT}$
Cortante basal	Caso estático	V	$P * (ZUCS/R)$	$P * (ZUCS/R)$	$P * (ZUCS/R)$	$P * (ZUCS/R)$	$P * (ZUCS/R)$

3.3.2.1.4 ESPECTROS DE RESPUESTA CALCULADOS PARA LA VERIFICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO EN CAJAMARCA

De acuerdo a la metodología de la sección 3.3.2.1.1 del capítulo III, se han estimado los espectros para los sismos de diseño propuestos por el comité VISION 2000 para el distrito de Cajamarca.

Entonces, los espectros correspondientes a cada sismo de diseño se construyen considerando:

$$\diamond E.S.Frecuente = \frac{E.030(Raro)}{3}, \varepsilon = 2\% \dots (3.8)$$

$$\diamond E.S.Ocasional = E.S.Frecuente * 1.4 \dots (3.9)$$

$$\diamond E.S.Raro = E.030, \varepsilon = 5\% \dots (3.10)$$

$$\diamond E.S.Muy Raro = E.S.Raro * 1.3 \dots (3.11)$$

Se agrega que los espectros se han determinado para los tipos de suelo S2 y S3 que caracterizan el material de fundación de las escuelas analizadas.

Figura 3.12: Espectros de respuesta calculados para los sismos de diseño y la evaluación del comportamiento sísmico para Cajamarca según el Comité Vision 2000- SUELO S2

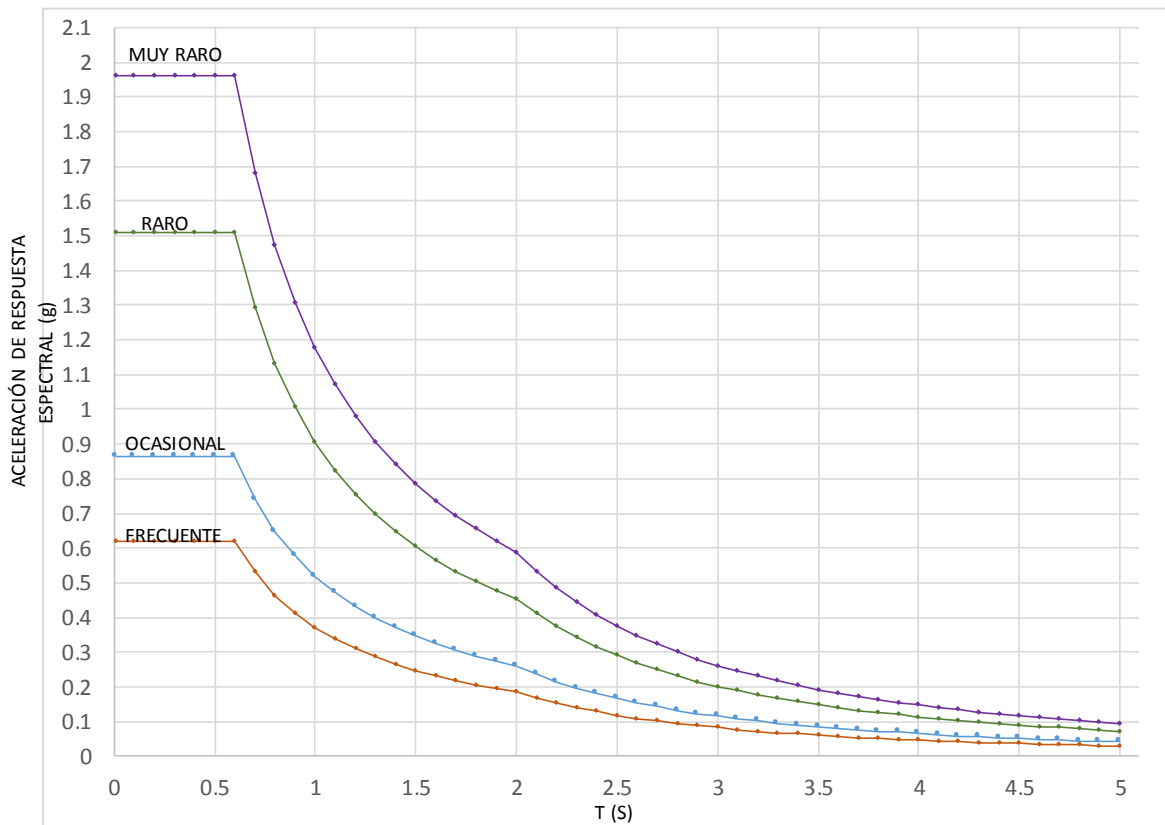
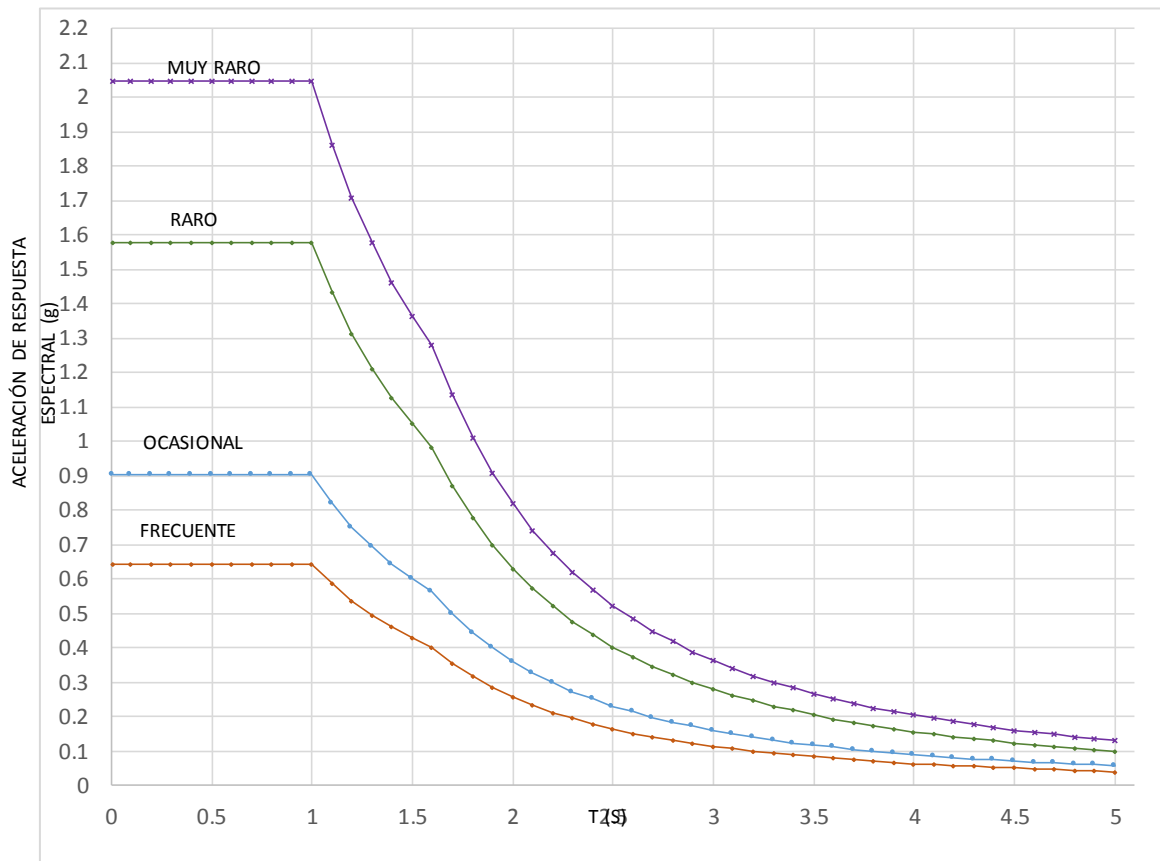


Figura 3.13: Espectros de respuesta calculados para los sismos de diseño y la evaluación del comportamiento sísmico para Cajamarca según el Comité Vision 2000- SUELO S3



3.3.2.2. ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE DESEMPEÑO

La estimación del punto de desempeño o comportamiento de las edificaciones se realizará de acuerdo al método de espectro de capacidad del ATC- 40 (1996), cuya teoría ha sido explicada en la sección 2.2.2.2. Considerando un análisis computacional a través del uso del software Etabs v.16.

3.3.2.2.1 MODELAMIENTO EN EL SOFTWARE ETABS V16.

El procedimiento general que se realiza en el software para realizar un análisis de pushover sigue los siguientes pasos (Cabanillas, 2016):

- i) Crear el modelo computacional.
- ii) Clasificar los elementos primarios y secundarios.
- iii) Aplicar la sollicitación lateral a cada piso. Para ello, puede optarse por usar un espectro de respuesta elástico o un patrón de fuerzas laterales. El espectro estaría definido por la normativa correspondiente. Para el caso de

fuerzas laterales se usa la masa que participa en el primer modo o modo fundamental de vibración por medio de la siguiente ecuación:

$$F_x = \frac{W_x \phi_x}{\sum W_x \phi_x} V \quad \dots (3.8)$$

En la determinación de las fuerzas sísmicas también deben incluirse las cargas de gravedad.

- iv) Calcular las fuerzas en los elementos para la combinación de cargas verticales y horizontales.
- v) Ajustar las solicitaciones laterales para que por lo menos algunos elementos alcancen el 10% de su resistencia. Es importante agregar que una vez se alcanza la resistencia de un elemento, este es considerado como incapaz de tomar fuerzas laterales. Detectar la fluencia elemento por elemento resulta ser un proceso lento, por ello en el software muchos elementos son agrupados en conjunto con un punto de fluencia similar.
- vi) Archivar o ir graficando el valor del cortante en la base vs el desplazamiento en el tope del edificio, como también las fuerzas y las rotaciones en cada elemento.
- vii) Actualizar el modelo usando una rigidez más pequeña para aquellos elementos que han alcanzado la fluencia.
- viii) Aplicar un nuevo incremento de solicitaciones laterales a la estructura actualizada hasta que otros elementos alcance la fluencia.
- ix) Agregar un incremento de la carga lateral y el correspondiente incremento del desplazamiento total previo para de este modo obtener los valores acumulados de la gráfica.
- x) Repetir los pasos anteriores hasta que la estructura alcance su límite último, distorsión más allá de los niveles prescritos. Los elementos pierden toda su resistencia

3.3.2.2.2 CONFIGURACIÓN DE LA NO LINEALIDAD – RÓTULAS PLÁSTICAS

Para la correcta incursión de la estructura en el estado no lineal, se necesitan especificar mecanismos de colapso en los elementos, los cuales son zonas de daño equivalente en donde se concentra toda la deformación inelástica.

Estos mecanismos de colapso corresponden a una configuración final de la estructura en la que un pequeño aumento de las acciones produce un aumento grande o incontrolado de las deformaciones globales o locales (INPRES-CIRSOC 103, 2013). Para caracterizar dichos mecanismos se emplean las rótulas plásticas.

La INPRES-CIRSON 103 define una rótula plástica como una zona de una pieza dúctil en la que, por haberse alcanzado la sollicitación límite, se producen rotaciones grandes ante aumentos pequeños de la sollicitación sin que se produzca el desmembramiento o destrucción física la pérdida de la capacidad resistente de la pieza.

a. ASIGNACIÓN DE RÓTULAS PLÁSTICAS EN COLUMNAS

Para elementos verticales se considera una longitud de rótula plástica de acuerdo a la siguiente ecuación (Cabanillas, 2016):

$$L_p = 0.08L + 0.15 f_y d_{bl} \dots (3.9)$$

Donde:

f_y = fluencia efectiva del refuerzo longitudinal, en ksi

d_{bl} = El diámetro del refuerzo longitudinal, en ft

a.1 Diagrama momento curvatura

El diagrama momento curvatura es un gráfico característico de los elementos que relaciona el momento (kgf.m ó Tnf.m) con la curvatura (rad/m) de la sección de acuerdo a las propiedades del concreto confinado o sin confinar. Por medio del diagrama momento curvatura se puede encontrar la rigidez en una sección conforme al estado de daño que tiene la misma. Para encontrar los diagramas momento curvatura de los elementos estructurales se emplea la función de *section designer* del software Etabs v.16.

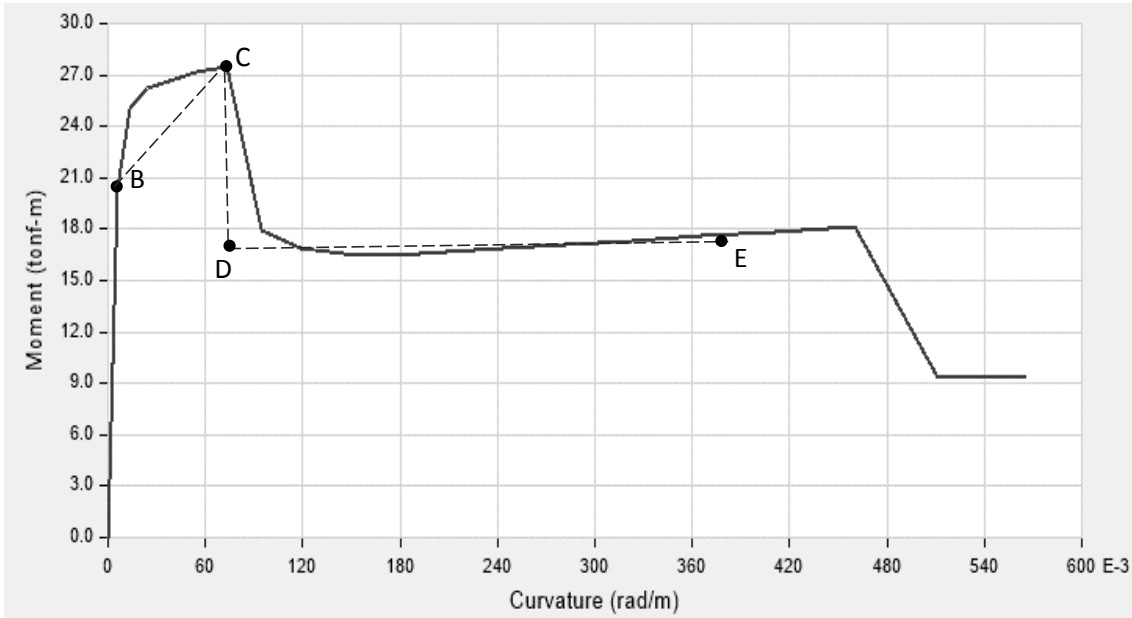


Figura 3.14: Diagrama momento curvatura encontrado con la función “section designer” para una columna de sección rectangular

Entonces, del diagrama momento curvatura obtendremos los datos correspondientes a los puntos B, C, D y E indicados en la figura 3.14. Estos datos de momentos serán normalizados respecto al momento de cedencia (el punto B).

$$\text{Momento normalizado} = \frac{\text{Momento}}{\text{Momento en la cedencia}} \dots (3.10)$$

Luego los datos correspondientes a los puntos indicados anteriormente serán incluidos en la definición de la rótula en el programa Etabs v.16 como lo muestra la figura 3.16. Igualmente, en las abscisas se colocarán las correspondientes a la curvatura empezando desde el punto B.

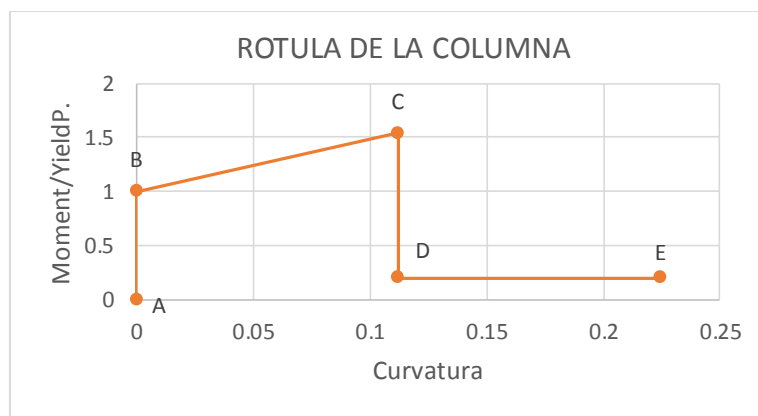


Figura 3.15: Construcción de la rótula plástica para la columna usando el diagrama momento curvatura

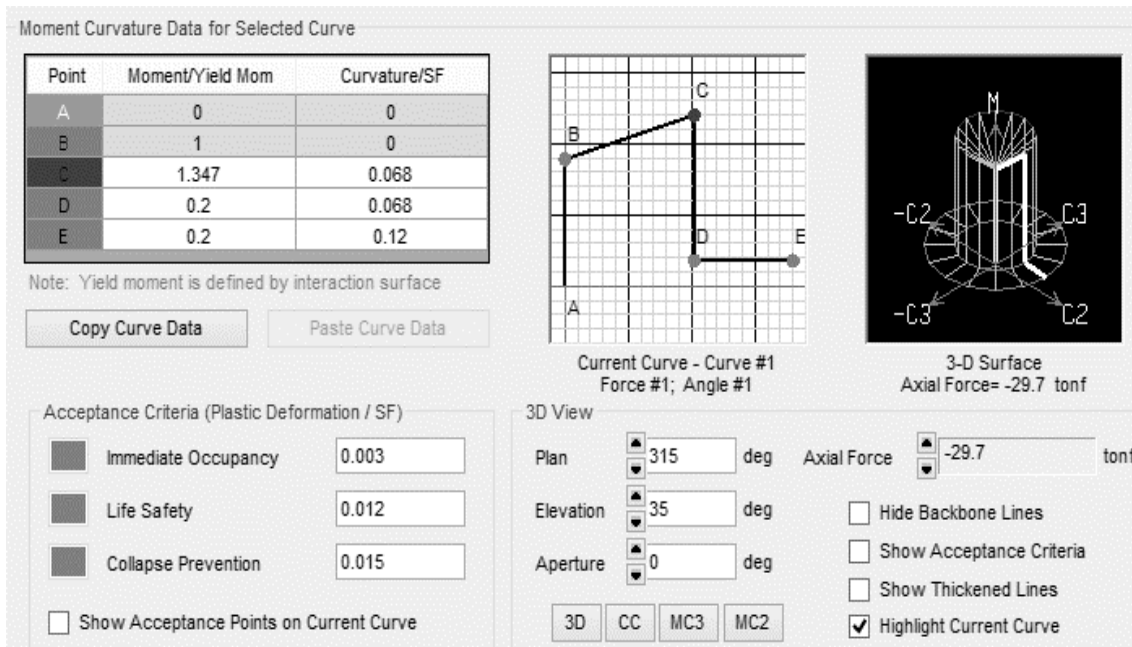


Figura 3.16: Definición de la rótula en el programa Etabs v.16 usando el diagrama momento curvatura.

a.2 Criterios de aceptación

Los criterios de aceptación para *inmediata ocupación*, *seguridad de vida* y *prevención de colapso* serán tomados para cada rótula de acuerdo a lo indicado en el documento FEMMA 2000.

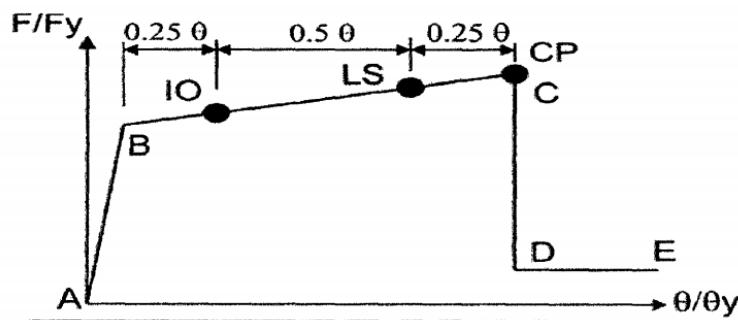


Figura 4.5. Identificación de respuestas límites en una Columna. FEMA 2000.

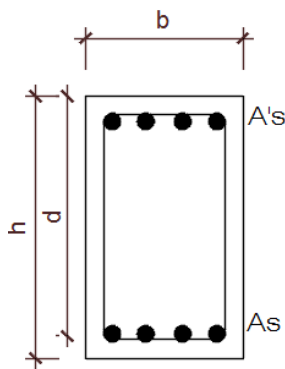
Figura 3.17: Identificación de respuestas límites en una columna. (Fuente: FEMA 2000).

b. ASIGNACIÓN DE RÓTULAS PLÁSTICAS EN VIGAS

Para este propósito se empleará la metodología propuesta por el ASCE 41-13, que usa el diagrama momento rotación. Entonces, la rótula plástica se construye a partir del cálculo del punto de fluencia para la viga, utilizando los coeficientes **a**, **b**, **c** de la tabla 10-7 del

ASCE 41-13 (figura 3.11). Esta metodología se realiza de manera automática en el software Etabs v.16.

Aguiar, Mora y Rodriguez (2015) proponen encontrar el punto de fluencia de las vigas usando la propuesta de Y. Park (1985) que cuenta con un respaldo teórico experimental del ensayo de 400 elementos de vigas y columnas de hormigón armado. Las ecuaciones de cálculo se indican a continuación.



$$n = \frac{Ec}{Ey} \dots (3.11)$$

$$\rho = \frac{As}{bd}, \rho' = \frac{As'}{bd} \dots (3.12)$$

$$\rho_b = \frac{0.85f'c}{fy} \beta_1 \left(\frac{6120}{6120 + fy} \right) \dots (3.13)$$

$$\beta_1 = 0.85 \text{ para } f'c \leq 280 \text{ kg/cm}^2 \dots (3.14)$$

$$K = -(\rho + \rho') * n + \{[\rho + \rho']^2 * n^2\} + (2(\rho + \rho') * \frac{d'}{d} * n)^{0.5} \dots (3.15)$$

$$fc = \left(\frac{fy}{n} \right) * \left(\frac{K}{1 - k} \right), \quad f's = fy * \left(\frac{K * d - d'}{d - K * d} \right) \dots (3.16)$$

Las coordenadas del punto de fluencia son (My, θ_y) y se muestran en la figura 3.18, asumiendo que la rótula es rigid-plastic entonces la rotación será $\theta_y=0$.

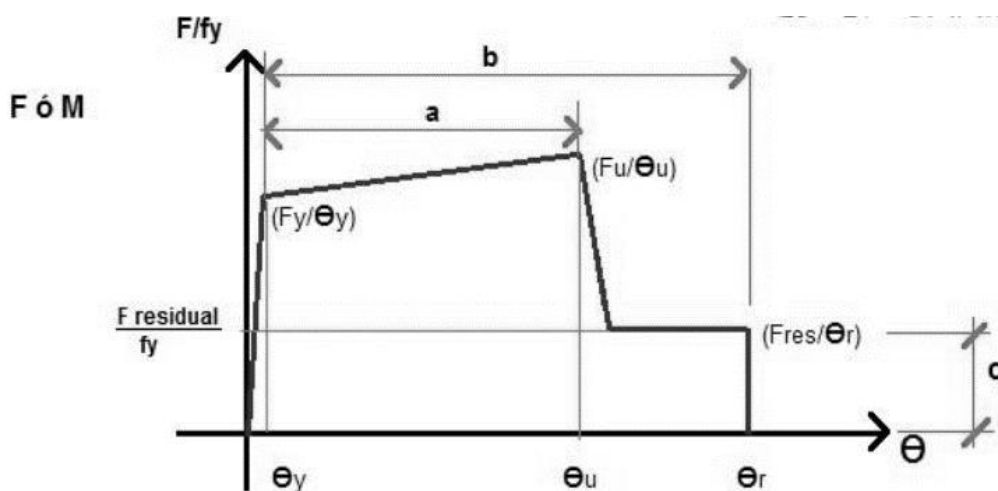


Figura 3.18: Esquema simplificado de la no linealidad de un elemento estructural viga

Luego, el momento My será tomado como el mínimo valor de:

$$M_y = \left[0.5 f_c * b (K * d) \frac{(2 * K * d)}{3} \right] + [A_s' * f_s * (Kd - d')] + [A_s * f_y * (d - K * d)] \quad \dots (3.17)$$

$$M_y = \left[0.5 * f_c * b * (K * d) * \left(d - \frac{K * d}{3} \right) \right] + [A_s * f_s * (d - d')] \quad \dots (3.18)$$

Posteriormente, el punto (μ , θ) de la figura 3.18 se determina de la siguiente manera:

- θ es encontrado directamente de la tabla 10-7 del ASCE 41-13 (figura 3.19)
 - μ es igual a 1.25 M_y (ATC- 40 sec 9.5.4)
- μ se puede determinar asumiendo que la pendiente B-C es como 10% de la pendiente de la deformación en la cedencia del acero.

Finalmente, el punto ($M_{residual}$, $\theta_{residual}$) de la figura 3.18 se encuentra así:

- $\theta_{residual}$ es encontrado directamente de la tabla 10-7 del ASCE 41-13 (figura 3.19)
- $M_{residual}$ es igual a 0.2 M_y

Conditions	Modeling Parameters ^a			Acceptance Criteria ^a		
	Plastic Rotations Angle (radians)		Residual Strength Ratio	Plastic Rotations Angle (radians)		
	a	b		Performance Level		
			IO	LS	CP	
Condition i. Beams controlled by flexure ^b						
$\rho - \rho'$	Transverse reinforcement ^c	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c'}}$ ^d				
ρ_{bal}						
≤ 0.0	C	≤ 3 (0.25)	0.025	0.05	0.2	0.010 0.025 0.05
≤ 0.0	C	≥ 6 (0.5)	0.02	0.04	0.2	0.005 0.02 0.04
≥ 0.5	C	≤ 3 (0.25)	0.02	0.03	0.2	0.005 0.02 0.03
≥ 0.5	C	≥ 6 (0.5)	0.015	0.02	0.2	0.005 0.015 0.02
≤ 0.0	NC	≤ 3 (0.25)	0.02	0.03	0.2	0.005 0.02 0.03
≤ 0.0	NC	≥ 6 (0.5)	0.01	0.015	0.2	0.0015 0.01 0.015
≥ 0.5	NC	≤ 3 (0.25)	0.01	0.015	0.2	0.005 0.01 0.015
≥ 0.5	NC	≥ 6 (0.5)	0.005	0.01	0.2	0.0015 0.005 0.01
Condition ii. Beams controlled by shear ^b						
Stirrup spacing $\leq d/2$			0.0030	0.02	0.2	0.0015 0.01 0.02
Stirrup spacing $> d/2$			0.0030	0.01	0.2	0.0015 0.005 0.01
Condition iii. Beams controlled by inadequate development or splicing along the span ^b						
Stirrup spacing $\leq d/2$			0.0030	0.02	0.0	0.0015 0.01 0.02
Stirrup spacing $> d/2$			0.0030	0.01	0.0	0.0015 0.005 0.01
Condition iv. Beams controlled by inadequate embedment into beam-column joint ^b						
			0.015	0.03	0.2	0.01 0.02 0.03

Figura 3.19: Parámetros para la modelación y criterios de aceptación numérica para procedimientos de análisis no lineal. Fuente: ASCE 41 -13 (Tabla 10-7)

Luego, con los datos obtenidos **se construye la rótula plástica automáticamente** en el programa Etabs v.16, ingresando los momentos y rotaciones encontrados para punto del *hinge*. La correspondencia es: M_y , θ_y es el punto B; M_u , θ_u es el punto C; $M_{residual}$, $\theta_{residual}$ es el punto E.

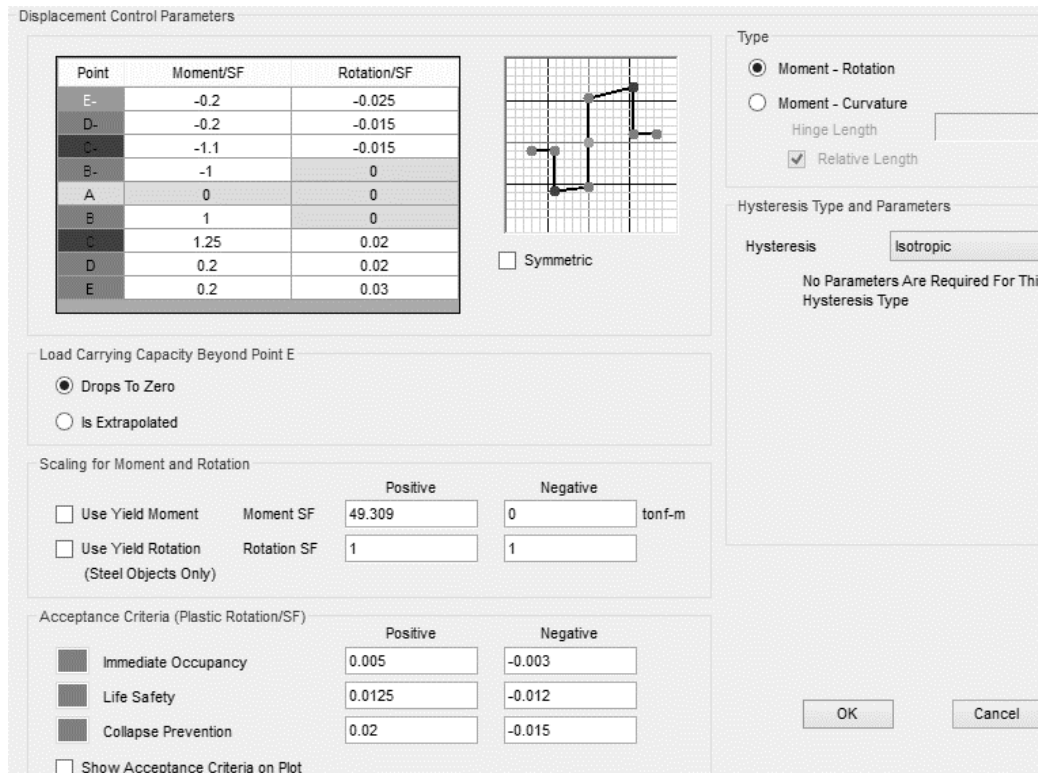


Figura 3.20: Modelación de la rótula para viga en Etabs v.16

Por último, para la longitud de rótula plástica en vigas podemos considerar que L_p es de 0.4 a 0.5 veces el peralte del elemento $L_p = 0.4h$ ó $0.5h$ asumiendo que en esta longitud la curvatura es constante (Paulay y Priestley, 1992). Para esta investigación se considerará que la extensión de las rótulas plásticas será:

$$L_p = 0.5x h \quad \dots (3.19)$$

Donde:

L_p : Longitud de rótula plástica.

h : Peralte del elemento.

3.3.2.2.3 CURVA DE CAPACIDAD- SECTORIZACIÓN DE LA CURVA DE CAPACIDAD

Para encontrar el nivel de desempeño de una estructura para un determinado punto de capacidad por demanda, es necesario sectorizar la curva de capacidad para así limitar cada nivel de comportamiento asignándole a cada uno un rango con respecto al desplazamiento del *performance point*. Para ello, empleamos el criterio del comité VISION 2000:

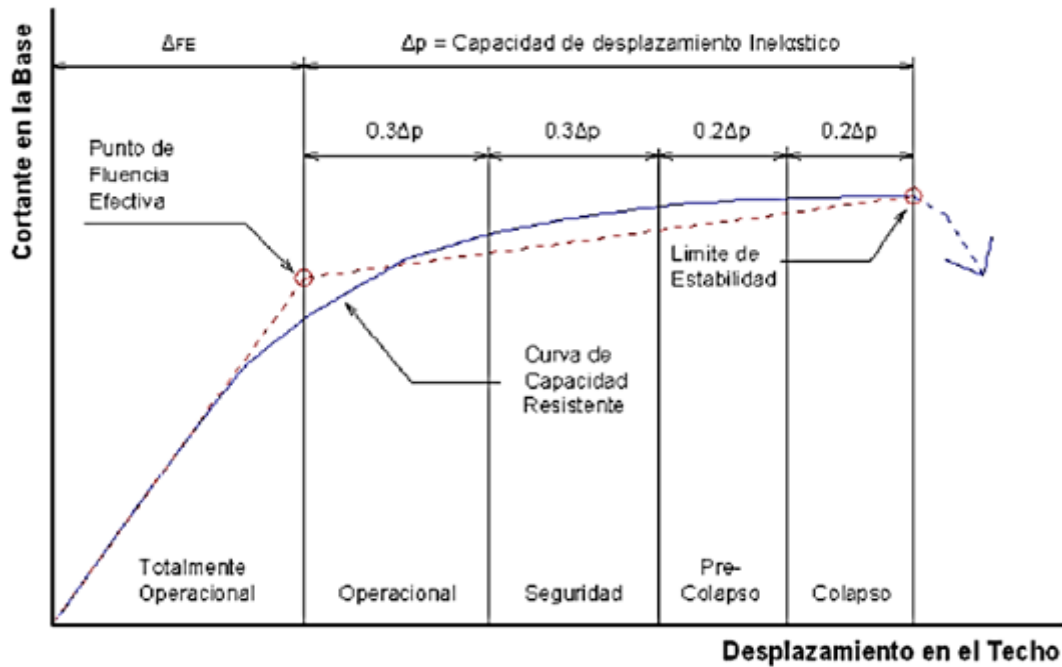


Figura 3.21: Criterios para la sectorización de la curva de capacidad (Fuente: SEAOC 2000)

El gráfico anterior puede ser resumido con la siguiente manera, en donde encontramos los límites para cada nivel de desempeño.

Tabla 3.11: Rangos de desplazamiento para cada nivel de desempeño (Fuente: SEAOC 2000)

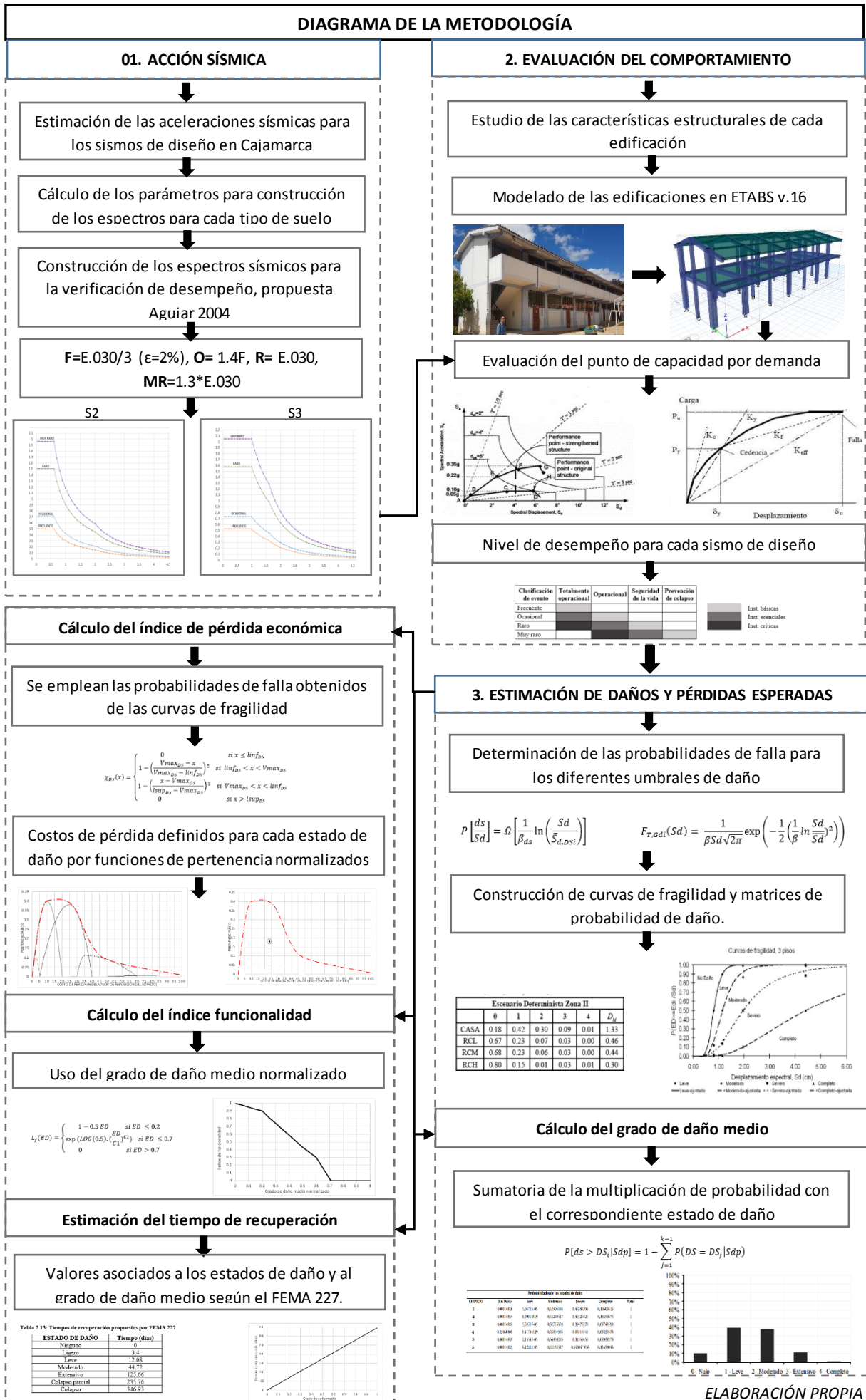
NIVEL DE DESEMPEÑO	DESPLAZAMIENTO	
	Límite inferior	Límite superior
Totalmente operacional	0	ΔFE
Operacional	ΔFE	$\Delta FE + 0.3\Delta p$
Seguridad de Vida	$\Delta FE + 0.3\Delta p$	$\Delta FE + 0.6\Delta p$
Prevención de colapso	$\Delta FE + 0.6\Delta p$	$\Delta FE + 0.8\Delta p$
Colapso	$\Delta FE + 0.8\Delta p$	$\Delta FE + \Delta p$

3.3.2.3 ESTIMACIÓN DE DAÑOS Y PÉRDIDAS ESPERADAS

La estimación de los daños y pérdidas esperadas ha sido descrita al detalle en la sección 2.2.2.3. Para el cálculo de las categorías: índice de pérdida grado de daño medio, índice de pérdida económica, índice de funcionalidad y tiempo de recuperación se emplean los resultados del punto de capacidad por demanda para cada sismo de diseño.

3.3.2.4 DIAGRAMA DE LA METODOLOGÍA

La secuencia de pasos para la determinación de la seguridad sísmica del grupo de escuelas en estudio se presenta a continuación.



3.4 TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.4.1 POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO

La población está constituida por los colegios construidos dentro del distrito de Cajamarca.

La muestra está conformada por las escuelas **I.E. N°82030 Fernández Gil, I.E. N°82594 Pachacútec, I.E. 82016 Santa Teresita (primaria), I.E. 821396- Urubamba bajo y I.E. San Marcelino Champagnat de Cajamarca**. El tipo de muestreo es no probabilístico, por conveniencia o intencional, considerando que todas las escuelas de la muestra tienen sistema estructural parecido.

3.4.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se puede resumir del siguiente modo:

Tabla 3.12: Tipo de investigación

Criterio	Investigación
Finalidad	Aplicada
Estrategia o enfoque teórico metodológico	Cuantitativo
Objetivos	Descriptiva
Fuente de datos	Mixta
Control de diseño de la prueba	No experimental
Temporalidad	Transversal

3.4.3 TIPO DE ANÁLISIS

Es un tipo de Análisis Cuantitativo – Cualitativo. Se recolecta la información y se resumen de manera meticulosa los datos en base a las hipótesis. Después, se analizan los resultados con el fin de contrastar las hipótesis formuladas.

3.4.4 RECOLECCIÓN DE DATOS

La información indispensable de las escuelas por estudiar fue obtenida de los expedientes técnicos correspondientes, obtenidos de la municipalidad de Cajamarca. Dicha información ha facilitado la determinación de las características de las edificaciones, tales como: sistema estructural, dimensiones de elementos, áreas de acero, entre otras.

Bajo la consideración de que las edificaciones cumplen con los requisitos de resistencia mínimos para el concreto y acero, se han asumido exactamente los datos de los expedientes para la realización de los modelos estructurales. Asimismo, se han tomado fotografías de las edificaciones por estudiar para verificar su estado actual, pues todos los centros educativos han sido construidos antes del año 2015.

3.4.5 PROCESAMIENTO DE DATOS

El procesamiento de la información se ha realizado de manera computarizada usando el software comercial de CSI para análisis estructural y dimensionamiento de edificios llamado ETABS v.16. En dicho programa se han modelado las estructuras y realizado los cálculos concernientes a la presente tesis.

Asimismo, se ha empleado otros programas como AutoCAD Architecture 2018, Microsoft Word 2013, Microsoft Excel, entre otros.

3.4.6 ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

3.4.6.1 MODELADO DE LAS ESTRUCTURAS

Las edificaciones objeto de estudio han sido modeladas en el programa Etabs v.16 de acuerdo a lo señalado en la sección 3.3.2.6, buscando la mayor semejanza posible con la realidad, en concordancia con las especificaciones técnicas de los elementos estructurales encontrados en los expedientes técnicos.

a. I.E. N°82030 Fernández Gil

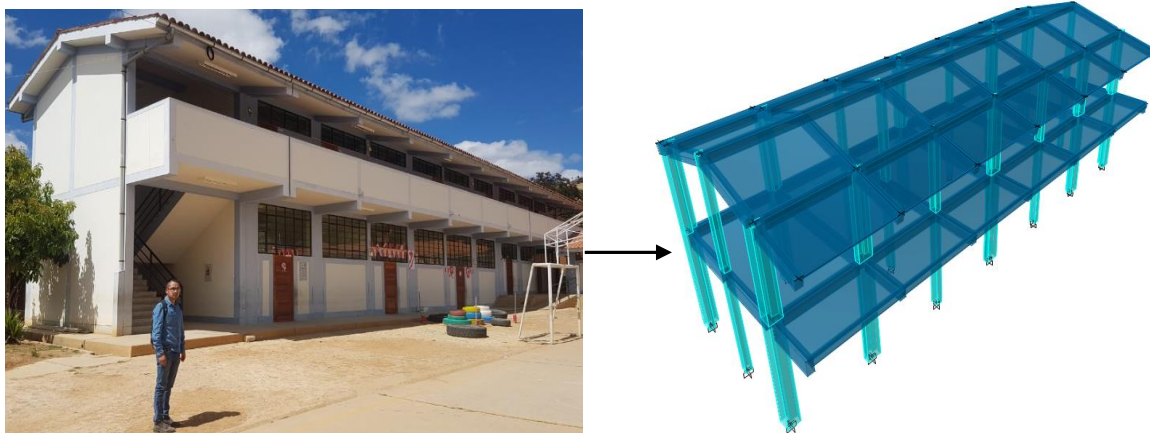


Figura 3.22: Estructura del módulo A de la I.E. N°82030 Fernández Gil

b. I.E. N° 821396- Urubamba bajo

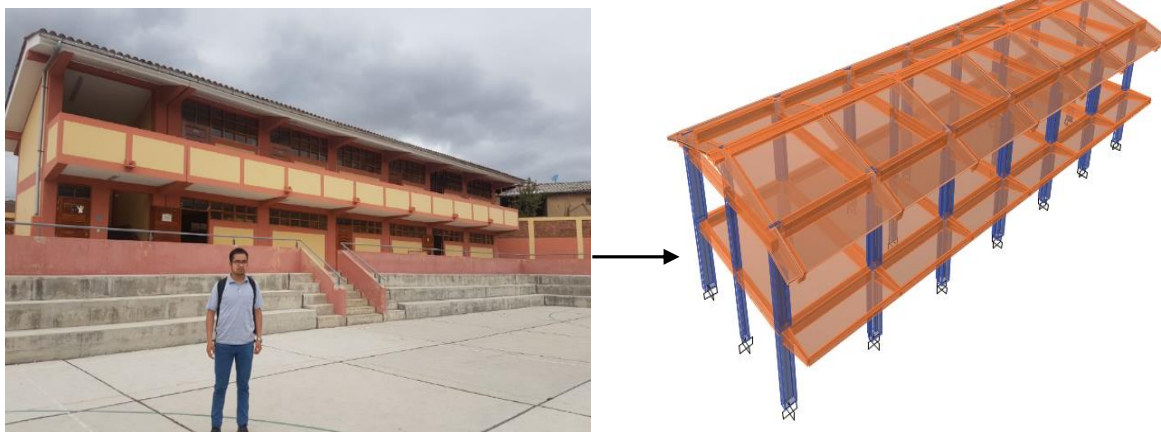


Figura 3.23: Estructura del módulo N° 1 de la I.E. N°821396Urubamba Bajo

c. I.E. N°82594 Pachacútec



Figura 3.24: Estructura del módulo C de la I.E. N°82594 Pachacútec

d. I.E. 82016 Santa Teresita (primaria),



Figura 3.25: Estructura del módulo de primaria de la I.E. N°82016 Santa Teresita

e. I.E. San Marcelino Champagnat

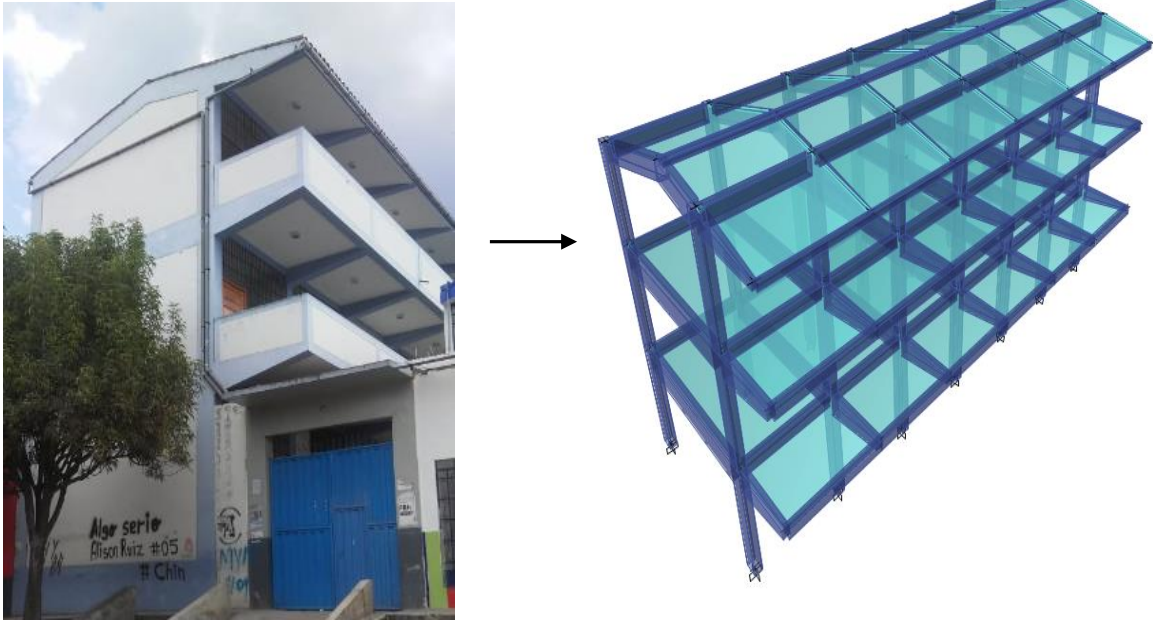


Figura 3.26: Estructura del módulo estudiado de la I.E. San Marcelino Champagnat

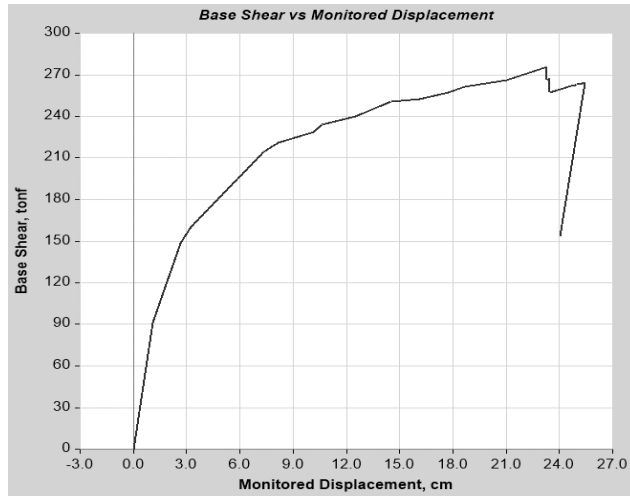
3.4.6.2 CURVAS DE CAPACIDAD DE LAS ESTRUCTURAS

En la presente investigación se obtuvieron las curvas de capacidad, para cada dirección del sismo X e Y. Las curvas obtenidas se presentarán tanto en el formato de V (fuerza cortante en la base) vs Desplazamiento y Aceleración Espectral vs Desplazamiento Espectral. Es importante aclarar que para la estimación del comportamiento y el cálculo de las pérdidas probables se emplearán los datos de la curva en coordenadas espectrales, ya que este es el procedimiento establecido por el método de Espectro de Capacidad.

A continuación se presentan las curvas de capacidad calculadas con el software Etabs v.16 para cada institución educativa estudiada en la presente tesis.

A) EDIFICACIÓN: I.E. 82030 FERNANDEZ GIL

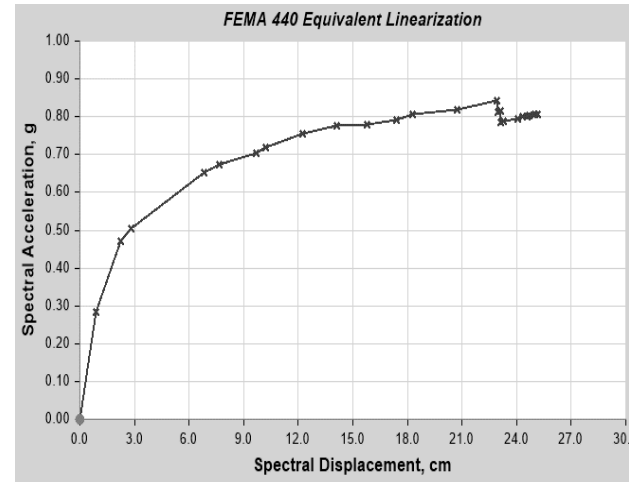
1. CURVA DE CAPACIDAD DIRECCIÓN X – Formato V vs Despl.



Paso	Despl. (cm)	V (tn)
0	-0.01	0.00
1	1.10	91.52
2	2.66	148.77
3	3.24	160.15
4	7.36	214.72
5	8.15	220.81
6	10.14	228.96
7	10.65	233.92
8	12.53	240.05
9	14.49	250.58
10	16.13	252.58
11	17.76	257.06
12	18.67	261.67
13	21.04	266.07
14	23.29	275.70
15	23.29	266.15
16	23.44	267.24
17	23.44	256.94
18	23.60	258.07
19	24.36	260.72
20	24.62	262.02
21	24.88	262.57
22	24.95	262.99
23	25.27	263.87
24	25.42	264.61
25	24.02	153.72

Figura 3.27: Curva de capacidad dirección X, V vs Despl.

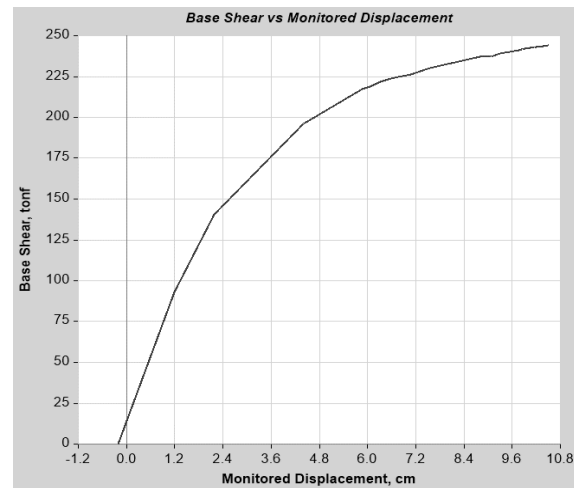
2. CURVA DE CAPACIDAD DIRECCIÓN X – Formato Sa vs Sd



Sd (cm)	Sa (g)
0.00	0.00
0.86	0.28
2.24	0.47
2.79	0.50
6.84	0.65
7.64	0.67
9.69	0.70
10.19	0.72
12.22	0.76
14.11	0.78
15.76	0.78
17.41	0.79
18.30	0.81
20.74	0.82
22.94	0.84
22.97	0.81
23.12	0.82
23.15	0.79
23.31	0.79
24.06	0.80
24.33	0.80
24.59	0.80
24.67	0.80
24.99	0.81
25.15	0.81

Figura 3.28: Curva de capacidad dirección X, en coordenadas espectrales

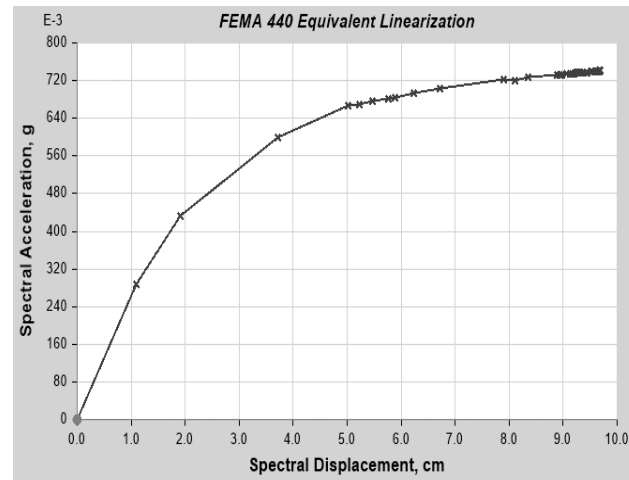
3. CURVA DE CAPACIDAD DIRECCIÓN Y – Formato V vs Despl.



Paso	Despl. (cm)	V (tn)
0	-0.22	0.00
1	1.20	93.25
2	2.19	140.74
3	4.40	195.79
4	5.86	217.57
5	6.06	218.73
6	6.31	221.81
7	6.52	223.02
8	6.66	224.46
9	7.07	226.43
10	7.54	230.36
11	8.80	236.91
12	9.08	237.33
13	9.28	239.14
14	9.77	241.24
15	9.82	241.59
16	9.85	241.65
17	9.92	241.99
18	9.99	242.14
19	10.02	242.30
20	10.04	242.34
21	10.09	242.52
22	10.10	242.56
23	10.11	242.58
24	10.12	242.64
25	10.13	242.68
26	10.15	242.73
27	10.16	242.78
28	10.19	242.87
29	10.20	242.87
30	10.21	242.93
31	10.27	243.08
32	10.29	243.15
33	10.34	243.28
34	10.36	243.37
35	10.41	243.52
36	10.42	243.55
37	10.43	243.58
38	10.43	243.59
39	10.44	243.61
40	10.45	243.62
41	10.46	243.68
42	10.47	243.69
43	10.47	243.71
44	10.48	243.73
45	10.48	243.74
46	10.49	243.77
47	10.50	243.77
48	10.50	243.80
49	10.51	243.82
50	10.51	243.84

Figura 3.29: Curva de capacidad dirección Y, V vs Despl.

4. CURVA DE CAPACIDAD DIRECCIÓN Y – Formato Sa vs Sd

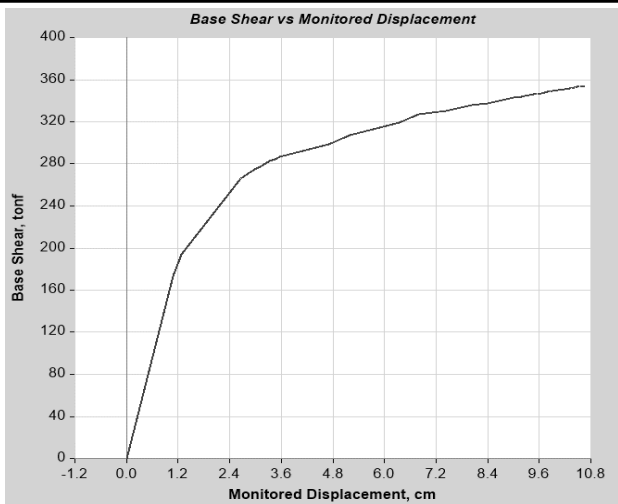


Sd (cm)	Sa (g)
0.00	0.00
1.10	0.29
1.91	0.43
3.71	0.60
5.01	0.67
5.23	0.67
5.48	0.68
5.77	0.68
5.89	0.69
6.23	0.69
6.72	0.70
7.89	0.72
8.11	0.72
8.34	0.73
8.88	0.73
8.94	0.73
8.97	0.73
9.06	0.73
9.14	0.73
9.17	0.73
9.19	0.74
9.24	0.74
9.25	0.74
9.27	0.74
9.28	0.74
9.29	0.74
9.31	0.74
9.32	0.74
9.35	0.74
9.37	0.74
9.38	0.74
9.44	0.74
9.45	0.74
9.51	0.74
9.53	0.74
9.58	0.74
9.59	0.74
9.60	0.74
9.60	0.74
9.61	0.74
9.62	0.74
9.63	0.74
9.64	0.74
9.65	0.74
9.65	0.74
9.66	0.74
9.66	0.74
9.67	0.74
9.67	0.74
9.68	0.74
9.68	0.74

Figura 3.30: Curva de capacidad dirección Y, en coordenadas espectrales

B) EDIFICACIÓN: I.E. 821396 URUBAMBA BAJO

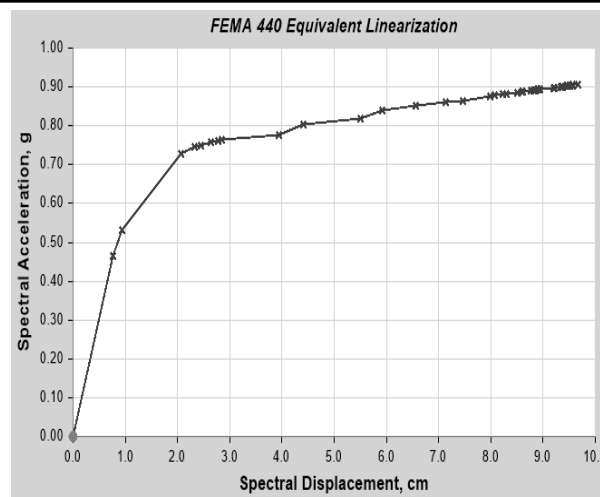
1. CURVA DE CAPACIDAD DIRECCIÓN X – Formato V vs Despl.



Paso	D. (cm)	V (tn)
0	0.00	0.00
1	1.08	173.81
2	1.29	194.13
3	2.67	266.23
4	2.98	275.23
5	3.11	277.56
6	3.33	282.55
7	3.46	284.29
8	3.56	286.37
9	4.71	298.80
10	5.20	306.99
11	6.35	318.83
12	6.80	327.11
13	7.43	330.62
14	8.03	335.81
15	8.38	337.68
16	8.91	342.11
17	9.00	342.60
18	9.17	343.91
19	9.24	344.53
20	9.46	346.00
21	9.55	346.40
22	9.55	346.46
23	9.73	347.82
24	9.77	348.03

Figura 3.31: Curva de capacidad dirección X, V vs Despl.

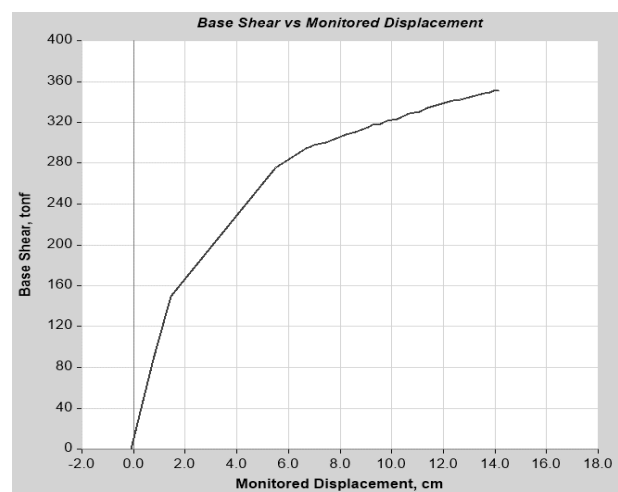
2. CURVA DE CAPACIDAD DIRECCIÓN X – Formato Sa vs Sd



Sd (cm)	Sa (g)
0	0
0.77	0.47
0.94	0.53
2.07	0.73
2.33	0.75
2.45	0.75
2.64	0.76
2.77	0.76
2.85	0.76
3.94	0.78
4.42	0.80
5.50	0.82
5.93	0.84
6.55	0.85
7.13	0.86
7.47	0.86
7.98	0.88
8.06	0.88
8.24	0.88
8.30	0.88
8.51	0.89
8.60	0.89
8.61	0.89
8.77	0.89

Figura 3.32: Curva de capacidad dirección X, en coordenadas espectral

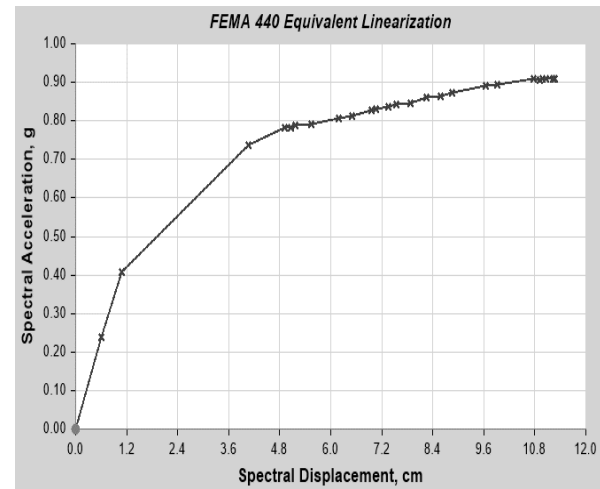
3. CURVA DE CAPACIDAD DIRECCIÓN Y – Formato V vs Despl.



Paso	D. (cm)	V (tn)
0	-0.10	0.00
1	0.76	88.21
2	1.44	150.08
3	5.51	275.84
4	6.69	294.72
5	6.86	296.16
6	6.98	297.93
7	7.44	299.83
8	8.23	308.39
9	8.59	310.54
10	9.10	315.26
11	9.25	317.29
12	9.57	318.35
13	9.80	321.34
14	10.22	323.42
15	10.68	328.77
16	11.08	329.96
17	11.40	334.36
18	12.36	341.26
19	12.64	342.01
20	13.59	348.82
21	13.78	349.56
22	13.87	350.42
23	13.95	350.96
24	14.13	351.27
25	14.17	351.66
26	14.17	351.66
27	14.17	351.69

Figura 3.33: Curva de capacidad dirección Y, V vs Despl.

4. CURVA DE CAPACIDAD DIRECCIÓN Y – Formato Sa vs Sd



Sd	Sa
0.00	0.00
0.60	0.24
1.08	0.41
4.06	0.74
4.92	0.78
5.07	0.78
5.17	0.79
5.54	0.79
6.19	0.81
6.50	0.81
6.95	0.83
7.06	0.83
7.35	0.84
7.54	0.84
7.88	0.85
8.25	0.86
8.59	0.86
8.84	0.87
9.65	0.89

Figura 3.34: Curva de capacidad dirección Y, en coordenadas espectrales

C) EDIFICACIÓN: I.E. 82594 PACHACÚTEC

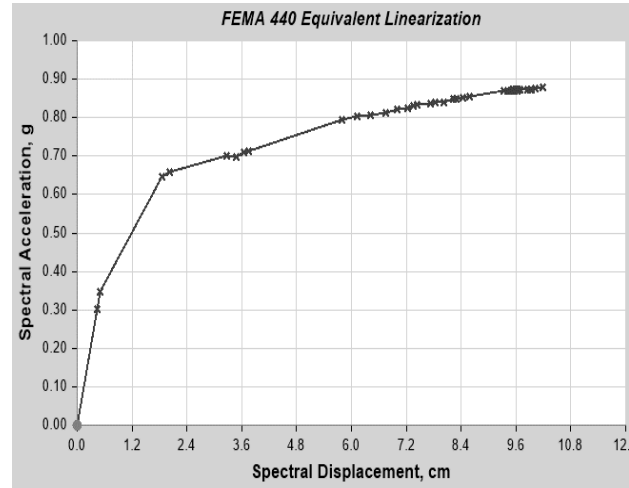
1. CURVA DE CAPACIDAD DIRECCIÓN X – Formato V vs Despl.



Paso	Despl. (cm)	V (ton)
0	-0.01	0.00
1	0.62	122.46
2	0.72	140.96
3	2.43	247.12
4	2.63	254.23
5	4.07	289.93
6	4.32	293.91
7	4.48	297.79
8	4.58	299.33
9	6.71	332.79
10	7.05	336.04
11	7.33	337.31
12	7.69	340.80
13	7.96	345.32
14	8.20	346.92
15	8.32	348.49
16	8.39	349.18
17	8.69	350.94

Figura 3.35: Curva de capacidad dirección X, V vs Despl.

2. CURVA DE CAPACIDAD DIRECCIÓN X – Formato Sa vs Sd



Sd (cm)	Sa (g)
0.00	0.00
0.43	0.30
0.50	0.35
1.85	0.65
2.01	0.66
3.27	0.70
3.49	0.70
3.65	0.71
3.74	0.71
5.79	0.79
6.13	0.80
6.41	0.81
6.74	0.81
7.00	0.82
7.24	0.83
7.35	0.83
7.43	0.83
7.73	0.84

Figura 3.36: Curva de capacidad dirección X, en coordenadas espectrales

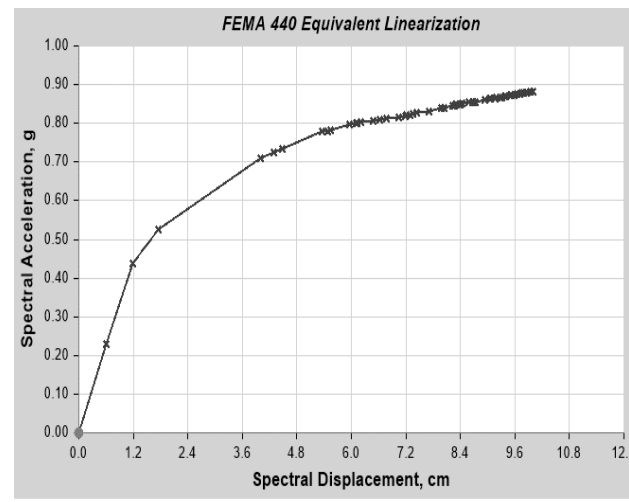
3. CURVA DE CAPACIDAD DIRECCIÓN Y – Formato V vs Despl.



Paso	D (cm)	V (tn)
0	-0.28	0.00
1	0.64	91.20
2	1.53	174.70
3	2.33	210.72
4	5.56	289.10
5	5.96	294.37
6	6.25	300.87
7	7.50	317.86
8	7.69	318.96
9	7.76	320.20
10	8.29	325.37
11	8.46	325.46
12	8.51	326.20
13	8.60	327.14
14	8.95	329.14
15	9.13	329.51
16	9.31	331.57
17	9.66	333.30
18	9.84	334.67
19	9.89	335.40
20	9.97	335.78
21	10.06	336.81
22	10.15	337.26
23	10.51	338.34
24	10.82	341.21
25	10.90	341.40
26	11.12	343.03
27	11.17	343.23
28	11.18	343.31
29	11.20	343.41

Figura 3.37: Curva de capacidad dirección Y, V vs Despl.

4. CURVA DE CAPACIDAD DIRECCIÓN Y – Formato Sa vs Sd

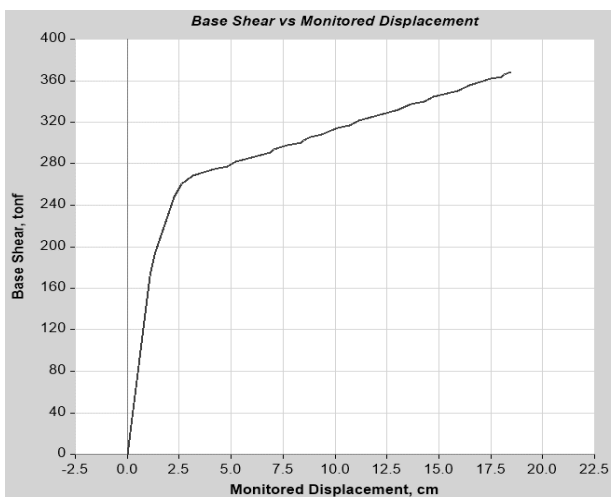


Sd (cm)	Sa (g)
0.00	0.00
0.59	0.23
1.18	0.44
1.75	0.53
4.00	0.71
4.29	0.72
4.48	0.74
5.36	0.78
5.49	0.78
5.54	0.78
5.95	0.80
6.10	0.80
6.13	0.80
6.20	0.80
6.48	0.81
6.63	0.81
6.77	0.81
7.04	0.82
7.18	0.82
7.21	0.82
7.29	0.82
7.36	0.83
7.43	0.83
7.72	0.83
7.97	0.84
8.05	0.84
8.23	0.85
8.27	0.85
8.28	0.85
8.30	0.85

Figura 3.38: Curva de capacidad dirección Y, en coordenadas espectrales

D) EDIFICACIÓN: I.E. 82016 SANTA TERESITA (primaria)

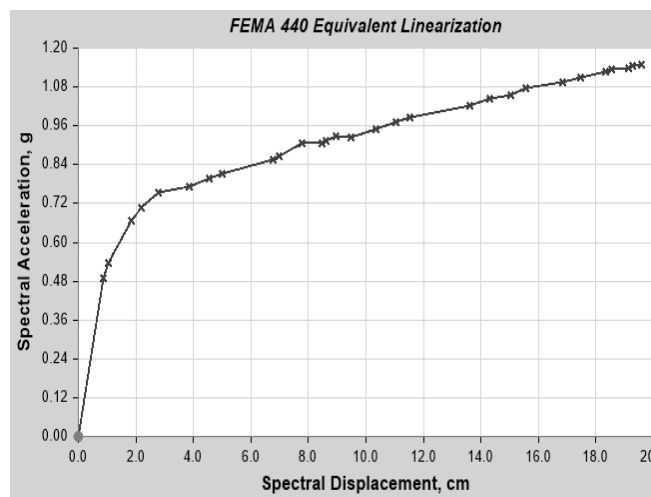
1. CURVA DE CAPACIDAD DIRECCIÓN X – Formato V vs Despl.



Paso	D. (cm)	V (tn)
0	0.00	0.00
1	1.11	171.66
2	1.30	192.39
3	2.25	247.88
4	2.60	260.28
5	3.16	268.55
6	4.19	275.21
7	4.83	277.15
8	5.24	281.85
9	6.88	290.94
10	7.06	293.62
11	7.71	298.11
12	8.36	299.83
13	8.51	302.78
14	8.81	305.42
15	9.35	308.11
16	10.13	314.41

Figura 3.39: Curva de capacidad dirección X, V vs Despl.

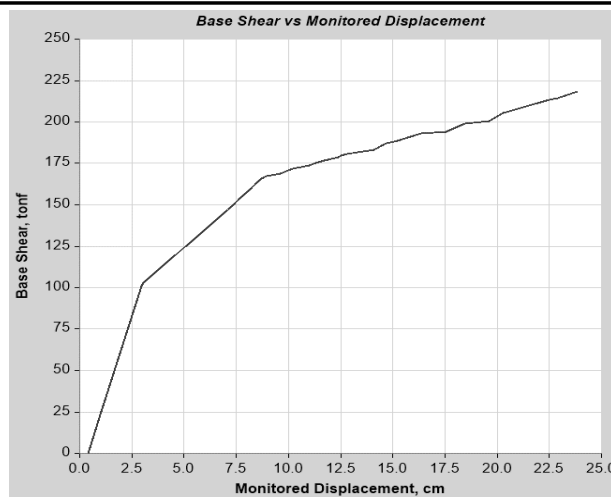
2. CURVA DE CAPACIDAD DIRECCIÓN X – Formato Sa vs Sd



Sd (cm)	Sa (g)
0.00	0.00
0.88	0.49
1.03	0.54
1.84	0.67
2.18	0.71
2.78	0.75
3.85	0.77
4.56	0.80
5.00	0.81
6.77	0.86
6.97	0.87
7.77	0.90
8.46	0.91
8.61	0.91
8.96	0.93
9.49	0.93
10.36	0.95
11.03	0.97

Figura 3.40: Curva de capacidad dirección X, en coordenadas espectrales

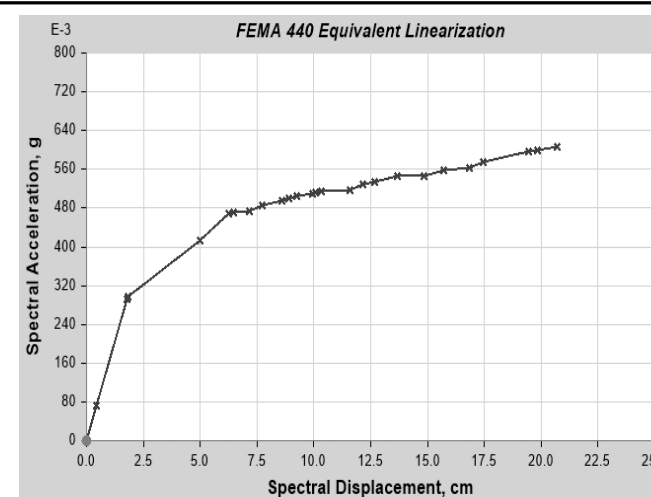
3. CURVA DE CAPACIDAD DIRECCIÓN Y – Formato V vs Despl.



Paso	D. (cm)	V (tn)
0	0.42	0.00
1	1.02	25.38
2	2.96	101.08
3	3.04	102.96
4	7.11	146.86
5	8.70	165.77
6	8.93	167.25
7	9.62	168.59
8	10.21	171.91
9	10.99	173.53
10	11.30	175.47
11	11.70	176.92
12	12.38	178.59
13	12.53	179.63
14	12.81	180.81
15	14.08	183.06
16	14.68	187.10
17	15.23	188.50
18	16.35	193.14
19	17.54	194.29
20	18.45	199.12
21	19.61	200.49
22	20.30	205.26
23	22.47	213.42
24	22.49	213.53
25	22.90	214.51
26	23.84	218.25

Figura 3.41: Curva de capacidad dirección Y, V vs Despl.

4. CURVA DE CAPACIDAD DIRECCIÓN Y – Formato Sa vs Sd

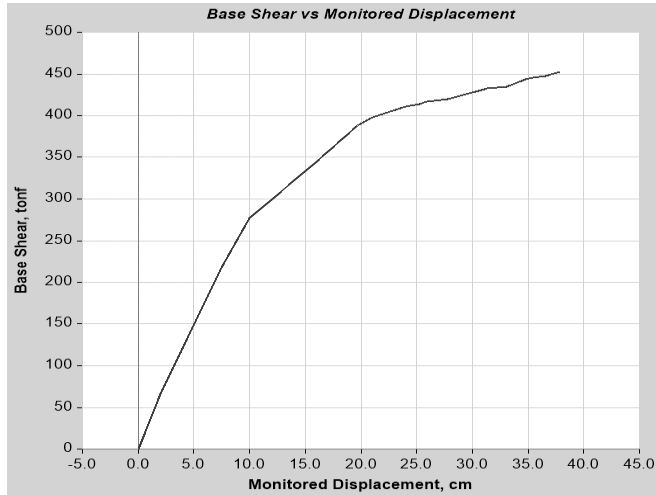


Sd	Sa
0.00	0.00
0.42	0.07
1.78	0.29
1.84	0.30
4.98	0.41
6.27	0.47
6.48	0.47
7.17	0.47
7.74	0.49
8.59	0.49
8.89	0.50
9.26	0.50
9.95	0.51
10.08	0.51
10.34	0.51
11.57	0.52
12.13	0.53
12.66	0.53
13.69	0.55
14.86	0.55
15.70	0.56
16.84	0.56
17.46	0.57
19.44	0.60
19.46	0.60
19.85	0.60
20.69	0.61

Figura 3.42: Curva de capacidad dirección Y, en coordenadas espectrales

E) EDIFICACIÓN: I.E. SAN MARCELINO CHAMPAGNAT

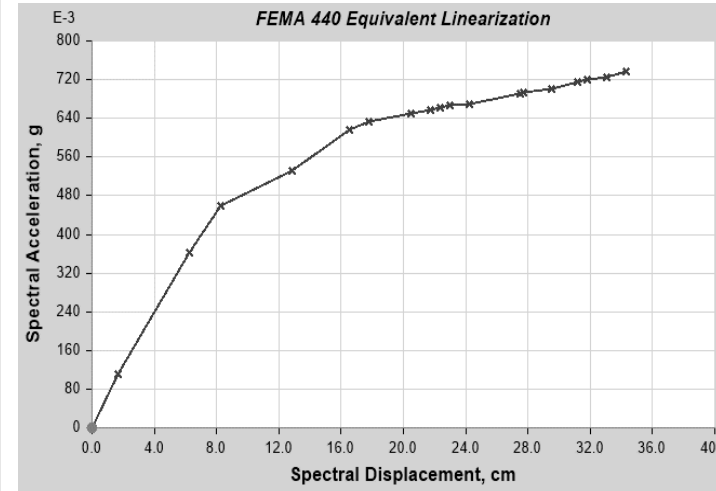
1. CURVA DE CAPACIDAD DIRECCIÓN X – Formato V vs Despl.



Paso	D. (cm)	V (tn)
0	-0.01	0.00
1	2.02	66.68
2	7.50	217.68
3	10.04	276.74
4	15.62	340.41
5	19.72	388.31
6	21.04	397.78
7	23.97	410.87
8	25.22	413.93
9	25.85	416.38
10	26.47	417.95
11	27.72	419.38
12	31.11	431.63
13	31.30	432.71
14	33.03	434.88
15	34.73	443.38
16	35.35	445.11
17	36.60	447.37
18	37.86	452.46
19	37.86	452.47

Figura 3.43: Curva de capacidad dirección X, V vs Despl.

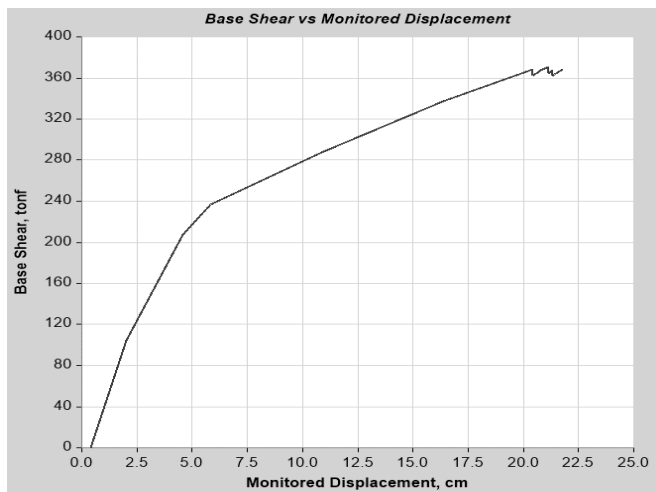
2. CURVA DE CAPACIDAD DIRECCIÓN X – Formato Sa vs Sd



Sd (cm)	Sa (g)
0.00	0.00
1.68	0.11
6.22	0.36
8.27	0.46
12.87	0.53
16.55	0.62
17.76	0.63
20.50	0.65
21.72	0.66
22.35	0.66
22.98	0.67
24.21	0.67
27.52	0.69
27.70	0.69
29.49	0.70
31.15	0.72
31.79	0.72
33.08	0.73
34.34	0.74
34.34	0.74

Figura 3.44: Curva de capacidad dirección X, en coordenadas espectrales

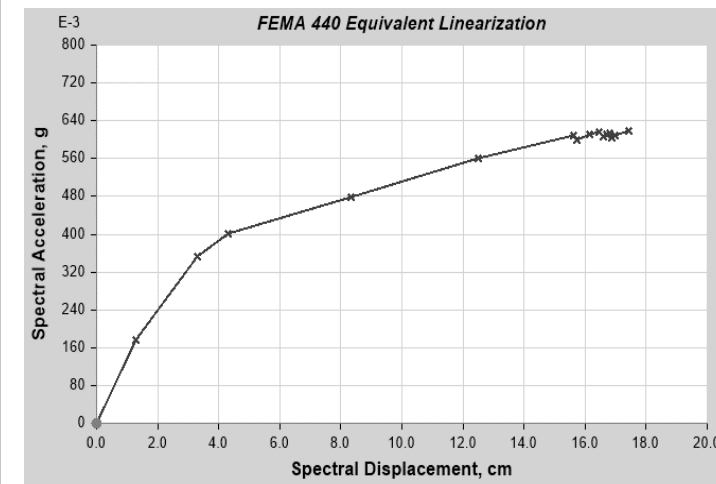
3. CURVA DE CAPACIDAD DIRECCIÓN Y – Formato V vs Despl.



Paso	D (cm)	V (tn)
0	0.41	0.00
1	2.04	104.20
2	4.57	207.79
3	5.84	237.08
4	10.87	287.63
5	16.40	337.73
6	20.41	368.68
7	20.41	361.96
8	20.80	367.82
9	21.14	370.89
10	21.14	364.35
11	21.22	366.07
12	21.31	367.44
13	21.31	361.77
14	21.40	363.72
15	21.76	368.43

Figura 3.45: Curva de capacidad dirección Y, V vs Despl.

4. CURVA DE CAPACIDAD DIRECCIÓN Y – Formato Sa vs Sd



Sd	Sa
0.00	0.00
1.28	0.18
3.29	0.35
4.31	0.40
8.32	0.48
12.50	0.56
15.72	0.60
16.14	0.61
16.47	0.62
16.60	0.61
16.69	0.61
16.80	0.61
16.88	0.61
16.99	0.61
17.43	0.62

Figura 3.46: Curva de capacidad dirección Y, en coordenadas espectrales

3.4.6.3 REPRESENTACIÓN BILINEAL DE LAS CURVAS DE CAPACIDAD

Este procedimiento se realiza con la finalidad de sectorizar la curva de capacidad, de acuerdo a lo visto en la sección 3.3.2.2.3 para encontrar los niveles de desempeño. Asimismo, la curva bilineal sirve para calcular los umbrales de daño que permitan luego definir las curvas de fragilidad. Así tenemos para cada institución educativa:

A) I.E. 82030 FERNÁNDEZ GIL

a. Sismo en dirección X

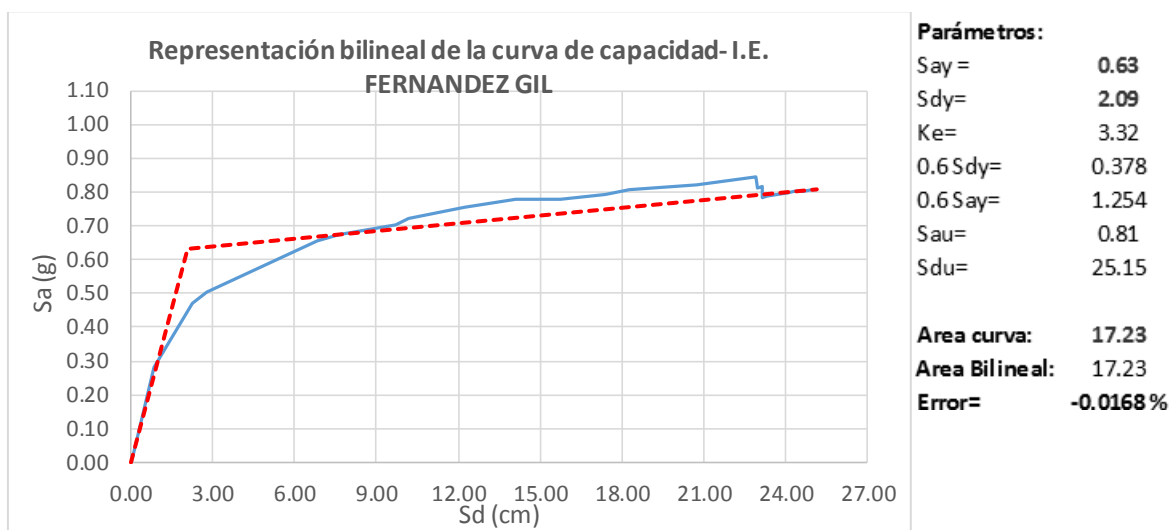


Figura 3.47: Curva Bilineal – Sismo Dirección X

b. Sismo en dirección Y

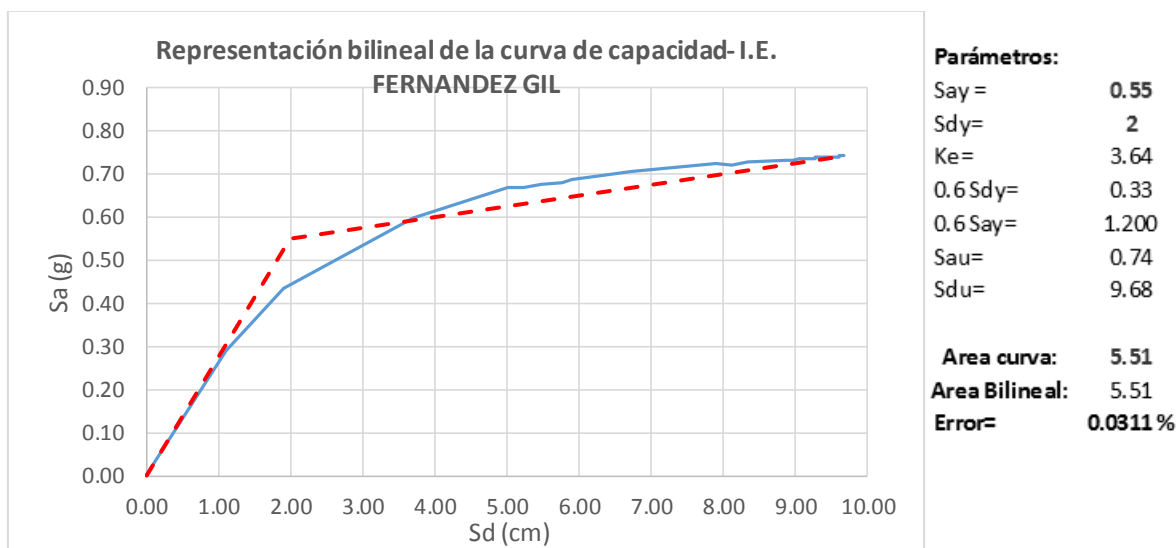


Figura 3.48: Curva Bilineal – Sismo Dirección Y

Las figuras 3.47 y 3.48 muestran la representación bilineal de las curvas de capacidad para cada dirección del sismo de la I.E. N° 82030 Fernández Gil. Se ha empleado el criterio de áreas iguales, encontrándose un error mínimo aceptable menor que 0.1 %.

B) I.E. 821396 URUBAMBA BAJO

a. Sismo en dirección X

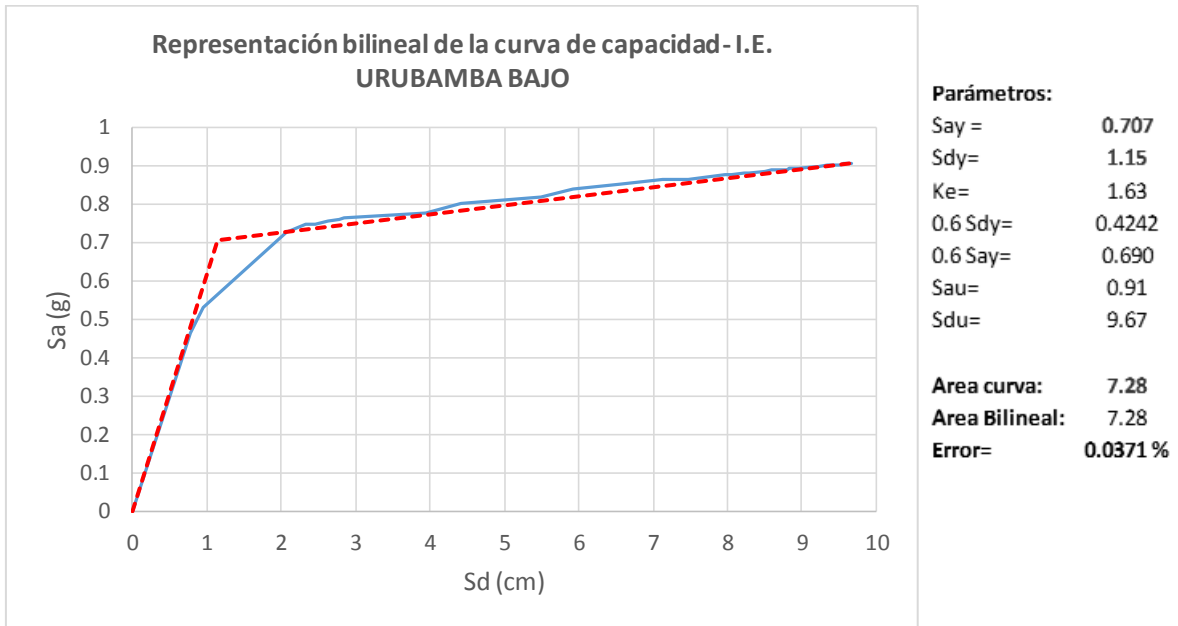


Figura 3.49: Curva Bilineal – Sismo Dirección X

b. Sismo en la dirección Y

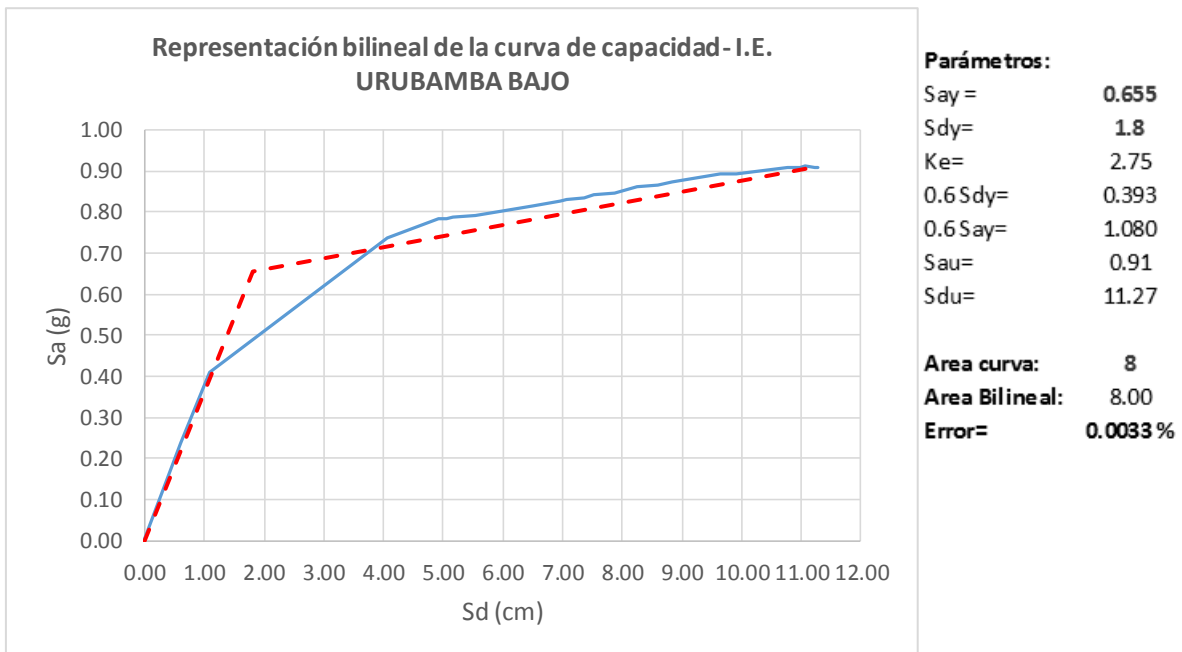
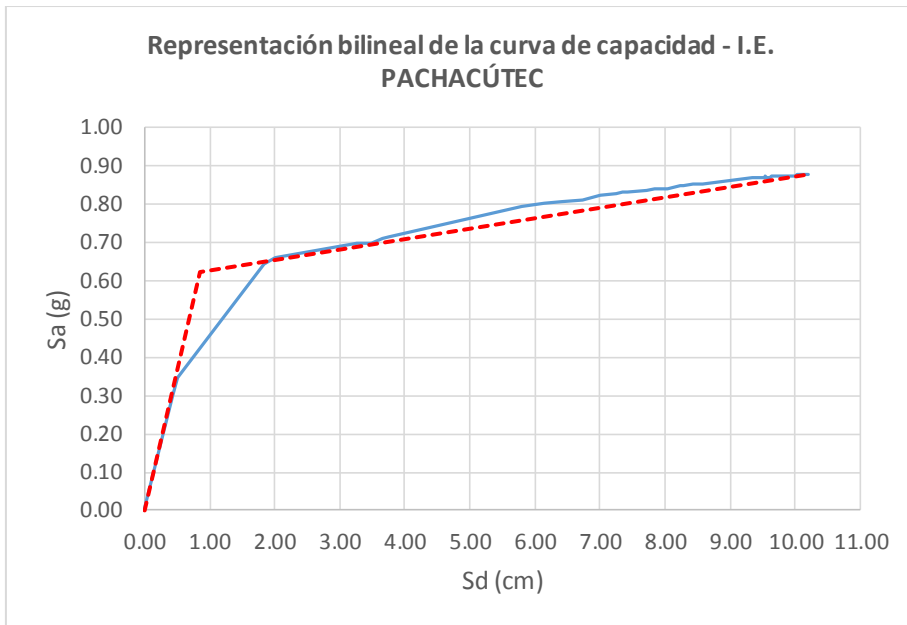


Figura 3.50: Curva Bilineal – Sismo Dirección Y

Las figuras 3.49 y 3.50 muestran la representación bilineal de las curvas de capacidad en coordenadas espectrales para cada dirección del sismo de la I.E. N° 821396 Urubamba Bajo. Se ha empleado el criterio de áreas iguales, encontrándose un error mínimo aceptable menor que 0.1 %.

C) I.E. N°82594 PACHACÚTEC

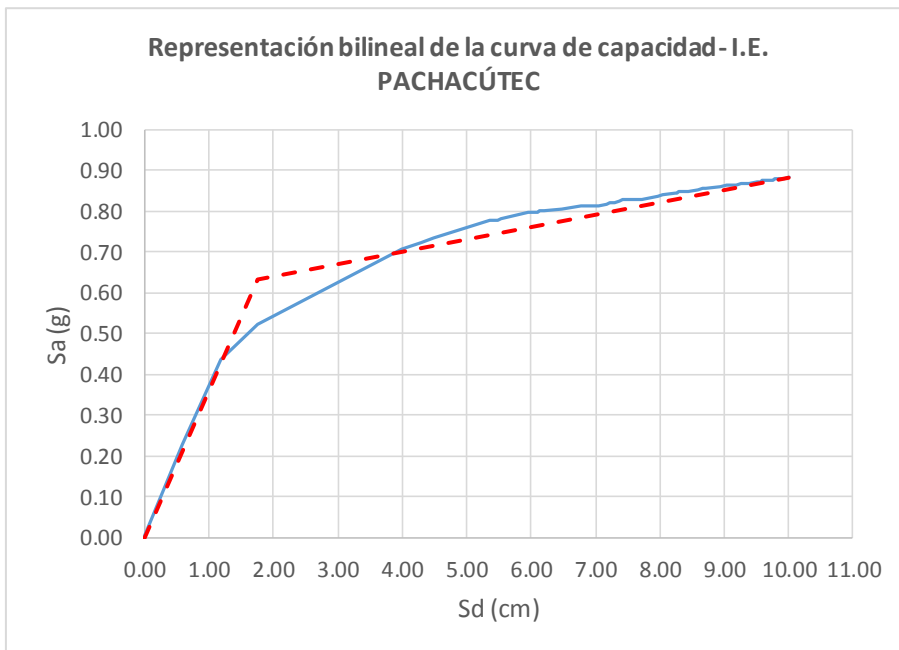
a. Sismo en dirección X



Parámetros:	
Say =	0.625
Sdy=	0.85
Ke=	1.36
0.6 Sdy=	0.375
0.6 Say=	0.510
Sau=	0.88
Sdu=	10.19
Area curva:	7.29
Area Bilineal:	7.29
Error=	0.03760 %

Figura 3.51: Curva Bilineal – Sismo Dirección X

b. Sismo en dirección Y



Parámetros:	
Say =	0.635
Sdy=	1.75
Ke=	2.76
0.6 Sdy=	0.381
0.6 Say=	1.050
Sau=	0.88
Sdu=	10.00
Area curva:	6.82
Area Bilineal	6.82
Error=	0.04263 %

Figura 3.52: Curva Bilineal – Sismo Dirección Y

Las figuras 3.51 y 3.52 muestran la representación bilineal de las curvas de capacidad en coordenadas espectrales para cada dirección del sismo de la I.E. N° 82594 Pachacútec. Se ha empleado el criterio de áreas iguales, encontrándose un error mínimo aceptable menor que 0.1 %.

D) I.E. N° 82016 SANTA TERESITA (PRIMARIA)

a. Sismo en dirección X

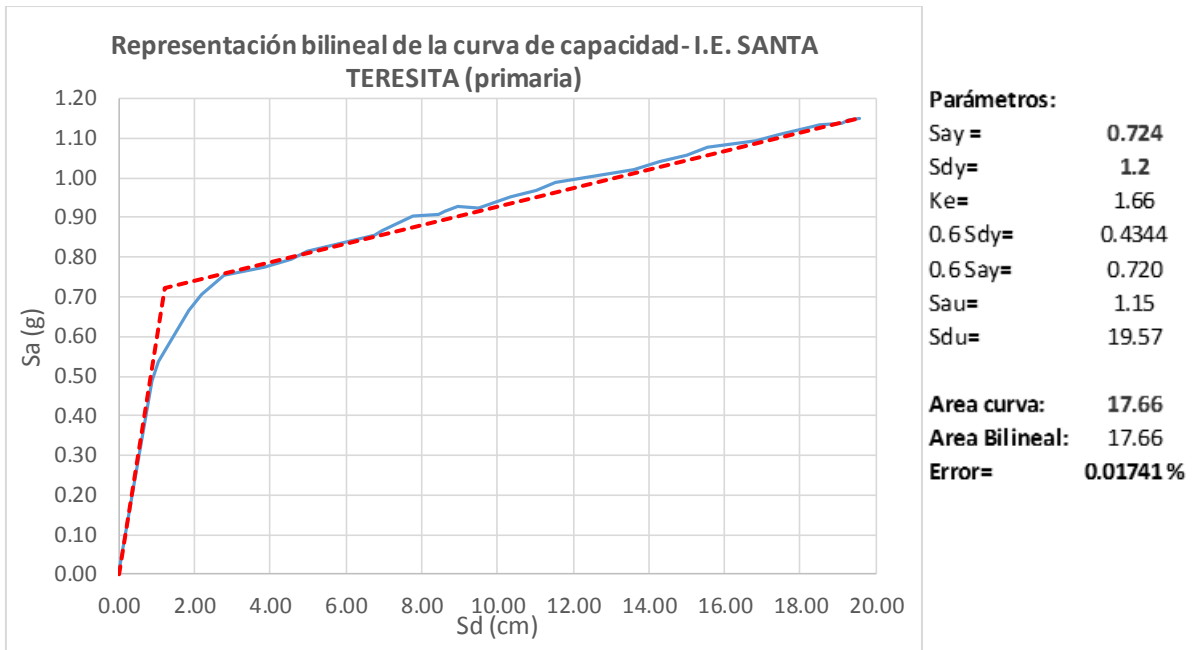


Figura 3.53: Curva Bilineal – Sismo Dirección X

b. Sismo en dirección Y

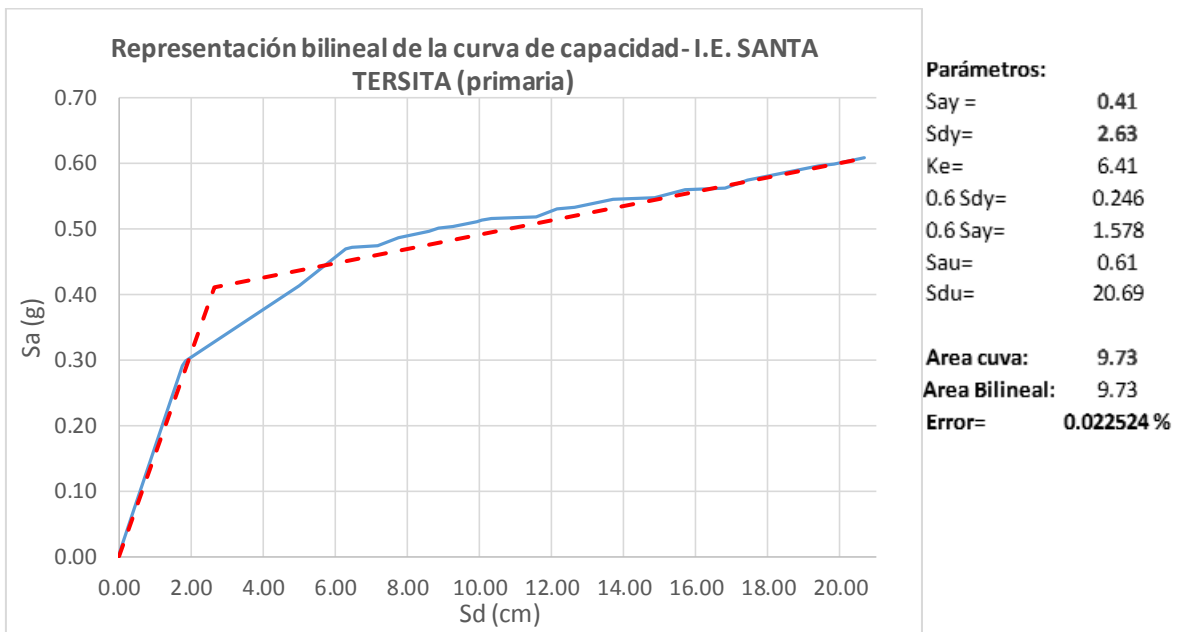


Figura 3.54: Curva Bilineal – Sismo Dirección Y

Las figuras 3.53 y 3.54 muestran la representación bilineal de las curvas de capacidad en coordenadas espectrales para cada dirección del sismo de la I.E. N° 82016 Santa Teresita (primaria). Se ha empleado el criterio de áreas iguales, encontrándose un error mínimo aceptable menor que 0.1 %.

E) I.E. SAN MARCELINO CHAMPAGNAT

a. Sismo en dirección X

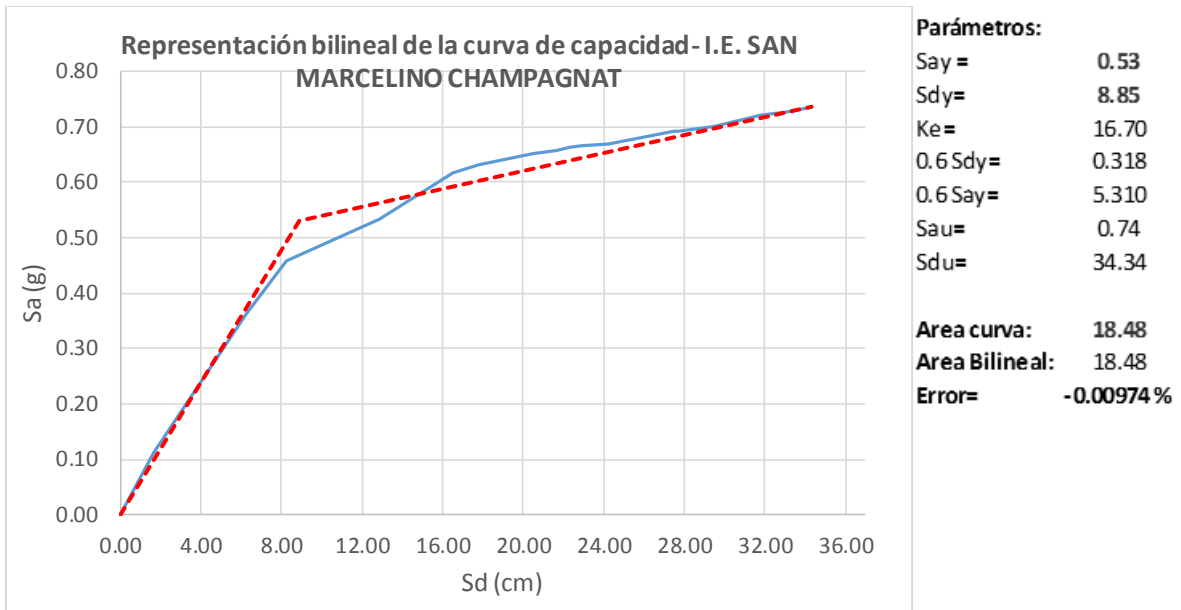


Figura 3.55: Curva Bilineal – Sismo Dirección X

b. Sismo en dirección Y

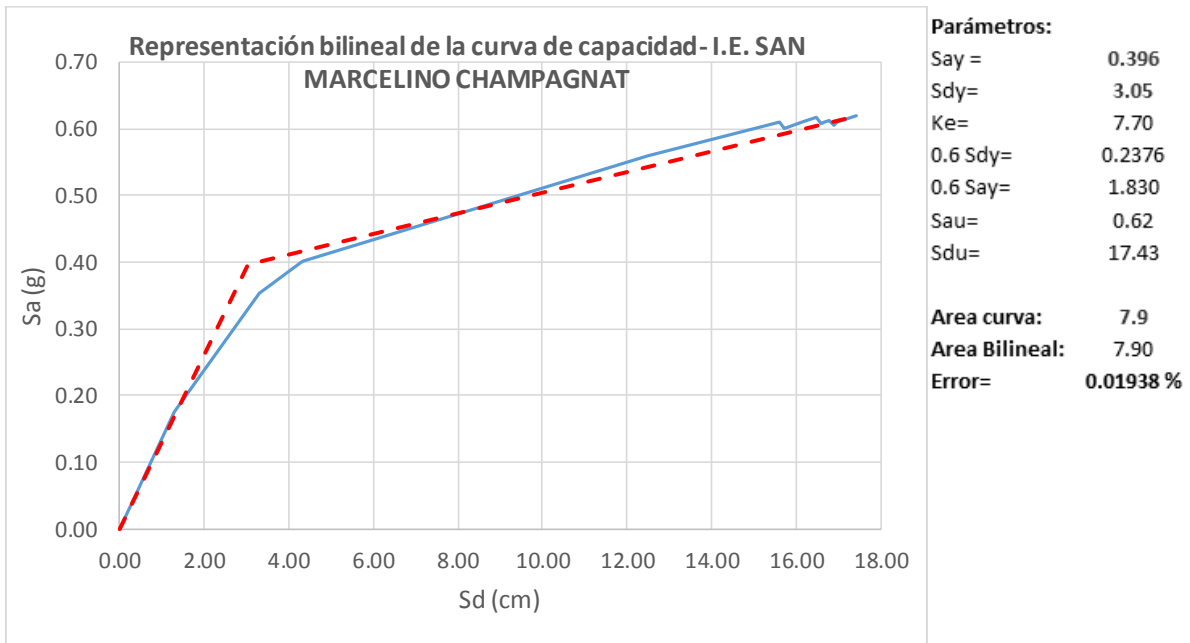


Figura 3.56: Curva Bilineal – Sismo Dirección Y

Las figuras 3.55 y 3.56 muestran la representación bilineal de las curvas de capacidad en coordenadas espectrales para cada dirección del sismo de la I.E. San Marcelino Champagnat. Se ha empleado el criterio de áreas iguales, encontrándose un error mínimo aceptable menor que 0.1 %.

3.4.6.4 SECTORIZACIÓN DE LAS CURVAS DE CAPACIDAD Y NIVEL DE DESEMPEÑO PARA LAS DIFERENTES SOLICITACIONES SÍSMICAS

Con los resultados de la bilinealización de la curva de capacidad, se obtienen los puntos necesarios para sectorización de la misma, usando el punto de fluencia. De acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 3.13: Rangos de desplazamiento para cada nivel de desempeño

NIVEL DE DESEMPEÑO	DESPLAZAMIENTO	
	Límite inferior	Límite superior
Totalmente operacional	0	ΔFE
Operacional	ΔFE	$\Delta FE + 0.3\Delta p$
Seguridad de Vida	$\Delta FE + 0.3\Delta p$	$\Delta FE + 0.6\Delta p$
Prevención de colapso	$\Delta FE + 0.6\Delta p$	$\Delta FE + 0.8\Delta p$
Colapso	$\Delta FE + 0.8\Delta p$	$\Delta FE + \Delta p$

Fuente: SEAOC (1995)

Donde:

ΔFE : Desplazamiento en la fluencia

Δp : Capacidad de desplazamiento inelástico

Asimismo, considerando lo visto en la sección 2.2.2.2.3, los niveles de comportamiento que se esperan lograr son:

Tabla 3.14: Niveles de comportamiento sísmico esperados

Clasificación de evento	Totalmente operacional	Operacional	Seguridad de la vida	Prevención de colapso
Frecuente				
Ocasional				
Raro				
Muy raro				

Inst. básicas

Inst. esenciales

Inst. críticas

Fuente: SEAOC (1995)

Los puntos de desempeño se han obtenido por el método de espectro de capacidad del ATC-40 usando los espectros calculado en el ítem 3.3.2.1.4 y las curvas de capacidad en coordenadas espectrales encontradas en la sección 3.4.6.2.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada dirección del sismo en cada escuela estudiada.

A) I.E. N°82030 FERNÁNDEZ GIL

a. Sectorización curva de capacidad- Sismo dirección X

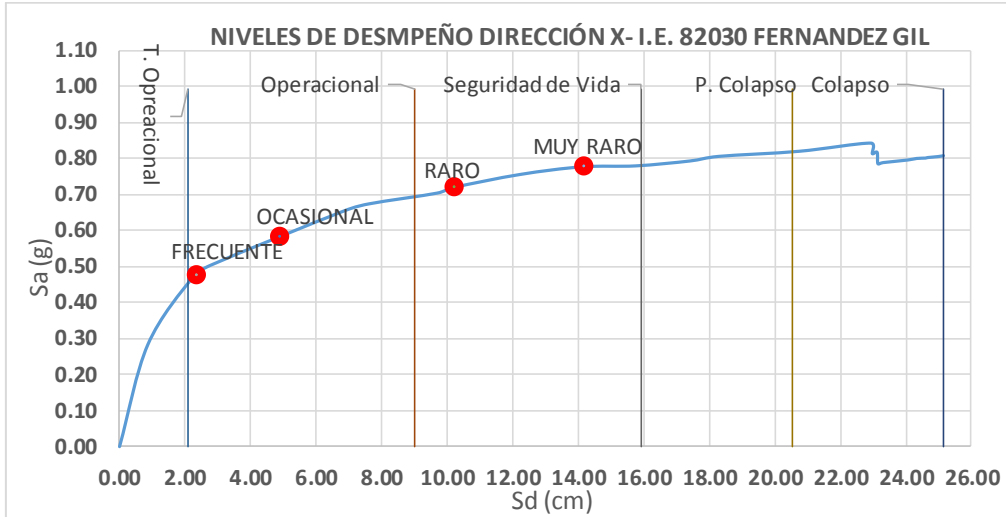


Figura 3.57: Niveles de desempeño– Sismo Dirección X- I.E. Fernández Gil

Tabla 3.15: Intervalos y puntos de desempeño para la dirección X- I.E. Fernández Gil

N. DESEMPEÑO	Desde	Hasta
T. Operacional	0.00 cm	2.09 cm
Operacional	2.09 cm	9.01 cm
Seguridad de Vida	9.01 cm	15.92 cm
Pre- Colapso	15.92 cm	20.54 cm
Colapso	20.54 cm	25.15 cm

PUNTO DE DESEMPEÑO		
SOLICITACIÓN S.	Sd (cm)	Sa (g)
S. FRECUENTE	2.365	0.478
S. OCASIONAL	4.93	0.583
S. RARO	10.22	0.72
S. MUY RARO	14.18	0.777

b. Sectorización curva de capacidad- Sismo dirección Y

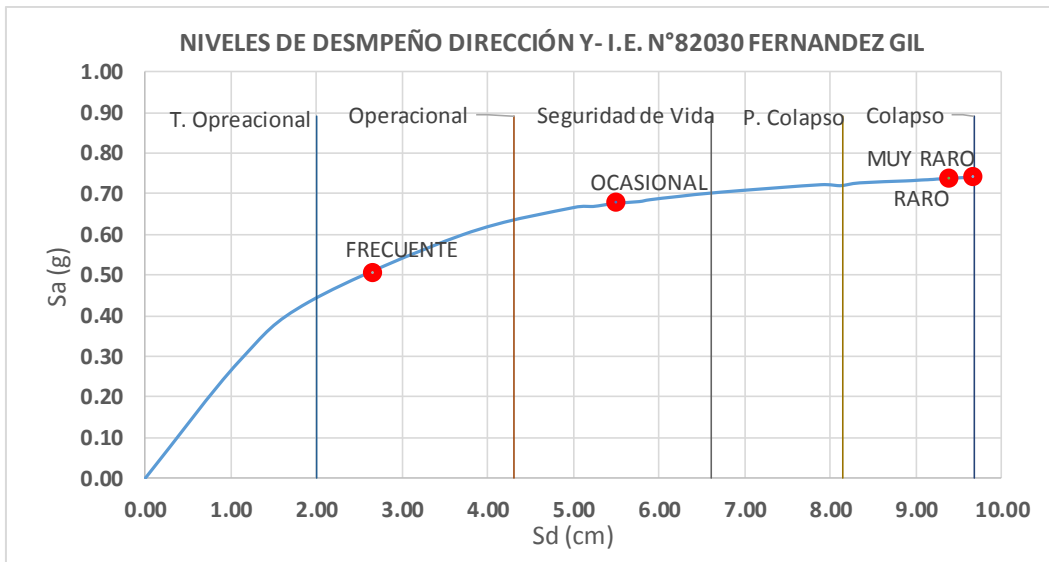


Figura 3.58: Niveles de desempeño– Sismo Dirección Y- I.E. Fernández Gil

Tabla 3.16: Intervalos y puntos de desempeño para la dirección X- I.E. Fernández Gil

N. DESEMPEÑO	Desde	Hasta
T. Operacional	0.00 cm	2.00 cm
Operacional	2.00 cm	4.30 cm
Seguridad de Vida	4.30 cm	6.61 cm
Pre- Colapso	6.61 cm	8.15 cm
Colapso	8.15 cm	9.68 cm

PUNTO DE DESEMPEÑO		
SOLICITACIÓN S.	Sd (cm)	Sa (g)
S. FRECUENTE	2.66	0.503
S. OCASIONAL	5.5	0.676
S. RARO	9.4	0.738
S. MUY RARO	9.6819	0.74

B) I.E. N°821396 URUBAMBA BAJO

a. Sectorización curva de capacidad- Sismo dirección X

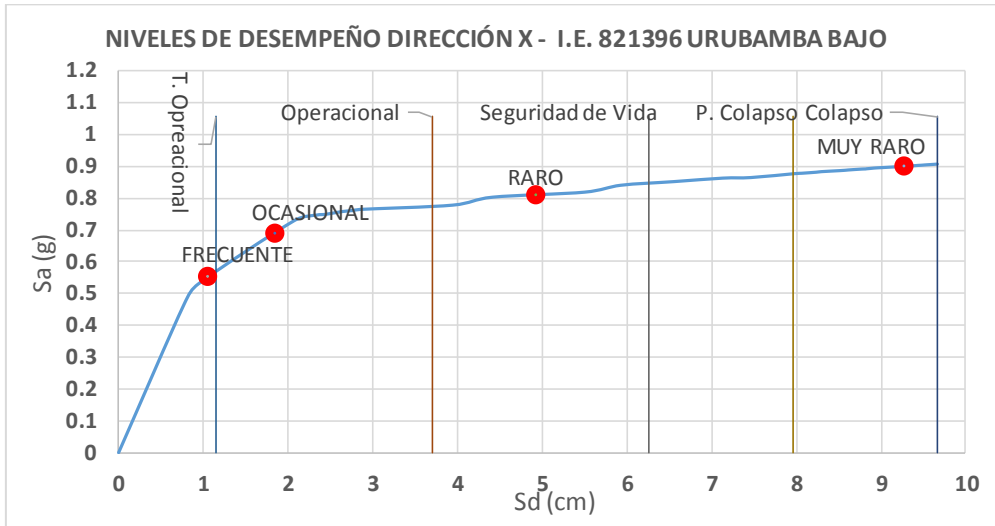


Figura 3.59: Niveles de desempeño– Sismo Dirección X- I.E. Urubamba Bajo

Tabla 3.17: Intervalos y puntos de desempeño para la dirección X- I.E. Urubamba Bajo

N. DESEMPEÑO	Desde	Hasta
T. Operacional	0.00 cm	1.15 cm
Operacional	1.15 cm	3.70 cm
Seguridad de Vida	3.70 cm	6.26 cm
Pre- Colapso	6.26 cm	7.96 cm
Colapso	7.96 cm	9.67 cm

PUNTO DE DESEMPEÑO		
SOLICITACIÓN S.	Sd (cm)	Sa (g)
S. FRECUENTE	1.053	0.55
S. OCASIONAL	1.849	0.69
S. RARO	4.936	0.81
S. MUY RARO	9.281	0.9

b. Sectorización curva de capacidad- Sismo dirección Y

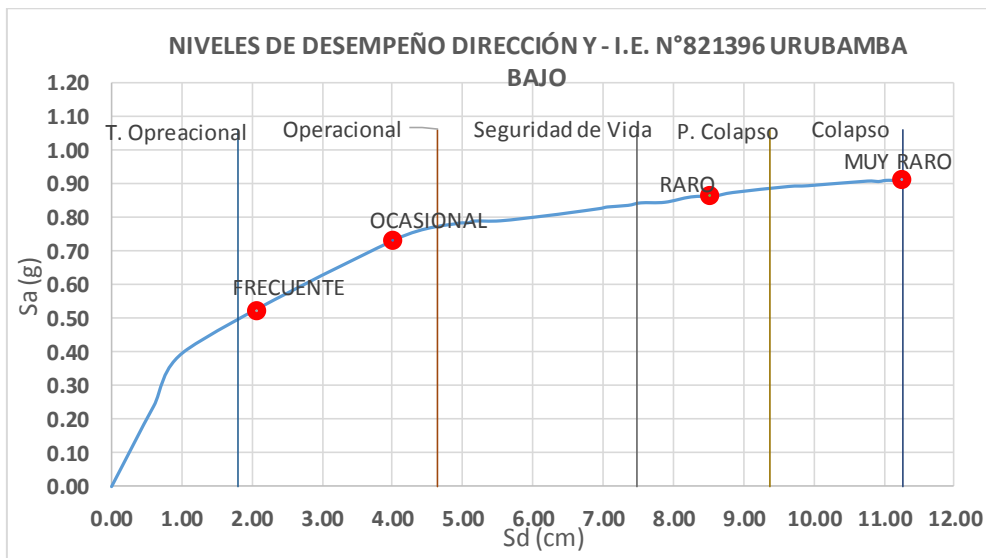


Figura 3.60: Niveles de desempeño– Sismo Dirección Y- I.E. Urubamba Bajo

Tabla 3.18: Intervalos y puntos de desempeño para la dirección Y- I.E. Urubamba Bajo

N. DESEMPEÑO	Desde	Hasta
T. Operacional	0.00 cm	1.80 cm
Operacional	1.80 cm	4.64 cm
Seguridad de Vida	4.64 cm	7.48 cm
Pre- Colapso	7.48 cm	9.37 cm
Colapso	9.37 cm	11.27 cm

PUNTO DE DESEMPEÑO		
SOLICITACIONES S.	Sd (cm)	Sa (g)
S. FRECUENTE	2.076	0.52
S. OCASIONAL	4.009	0.731
S. RARO	8.518	0.863
S. MUY RARO	11.2665	0.9102

C) I.E. N°82594 PACHACÚTEC

a. Sectorización curva de capacidad- Sismo dirección X

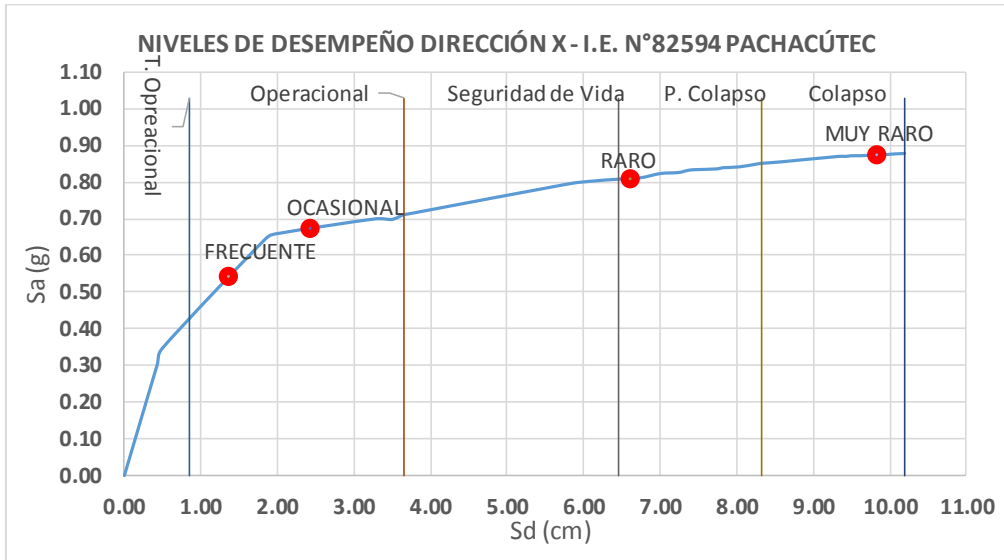


Figura 3.61: Niveles de desempeño– Sismo Dirección X- I.E. Pachacútec

Tabla 3.19: Intervalos y puntos de desempeño para la dirección X- I.E. Pachacútec

N. DESEMPEÑO	Desde	Hasta
T. Operacional	0.00 cm	0.85 cm
Operacional	0.85 cm	3.65 cm
Seguridad de Vida	3.65 cm	6.46 cm
Pre- Colapso	6.46 cm	8.33 cm
Colapso	8.33 cm	10.19 cm

PUNTO DE DESEMPEÑO		
SOLICITACIONES S.	Sd (cm)	Sa (g)
S. FRECUENTE	1.381	0.543
S. OCASIONAL	2.443	0.673
S. RARO	6.613	0.809
S. MUY RARO	9.85	0.873

b. Sectorización curva de capacidad- Sismo dirección Y

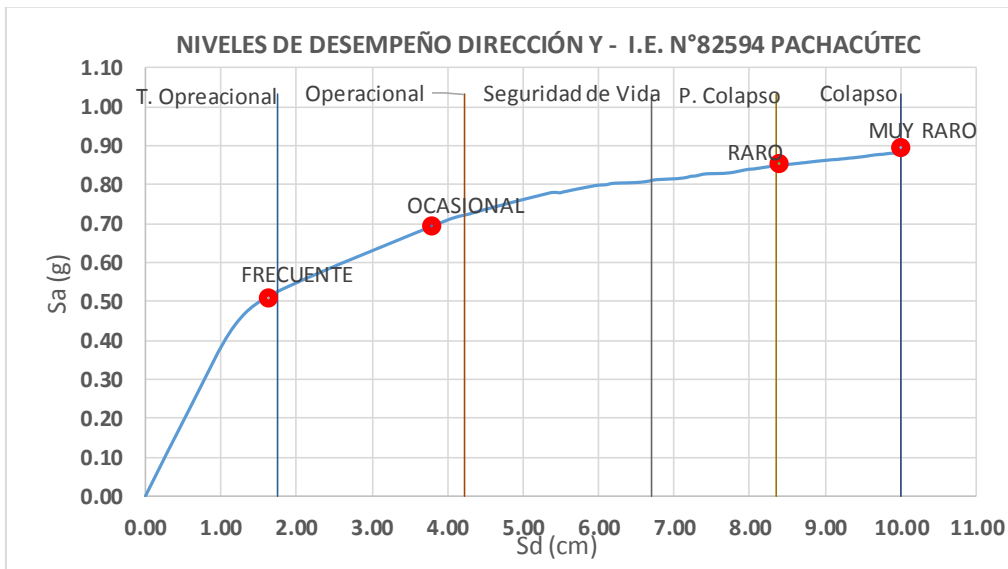


Figura 3.62: Niveles de desempeño– Sismo Dirección Y- I.E. Pachacútec

Tabla 3.20: Intervalos y puntos de desempeño para la dirección Y- I.E. Pachacútec

N. DESEMPEÑO	Desde	Hasta
T. Operacional	0.00 cm	1.75 cm
Operacional	1.75 cm	4.23 cm
Seguridad de Vida	4.23 cm	6.70 cm
Pre- Colapso	6.70 cm	8.35 cm
Colapso	8.35 cm	10.00 cm

PUNTO DE DESEMPEÑO		
SOLICITACIONES S.	Sd (cm)	Sa (g)
S. FRECUENTE	1.630	0.507
S. OCASIONAL	3.788	0.691
S. RARO	8.395	0.85
S. MUY RARO	10.010	0.89

D) I.E. N°82016 SANTA TERESITA (PRIMARIA)

a. Sectorización curva de capacidad- Sismo dirección X

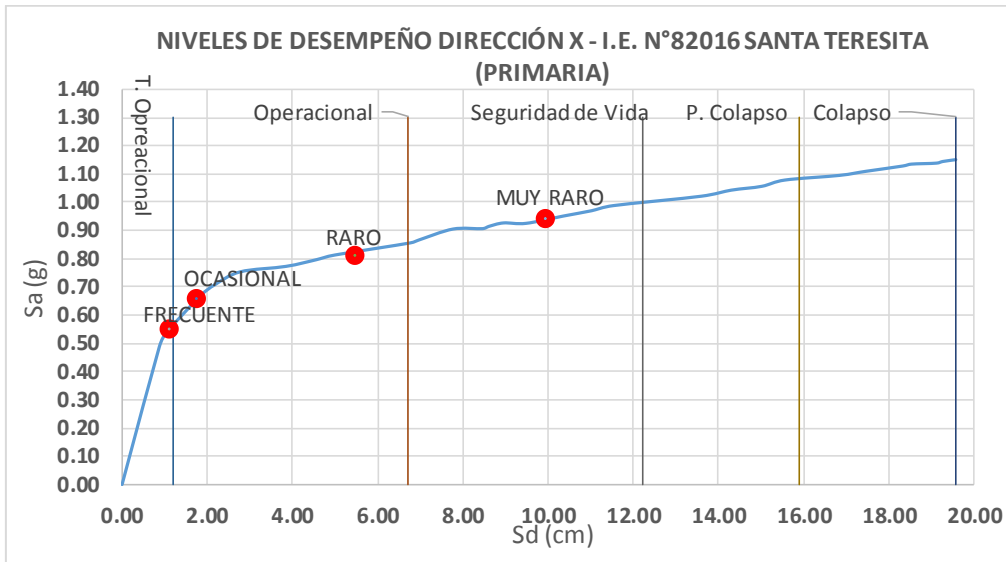


Figura 3.63: Niveles de desempeño– Sismo Dirección X- I.E. Santa Teresita (primaria)

Tabla 3.2: Intervalos y puntos de desempeño para la dirección X- I.E. Santa Teresita

N. DESEMPEÑO	Desde	Hasta
T. Operacional	0.00 cm	1.20 cm
Operacional	1.20 cm	6.71 cm
Seguridad de Vida	6.71 cm	12.22 cm
Pre- Colapso	12.22 cm	15.90 cm
Colapso	15.90 cm	19.57 cm

PUNTO DE DESEMPEÑO		
SOLICITACIONES S.	Sd (cm)	Sa (g)
S. FRECUENTE	1.117	0.55
S. OCASIONAL	1.78	0.659
S. RARO	5.5	0.81
S. MUY RARO	9.98	0.94

b. Sectorización curva de capacidad- Sismo dirección Y

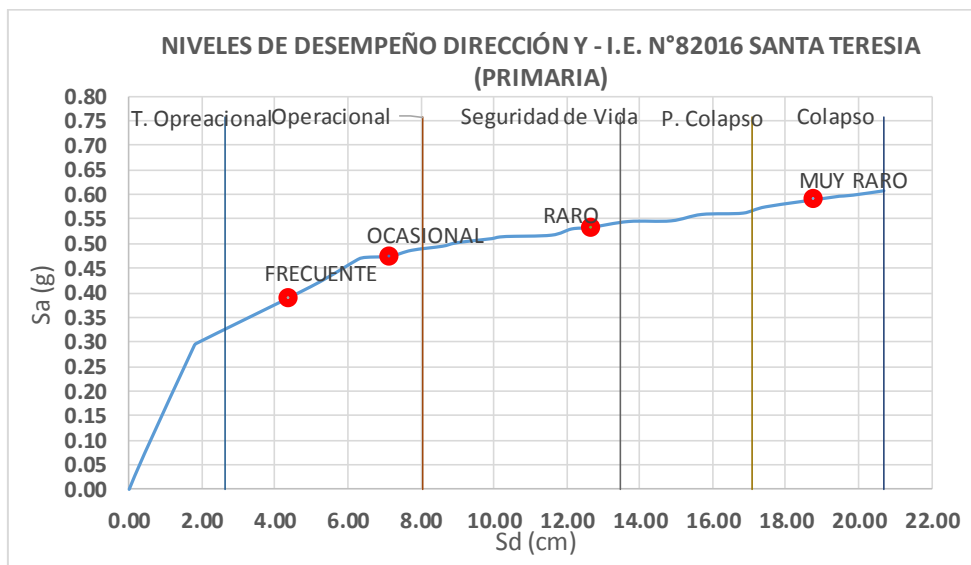


Figura 3.64: Niveles de desempeño– Sismo Dirección Y- I.E. Santa Teresita (primaria)

Tabla 3.22: Intervalos y puntos de desempeño para la dirección Y- I.E. Santa Teresita

N. DESEMPEÑO	Desde	Hasta
T. Operacional	0.00 cm	2.63 cm
Operacional	2.63 cm	8.05 cm
Seguridad de Vid	8.05 cm	13.47 cm
Pre- Colapso	13.47 cm	17.08 cm
Colapso	17.08 cm	20.69 cm

PUNTO DE DESEMPEÑO		
INTERSECCIONES	Sd (cm)	Sa (g)
S. FRECUENTE	4.363	0.389
S. OCASIONAL	7.1253	0.474
S. RARO	12.69	0.533
S. MUY RARO	18.752	0.589

E) I.E. SAN MARCELINO CHAMPAGNAT

a. Sectorización curva de capacidad- Sismo dirección X

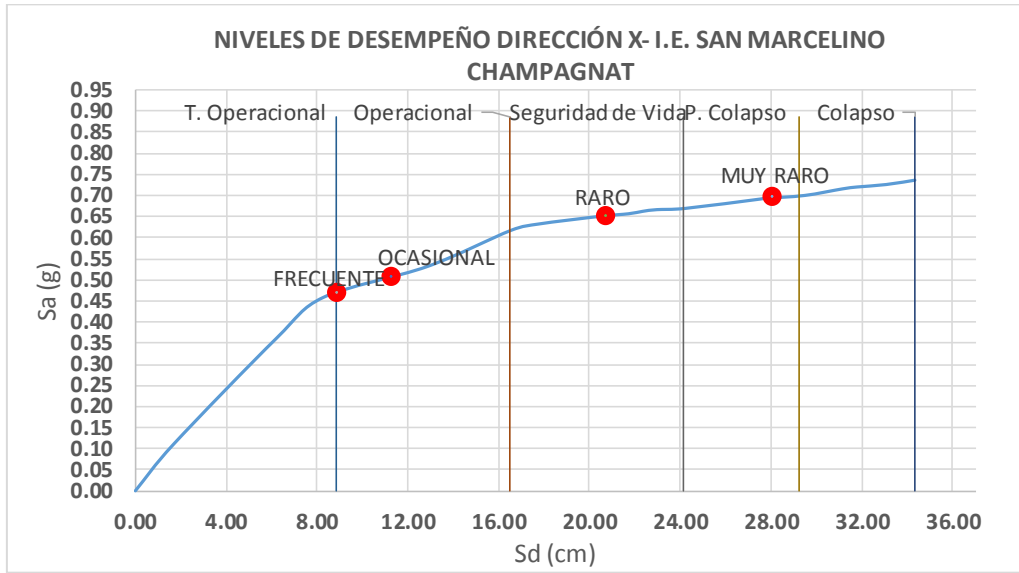


Figura 3.65: Niveles de desempeño– Sismo Dirección X- I.E. San Marcelino Champagnat

Tabla 3.23: Intervalos y puntos de desempeño para la dirección X- I.E. Champagnat

N. DESEMPEÑO	Desde	Hasta	PUNTO DE DESEMPEÑO		
T. Operacional	0.00 cm	8.85 cm	SOLICITACIONES S.	Sd (cm)	Sa (g)
Operacional	8.85 cm	16.50 cm	S. FRECUENTE	8.905	0.468
Seguridad de Vida	16.50 cm	24.14 cm	S. OCASIONAL	11.29	0.506
Pre- Colapso	24.14 cm	29.24 cm	S. RARO	20.71	0.652
Colapso	29.24 cm	34.34 cm	S. MUY RARO	28.08	0.695

b. Sectorización curva de capacidad- Sismo dirección Y

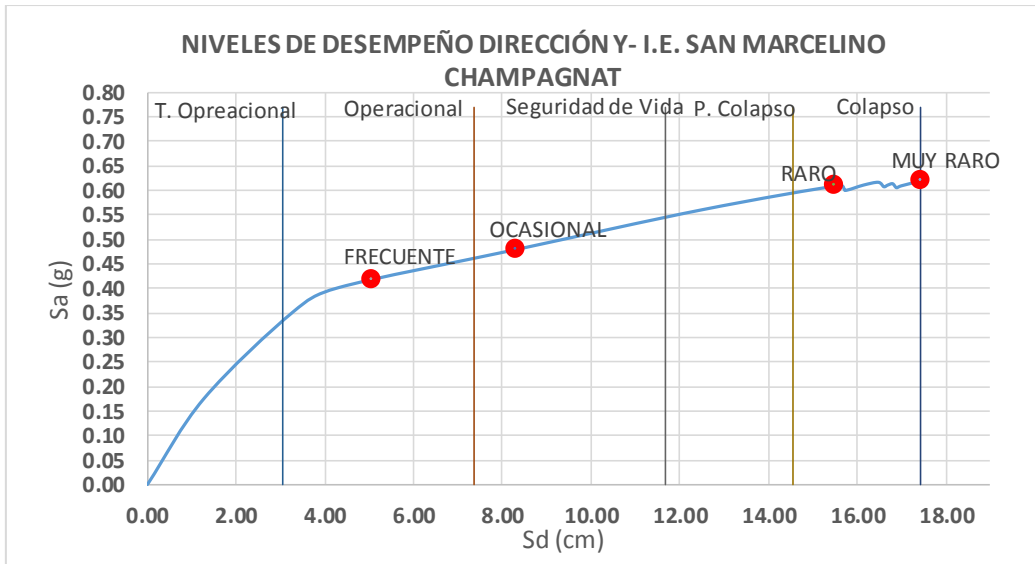


Figura 3.66: Niveles de desempeño– Sismo Dirección Y- I.E. San Marcelino Champagnat

Tabla 3.24: Intervalos y puntos de desempeño para la dirección Y- I.E. Champagnat

N. DESEMPEÑO	Desde	Hasta	PUNTO DE DESEMPEÑO		
T. Operacional	0.00 cm	3.05 cm	SOLICITACIONES S.	Sd (cm)	Sa (g)
Operacional	3.05 cm	7.36 cm	S. FRECUENTE	5.047	0.416
Seguridad de Vida	7.36 cm	11.68 cm	S. OCASIONAL	8.293	0.478
Pre- Colapso	11.68 cm	14.55 cm	S. RARO	15.5	0.608
Colapso	14.55 cm	17.43 cm	S. MUY RARO	17.426	0.6205

3.4.6.5 CURVAS DE FRAGILIDAD, MATRICES DE PROBABILIDAD DE DAÑO Y GRADO DE DAÑO MEDIO NORMALIZADO PARA LAS DIFERENTES SOLICITACIONES SÍSMICAS.

Las curvas de fragilidad se han estimado de acuerdo a lo especificado en la sección 2.2.2.3.1, considerando los umbrales de daño: leve, moderado, extensivo y completo.

Tabla 3.25: Definición de los umbrales de los diferentes estados de daño de acuerdo a la propuesta Risk-UE

ESTADO DE DAÑO (DS)	UMBRALES $\mu_i = S_{di}$
Leve	$S_{d1} = 0.7S_{dy}$
Moderado	$S_{d2} = S_{dy}$
Extensivo	$S_{d3} = S_{dy} + \frac{1}{4}(S_{du} - S_{dy})$
Completo	$S_{d4} = S_{dy}$

Fuente: (Risk-UE, 2003)

Así, se han calculado los umbrales de daño para las instituciones educativas empleando los datos de las curvas bilineales y los criterios de la tabla 3.25, en las direcciones x e y.

Tabla 3.26: Umbrales calculados para los diferentes estados de daño- Dirección X

UMBRALES PARA DIFERENTES ESTADOS DE DAÑO- DIRECCIÓN X					
Escuelas E. de Daño	I.E. 82030 Fernández Gil	I.E. 821396 Urubamba Bajo	I.E. 82594 Pachacútec	I.E.82016 Santa Teresita	I.E. San Marcelino Champagnat
Leve (S_{d1})	1.46	0.81	0.60	0.84	6.20
Moderado (S_{d2})	2.09	1.15	0.85	1.20	8.85
Extensivo (S_{d3})	7.85	3.28	3.19	5.79	15.22
Completo (S_{d4})	25.15	9.67	10.19	19.57	34.34

Tabla 3.27: Umbrales calculados para los diferentes estados de daño- Dirección Y

UMBRALES PARA DIFERENTES ESTADOS DE DAÑO- DIRECCIÓN Y					
Escuelas E. de Daño	I.E. 82030 Fernández Gil	I.E. 821396 Urubamba Bajo	I.E. 82594 Pachacútec	I.E.82016 Santa Teresita	I.E. San Marcelino Champagnat
Leve (S_{d1})	1.40	1.26	1.23	1.84	2.14
Moderado (S_{d2})	2.00	1.80	1.75	2.63	3.05
Extensivo (S_{d3})	3.92	4.17	3.81	7.15	6.64
Completo (S_{d4})	9.68	11.27	10.00	20.69	17.43

Luego, empleando la ecuación 2.11 de la presente investigación, se caracterizan las curvas de fragilidad como funciones de distribución lognormal y se calculan para cada institución educativa. Asimismo se grafican las intersecciones de los puntos de desempeño obtenidos para cada sismo de diseño.

A) I.E. N°82030 FERNÁNDEZ GIL

a. Para la dirección X

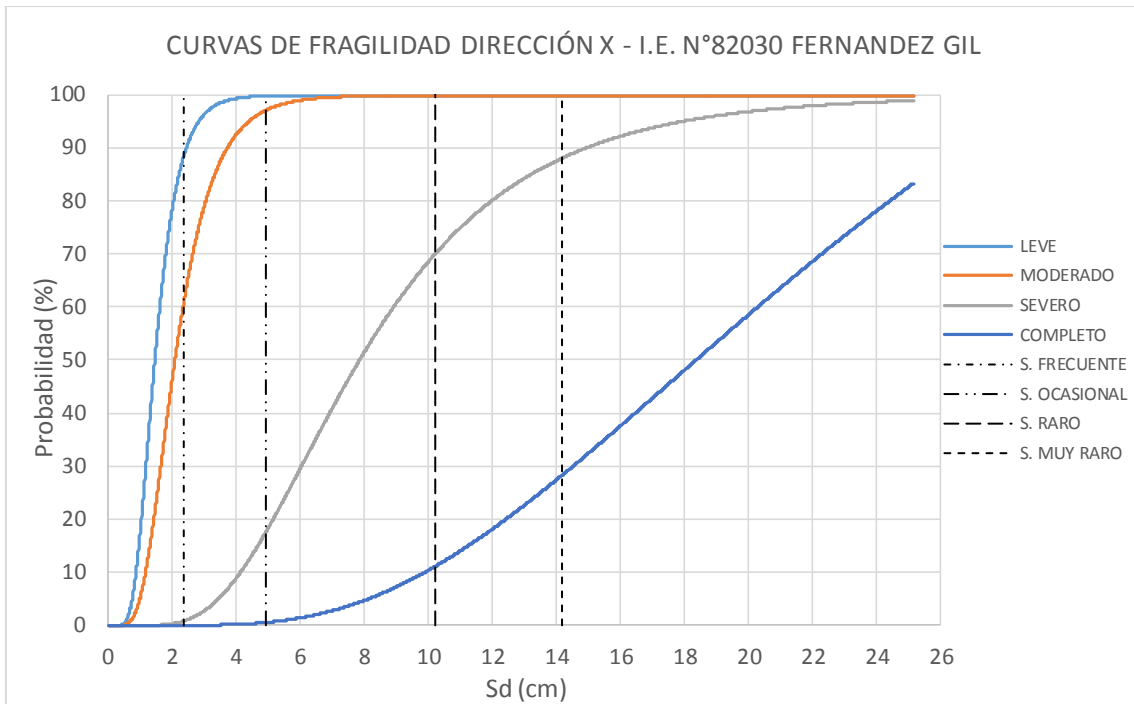


Figura 3.67: Curvas de fragilidad I.E. N°82030 Fernández Gil- Dirección x, intersección con los puntos de desempeño para los sismos de diseño

Tabla 3.28: Matriz de probabilidad de daño- Dirección x

PROBABILIDADES PARA LOS ESTADOS DE DAÑO						
SISMOS	NULO	LEVE	MODERADO	EXTENSIVO	COMPLETO	TOTAL
S. FRECUENTE	11.61 %	27.65 %	59.92 %	0.81 %	0.01 %	100.00 %
S. OCASIONAL	0.25 %	2.69 %	79.45 %	17.06 %	0.55 %	100.00 %
S. RARO	0.00 %	0.16 %	29.83 %	58.89 %	11.12 %	100.00 %
S. MUY RARO	0.00 %	0.14 %	4.65 %	66.93 %	28.29 %	100.00 %

Después, se calcula el grado de daño medio al multiplicar la probabilidad para cada estado de daño por el coeficiente que corresponde al estado de daño no nulo, como se indica en la sección 2.2.2.3.3. La tabla 3.28 muestra claramente que mientras aumenta la intensidad del sismo, las probabilidades de daño extensivo o completo aumentan considerablemente.

Tabla 3.29: Grado de daño medio y grado de daño medio normalizado

SISMOS	G. D. Medio	G.D.M. Norm.
S. FRECUENTE	1.50	0.37
S. OCASIONAL	2.15	0.54
S. RARO	2.81	0.70
S. MUY RARO	3.23	0.81

b. Para la dirección Y

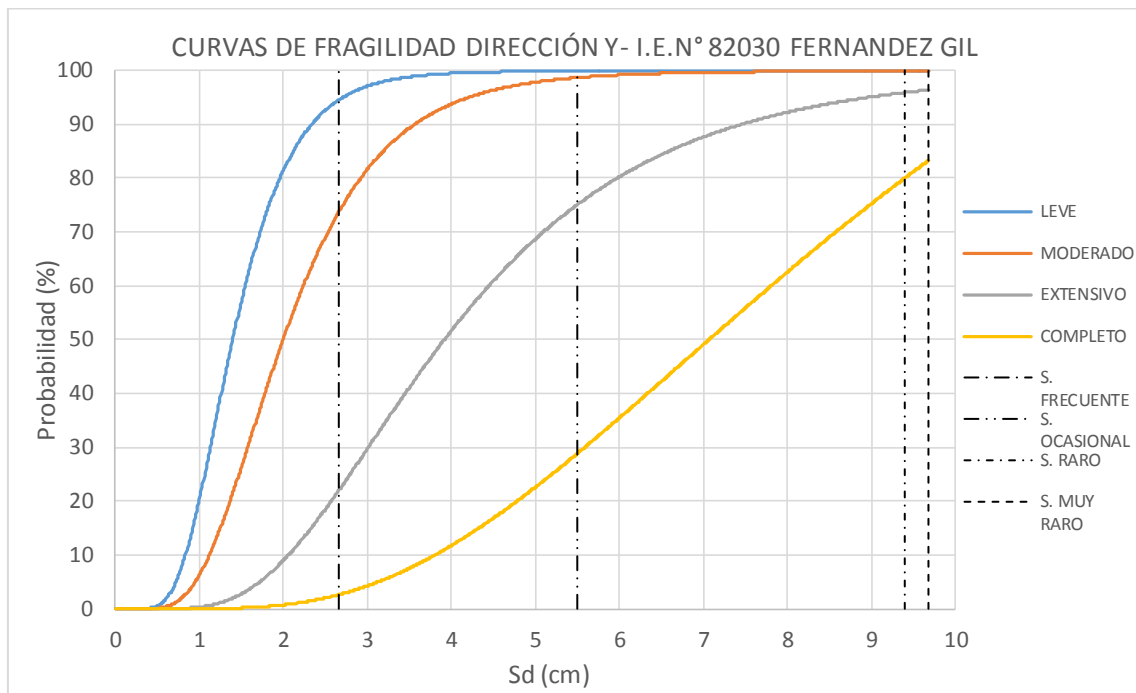


Figura 3.68: Curvas de fragilidad I.E. N°82030 Fernández Gil- Dirección y, intersección con los puntos de desempeño para los sismos de diseño

Tabla 3.30: Matriz de probabilidad de daño- Dirección y

PROBABILIDADES PARA LOS ESTADOS DE DAÑO						
SISMOS	NULO	LEVE	MODERADO	EXTENSIVO	COMPLETO	TOTAL
S. FRECUENTE	5.50 %	20.77 %	51.75 %	19.35 %	2.63 %	100.00 %
S. OCASIONAL	0.17 %	1.19 %	23.61 %	46.21 %	28.83 %	100.00 %
S. RARO	0.00 %	0.16 %	3.97 %	15.88 %	79.99 %	100.00 %
S. MUY RARO	0.00 %	0.16 %	3.50 %	13.09 %	83.26 %	100.00 %

La tabla 3.30 muestra que para la dirección “y” para sismo frecuente hay mayor probabilidad de daño moderado, para un sismo ocasional el daño extensivo es más probable. Asimismo, para un sismo raro y un sismo muy raro, hay gran probabilidad de daño completo.

Tabla 3.31: Grado de daño medio y grado de daño medio normalizado

SISMOS	G. D. Medio	G.D.M. Norm.
S. FRECUENTE	1.93	0.48
S. OCASIONAL	3.02	0.76
S. RARO	3.76	0.94
S. MUY RARO	3.79	0.95

B) I.E. N°821396 URUBAMBA BAJO

a. Para la dirección X

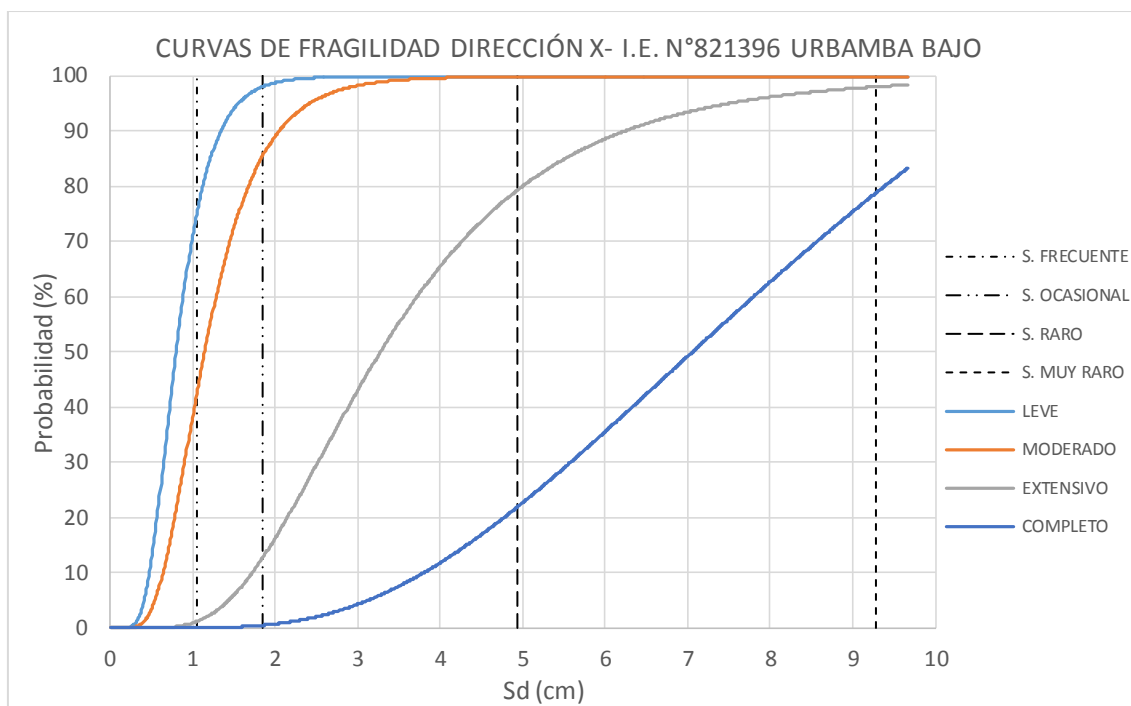


Figura 3.69: Curvas de fragilidad I.E. N°821396- Urubamba Bajo - Dirección x, intersección con los puntos de desempeño para los sismos de diseño

Tabla 3.32: Matriz de probabilidad de daño- Dirección x

PROBABILIDADES PARA LOS ESTADOS DE DAÑO						
SISMOS	NULO	LEVE	MODERADO	EXTENSIVO	COMPLETO	TOTAL
S. FRECUENTE	25.05 %	32.61 %	41.18 %	1.15 %	0.02 %	100.00 %
S. OCASIONAL	1.98 %	12.54 %	72.77 %	12.22 %	0.49 %	100.00 %
S. RARO	0.00 %	0.19 %	20.48 %	57.43 %	21.90 %	100.00 %
S. MUY RARO	0.00 %	0.13 %	1.87 %	19.25 %	78.75 %	100.00 %

De acuerdo a la tabla 3.32 para la dirección “x” tanto para el sismo frecuente y el sismo ocasional es más probable un daño moderado. Asimismo para un sismo raro existe gran probabilidad de daño extensivo. Sin embargo, para un sismo muy raro hay mayor probabilidad de daño completo.

Tabla 3.33: Grado de daño medio y grado de daño medio normalizado

SISMOS	G. D. Medio	G.D.M. Norm.
S. FRECUENTE	1.18	0.30
S. OCASIONAL	1.97	0.49
S. RARO	3.01	0.75
S. MUY RARO	3.77	0.94

b. Para la dirección Y

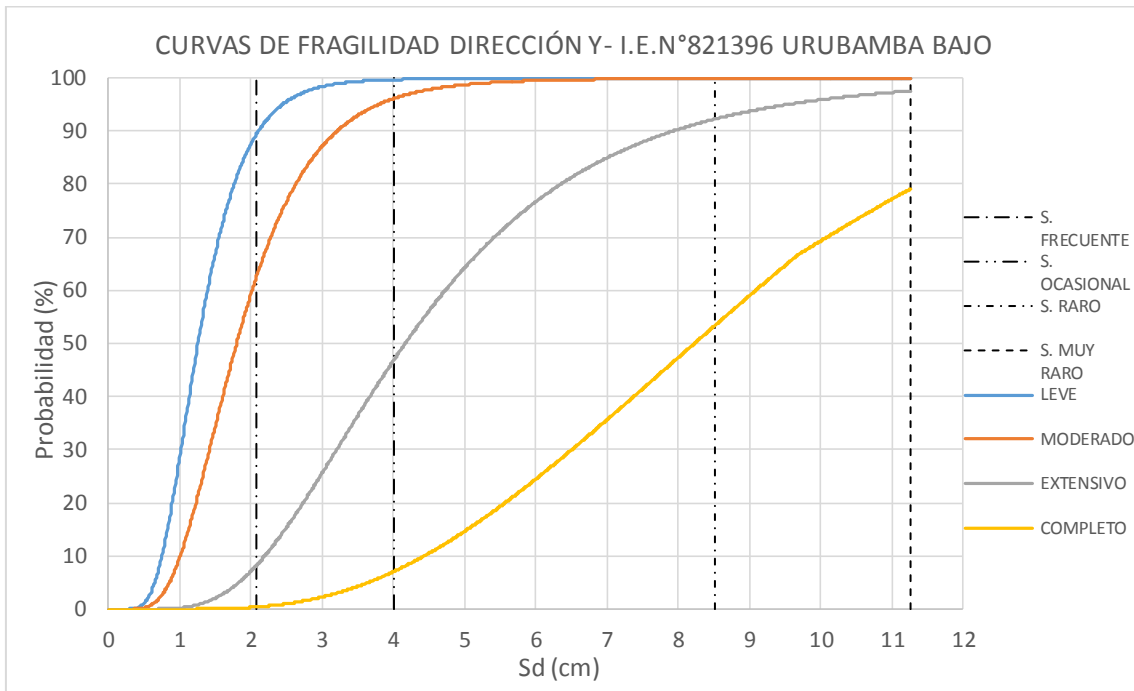


Figura 3.70: Curvas de fragilidad I.E. N°821396- Urubamba Bajo – Dirección y, intersección con los puntos de desempeño para los sismos de diseño

Tabla 3.34: Matriz de probabilidad de daño- Dirección y

PROBABILIDADES PARA LOS ESTADOS DE DAÑO						
SISMOS	NULO	LEVE	MODERADO	EXTENSIVO	COMPLETO	TOTAL
S. FRECUENTE	10.52 %	26.76 %	54.42 %	7.89 %	0.41 %	100.00 %
S. OCASIONAL	0.32 %	3.54 %	49.16 %	39.87 %	7.11 %	100.00 %
S. RARO	0.00 %	0.16 %	7.57 %	38.80 %	53.46 %	100.00 %
S. MUY RARO	0.00 %	0.14 %	2.32 %	18.39 %	79.16 %	100.00 %

La tabla 3.34 señala que para la dirección “y” tanto para el sismo frecuente como para el sismo ocasional, es más probable un daño moderado. Sin embargo, se observa que para el sismo raro y el sismo muy raro el daño completo es el estado de daño más probable, lo cual también se observa en las curvas de fragilidad de la figura 4.48.

Tabla 3.35: Grado de daño medio y grado de daño medio normalizado

SISMOS	G. D. Medio	G.D.M. Norm.
S. FRECUENTE	1.61	0.40
S. OCASIONAL	2.50	0.62
S. RARO	3.46	0.86
S. MUY RARO	3.77	0.94

C) I.E. N°82594 PACHACÚTEC

a. Para la dirección X

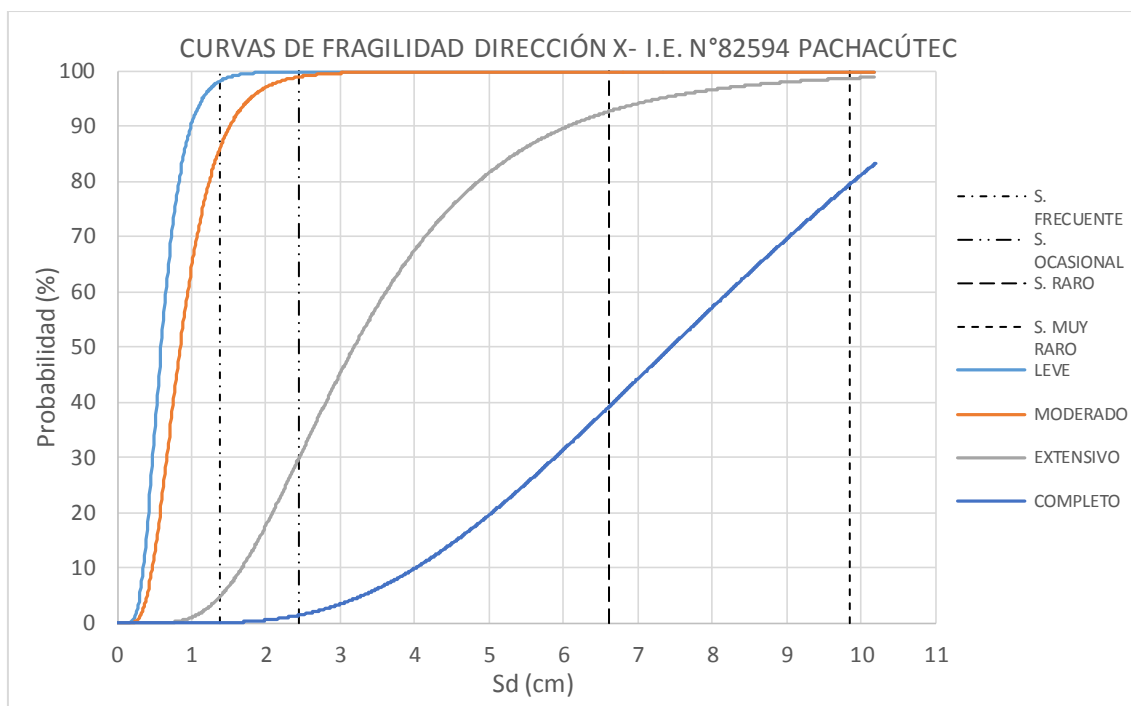


Figura 3.71: Curvas de fragilidad I.E. N°82594 Pachacútec - Dirección x, intersección con los puntos de desempeño para los sismos de diseño

Tabla 3.36: Matriz de probabilidad de daño- Dirección x

PROBABILIDADES PARA LOS ESTADOS DE DAÑO						
SISMOS	NULO	LEVE	MODERADO	EXTENSIVO	COMPLETO	TOTAL
S. FRECUENTE	1.87 %	12.15 %	81.21 %	4.70 %	0.07 %	100.00 %
S. OCASIONAL	0.15 %	0.92 %	69.14 %	28.35 %	1.44 %	100.00 %
S. RARO	0.00 %	0.13 %	7.19 %	53.50 %	39.17 %	100.00 %
S. MUY RARO	0.00 %	0.13 %	1.19 %	19.22 %	79.46 %	100.00 %

En la tabla 3.36 se observa que para la dirección “x” es más probable un estado de daño moderado tanto para el sismo frecuente como para el sismo ocasional. Asimismo, para el sismo raro se aprecia mayor probabilidad de ocurrencia para el estado de daño extensivo. Para el sismo muy raro es más probable alcanzar el daño completo.

Tabla 3.37: Grado de daño medio y grado de daño medio normalizado

SISMOS	G. D. Medio	G.D.M. Norm.
S. FRECUENTE	1.89	0.47
S. OCASIONAL	2.30	0.57
S. RARO	3.32	0.83
S. MUY RARO	3.78	0.94

b. Para la dirección Y

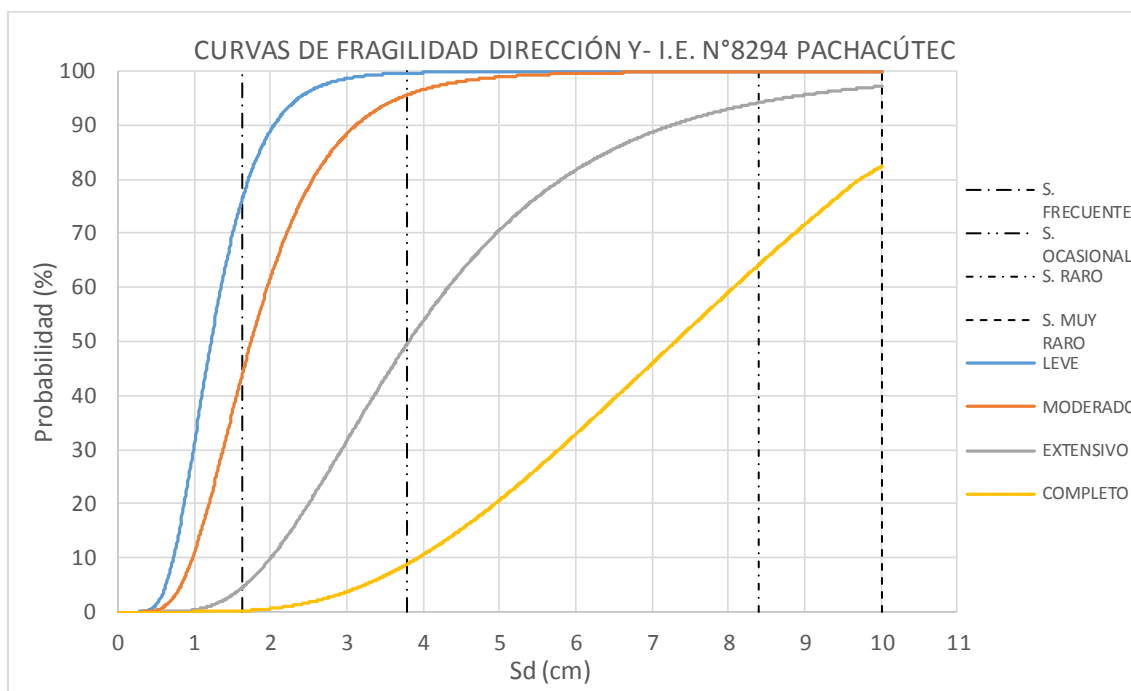


Figura 3.72: Curvas de fragilidad I.E. N°82594 Pachacútec - Dirección x, intersección con los puntos de desempeño para los sismos de diseño

Tabla 3.38: Matriz de probabilidad de daño- Dirección y

PROBABILIDADES PARA LOS ESTADOS DE DAÑO						
SISMOS	NULO	LEVE	MODERADO	EXTENSIVO	COMPLETO	TOTAL
S. FRECUENTE	23.62 %	32.44 %	39.43 %	4.30 %	0.21 %	100.00 %
S. OCASIONAL	0.37 %	4.03 %	46.04 %	40.73 %	8.83 %	100.00 %
S. RARO	0.00 %	0.16 %	5.66 %	29.91 %	64.27 %	100.00 %
S. MUY RARO	0.00 %	0.14 %	2.68 %	14.82 %	82.36 %	100.00 %

En la tabla 3.38 se puede notar la edificación para la dirección “y” es muy probable que tenga un daño moderado tanto para el sismo frecuente como para el sismo ocasional. Sin embargo, se aprecia que para el sismo raro y el sismo muy raro la estructura se encuentra en el rango de daño completo, lo cual se puede observar también en las curvas de fragilidad de la figura 4.49.

Tabla 3.39: Grado de daño medio y grado de daño medio normalizado

SISMOS	G. D. Medio	G.D.M. Norm.
S. FRECUENTE	1.25	0.31
S. OCASIONAL	2.54	0.63
S. RARO	3.58	0.90
S. MUY RARO	3.79	0.95

D) I.E. N°82016 SANTA TERESITA (PRIMARIA)

a. Para la dirección X

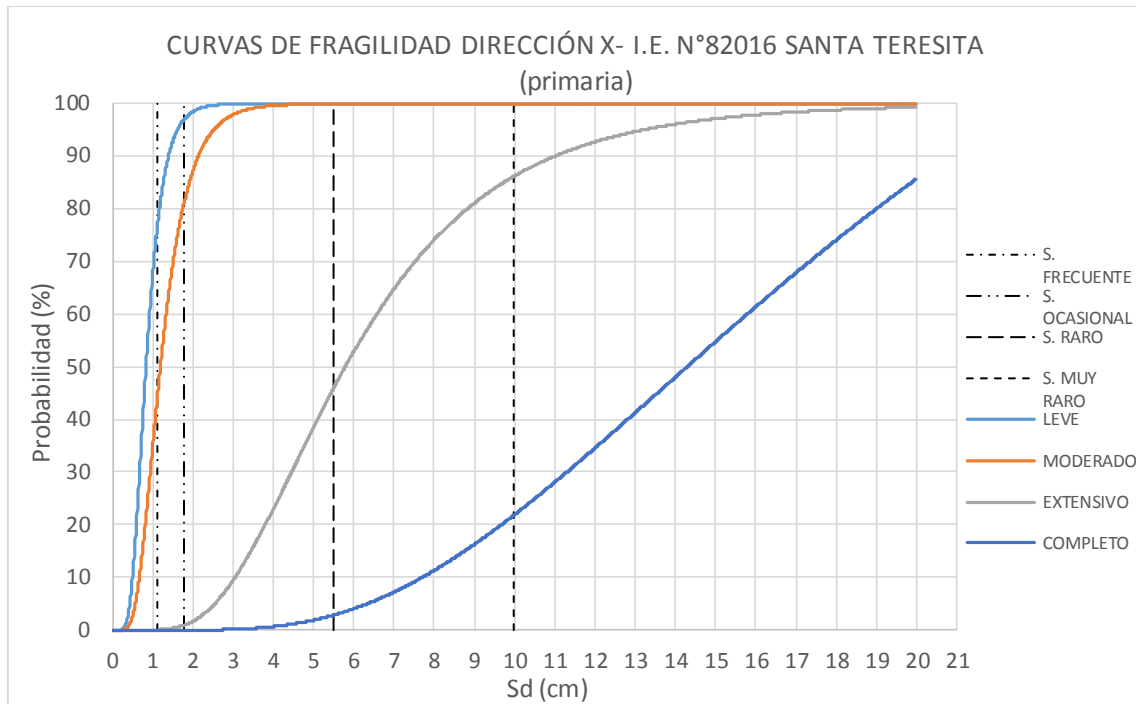


Figura 3.73: Curvas de fragilidad I.E. N°82016 Santa Teresita (primaria) - Dirección x, intersección con los puntos de desempeño para los sismos de diseño

Tabla 3.40: Matriz de probabilidad de daño- Dirección x

PROBABILIDADES PARA LOS ESTADOS DE DAÑO						
SISMOS	NULO	LEVE	MODERADO	EXTENSIVO	COMPLETO	TOTAL
S. FRECUENTE	23.36 %	32.40 %	44.19 %	0.05 %	0.00 %	100.00 %
S. OCASIONAL	3.11 %	15.88 %	80.09 %	0.92 %	0.01 %	100.00 %
S. RARO	0.00 %	0.17 %	53.96 %	43.00 %	2.87 %	100.00 %
S. MUY RARO	0.00 %	0.13 %	13.80 %	64.27 %	21.80 %	100.00 %

La tabla 3.40 muestra que para la dirección “x”, la edificación presenta gran probabilidad de daño moderado tanto para el sismo frecuente como para el sismo ocasional e incluso para el sismo raro. Asimismo, para el sismo muy raro se observa que hay mayor probabilidad de presentar daño extensivo.

Tabla 3.41: Grado de daño medio y grado de daño medio normalizado

SISMOS	G. D. Medio	G.D.M. Norm.
S. FRECUENTE	1.21	0.30
S. OCASIONAL	1.79	0.45
S. RARO	2.49	0.62
S. MUY RARO	3.08	0.77

b. Para la dirección Y

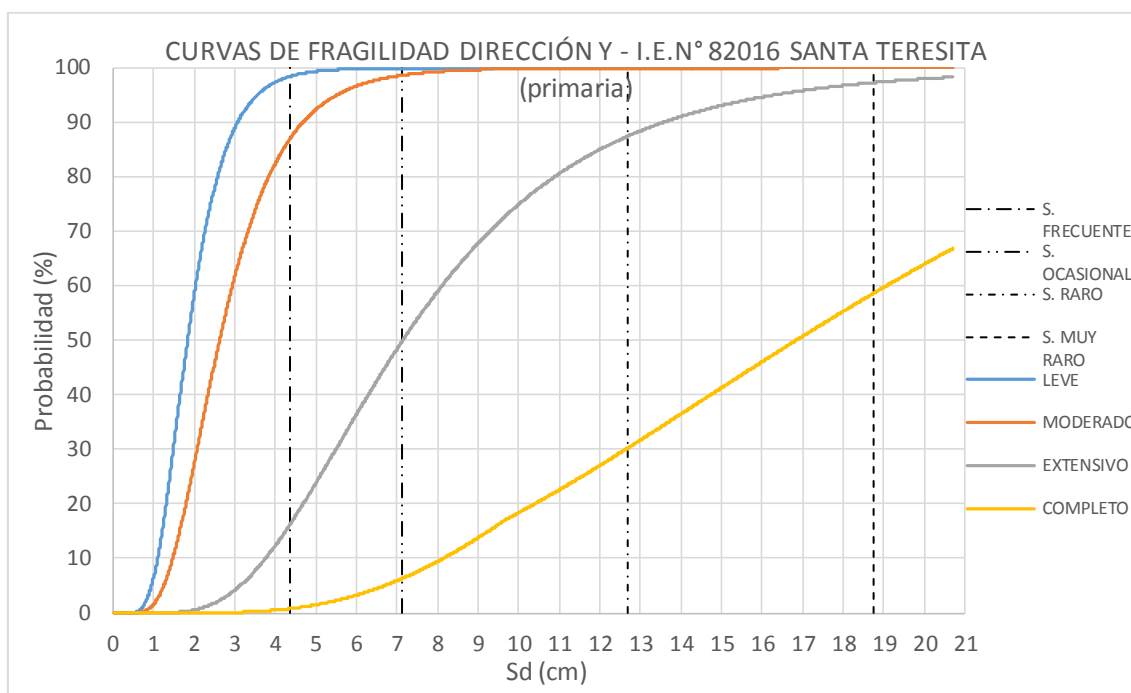


Figura 3.74: Curvas de fragilidad I.E. N°82016 Santa Teresita (primaria) - Dirección y, intersección con los puntos de desempeño para los sismos de diseño

Tabla 3.42: Matriz de probabilidad de daño- Dirección y

PROBABILIDADES PARA LOS ESTADOS DE DAÑO						
SISMOS	NULO	LEVE	MODERADO	EXTENSIVO	COMPLETO	TOTAL
S. FRECUENTE	1.68 %	11.45 %	70.68 %	15.40 %	0.79 %	100.00 %
S. OCASIONAL	0.17 %	1.29 %	48.72 %	43.49 %	6.32 %	100.00 %
S. RARO	0.00 %	0.16 %	12.48 %	57.16 %	30.21 %	100.00 %
S. MUY RARO	0.00 %	0.13 %	2.68 %	38.60 %	58.59 %	100.00 %

En la tabla 3.42 se puede observar que para la dirección “y” existe mayor probabilidad de daño moderado para un sismo frecuente y para un sismo ocasional. Se observa también que el daño extensivo es el más probable para el sismo raro aunque para el caso del sismo muy raro lo más probable es que la estructura alcance un daño completo. Se destaca que para el sismo raro y muy raro la probabilidad de daño nulo y leve es mínima.

Tabla 3.43: Grado de daño medio y grado de daño medio normalizado

SISMOS	G. D. Medio	G.D.M. Norm.
S. FRECUENTE	2.02	0.51
S. OCASIONAL	2.55	0.64
S. RARO	3.17	0.79
S. MUY RARO	3.56	0.89

E) I.E. SAN MARCELINO CHAMPAGNAT

a. Para la dirección X

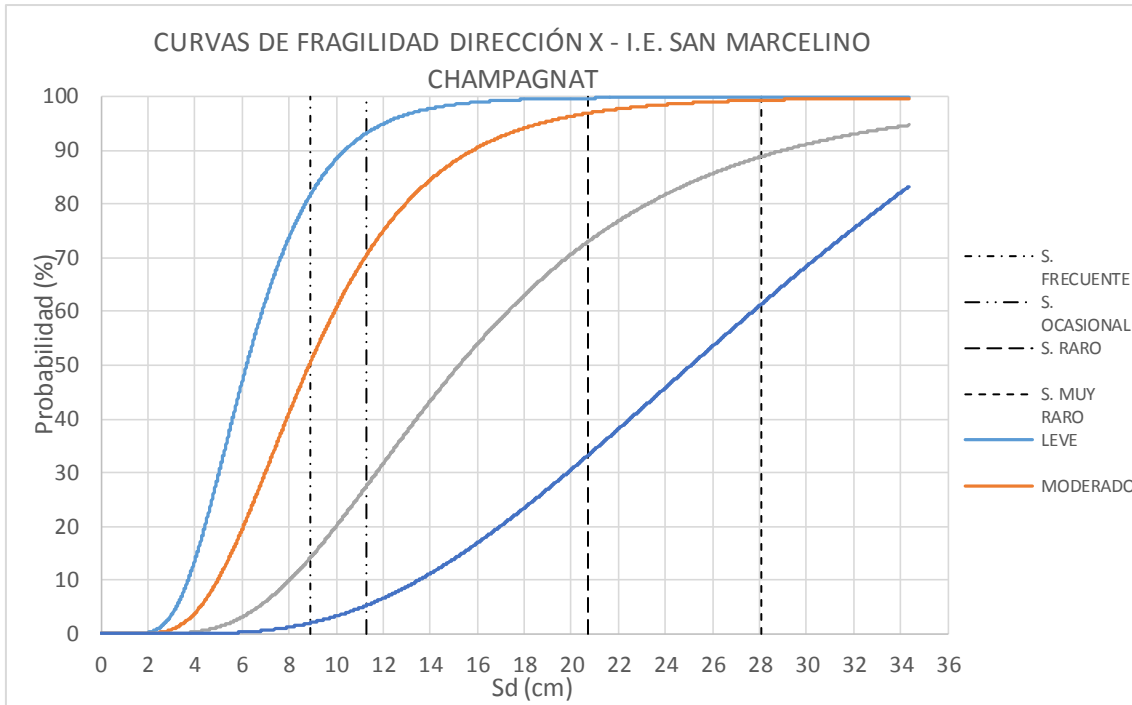


Figura 3.75: Curvas de fragilidad I.E. San Marcelino Champagnat - Dirección x, intersección con los puntos de desempeño para los sismos de diseño

Tabla 3.44: Matriz de probabilidad de daño- Dirección x

PROBABILIDADES PARA LOS ESTADOS DE DAÑO						
SISMOS	NULO	LEVE	MODERADO	EXTENSIVO	COMPLETO	TOTAL
S. FRECUENTE	18.25 %	31.17 %	36.42 %	12.12 %	2.04 %	100.00 %
S. OCASIONAL	6.79 %	22.70 %	43.02 %	23.78 %	3.71 %	100.00 %
S. RARO	0.26 %	2.81 %	23.91 %	39.76 %	33.25 %	100.00 %
S. MUY RARO	0.14 %	0.51 %	10.50 %	27.72 %	61.13 %	100.00 %

De acuerdo a la tabla 3.44 se aprecia que para la dirección “x” en caso de sismo frecuente es más probable alcanzar daño moderado, igual para el sismo ocasional. Asimismo, para el sismo raro, se tiene mayor probabilidad de daño extensivo y para el caso de un sismo muy raro es más probable un daño completo, siendo el daño nulo y leve mínimos.

Tabla 3.45: Grado de daño medio y grado de daño medio normalizado

SISMOS	G. D. Medio	G.D.M. Norm.
S. FRECUENTE	1.49	0.37
S. OCASIONAL	1.95	0.49
S. RARO	3.03	0.76
S. MUY RARO	3.49	0.87

b. Para la dirección Y

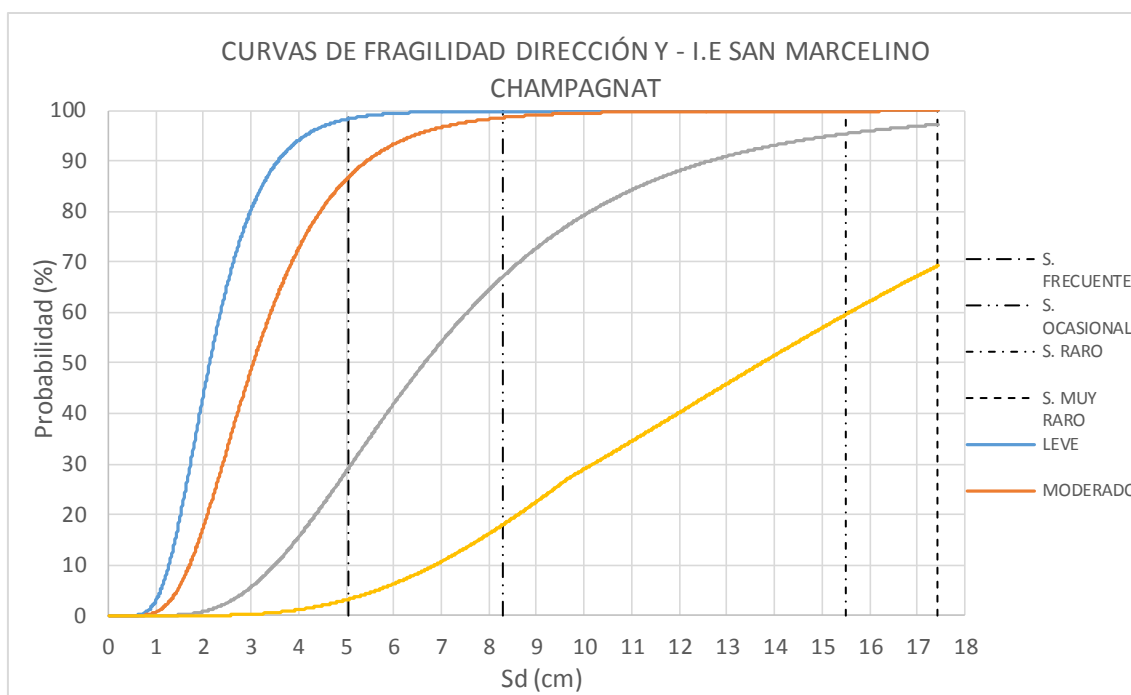


Figura 3.76: Curvas de fragilidad I.E. San Marcelino Champagnat - Dirección y, intersección con los puntos de desempeño para los sismos de diseño

Tabla 3.46: Matriz de probabilidad de daño- Dirección y

PROBABILIDADES PARA LOS ESTADOS DE DAÑO						
SISMOS	NULO	LEVE	MODERADO	EXTENSIVO	COMPLETO	TOTAL
S. FRECUENTE	1.69 %	11.50 %	57.62 %	25.94 %	3.25 %	100.00 %
S. OCASIONAL	0.17 %	1.27 %	31.50 %	49.09 %	17.96 %	100.00 %
S. RARO	0.00 %	0.15 %	4.48 %	35.75 %	59.62 %	100.00 %
S. MUY RARO	0.00 %	0.14 %	2.67 %	27.90 %	69.28 %	100.00 %

En la tabla 3.46 se aprecia que para la dirección “y” el daño moderado es más probable para el sismo frecuente, luego para el sismo ocasional la probabilidad es mayor para el estado de daño extensivo. En cambio, para el sismo raro y para el sismo muy raro se observa que es muy probable alcanzar un estado de daño completo siendo las probabilidades 59.62% y 69.28% respectivamente.

Tabla 3.47: Grado de daño medio y grado de daño medio normalizado

SISMOS	G. D. Medio	G.D.M. Norm.
S. FRECUENTE	2.18	0.54
S. OCASIONAL	2.83	0.71
S. RARO	3.55	0.89
S. MUY RARO	3.66	0.92

3.4.6.6 ÍNDICE DE PÉRDIDA ECONÓMICA

El cálculo del índice de pérdida económica se ha realizado en base a lo indicado en la sección 2.2.2.3.4. Para ello, se emplean las funciones de pertenencia definidas en la ecuación 2.13, multiplicadas por las probabilidades de ocurrencia para los diferentes estados de daño encontrados en el ítem anterior.

A) I.E. N°82030 Fernández Gil

a. Para la dirección X

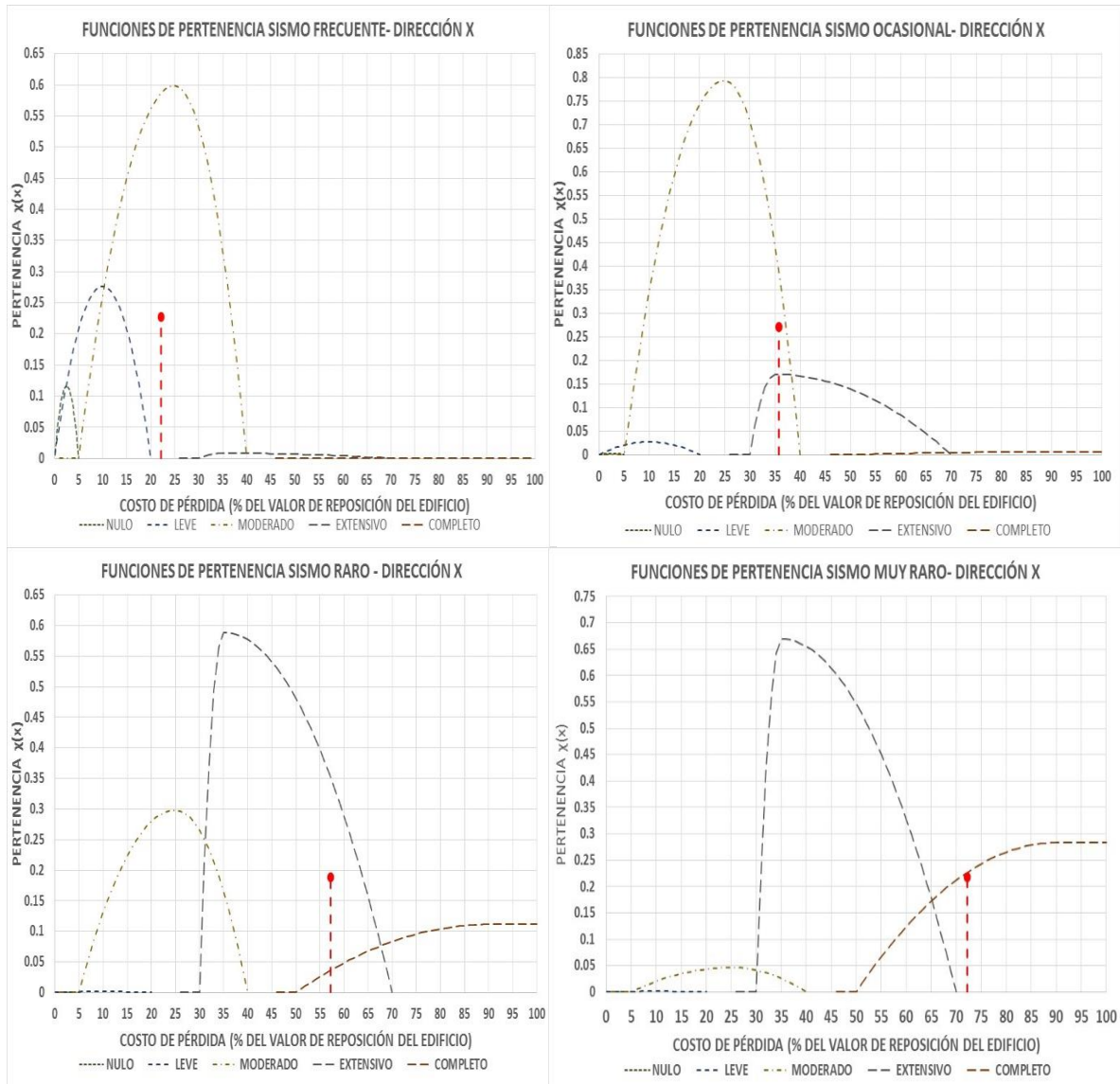


Figura 3.77: Funciones de pertenencia normalizadas con los resultados de las curvas de fragilidad para estimar el índice de pérdida económica para cada sismo de diseño

La figura 3.77 muestra las funciones de pertenencia, de las cuales se halla la envolvente, siendo el punto de color rojo el centroide de dicha envolvente que corresponde al índice de pérdida económica para cada sismo de diseño. Los resultados son:

Tabla 3.48: Índice de pérdida económica dirección “x” encontrado para cada sismo de diseño I.E. N°82030 Fernández Gil

SISMO	ÍNDICE DE PÉRDIDA ECONÓMICA
FRECUENTE	22.13 %
OCASIONAL	35.81 %
RARO	57.18 %
MUY RARO	72.22 %

b. Para la dirección Y

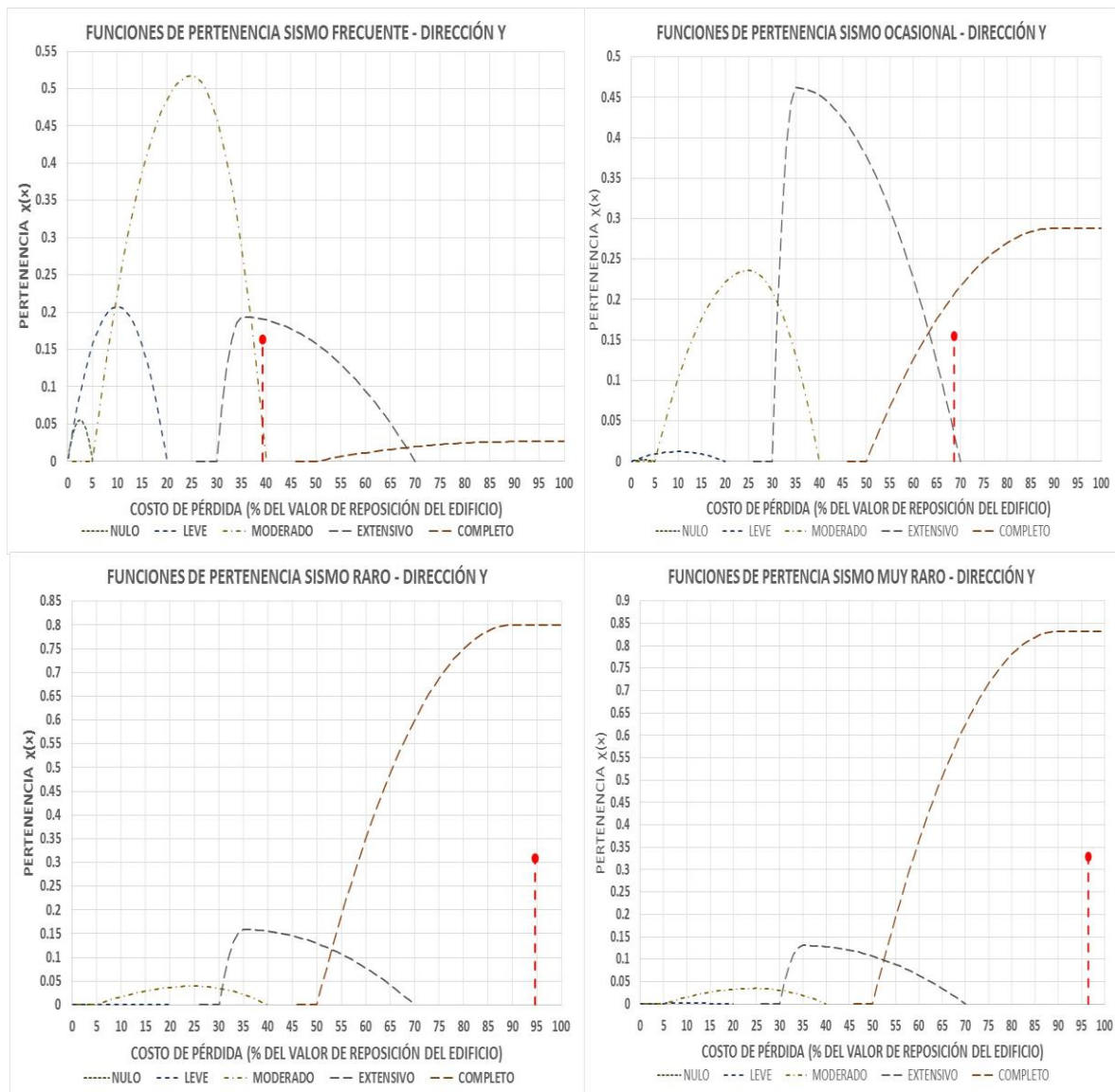


Figura 3.78: Funciones de pertenencia normalizadas con los resultados de las curvas de fragilidad para estimar el índice de pérdida económica para cada sismo de diseño

La figura 3.78 muestra las funciones de pertenencia, de las cuales se halla la envolvente, siendo el punto de color rojo el centroide de dicha envolvente que corresponde al índice de pérdida económica para cada sismo de diseño. Los resultados son:

Tabla 3.49: Índice de pérdida económica dirección “y” encontrado para cada sismo de diseño I.E. N°82030 Fernández Gil

SISMO	ÍNDICE DE PÉRDIDA ECONÓMICA
FRECUENTE	39.22 %
OCASIONAL	68.68 %
RARO	94.58 %
MUY RARO	96.45 %

B) I.E. N°821396 Urubamba Bajo

a. Para la dirección X

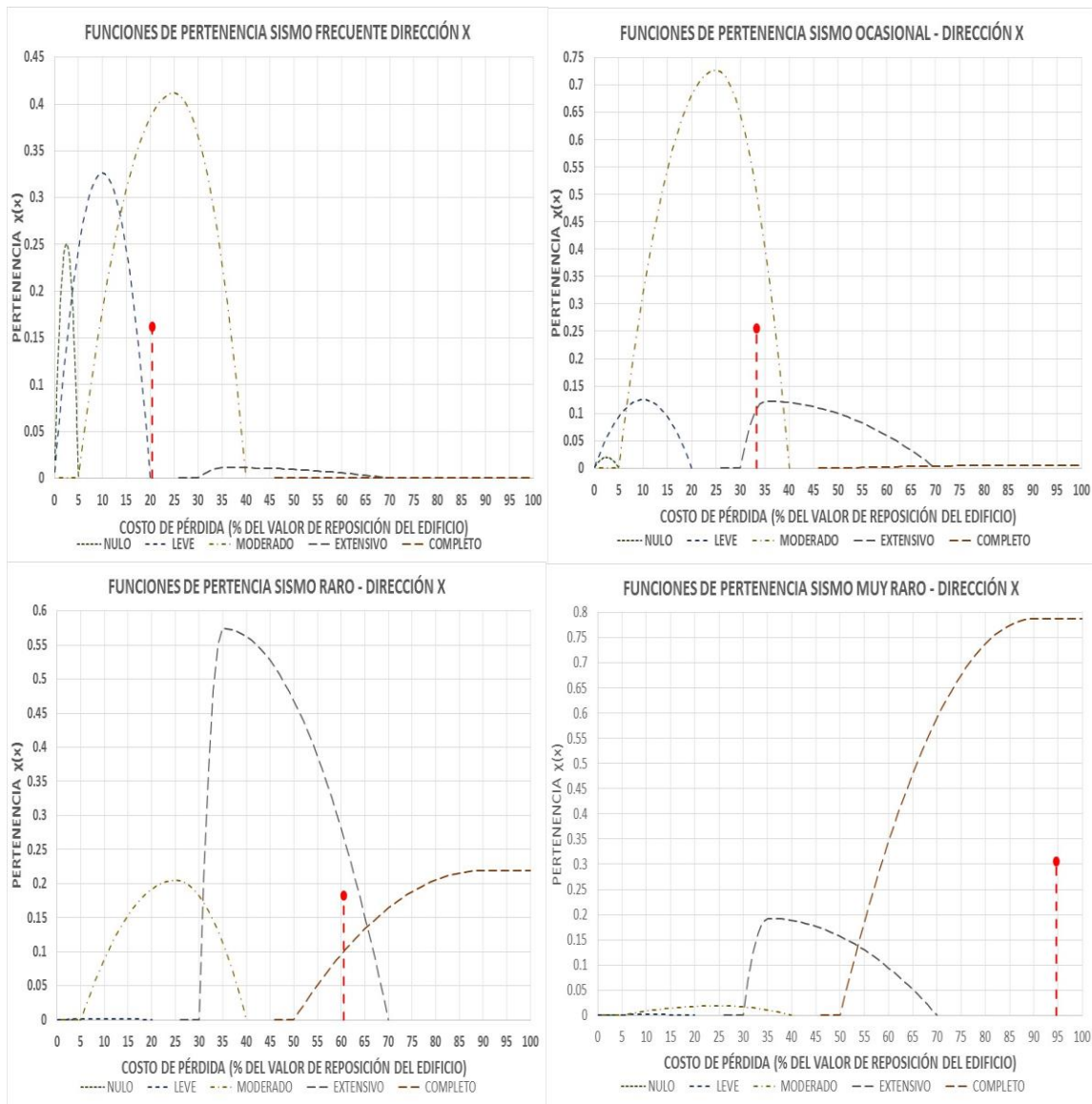


Figura 3.79: Funciones de pertenencia normalizadas con los resultados de las curvas de fragilidad para estimar el índice de pérdida económica para cada sismo de diseño

La figura 3.79 muestra las funciones de pertenencia, de las cuales se halla la envolvente, siendo el punto de color rojo el centroide de dicha envolvente que corresponde al índice de pérdida económica para cada sismo de diseño. Los resultados son:

Tabla 3.50: Índice de pérdida económica dirección “x” encontrado para cada sismo de diseño I.E. N°821396 Urubamba Bajo

SISMO	ÍNDICE DE PÉRDIDA ECONÓMICA
FRECUENTE	20.38 %
OCASIONAL	33.27 %
RARO	60.59 %
MUY RARO	94.69 %

b. Para la dirección Y

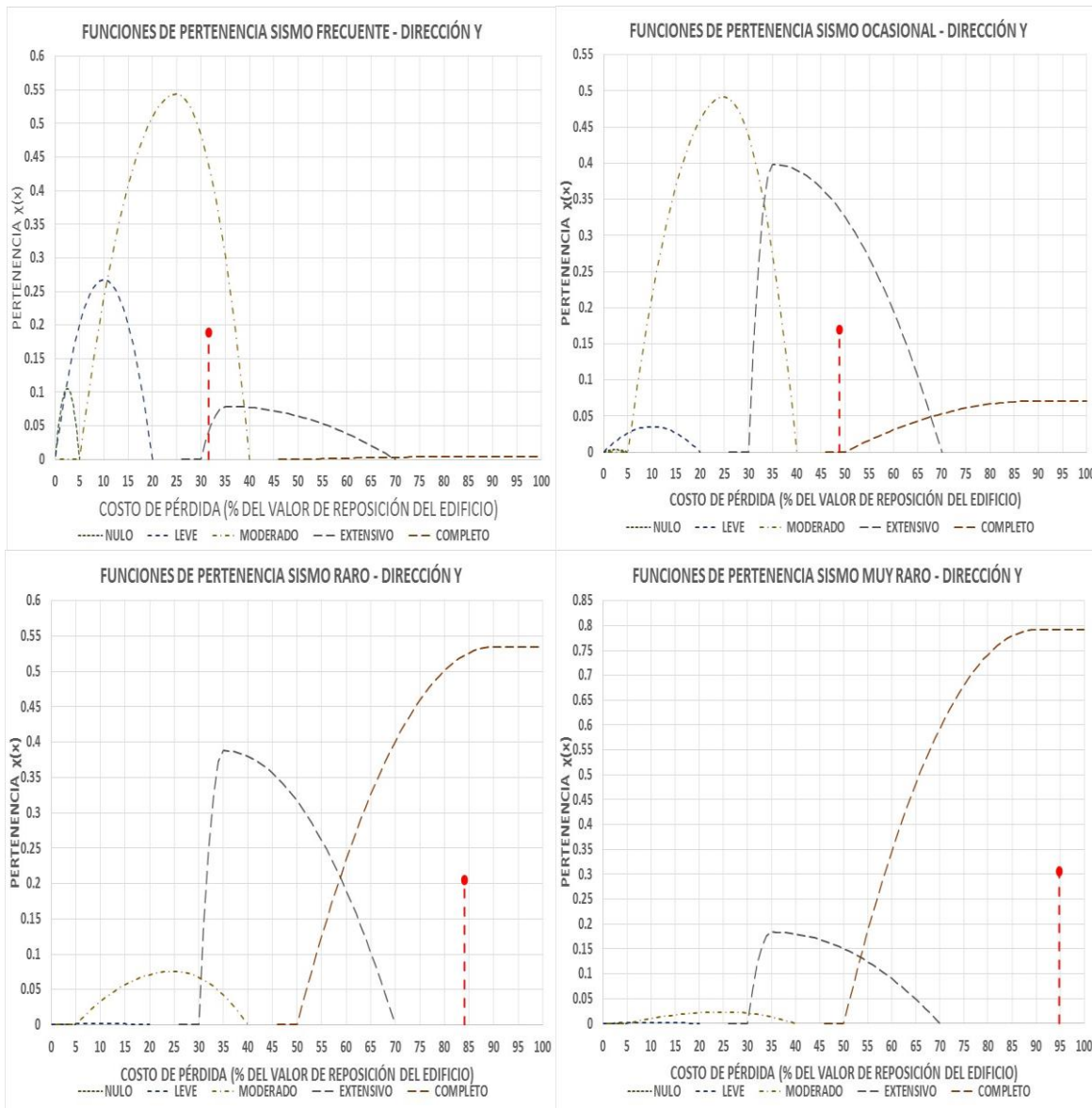


Figura 3.80: Funciones de pertenencia normalizadas con los resultados de las curvas de fragilidad para estimar el índice de pérdida económica para cada sismo de diseño

La figura 3.80 muestra las funciones de pertenencia, de las cuales se halla la envolvente, siendo el punto de color rojo el centroide de dicha envolvente que corresponde al índice de pérdida económica para cada sismo de diseño. Los resultados son:

Tabla 3.51: Índice de pérdida económica dirección “y” encontrado para cada sismo de diseño I.E. N°821396 Urubamba Bajo

SISMO	ÍNDICE DE PÉRDIDA ECONÓMICA
FRECUENTE	31.60 %
OCASIONAL	48.86 %
RARO	84.03 %
MUY RARO	94.74 %

C) I.E. N°82954 Pachacútec

a. Para la dirección X

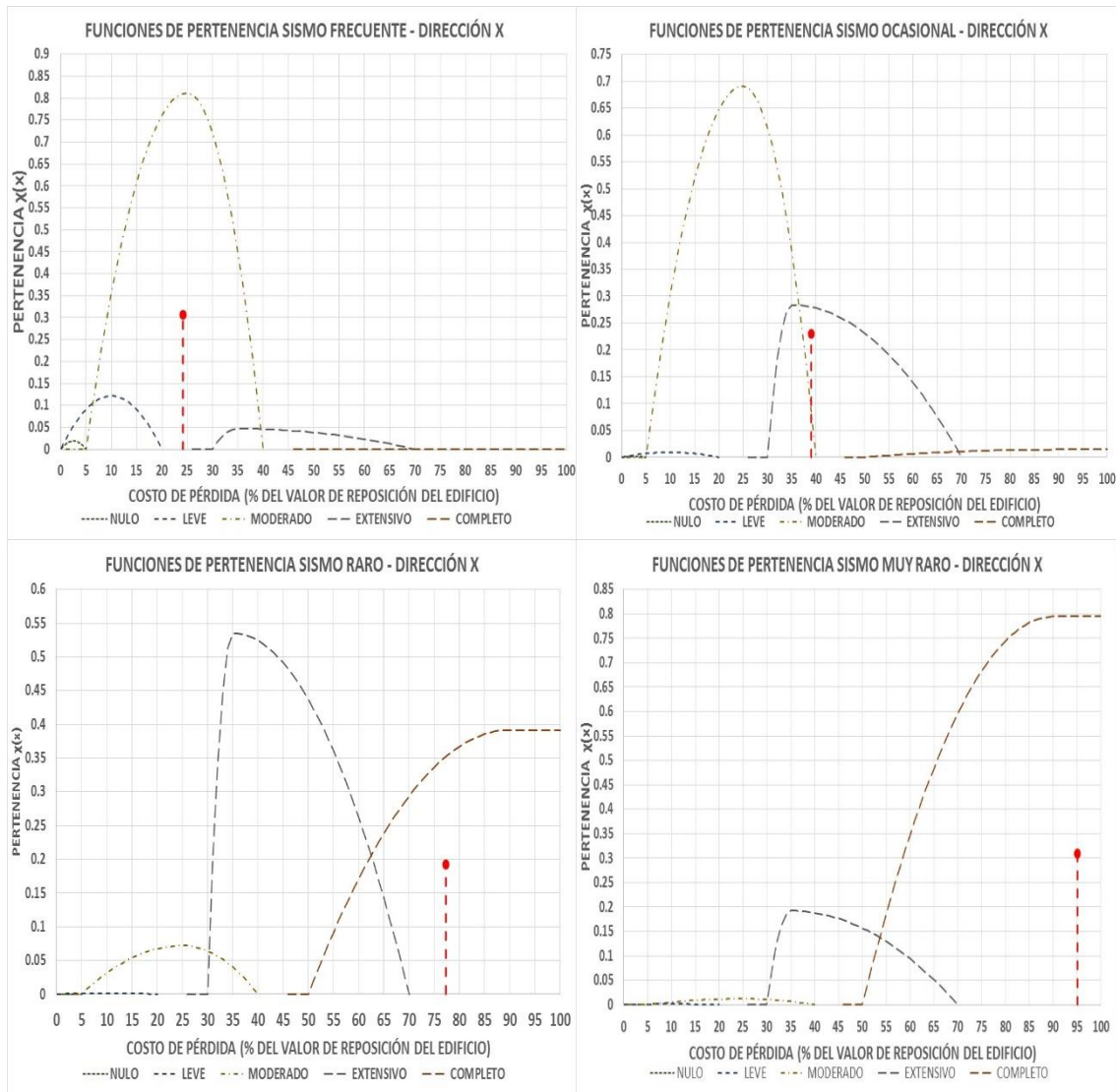


Figura 3.81: Funciones de pertenencia normalizadas con los resultados de las curvas de fragilidad para estimar el índice de pérdida económica para cada sismo de diseño

La figura 3.81 muestra las funciones de pertenencia, de las cuales se halla la envolvente, siendo el punto de color rojo el centroide de dicha envolvente que corresponde al índice de pérdida económica para cada sismo de diseño. Los resultados son:

Tabla 3.52: Índice de pérdida económica dirección “x” encontrado para cada sismo de diseño I.E. N°82594 Pachacútec

SISMO	ÍNDICE DE PÉRDIDA ECONÓMICA
FRECUENTE	24.13 %
OCASIONAL	39.05 %
RARO	77.25 %
MUY RARO	95.02 %

b. Para la dirección Y

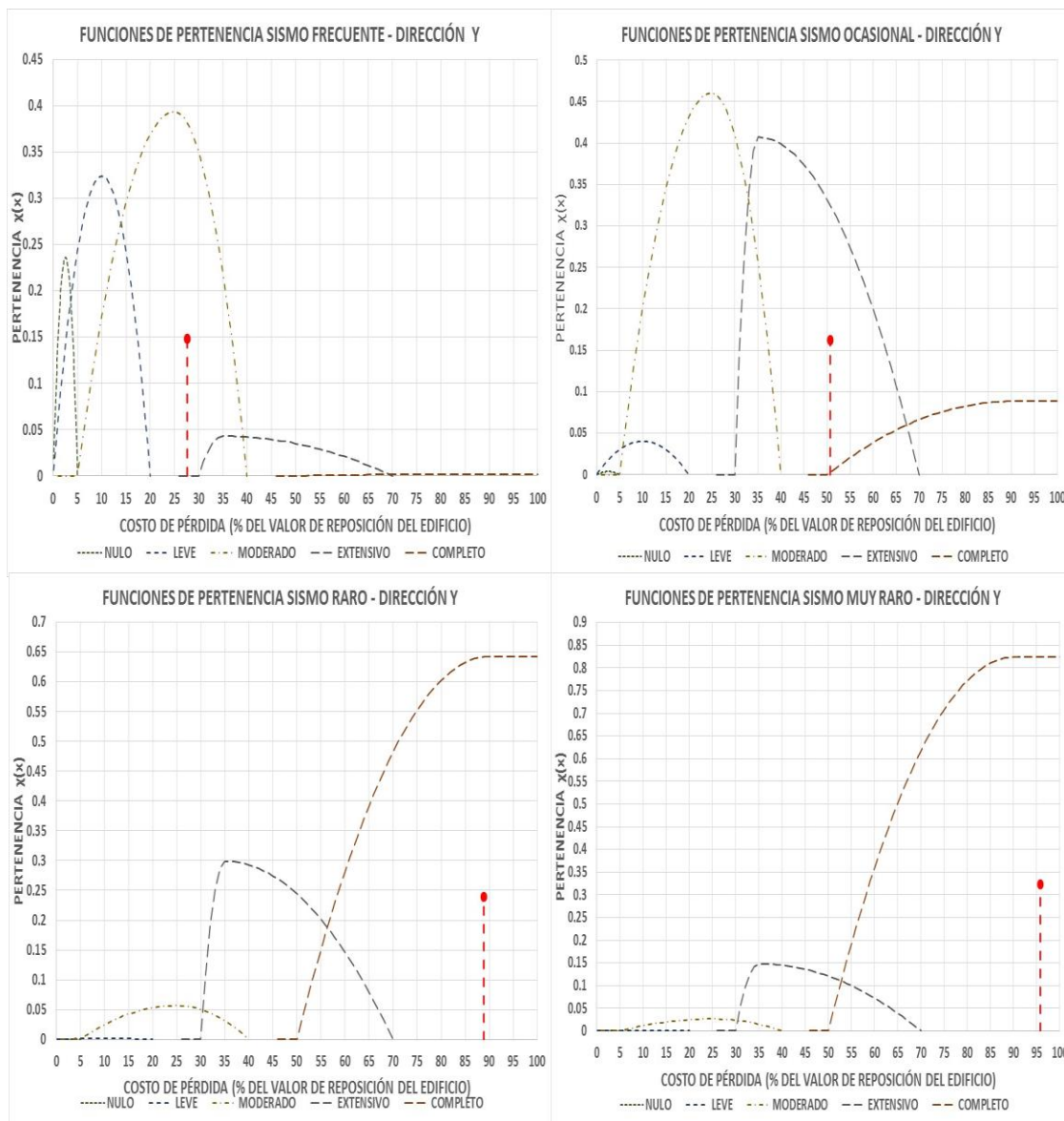


Figura 3.82: Funciones de pertenencia normalizadas con los resultados de las curvas de fragilidad para estimar el índice de pérdida económica para cada sismo de diseño

La figura 3.82 muestra las funciones de pertenencia, de las cuales se halla la envolvente, siendo el punto de color rojo el centroide de dicha envolvente que corresponde al índice de pérdida económica para cada sismo de diseño. Los resultados son:

Tabla 3.53: Índice de pérdida económica dirección “y” encontrado para cada sismo de diseño I.E. N°82594 Pachacútec

SISMO	ÍNDICE DE PÉRDIDA ECONÓMICA
FRECUENTE	27.61 %
OCASIONAL	50.77 %
RARO	88.90 %
MUY RARO	95.76 %

D) I.E. N°82016 Santa Teresita (primaria)

a. Para la dirección X

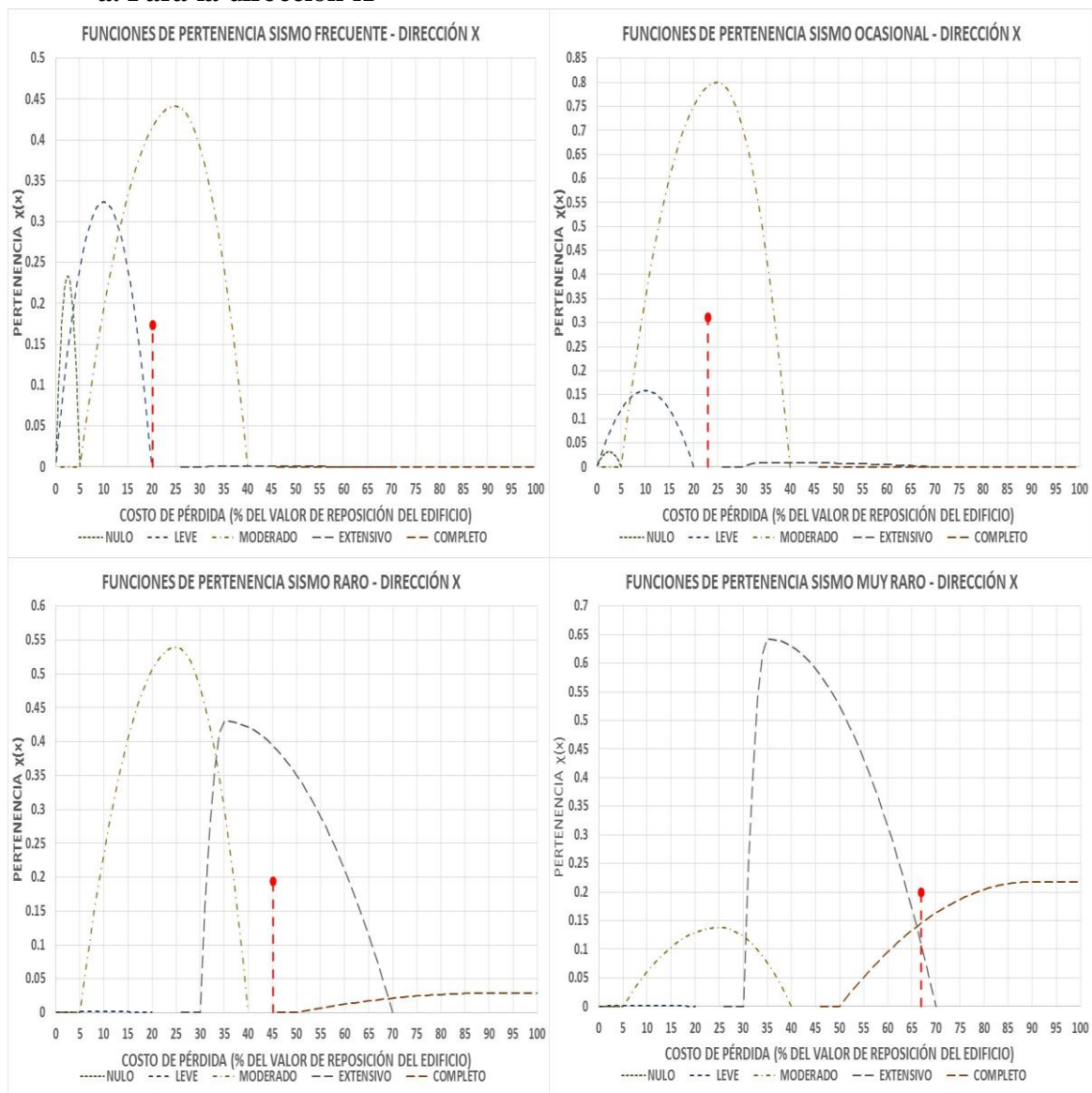


Figura 3.83: Funciones de pertenencia normalizadas con los resultados de las curvas de fragilidad para estimar el índice de pérdida económica para cada sismo de diseño

La figura 3.83 muestra las funciones de pertenencia, de las cuales se halla la envolvente, siendo el punto de color rojo el centroide de dicha envolvente que corresponde al índice de pérdida económica para cada sismo de diseño. Los resultados son:

Tabla 3.54: Índice de pérdida económica dirección “x” encontrado para cada sismo de diseño I.E. N°82016 Santa Teresita (primaria)

SISMO	ÍNDICE DE PÉRDIDA ECONÓMICA
FRECUENTE	20.17 %
OCASIONAL	22.94 %
RARO	45.13 %
MUY RARO	66.88 %

b. Para la dirección Y

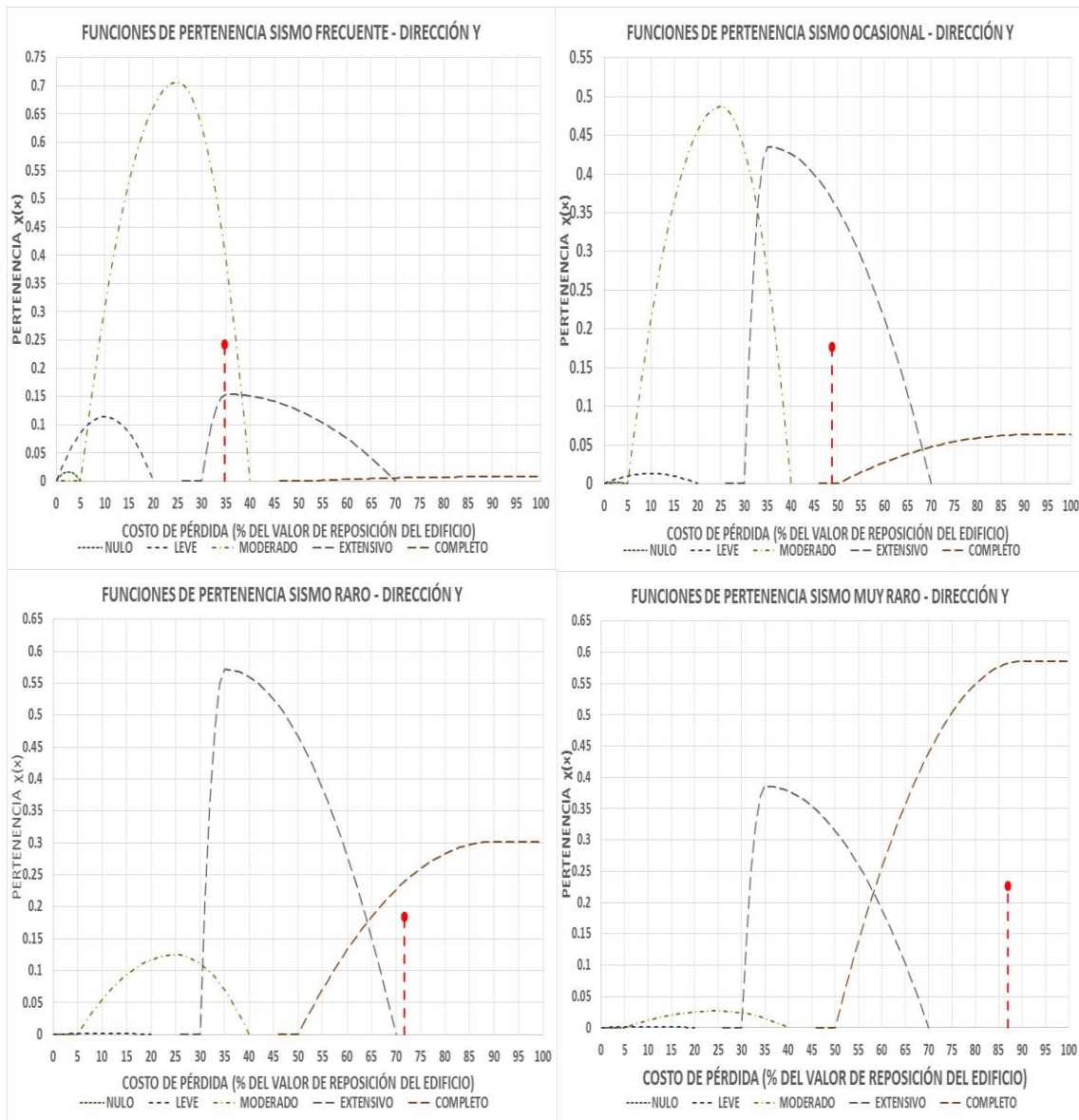


Figura 3.84: Funciones de pertenencia normalizadas con los resultados de las curvas de fragilidad para estimar el índice de pérdida económica para cada sismo de diseño

La figura 3.84 muestra las funciones de pertenencia, de las cuales se halla la envolvente, siendo el punto de color rojo el centroide de dicha envolvente que corresponde al índice de pérdida económica para cada sismo de diseño. Los resultados son:

Tabla 3.55: Índice de pérdida económica dirección “y” encontrado para cada sismo de diseño I.E. N°82016 Santa Teresita (primaria)

SISMO	ÍNDICE DE PÉRDIDA ECONÓMICA
FRECUENTE	34.70 %
OCASIONAL	48.78 %
RARO	71.70 %
MUY RARO	86.95 %

E) I.E. San Marcelino Champagnat

a. Para la dirección X

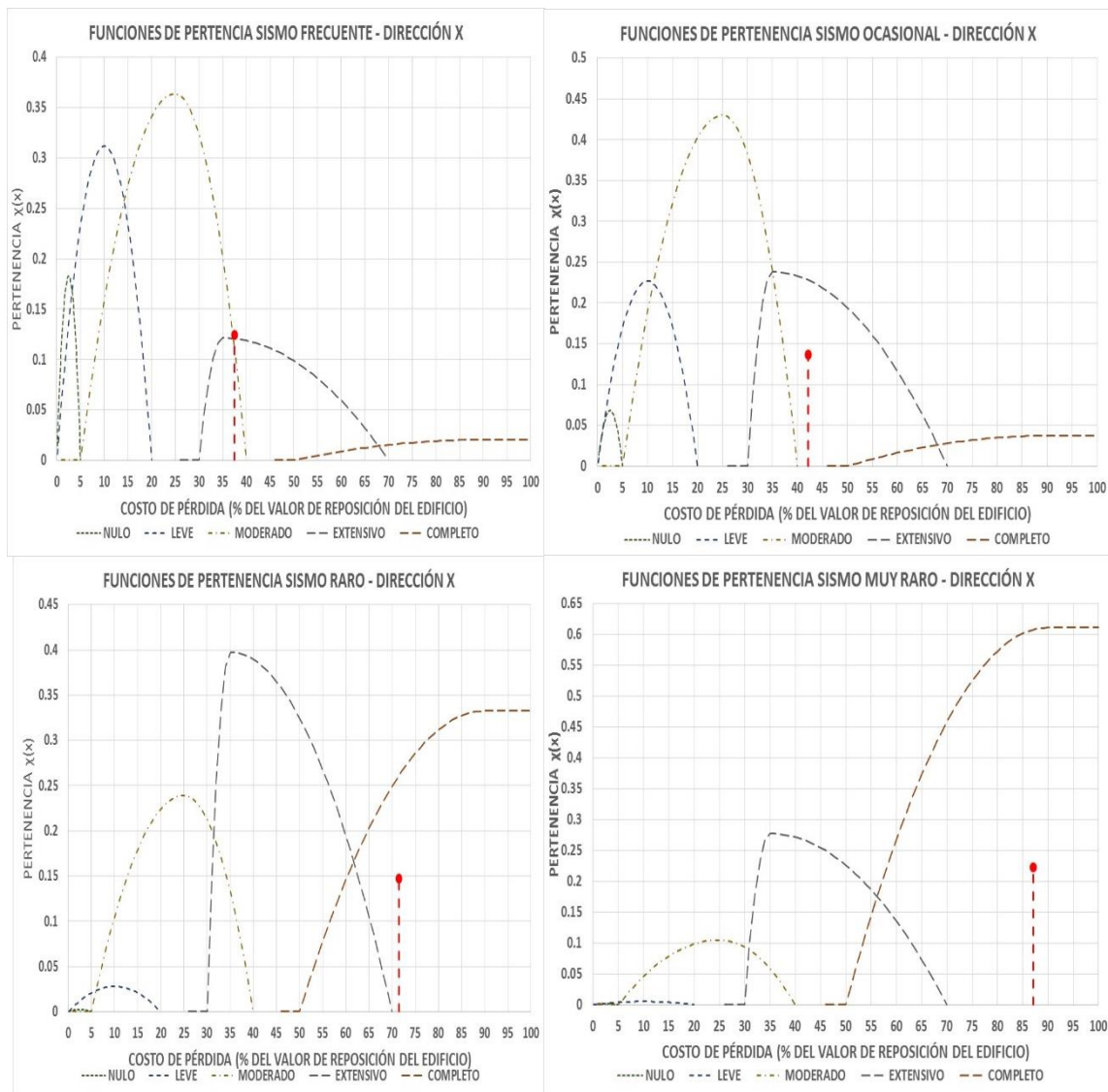


Figura 3.85: Funciones de pertenencia normalizadas con los resultados de las curvas de fragilidad para estimar el índice de pérdida económica para cada sismo de diseño

La figura 3.85 muestra las funciones de pertenencia, de las cuales se halla la envolvente, siendo el punto de color rojo el centroide de dicha envolvente que corresponde al índice de pérdida económica para cada sismo de diseño. Los resultados son:

Tabla 3.56: Índice de pérdida económica dirección “x” encontrado para cada sismo de diseño I.E. San Marcelino Champagnat

SISMO	ÍNDICE DE PÉRDIDA ECONÓMICA
FRECUENTE	37.53 %
OCASIONAL	42.12 %
RARO	71.42 %
MUY RARO	87.07 %

b. Para la dirección Y

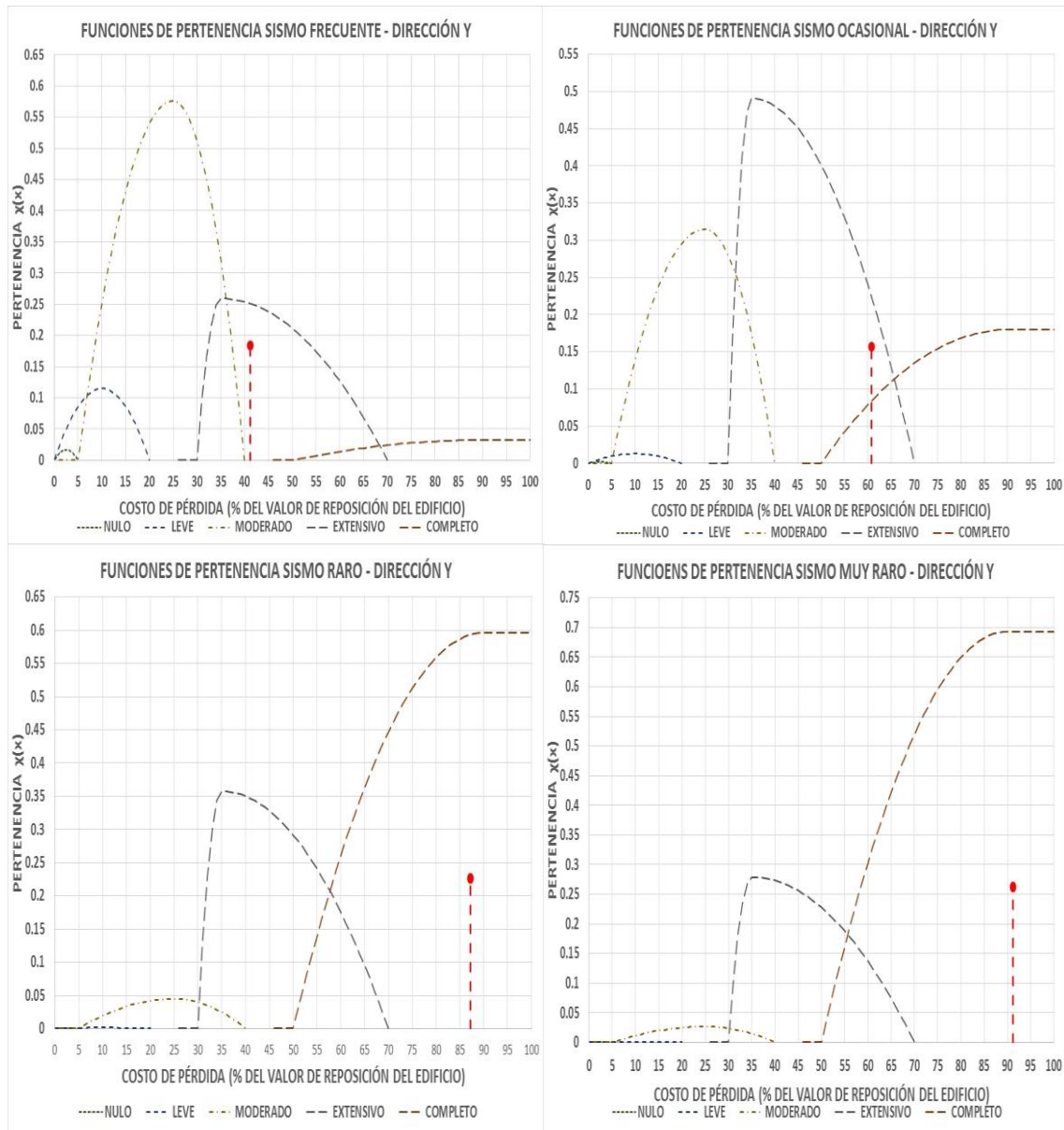


Figura 3.86: Funciones de pertenencia normalizadas con los resultados de las curvas de fragilidad para estimar el índice de pérdida económica para cada sismo de diseño

La figura 3.86 muestra las funciones de pertenencia, de las cuales se halla la envolvente, siendo el punto de color rojo el centroide de dicha envolvente que corresponde al índice de pérdida económica para cada sismo de diseño. Los resultados son:

Tabla 3.57: Índice de pérdida económica dirección “y” encontrado para cada sismo de diseño I.E. San Marcelino Champagnat

SISMO	ÍNDICE DE PÉRDIDA ECONÓMICA
FRECUENTE	41.14 %
OCASIONAL	60.75 %
RARO	87.18 %
MUY RARO	91.26 %

3.4.6.7 ÍNDICE DE FUNCIONALIDAD

Este parámetro se valora en el intervalo de 0 a 1, donde el valor más próximo a 1 indica mayor funcionalidad. Se ha estimado de acuerdo a la ecuación 2.14 considerando como variable principal el grado de daño medio normalizado (ED) calculados en la sección 4.5. Así tenemos:

A) I.E. N°82030 Fernández Gil

Tabla 3.58: Índice de funcionalidad calculado para cada sismo de diseño I.E. N°82030 Fernández Gil

SISMO	ÍNDICE DE FUNCIONALIDAD	
	DIRECCIÓN X	DIRECCIÓN Y
FRECUENTE	0.56	0.29
OCASIONAL	0.18	0.00
RARO	0.00	0.00
MUY RARO	0.00	0.00

La tabla 3.58 muestra que el índice de funcionalidad para la I.E. N°82030 Fernández Gil va disminuyendo de acuerdo a la intensidad de la sollicitación sísmica. Siendo nula la funcionalidad para un sismo raro y un sismo muy raro.

B) I.E. N°821396 Urubamba bajo

Tabla 3.59: Índice de funcionalidad calculado para cada sismo de diseño I.E. N°821396 Urubamba bajo

SISMO	ÍNDICE DE FUNCIONALIDAD	
	DIRECCIÓN X	DIRECCIÓN Y
FRECUENTE	0.75	0.48
OCASIONAL	0.27	0.07
RARO	0.00	0.00
MUY RARO	0.00	0.00

En la tabla 3.59 se aprecia que para la I.E. N° 821396 Urubamba Bajo en las dos direcciones existe mayor funcionalidad para los sismos frecuente y ocasional. No obstante, para los sismos raro y muy raro se observa que hay una pérdida total de la funcionalidad.

C) I.E. N°82954 Pachacútec

Tabla 3.60: Índice de funcionalidad calculado para cada sismo de diseño I.E. N°82954 Pachacútec

SISMO	ÍNDICE DE FUNCIONALIDAD	
	DIRECCIÓN X	DIRECCIÓN Y
FRECUENTE	0.31	0.71
OCASIONAL	0.12	0.06
RARO	0.00	0.00
MUY RARO	0.00	0.00

La tabla 3.60 muestra que el índice de funcionalidad para la I.E. N°82954 Pachacútec va disminuyendo de acuerdo a la intensidad de la sollicitación sísmica. Siendo nula la funcionalidad para un sismo raro y un sismo muy raro.

D) I.E. N°82016 Santa Teresita (primaria)

Tabla 3.61: Índice de funcionalidad calculado para cada sismo de diseño I.E. N°82016 Santa Teresita (primaria)

SISMO	ÍNDICE DE FUNCIONALIDAD	
	DIRECCIÓN X	DIRECCIÓN Y
FRECUENTE	0.73	0.24
OCASIONAL	0.37	0.06
RARO	0.07	0.00
MUY RARO	0.00	0.00

En la tabla 3.61 se aprecia que para la I.E. N°82016 Santa Teresita en las dos direcciones existe mayor funcionalidad para los sismos frecuente y ocasional. No obstante, para los sismos raro y muy raro se observa que hay una pérdida total de la funcionalidad.

E) I.E. San Marcelino Champagnat

Tabla 3.62: Índice de funcionalidad calculado para cada sismo de diseño I.E. San Marcelino Champagnat

SISMO	ÍNDICE DE FUNCIONALIDAD	
	DIRECCIÓN X	DIRECCIÓN Y
FRECUENTE	0.57	0.17
OCASIONAL	0.28	0.00
RARO	0.00	0.00
MUY RARO	0.00	0.00

La tabla 3.62 muestra que el índice de funcionalidad para la I.E. San Marcelino Champagnat va disminuyendo de acuerdo a la intensidad de la sollicitación sísmica. Siendo nula la funcionalidad para un sismo raro y un sismo muy raro.

3.4.6.8 TIEMPO DE RECUPERACIÓN

Para el cálculo de este parámetro se han usado los criterios expuestos en la sección 2.2.2.3.6 adoptando valores típicos para edificios comerciales, edificios de oficinas y edificios para servicios profesionales, técnicos y de negocios propuestos en el documento FEMA 227 (1992), empleando como variable principal el grado de daño medio (ED). Así tenemos para cada institución educativa:

A) I.E. N°82030 Fernández Gil

Tabla 3.63: Tiempo de recuperación (días) estimado para cada sismo de diseño I.E. N°82030 Fernández Gil

SISMO	TIEMPO DE RECUPERACIÓN	
	DIRECCIÓN X	DIRECCIÓN Y
FRECUENTE	130.08	167.27
OCASIONAL	186.48	262.28
RARO	243.75	325.91
MUY RARO	280.52	329.17

En la tabla 3.63 se observa que el tiempo de recuperación para las dos direcciones en la I.E. N° 82030 Fernández Gil aumenta considerablemente con la escala de cada sollicitación sísmica, siendo la dirección “y” la que muestra mayor tiempo de recuperación para el sismo muy raro.

B) I.E. N°821396 Urubamba bajo

Tabla 3.64: Tiempo de recuperación estimado (días) para cada sismo de diseño I.E. N°821396 Urubamba bajo

SISMO	TIEMPO DE RECUPERACIÓN	
	DIRECCIÓN X	DIRECCIÓN Y
FRECUENTE	102.78	139.58
OCASIONAL	170.65	216.80
RARO	261.15	299.78
MUY RARO	326.72	326.67

En la tabla 3.64 se observa que el tiempo de recuperación para las dos direcciones en la I.E. N° 821396 Urubamba Bajo aumenta considerablemente con la escala de cada sollicitación sísmica, siendo mayor para la dirección “y” en los sismos frecuente y ocasional; pero parecidos para los sismo raro y muy raro en ambas direcciones.

C) I.E. N°82954 Pachacútec

Tabla 3.65: Tiempo de recuperación estimado (días) para cada sismo de diseño I.E. N°82954 Pachacútec

SISMO	TIEMPO DE RECUPERACIÓN	
	DIRECCIÓN X	DIRECCIÓN Y
FRECUENTE	163.93	108.47
OCASIONAL	199.52	220.02
RARO	287.76	310.81
MUY RARO	327.91	329.14

En la tabla 3.65 se observa que el tiempo de recuperación para las dos direcciones en la I.E. N° 82954 Pachacútec aumenta considerablemente con la escala de cada sollicitación sísmica, siendo mayor para la dirección “y” desde el sismo ocasional al sismo muy raro.

D) I.E. N°82016 Santa Teresita (primaria)

Tabla 3.66: Tiempo de recuperación estimado (días) para cada sismo de diseño I.E. N°82016 Santa Teresita (primaria)

SISMO	TIEMPO DE RECUPERACIÓN	
	DIRECCIÓN X	DIRECCIÓN Y
FRECUENTE	104.91	175.39
OCASIONAL	155.14	220.79
RARO	215.63	275.36
MUY RARO	266.96	308.52

En la tabla 3.66 se observa que el tiempo de recuperación para las dos direcciones en la I.E. N° 82016 Santa Teresita aumenta considerablemente con la escala de cada sollicitación sísmica, siendo mayor para la dirección “y” para todas las escalas de los sismos de diseño.

E) I.E. San Marcelino Champagnat

Tabla 3.67: Tiempo de recuperación estimado (días) para cada sismo de diseño I.E. San Marcelino Champagnat

SISMO	TIEMPO DE RECUPERACIÓN	
	DIRECCIÓN X	DIRECCIÓN Y
FRECUENTE	128.85	188.73
OCASIONAL	169.11	245.86
RARO	262.80	307.82
MUY RARO	302.92	317.79

En la tabla 3.67 se observa que el tiempo de recuperación para las dos direcciones en la I.E. San Marcelino Champagnat aumenta considerablemente con la escala de cada sollicitación sísmica, siendo mayor para la dirección “y” para todas las escalas de los sismos de diseño.

3.4.6.9 SÍNTESIS DE LOS RESULTADOS

A) NIVEL DE DESEMPEÑO SÍSMICO

A.1 DESEMPEÑO DIRECCIÓN X

Tabla 3.68: Resumen nivel de desempeño de las instituciones educativas estudiadas- Dirección "x"

CATEGORÍA: COMPORTAMIENTO- DIRECCIÓN X					
ESCUELA SISMO	I.E. 82030 Fernández Gil	I.E. 821396 Urubamba Bajo	I.E. 82594 Pachacútec	I.E.82016 Santa Teresita	I.E. San Marcelino Champagnat
FRECUENTE	OPERACIONAL	T. OPERACIONAL	OPERACIONAL	T. OPERACIONAL	T. OPERACIONAL
OCASIONAL	OPERACIONAL	OPERACIONAL	OPERACIONAL	OPERACIONAL	OPERACIONAL
RARO	SEGURIDAD DE VIDA	SEGURIDAD DE VIDA	P. COLAPSO	OPERACIONAL	SEGURIDAD DE VIDA
MUY RARO	SEGURIDAD DE VIDA	COLAPSO	COLAPSO	SEGURIDAD DE VIDA	P. COLAPSO

A.2 DESEMPEÑO DIRECCIÓN Y

Tabla 3.69: Resumen nivel de desempeño de las instituciones educativas estudiadas- Dirección "y"

CATEGORÍA: COMPORTAMIENTO- DIRECCIÓN Y					
ESCUELA SISMO	I.E. 82030 Fernández Gil	I.E. 821396 Urubamba Bajo	I.E. 82594 Pachacútec	I.E.82016 Santa Teresita	I.E. San Marcelino Champagnat
FRECUENTE	OPERACIONAL	OPERACIONAL	T. OPERACIONAL	OPERACIONAL	OPERACIONAL
OCASIONAL	SEGURIDAD DE VIDA	OPERACIONAL	OPERACIONAL	OPERACIONAL	SEGURIDAD DE VIDA
RARO	COLPASA	PRE- COLAPSO	COLAPSO	SEGURIDAD DE VIDA	COLAPSO
MUY RARO	COLAPSO	COLAPSO	COLAPSO	COLAPSO	COLAPSO

B) GRADO DE DAÑO MEDIO

B.1 GRADO DE DAÑO MEDIO DIRECCIÓN X

Tabla 3.70: Resumen grado de daño medio de las instituciones educativas estudiadas- Dirección "x"

CATEGORÍA: GRADO DE DAÑO MEDIO- DIRECCIÓN X					
ESCUELA SISMO	I.E. 82030 Fernández Gil	I.E. 821396 Urubamba Bajo	I.E. 82594 Pachacútec	I.E.82016 Santa Teresita	I.E. San Marcelino Champagnat
FRECUENTE	0.37	0.30	0.47	0.30	0.37
OCASIONAL	0.54	0.49	0.57	0.45	0.49
RARO	0.70	0.75	0.83	0.62	0.76
MUY RARO	0.81	0.94	0.94	0.77	0.87

B.2 GRADO DE DAÑO MEDIO DIRECCIÓN Y

Tabla 3.71: Resumen grado de daño medio de las instituciones educativas estudiadas- Dirección “y”

CATEGORÍA: GRADO DE DAÑO MEDIO- DIRECCIÓN Y					
ESCUELA SISMO	I.E. 82030 Fernández Gil	I.E. 821396 Urubamba Bajo	I.E. 82594 Pachacútec	I.E.82016 Santa Teresita	I.E. San Marcelino Champagnat
FRECUENTE	0.48	0.40	0.31	0.51	0.54
OCASIONAL	0.76	0.62	0.63	0.64	0.71
RARO	0.94	0.86	0.90	0.79	0.89
MUY RARO	0.95	0.94	0.95	0.89	0.92

C) ÍNDICE DE PÉRDIDA ECONÓMICA

C.1ÍNDICE DE PÉRDIDA ECONÓMICA DIRECCIÓN X

Tabla 3.72: Resumen índice de pérdida económica de las instituciones educativas estudiadas – Dirección “x”

CATEGORÍA: ÍNDICE DE PÉRDIDA ECONÓMICA- DIRECCIÓN X					
ESCUELA SISMO	I.E. 82030 Fernández Gil	I.E. 821396 Urubamba Bajo	I.E. 82594 Pachacútec	I.E.82016 Santa Teresita	I.E. San Marcelino Champagnat
FRECUENTE	22.13 %	20.38 %	24.13 %	20.17 %	37.53 %
OCASIONAL	35.81 %	33.27 %	39.05 %	22.94 %	42.12 %
RARO	57.18 %	60.59 %	77.25 %	45.13 %	71.42 %
MUY RARO	72.22 %	9469 %	95.02 %	66.88 %	87.07 %

C.2 ÍNDICE DE PÉRDIDA ECONÓMICA DIRECCIÓN Y

Tabla 3.73: Resumen índice de pérdida económica de las instituciones educativas estudiadas – Dirección “y”

CATEGORÍA: ÍNDICE DE PÉRDIDA ECONÓMICA- DIRECCIÓN Y					
ESCUELA SISMO	I.E. 82030 Fernández Gil	I.E. 821396 Urubamba Bajo	I.E. 82594 Pachacútec	I.E.82016 Santa Teresita	I.E. San Marcelino Champagnat
FRECUENTE	39.22 %	31.60 %	27.61 %	34.70 %	41.14 %
OCASIONAL	68.68 %	48.86 %	50.77 %	48.78 %	60.75 %
RARO	94.58 %	84.03 %	88.90 %	71.70 %	87.18 %
MUY RARO	96.45 %	94.74 %	95.76 %	86.95 %	91.26 %

D) ÍNDICE DE FUNCIONALIDAD

D.1 ÍNDICE DE FUNCIONALIDAD DIRECCIÓN X

Tabla 3.74: Índice de funcionalidad para cada institución educativa – Dirección “x”

CATEGORÍA: ÍNDICE DE FUNCIONALIDAD- DIRECCIÓN X					
ESCUELA SISMO	I.E. 82030 Fernández Gil	I.E. 821396 Urubamba Bajo	I.E. 82594 Pachacútec	I.E.82016 Santa Teresita	I.E. San Marcelino Champagnat

FRECUENTE	0.56	0.75	0.31	0.73	0.57
OCASIONAL	0.18	0.27	0.12	0.37	0.28
RARO	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00
MUY RARO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

D.2 ÍNDICE DE FUNCIONALIDAD DIRECCIÓN Y

Tabla 3.75: Resumen índice de funcionalidad para cada institución educativa – Dirección “x”

CATEGORÍA: ÍNDICE DE FUNCIONALIDAD- DIRECCIÓN Y					
ESCUELA SISMO	I.E. 82030 Fernández Gil	I.E. 821396 Urubamba Bajo	I.E. 82594 Pachacútec	I.E.82016 Santa Teresita	I.E. San Marcelino Champagnat
FRECUENTE	0.29	0.48	0.71	0.24	0.17
OCASIONAL	0.00	0.07	0.06	0.06	0.00
RARO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MUY RARO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

E) TIEMPO DE RECUPERACIÓN

E.1 TIEMPO DE RECUPERACIÓN DIRECCIÓN X

Tabla 3.76: Resumen tiempo de recuperación estimado (días) para cada institución educativa – Dirección “x”

CATEGORÍA: ÍNDICE DE FUNCIONALIDAD- DIRECCIÓN X					
ESCUELA SISMO	I.E. 82030 Fernandez Gil	I.E. 821396 Urubamba Bajo	I.E. 82594 Pachacútec	I.E.82016 Santa Teresita	I.E. San Marcelino Champagnat
FRECUENTE	130.08	102.78	163.93	104.91	128.85
OCASIONAL	186.48	170.65	199.52	155.14	169.11
RARO	243.75	261.15	287.76	215.63	262.80
MUY RARO	280.52	326.72	327.91	266.96	302.92

E.2 TIEMPO DE RECUPERACIÓN DIRECCIÓN Y

Tabla 3.77: Resumen tiempo de recuperación estimado (días) para cada institución educativa – Dirección “y”

CATEGORÍA: TIEMPO DE RECUPERACIÓN- DIRECCIÓN Y					
ESCUELA SISMO	I.E. 82030 Fernández Gil	I.E. 821396 Urubamba Bajo	I.E. 82594 Pachacútec	I.E.82016 Santa Teresita	I.E. San Marcelino Champagnat
FRECUENTE	167.27	139.58	108.47	175.39	188.73
OCASIONAL	262.28	216.80	220.02	220.79	245.86
RARO	325.91	299.78	310.81	275.36	307.82
MUY RARO	329.17	326.67	329.14	308.52	317.79

3.4.6.10 GRAFICOS COMPARATIVOS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA LAS CATEGORÍAS ESTUDIADAS.

A) NIVEL DE DESEMPEÑO SÍSMICO

A.1 DESEMPEÑO DIRECCIÓN X

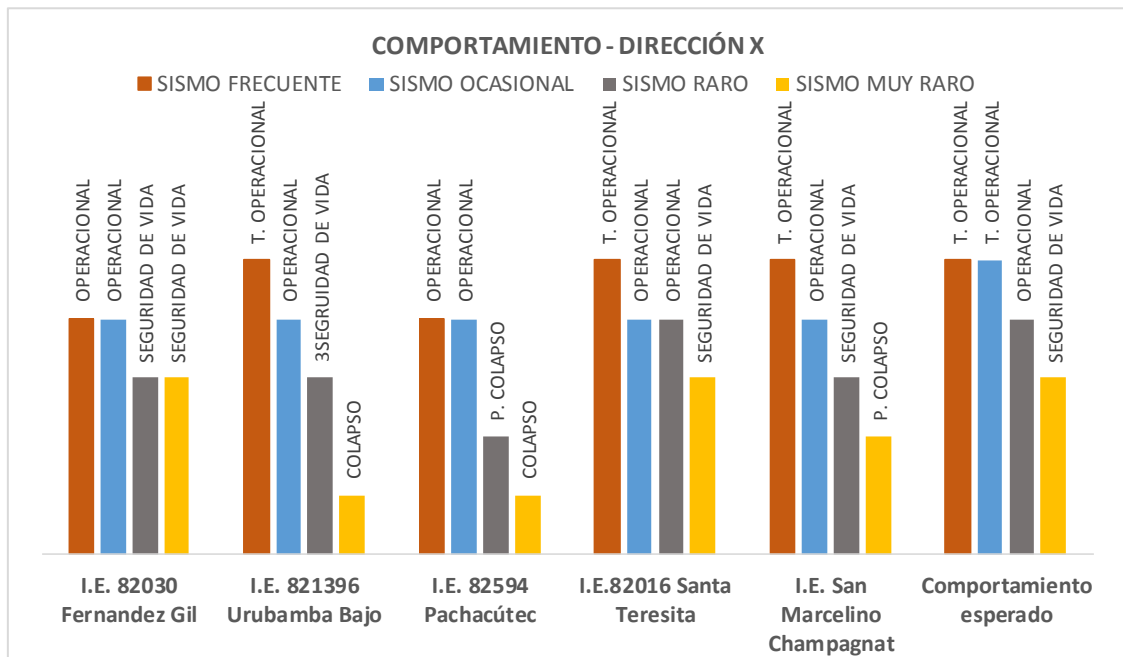


Figura 3.87: Gráfico de los niveles de comportamiento obtenidos para las instituciones educativas analizadas para cada sismo de diseño, dirección “x”

A.2 DESEMPEÑO DIRECCIÓN Y

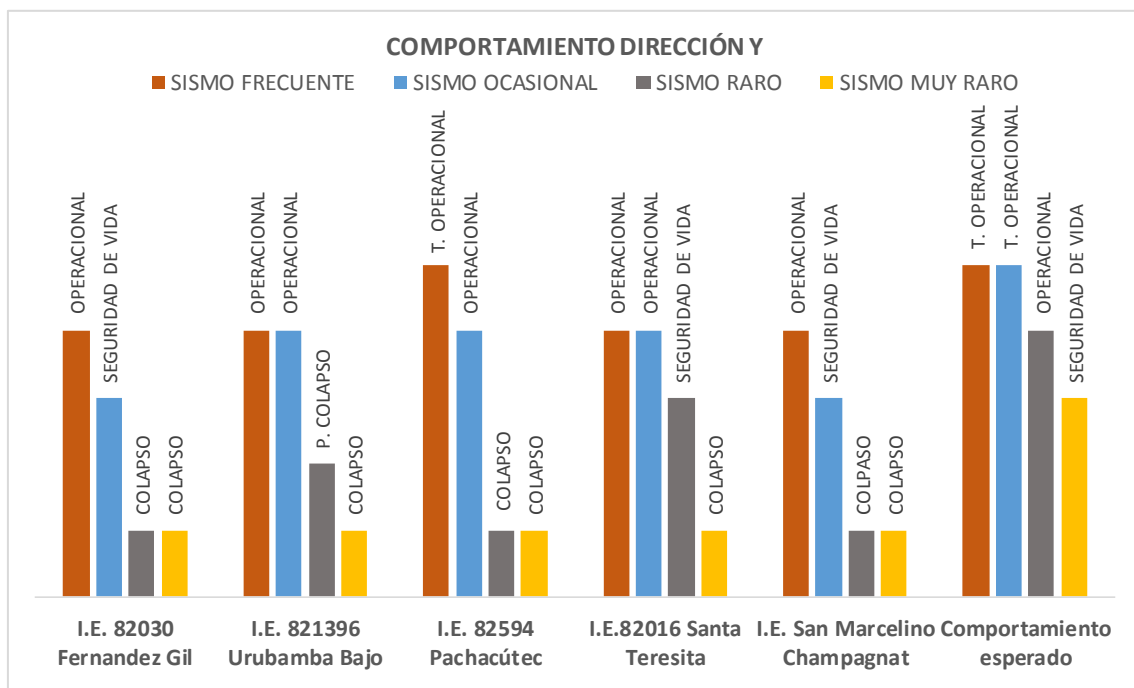


Figura 3.88: Gráfico de los niveles de comportamiento obtenidos para las instituciones educativas analizadas para cada sismo de diseño, dirección “y”

B) GRADO DE DAÑO MEDIO

B.1 GRADO DE DAÑO MEDIO DIRECCIÓN X

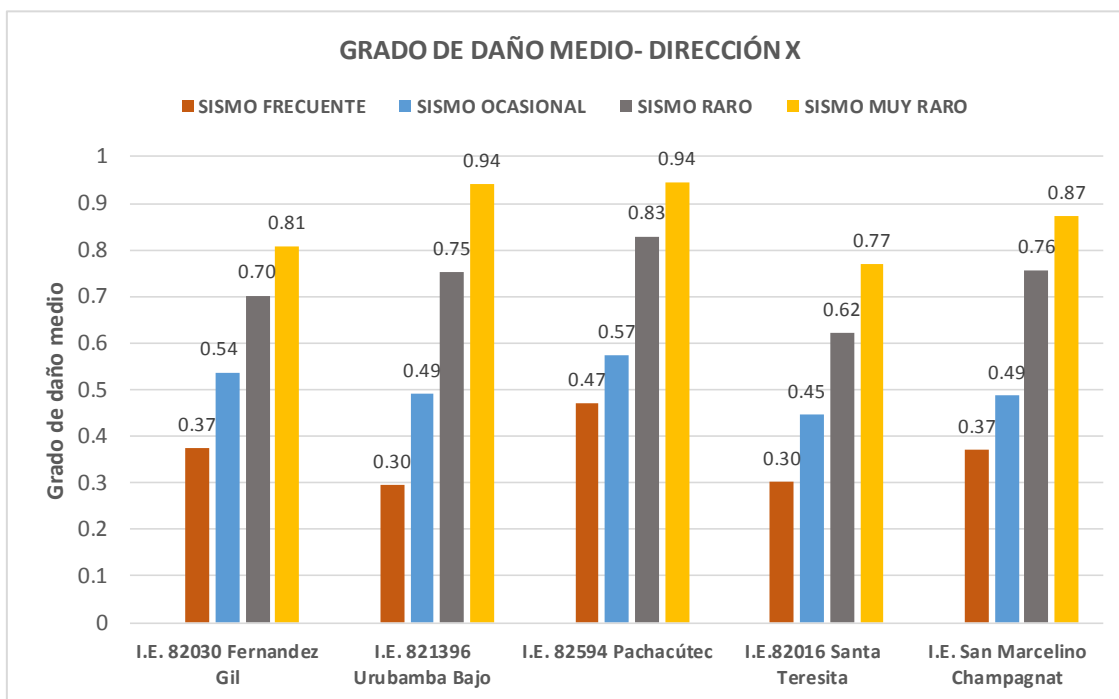


Figura 3.89: Gráfico del grado de daño medio calculado para las instituciones educativas analizadas para los sismos de diseño dirección "x".

B.2 GRADO DE DAÑO MEDIO DIRECCIÓN Y

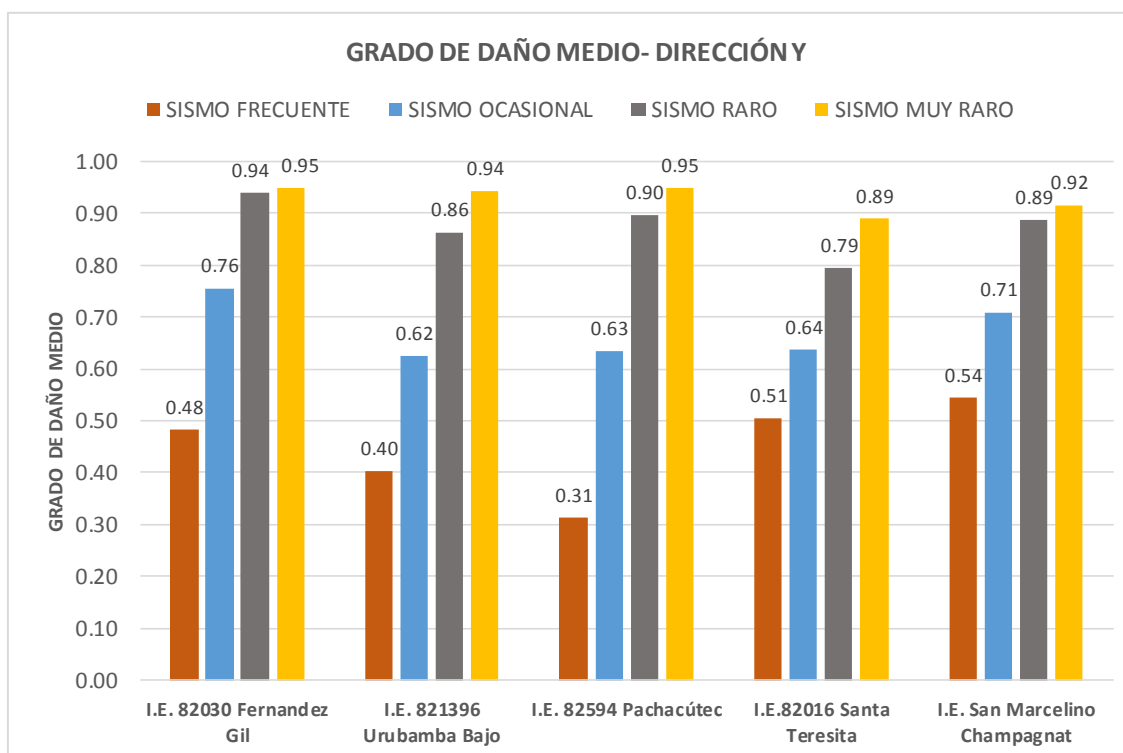


Figura 3.90: Gráfico del grado de daño medio calculado para las instituciones educativas analizadas para los sismos de diseño dirección "y".

C) ÍNDICE DE PÉRDIDA ECONÓMICA

C.1 ÍNDICE DE PÉRDIDA ECONÓMICA DIRECCIÓN X

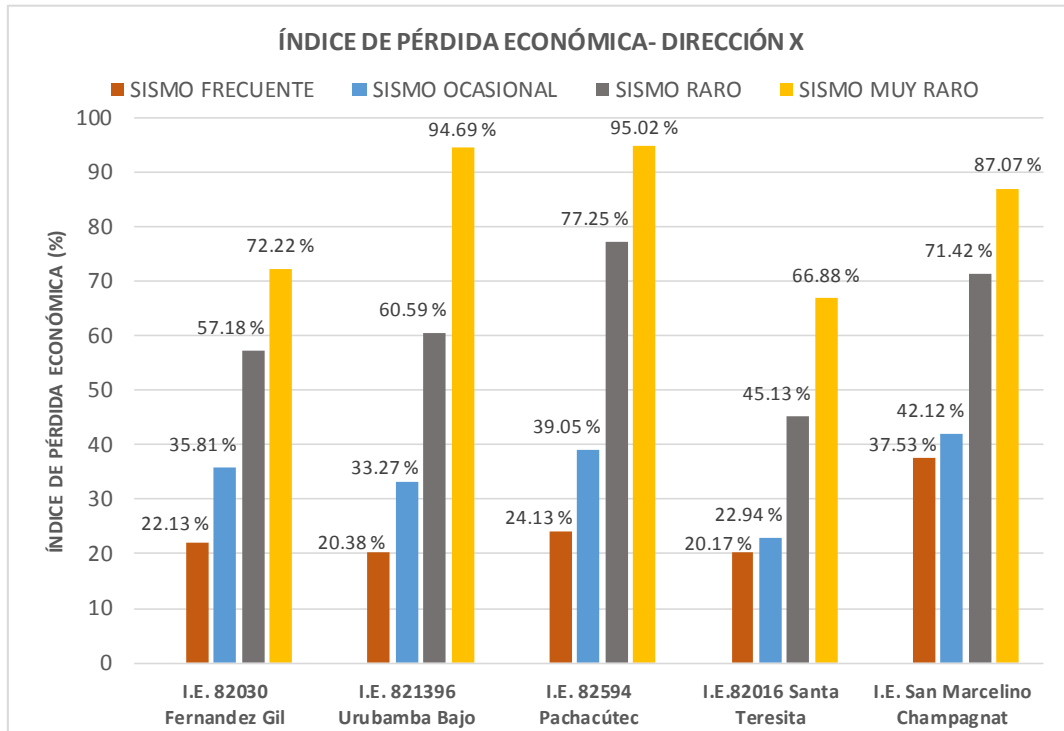


Figura 3.91: Gráfico del índice de pérdida económica calculado para las instituciones educativas analizadas para los sismos de diseño dirección "x"

C.2 ÍNDICE DE PÉRDIDA ECONÓMICA DIRECCIÓN Y

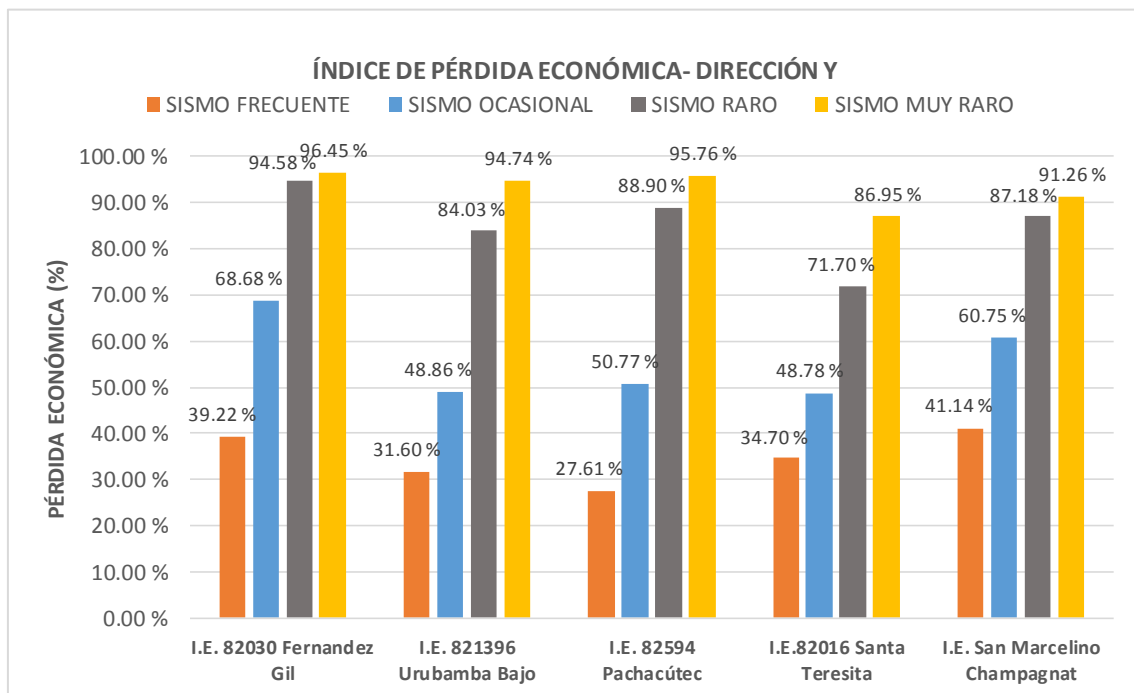


Figura 3.92: Gráfico del índice de pérdida económica calculado para las instituciones educativas analizadas para los sismos de diseño dirección "x"

D) ÍNDICE DE FUNCIONALIDAD

D.1 ÍNDICE DE FUNCIONALIDAD DIRECCIÓN X

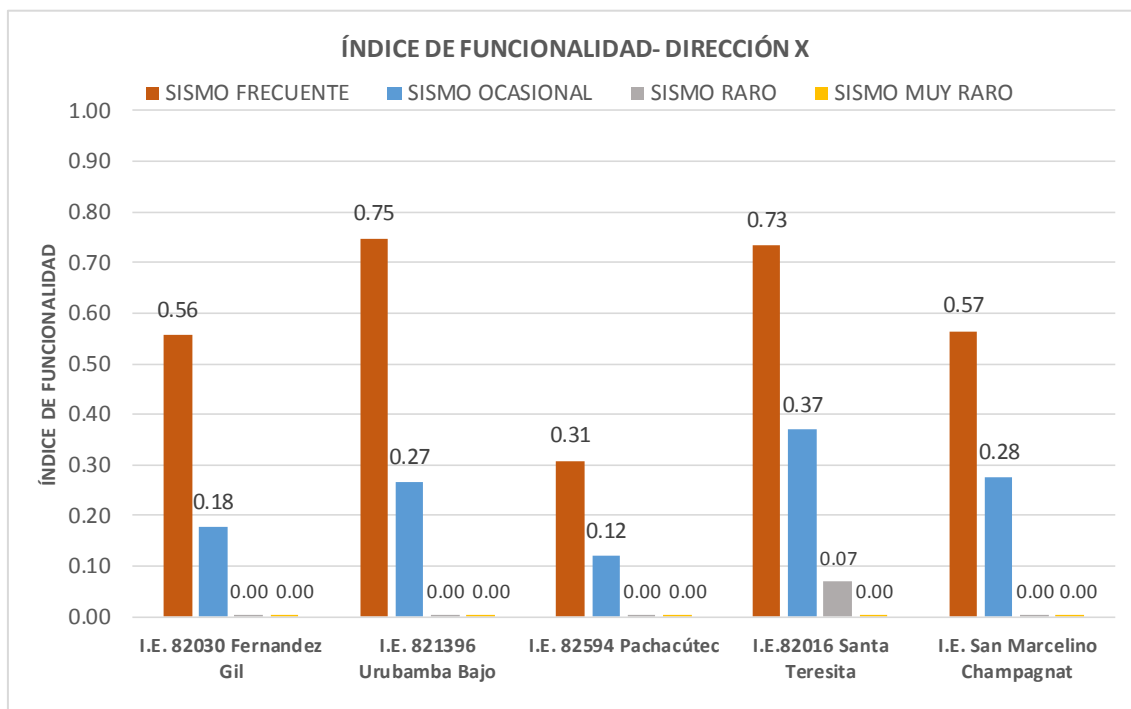


Figura 3.93: Gráfico del índice de funcionalidad calculado para las instituciones educativas analizadas para los sismos de diseño dirección “x”

D.2 ÍNDICE DE FUNCIONALIDAD DIRECCIÓN Y

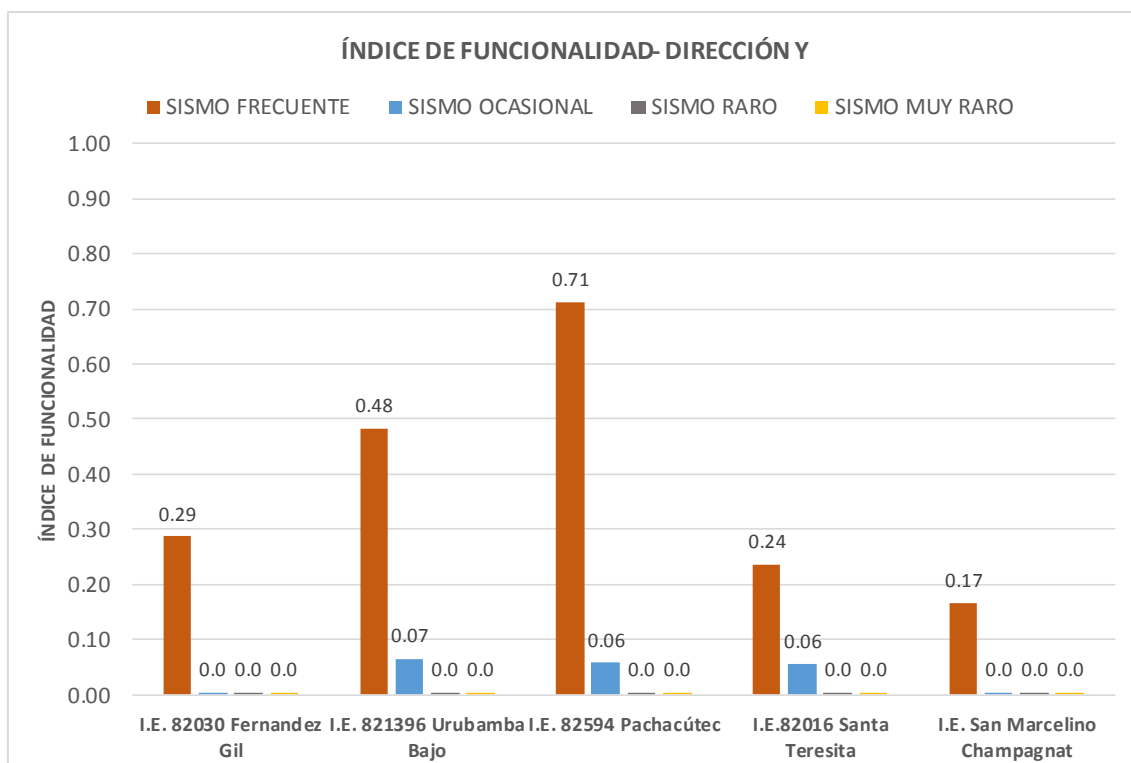


Figura 3.94: Gráfico del índice de funcionalidad calculado para las instituciones educativas analizadas para los sismos de diseño dirección “y”

E) TIEMPO DE RECUPERACIÓN

E.1 TIEMPO DE RECUPERACIÓN DIRECCIÓN X

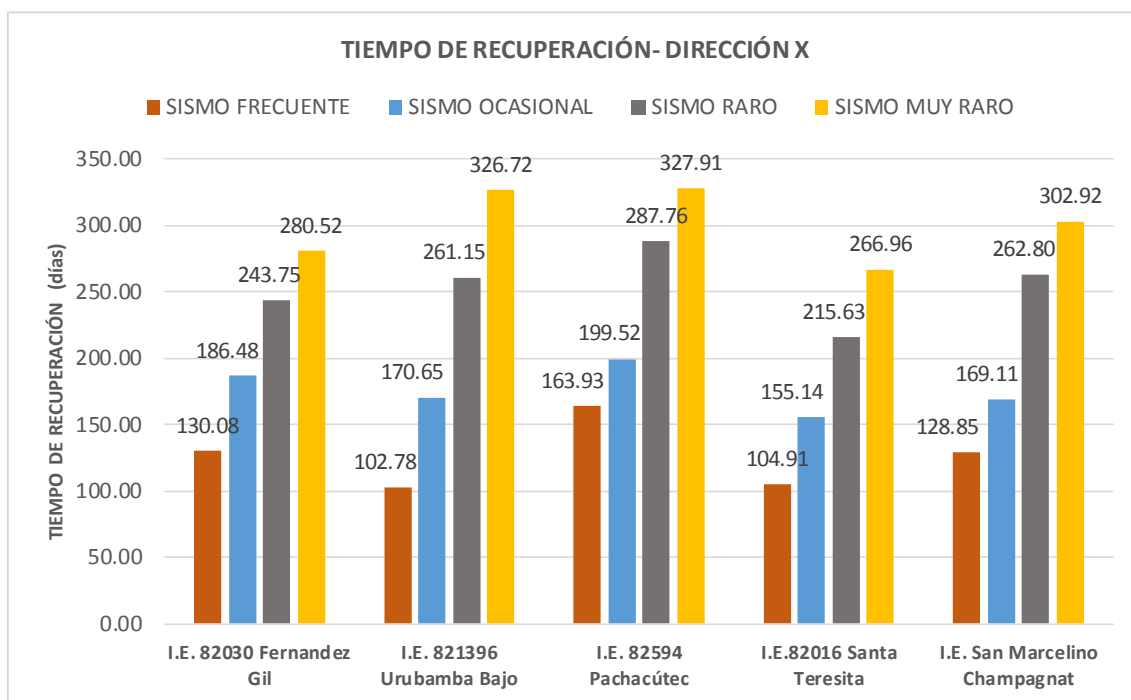


Figura 3.95: Gráfico del tiempo de recuperación estimado para las instituciones educativas analizadas para los sismos de diseño dirección “x”

E.2 TIEMPO DE RECUPERACIÓN DIRECCIÓN Y

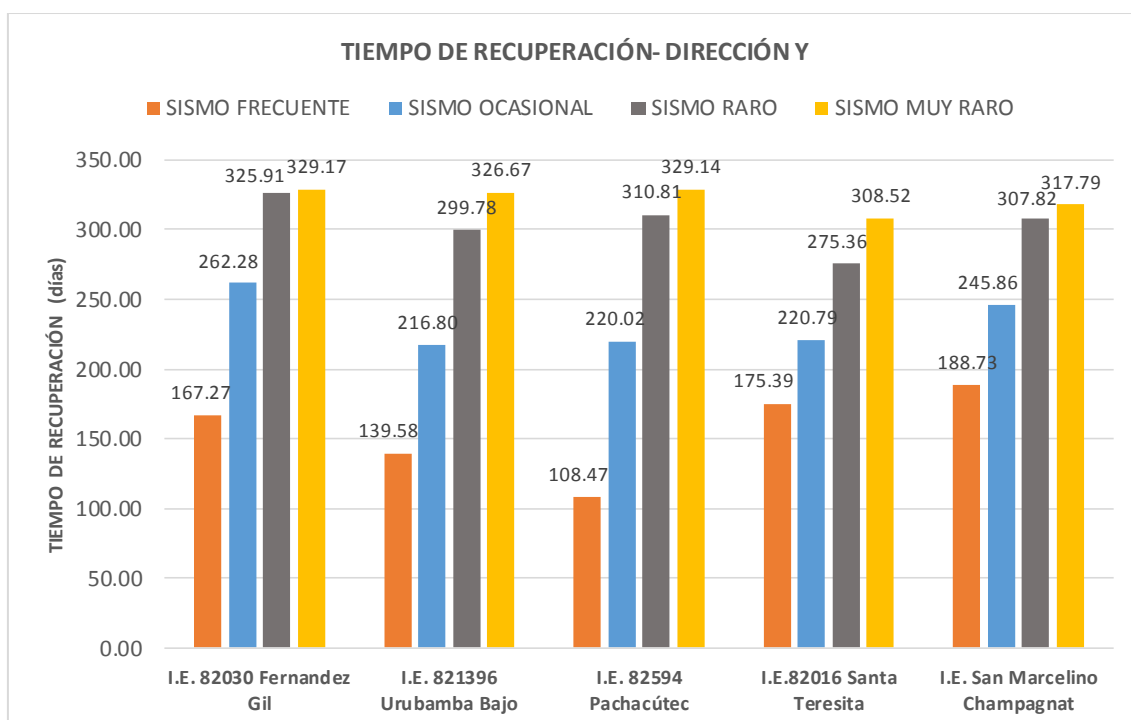


Figura 3.96: Gráfico del tiempo de recuperación estimado para las instituciones educativas analizadas para los sismos de diseño dirección “y”

CAPÍTULO IV: ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 NIVELES DE DESEMPEÑO ALCANZADOS

4.1.1 Niveles de desempeño alcanzados para la dirección X

La figura 3.87 muestra que para el sismo frecuente la mayoría de escuelas alcanzan el comportamiento esperado: Totalmente operacional, es decir que no ocurren daños del tipo esencial, sólo las instituciones educativas Fernández Gil y Pachacútec no alcanzan este nivel de comportamiento por lo que serían menos seguras.

Asimismo, para el sismo ocasional ninguna edificación alcanza el nivel esperado: Totalmente operacional. En general todas las escuelas alcanzan el nivel Operacional, lo cual indica menos seguridad y daños ligeros en elementos estructurales. Luego, para el sismo raro se observa que sólo la institución educativa Santa Teresita alcanza el comportamiento esperado: Operacional, pues las otras edificaciones no se comportan adecuadamente, siendo el caso más grave el de la escuela Pachacútec que alcanza el nivel de Prevención de colapso, entendiéndose que su estructura queda comprometida para ese sismo y es la menos segura.

Para el sismo muy raro la figura 3.87 muestra que las escuelas Fernández Gil y Santa Teresita alcanzan el nivel esperado: seguridad de vida, por lo que se asume habrán daños importantes en sus estructuras, pero se garantiza la seguridad de los ocupantes. Sin embargo, esto no ocurre con las edificaciones restantes ya que ingresan al nivel de colapso siendo altamente inseguras, especialmente las escuelas Urubamba Bajo y Pachacútec.

En general la tabla 3.87 muestra que la institución educativa que más se acerca a los objetivos de comportamiento esperado es Santa Teresita, pues solo es deficiente para el sismo ocasional. Por el contrario, la edificación que menos cumple con los objetivos de comportamiento es la escuela Pachacútec, observándose que colapsaría para un sismo muy raro.

4.1.2 Niveles de desempeño alcanzados dirección Y

De acuerdo a la figura 3.88, sólo la escuela Pachacútec alcanza el comportamiento esperado para el sismo frecuente, las escuelas restantes se encuentran en el rango operacional por lo que podrían desarrollar daños ligeros en sus estructuras. Para el caso del sismo ocasional se observa que ninguna institución educativa cumple con el objetivo de comportamiento: Totalmente operacional.

Igualmente, se aprecia que las escuelas Urubamba Bajo, Pachacútec y Santa Teresita llegan al nivel operacional, comportándose inadecuadamente. Más aún, las escuelas Fernández Gil y San Marcelino Champagnat alcanzan el nivel de seguridad de vida para el sismo frecuente, quedando comprometidas sus estructuras debido a la degradación de la rigidez lateral y pérdida de capacidad resistente del sistema.

Por otro lado, con respecto al sismo raro, ninguna escuela cumple con los objetivos de comportamiento. Es así que la escuela Santa Teresita se muestra dentro del rango de seguridad de vida cuando debería mantenerse operacional. Peor es el caso de las escuelas Fernández Gil, Pachacútec y Champagnat ya que para el sismo raro se encuentran en el rango de colapso, siendo altamente inseguras. Asimismo, para el caso del sismo muy raro es notable que todas las escuelas se encuentran en zona de colapso, cuando de acuerdo al SEAOC deberían alcanzar al menos en nivel de seguridad de vida.

Luego, pese a que ninguna de las edificaciones estudiadas se acerca a cumplir con los objetivos de comportamiento definidos por el SEAOC, la escuela que mejor desempeño muestra es Santa Teresita ya que recién alcanza el colapso en el sismo muy raro. Las escuelas que se muestran menos seguras son Fernandez Gil y San Marcelino Champagnat, pues colapsan a partir del sismo raro. Cabe agregar que la escuela San Marcelino Champagnat es la única de tres niveles, por lo que sus desplazamientos y, por tanto, sus niveles de comportamiento tienden a ser mayores.

En resumen, analizando las figuras 3.87 y 3.88, se observa que para la dirección “y” (la más corta) el comportamiento alcanzado por las instituciones educativas es inferior al alcanzado en la dirección “x”. Esto sin duda, indica la necesidad de considerar el diseño de las edificaciones escolares usando un sistema dual

(pórticos y muros estructurales) como lo señala la N.T. E.030, en la tabla n°6 (Vivienda, 2016) para edificaciones categoría A2 ubicadas en zona sísmica 3, ya que de esta manera se garantiza el aumento de la rigidez y resistencia en la dirección menos favorable, mejorando el comportamiento sísmico.

4.2 GRADO DE DAÑO MEDIO NORMALIZADO

4.2.1 Grado de daño medio normalizado dirección X

La figura 3.89 se observa que para el sismo frecuente todas las edificaciones presentan un grado de daño medio normalizado inferior a 0.50, siendo las escuelas Santa Teresita y Urubamba Bajo las que menos daño presentan con 0.30 ambas. En cambio, la escuela Pachacútec es la que mayor daño presenta con 0.47, lo que indica que esta escuela es la menos segura para la dirección “x”.

Para el sismo ocasional tenemos una secuencia parecida ya que la escuela Santa Teresita presenta menos daño con 0.45 y la escuela Pachacútec la que más daño muestra con 0.57. Se agrega que para este sismo ocasional las escuelas restantes tienen un grado de daño medio entre 0.49 y 0.54, lo que muestra un índice semejante para todas.

Con respecto al sismo raro, se observa que nuevamente la escuela Santa Teresita muestra el menor grado de daño medio: 0.62 en comparación con las otras escuelas. De igual modo, la escuela Pachacútec la muestra mayor grado de daño con 0.83. Luego, las escuelas restantes presentan un grado de daño medio que se encuentra entre 0.70 y 0.76.

Acerca del sismo muy raro, se aprecia que la tendencia se mantiene siendo la escuela Pachacútec la edificación con mayor grado de daño: 0.94 y Santa Teresita la escuela con menor grado de daño: 0.74. Se observa además que para esta intensidad de sismo, las escuelas restantes muestran un grado de daño superior a 0.80 lo que indica que las edificaciones colapsarían.

En general la figura 3.89 muestra que a partir del sismo raro todas las escuelas muestran un grado de daño superior a 0.50 lo que significa que son poco seguras para sismos intensos.

4.2.2 Grado de daño medio normalizado dirección Y

De acuerdo a la figura 3.90, se muestra que el grado de daño medio normalizado aumenta con cada sismo de diseño para todas las instituciones educativas estudiadas. Asimismo, se observan valores más altos de grado de daño que los obtenidos para la dirección “x”. Para el sismo frecuente se aprecia que la escuela que menos daño alcanza es Pachacútec con un valor de 0.31 y la que mayor daño presenta es la escuela San Marcelino Champagnat con 0.54. Luego, las escuelas restantes muestran valores entre 0.40 y 0.51, los cuales para un sismo frecuente son elevados.

En adición, para el sismo ocasional se observa que las escuelas Urubamba Bajo, Pachacútec y Santa Teresita presentan valores similares aunque altos de 0.62, 0.63 y 0.64 respectivamente. La escuela que presenta mayor daño es Fernández Gil con 0.76. Luego, para el sismo raro, se aprecia que Santa Teresita alcanza el menor valor de 0.79 y Fernández Gil alcanza el mayor valor de 0.94. Es importante notar que con un valor de 0.76 de grado de daño medio la edificación puede considerarse como insegura y entraría en zona de colapso.

Finalmente, para el sismo muy raro se aprecian valores muy altos de grado de daño medio para todas las escuelas estudiadas, siendo el mínimo valor de 0.89 correspondiente a Santa Teresita y el máximo de 0.95 correspondiente a Fernández Gil y Pachacútec. Dichos valores indican que las indican que las estructuras colapsan para esa intensidad sísmica.

4.3 INDICE DE PÉRDIDA ECONÓMICA

4.3.1 Índice de pérdida económica dirección X

La figura 3.91 muestra que el índice de pérdida económica aumenta con cada sismo de diseño, siendo menor para el sismo frecuente y bastante alto para el sismo muy raro. Respecto a ello, se observa que para el sismo frecuente las edificaciones tendrán una pérdida económica mínima del 20.17% para la escuela Santa Teresita y una pérdida máxima de 37.53% para la escuela San Marcelino Champagnat, con excepción de esa última escuela, las demás presentan valores similares de pérdida económica.

En cuanto al sismo ocasional el porcentaje de pérdida económica aumenta en general para todas las escuelas. La escuela Santa Teresita muestra el menor valor con 22.94% y nuevamente Champagnat muestra el mayor valor de pérdida con 42.12%. Los valores restantes fluctúan entre 33% y 39%. Para el sismo raro se aprecia que el índice de pérdida económica aumenta considerablemente alcanzando un máximo de 77.25% el que corresponde a la escuela Pachacútec y un mínimo de 45.13%, que pertenece a la escuela Santa Teresita. Los valores de las escuelas restantes varían desde 57.18% hasta 71.42%, los cuales son resultados altos e indican que las estructuras entrarían en zonas cercanas al colapso.

Para el sismo muy raro se observan valores muy altos de pérdida económica cercanos al 100% como el caso de las escuelas Fernández Gil y Pachacútec, con valores de 96.45% y 95.02% respectivamente. Ello indica que las estructuras colapsan para este evento sísmico ya que se pierde casi la totalidad del porcentaje del valor de reposición del edificio. La escuela que presenta menor pérdida es Santa Teresita con 66.88%.

4.3.2 Índice de pérdida económica dirección Y

En la figura 3.92 se observa que el índice de pérdida económica aumenta conforme se incrementa la intensidad sísmica, siendo bastante elevado para un sismo muy raro.

Para el sismo frecuente la gráfica muestra valores de pérdida económica mayores que los obtenidos para la dirección “x”, siendo el mínimo de 27.61% alcanzado por la escuela Pachacútec y el máximo 41.14% alcanzado por la escuela San Marcelino Champagnat. Los valores de las escuelas restantes varían de 31% a 39%.

Respecto al sismo ocasional los resultados obtenidos también son mayores que los valores para la dirección “x”. Se observa que la escuela Fernández Gil alcanza el valor más alto con 68.68% y la escuela Santa Teresita el valor menor con 48.78%. Se agrega que un índice de 68.68% de pérdida económica para un sismo ocasional, es decir, de moderada intensidad, es un indicador de baja seguridad sísmica.

En cuanto al sismo raro, se tiene que la escuela Santa Teresita muestra el menor valor con 71.70% y Fernández Gil el valor máximo con 94.58%. Los índices obtenidos para las escuelas restantes son altos y fluctúan desde 84% hasta 89%. Cabe agregar que los valores de pérdida económica son altos, pero son coherentes con los valores de comportamiento y grado de daño medio detallados en páginas anteriores.

Acerca del sismo muy raro, se observa que la escuela Santa Teresita tiene el menor índice de pérdida económica con 86.95% y Fernández Gil el valor máximo con 96.45%. Las otras escuelas presentan valores de pérdida económica entre 90% y 95%. Todos estos índices son altos y muestran que las edificaciones colapsan para el sismo muy raro.

4.4 ÍNDICE DE FUNCIONALIDAD

4.4.1 Índice de funcionalidad dirección X

La figura 3.93 muestra que para el caso del sismo frecuente se alcanzan valores más altos de funcionalidad debido a la baja intensidad de la sollicitación sísmica. Así, la escuela que presenta mayor funcionalidad luego de un sismo frecuente es Urubamba Bajo con 0.75 y muy de cerca Santa Teresita con 0.73, en cambio la escuela que presenta menor funcionalidad es Pachacútec con 0.31.

En cuanto al sismo ocasional es apreciable que la funcionalidad se reduce drásticamente, siendo el valor más alto de 0.37 correspondiente a la escuela Santa Teresita y el valor más bajo de 0.12 que pertenece a la escuela Pachacútec. Las escuelas restantes tienen valores dispersos de funcionalidad que van desde 0.18 hasta 0.28.

Para el sismo raro, la figura 3.93 muestra que la mayoría de las edificaciones pierde completamente la funcionalidad con un resultado de 0.00, salvo Santa Teresita que alcanza un valor de 0.07. Se puede afirmar que la pérdida total de funcionalidad está relacionada con el nivel de comportamiento visto en la figura 4.63, ya que la mayoría de edificaciones entran en zona de seguridad de vida que significa que las instalaciones quedan fuera de servicio y requieren reparaciones importantes.

Finalmente, para el sismo muy raro se observa que las edificaciones en su totalidad pierden la funcionalidad. Esto demuestra que un evento sísmico de alta intensidad afectaría considerablemente las edificaciones escolares llevándolas al colapso.

4.4.2 Índice de funcionalidad dirección Y

En la figura 3.94 se observa el índice de funcionalidad calculado para las instituciones educativas en la dirección “y”. Es apreciable que para el sismo frecuente las escuelas muestran mayor índice de funcionalidad debido a que es el sismo menos intenso. Así, la escuela Pachacútec muestra la mayor funcionalidad con 0.71, mientras que la escuela San Marcelino Champagnat presenta baja funcionalidad con 0.17.

Para el caso del sismo ocasional, es notable que el índice de funcionalidad disminuye considerablemente siendo nulo para las escuelas San Marcelino Champagnat y Fernández Gil. Asimismo, para la escuela Urubamba Bajo alcanza como máximo 0.07. Estos valores bajos muestran que las edificaciones aún para un sismo ocasional son inseguras.

Respecto al sismo raro y sismo muy raro los resultados se observa que son los mismos, es decir, se tiene un índice de funcionalidad nulo para todas las escuelas estudiadas. Estos valores obtenidos reflejan claramente los encontrados para el nivel de desempeño en la dirección “y” de la figura 3.85, ya que todas las edificaciones entran en el rango de colapso para sismos intensos, teniendo como resultado una funcionalidad nula.

4.5 TIEMPO DE RECUPERACIÓN

4.5.1 Tiempo de recuperación dirección X

La figura 3.95 se puede observar que para el sismo frecuente el tiempo de recuperación en la mayoría de los casos es inferior a 150 días, siendo la escuela Urubamba Bajo la que requiere menor tiempo de recuperación con 102.78 días y la escuela Pachacútec la que requiere mayor tiempo con 163.93 días.

Para el caso del sismo ocasional el tiempo de recuperación estimado aumenta para todas las escuelas llegando a un máximo de 199.52 días para la escuela Pachacútec

y un mínimo de 155.14 días para la escuela Santa Teresita. Además se observa que para las otras escuelas, el tiempo de recuperación no supera los 187 días.

Respecto al sismo raro se muestra un aumento considerable del tiempo de recuperación para todas las escuelas estudiadas. Nuevamente se observa que la escuela Pachacútec es la edificación que requiere mayor tiempo de recuperación con 287.76 días, esto es coherente ya que esta variable está directamente relacionada con el grado de daño medio normalizado, y como se vio en la figura 4.68, la escuela Pachacútec muestra el mayor grado de daño para un sismo raro. Lo mismo sucede para la escuela Santa Teresita que presenta menor tiempo de recuperación con 275.36 días.

En cuanto al sismo muy raro, la tendencia se mantiene pues el tiempo de recuperación aumenta para todas las escuelas llegando a un máximo de 329.17 para la escuela Fernández Gil y 329.14 para la escuela Pachacútec. Se resalta que estos tiempos son muy próximos al tiempo máximo sugerido por el FEMA 227 que es 346.93 días y coincide con lo visto en la tabla 3.86 ya que el grado de daño medio normalizado es próximo a 1, e cual es la valor máximo posible.

4.5.2 Tiempo de recuperación dirección Y

En la figura 3.96 se puede notar que para el sismo frecuente el tiempo de recuperación máximo es de 188.73 días y corresponde a la escuela San Marcelino Champagnat, por otro lado el tiempo mínimo es de 108.47 y pertenece a la escuela Pachacútec. Los tiempos de las escuelas restantes no superan los 176 días.

Acerca del sismo ocasional la figura muestra que el tiempo de recuperación aumenta. Para este caso, la escuela Fernández Gil alcanza el tiempo de recuperación más alto de 262.28 días, el cual puede considerarse como un tiempo elevado para un sismo de poca intensidad, inclusive el tiempo mínimo de 202.02 alcanzado por la escuela Pachacútec puede considerarse como un valor alto para esta sollicitación sísmica.

En cuanto al sismo raro se puede notar que el tiempo de recuperación aumenta y es bastante elevado, siendo en algunos casos superior a los 300 días. Así, la escuela Fernández Gil llega a un tiempo de 325.91 días, resultado que está directamente

relacionado con el grado de daño medio normalizado de la figura 3.87. La escuela que presenta menor tiempo de recuperación para este sismo es Santa Teresita.

Respecto al sismo muy raro, se han estimado valores muy altos de tiempo de recuperación cercanos al valor máximo que sugerido por el FEMA 227 que es 346.96 días. Se observa entonces la deficiente seguridad sísmica que ofrecen las instituciones educativas estudiadas para la dirección “y”, ya que ese tiempo elevado de recuperación indica que las estructuras entrarían en zona de colapso, que es justamente lo determinado en la figura 4.64 para los niveles de comportamiento de las edificaciones.

Cabe agregar que, como se mencionó en la capítulo II, estos valores corresponden a una primera estimación que luego bien pueden ser calibrados y discutidos en el contexto local, ello con el fin de identificar el periodo que puede tardar un determinado tipo de instalación en recuperarse después del daño sufrido por un evento sísmico probable.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Seguridad sísmica

- El nivel de seguridad sísmica alcanzado es diferente para cada sismo de diseño. La hipótesis planteada al principio se valida para el sismo frecuente y en menor medida para el sismo ocasional. Esto debido a que sólo se cumplen algunos objetivos de comportamiento del SEAOC y los índices de pérdida estimados son mayormente inferiores a la media de cada uno. Así, se puede afirmar que se alcanza un nivel de seguridad sísmica medio para los sismos mencionados.

No obstante, para los sismos raro y muy raro el nivel de seguridad sísmica es bajo, debido a que no se cumplen los objetivos de desempeño del SEAOC. Igualmente, los índices de pérdida estimados están muy cerca de sus límites máximos (mínimos para el caso de la funcionalidad).

Desempeño

- Los niveles de desempeño sísmico alcanzados por la mayoría de escuelas satisfacen los criterios del SEAOC sólo para el sismo frecuente y algunas escuelas para el sismo ocasional. El comportamiento en general, es mejor para la dirección “x” que para la dirección “y”. No obstante, para el sismo raro y muy raro no se cumplen los objetivos de comportamiento establecidos por el SEAOC en la mayoría de escuelas para la dirección “x” y en todas las escuelas para la dirección “y”.

Curvas de fragilidad

- Las curvas de fragilidad calculadas muestran que para el sismo frecuente y ocasional, hay mayor probabilidad de daño moderado en las escuelas estudiadas. Asimismo, para el caso del sismo raro en la mayoría de escuelas se muestra que es más probable alcanzar el estado de daño extensivo, principalmente en la dirección “y”, donde las probabilidades son más altas. Para el sismo muy raro, todas las curvas de fragilidad muestran que el estado de daño más probable es el de daño completo (colapso).

Grado de daño medio

- El grado de daño medio normalizado es directamente proporcional a la intensidad de cada sismo de diseño. Estos valores aumentan hasta llegar a resultados cercanos a 1 para el sismo muy raro tanto en la dirección “x” como “y”, lo cual indica claramente que las escuelas estudiadas muestran baja seguridad sísmica frente a sismos intensos. Se ha observado que en general para la dirección “x” los datos obtenidos son inferiores a los encontrados para la dirección “y”.

Índice de pérdida económica

- El índice de pérdida económica encontrado es inferior al 50% para el sismo frecuente y para el sismo ocasional para todas las escuelas estudiadas en la dirección “x”. Para la dirección “y” los valores aumentan llegando a superar el límite anterior, mostrando menor seguridad sísmica para esa dirección. Por otro lado, para el sismo raro se han obtenido índices cercanos al 70% para la dirección “x” y 95% para la dirección “y” lo cual indica que la seguridad sísmica es deficiente. Más aún, para el sismo muy raro se llegan a obtener valores cercanos al 100% lo que demuestra que las edificaciones colapsarían para esta sollicitación.

Índice de funcionalidad

- El índice de funcionalidad encontrado es inversamente proporcional a la intensidad de los sismos de diseño. Así, se obtuvo valores de funcionalidad mayores para el sismo frecuente en ambas direcciones. Se observó además que el índice de funcionalidad se reduce drásticamente para el sismo ocasional principalmente en la dirección “y”. En adición, para el sismo raro se encontró que casi todas las escuelas tienen un índice de funcionalidad nulo, más aún para el sismo muy raro todas las edificaciones alcanzan un índice de funcionalidad igual a cero, lo que indica la deficiente seguridad sísmica que ofrecen las edificaciones para este tipo de sismo.

Tiempo de recuperación

- El tiempo de recuperación estimado aumenta con la intensidad de cada sismo de diseño en las dos direcciones. Se observaron valores superiores para la dirección “y” respecto de la dirección “x”. Para el sismo frecuente los valores de esta

categoría son inferiores a 160 días en las abscisas. En las ordenadas el valor máximo es de 188.73 días. Asimismo, para el sismo ocasional se observó un aumento considerable en el tiempo de recuperación en ambas direcciones, llegando a un máximo de 262.28 días. Para los sismos raro y muy raro, estos valores siguen aumentando llegando a casi alcanzar el valor máximo sugerido por el FEMA 227: 346.96 días.

Estos resultados altos reflejan lo encontrado en las categorías anteriores, la seguridad sísmica de las escuelas estudiadas es baja para el sismo raro y muy raro, además indica que las edificaciones colapsarían para mencionados sismos.

5.2 RECOMENDACIONES

- Los resultados de las curvas de capacidad pueden mejorarse usando procedimientos más sofisticados como el análisis dinámico incremental (IDA), el adaptative pushover, pushover modal, entre otros. De esta manera, se podrían obtener valores más precisos para desplazamientos y cortantes en la base.
- La tesis realizada puede ser punto de partida para un estudio más integral denominado análisis de resiliencia, el cual emplea funciones de recuperación. Esto puede ser una buena alternativa para investigaciones posteriores en este campo.
- El análisis de pushover realizado corresponde a un análisis determinístico. Una opción para mejorar la precisión de los resultados obtenidos es realizar un análisis probabilístico, considerando categorías que permitan incluir la variabilidad de las características de los elementos estructurales en el proceso de estudio.
- Las edificaciones escolares deben diseñarse usando el análisis de desempeño sismorresistente, para asegurarse que éstas cumplan su función de estructuras esenciales y no pongan en riesgo la vida de las personas.

REFERENCIAS

- Aguiar,R., Mora, D., Rodríguez, R. 2015. Diagrama momento curvatura y momento rotación para elementos de hormigón armado y acero con ASCE/SEI 41 y sistema de computación CEINCI-LAB. *Revista CIENCIA*. 17(2). pp. 201 – 239.
- Aguiar. R. 2004. Espectros sísmicos de riesgo uniforme para verificar desempeño estructural en países sudamericanos. *IMME, Caracas*, v. (42).n.1.pp-29 – 49.
- Aguiar R., y Haro A. 2000. Zonificación Sísmica en Países Bolivarianos. Boletín Técnico. Instituto de Materiales y Modelos Estructurales. Universidad Central de Venezuela. 38(3). pp. 27-41, Caracas.
- ASCE/SEI 41 – 13. 2014. Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings. American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia.
- Astorga, M. y Aguilar, .R. 2006. Evaluación del riesgo sísmico de edificaciones educativas peruanas (Tesis de postgrado).Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.
- Almada, D., Barcena,J., Enciso, M. 2012. Determinación y análisis de la gráfica momento curvatura de diferentes secciones de vigas de concreto reforzado. México, Tecnológico de Monterrey. Disponible en: <http://www.laccei.org/LACCEI2016-SanJose/RefereedPapers/RP228.pdf>
- Andina. 2009. Con más de 76 millones de soles continúa la reconstrucción de colegios en Ica. Universia. Lima, Perú. Disponible en: <http://noticias.universia.edu.pe/en-portada/noticia/2009/02/07/719529/mas-76-millones-soles-continua-reconstruccion-colegios-ica.html>
- ATC (1996). “Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings”. Technical report, ATC-40. Applied Technology Council, Redwood City, California.
- Bolaños, M. 2015. Desempeño Sismorresistente del Edificio 4F de la Universidad Nacional de Cajamarca. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca.
- Cabanillas, J. 2016. Análisis No Lineal Aplicación en Etabs. DISEPRO.
- Computers and Structures. 2016. Etabs software. CSI.
- Coronel, G. y López, O. 2013. Metodología para la estimación de daños por sismos en edificios escolares de Venezuela mediante curvas de fragilidad. *Revista de la facultad de Ingeniería de U.C.V.* (28). pp. 65-86.

- Coronel, G. y Betancourt, N. 2010. Evaluación de Niveles de Riesgo Sísmico en Escuelas de Venezuela Mediante Curvas de Fragilidad. En Boroschek, R. (Presidencia), 10° Congreso Chileno de sismología e ingeniería antisísmica. Congreso llevado a cabo en Valdivia: Santiago – Chile.
- EC 8. 1998. Eurocódigo 8, disposiciones para el Proyecto de estructuras sismorresistentes. UNE- ENV 1998-1-2.
- FEMA 227. A Benefit-Cost Model for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Sacramento, Ca.
- FEMA 274. NEHRP Comentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Washington, D.C.
- FEMA 356. Prestandard and comentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Washington, D.C.
- Guendelman T. 2002. Análisis y Diseño Sísmico de Edificios de Hormigón Armado. Memorias de Seminario dictado en Universidad de La Serena compilado en CD. La Serena.
- INDECI. 2002. Ciudades Sostenibles. Programa de prevención y medidas de mitigación ante desastres de la ciudad de Cajamarca. 1° Ed. Programa de las Naciones Unidas Para el Desarrollo. PUND. Perú: Instituto Nacional de Defensa Civil.
- Hernández, E. 2018. ¿Qué implica el uso de un espectro de diseño inelástico? (en línea). España.1p. Disponible en: <https://www.e-zigurat.com/blog/es/uso-espectro-diseno-inelastico/>.
- INPRES – CIRSOC 103. 1991. 2013. Rglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes. Buenos Aires, Argentina.
- Irizarry, J., Valcárcel, J. Goula y Bosch, A. 2013. Riesgo sísmico de los edificios especiales de Val d’Aran y de los centros educativos de la provincia de Girona. Sistema de información sísmica del Pirineo. España. 163 p. Programme opérationnel Interreg IVA.
- Martínez, J. 2012. Caracterización de la Vulnerabilidad Sísmica utilizando curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño para algunas tipologías estructurales de hormigón armado. Tesis de pregrado. Universidad Austral de Chile. Valdivia.

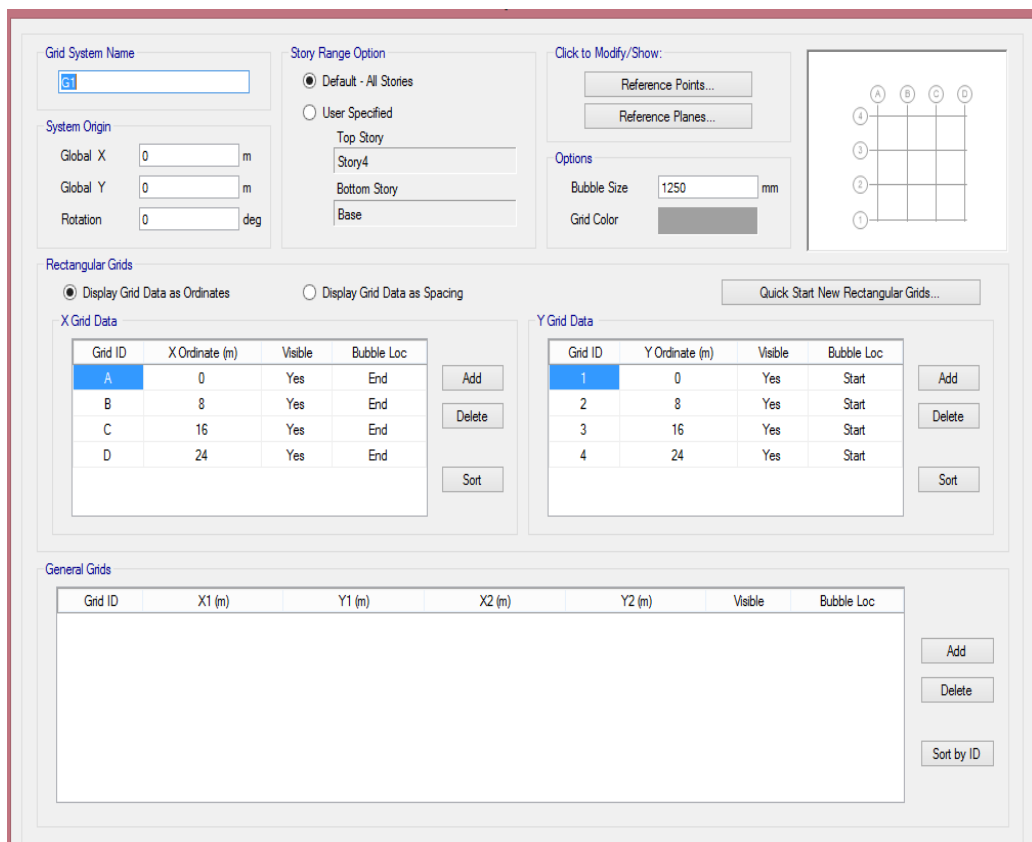
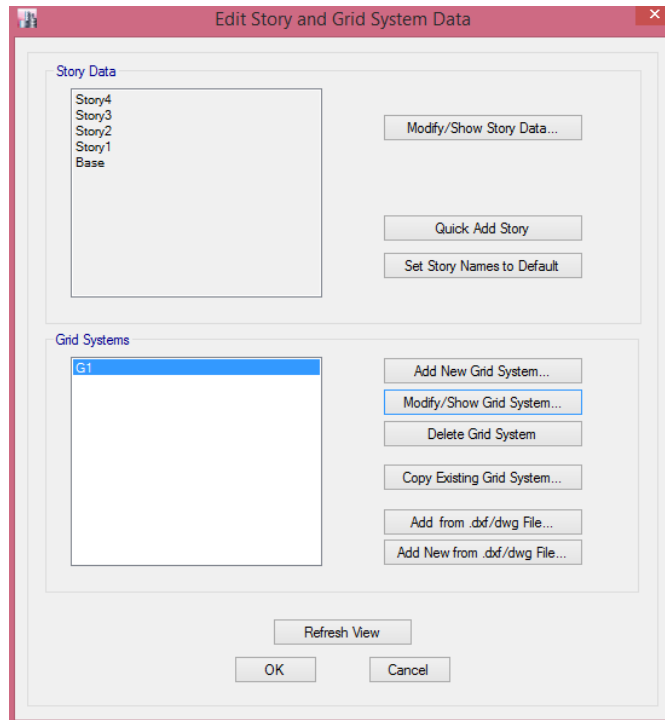
- ESCALE (Estadística de Calidad Educativa). 2018. Servicios Educativos (en línea). Ministerio de Educación. 1p. Disponible en: <http://escale.minedu.gob.pe/>
- Moreno, R y Bairán, J. 2011. Evaluación sísmica de edificios de mampostería típicos de Barcelona aplicando la metodología de Risk- UE. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para cálculo y diseño en ingeniería*. 28(3).pp. 161 – 169.
- RNE. 2016. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, E.030 “Diseño Sismo resistente”. Decreto supremo N° 003 – 2016- Vivienda. Lima.
- Newmark, N. M., Hall, W. J. (1982). *Earthquake Spectra and Design, monograph*. Berkeley, California: Earthquake Engineering Research Institute (EERI). Print.
- PRIESTLEY, M. J. N. Performance based seismic design. 12th World Conference on Earthquake Engineering. Paper No. 2831. Nueva Zelanda, 2000.
- Rojas, R. 2010. Curvas de Fragilidad Sísmica para Edificios Aportricados de Concreto Reforzado de Poca Altura. Tesis de pregrado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Saavedra, C. 2018. Método del pushover, análisis estático no lineal. Venezuela. 1p. Disponible en: <https://saavedraonline.wordpress.com/2018/05/30/metodo-del-pushover-analisis-estatico-no-lineal-webinar/>
- SEAOC (1995). A Framework for performance based design. Vision 2000 Committee. Structural Engineers Association of California, Sacramento California.
- Technical Manual "Multi-hazard Loss Estimation Methodology. Earthquake Model". Department of Homeland Security. FEMA. Mitigation Division. Washington, D.C, HAZUS-MH 2.1 2003.
- Vargas, Y., Pujades, L. Barbat, A. y Hurtado, J. (2011). Evaluación probabilista de capacidad, fragilidad y daño sísmico de edificios de hormigón armado. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para el cálculo y Diseño en Ingeniería*. 29(2). pp.63 – 78.
- Velásquez, J. 2006. Estimación de pérdidas por sismo en edificios peruanos usando Curvas de Fragilidad analíticas (Tesis de postgrado). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.

- Vielma, C., Barbar, A. y Oller, S. 2007. Curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño de edificios de concreto armado con ductilidad limitada. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*. 7(2-3). Pp. 273-287.
- Valcárcel, A. 2013. Análisis y Gestión del Riesgo Sísmico de Edificios y Sistemas Esenciales. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.
- Tavera, H., Bernal, I. et. al. 2014. Re-evaluación del peligro sísmico probabilístico para el Perú. *Proyecto en cooperación con el Banco Mundial- IGP. Lima*.
- Zabala, A. 2017. Modelado y análisis pushover de la respuesta sísmica de estructuras de acero. Tesis de maestría. Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena.

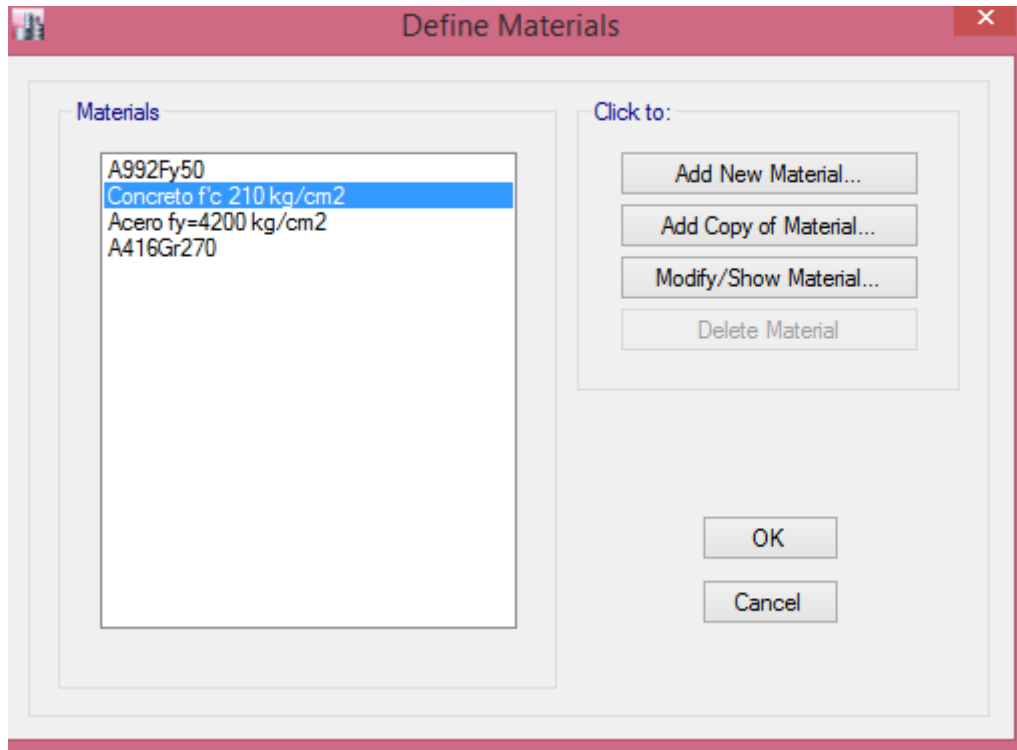
ANEXO 01

PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACIÓN DEL ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL CON EL PROGRAMA ETABS v.16

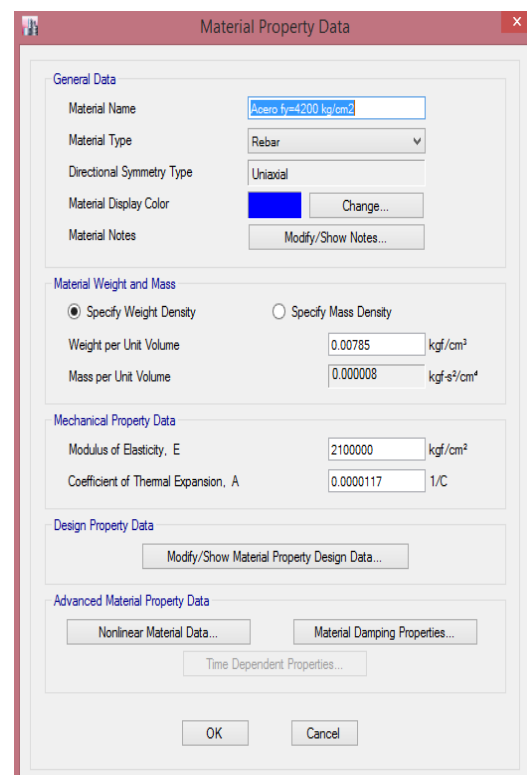
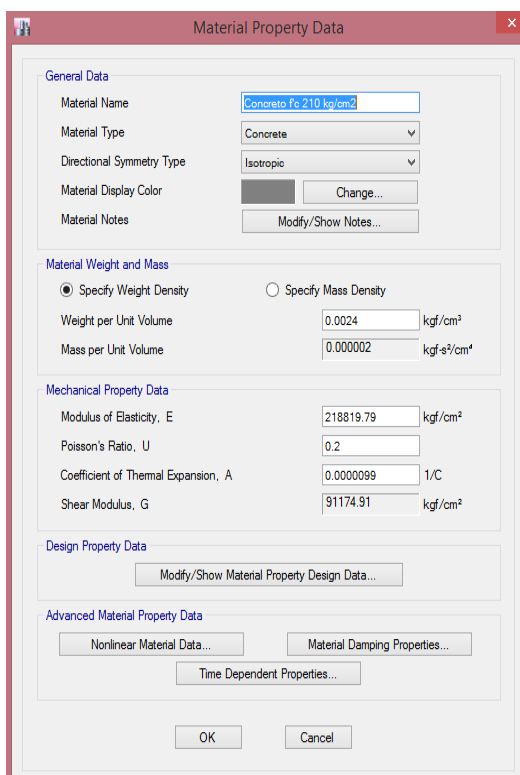
1. Se crea el sistema de coordenadas en los tres ejes de acuerdo a los planos.



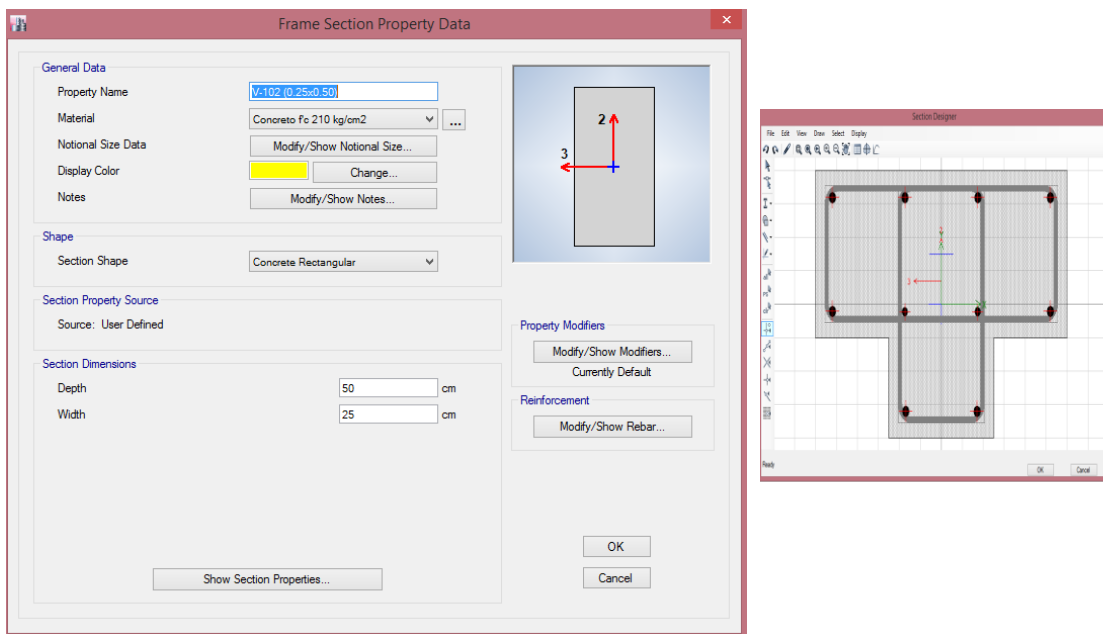
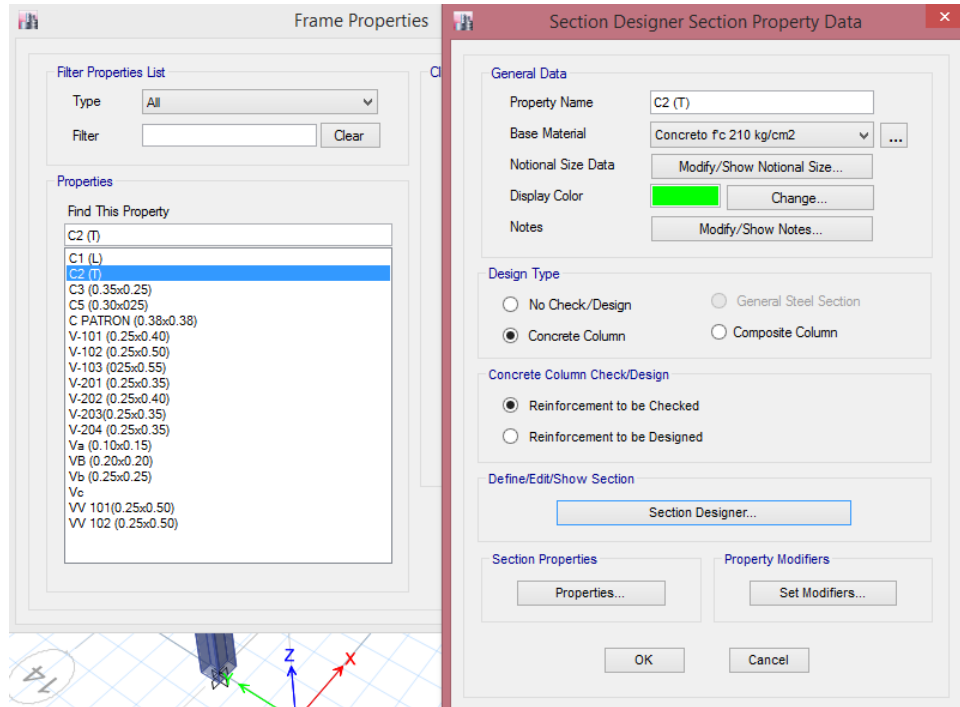
2. Ahora se definen los materiales y sus propiedades. Entramos en *define* y luego en *materials*. Se agregan nuevos materiales: concreto y acero.



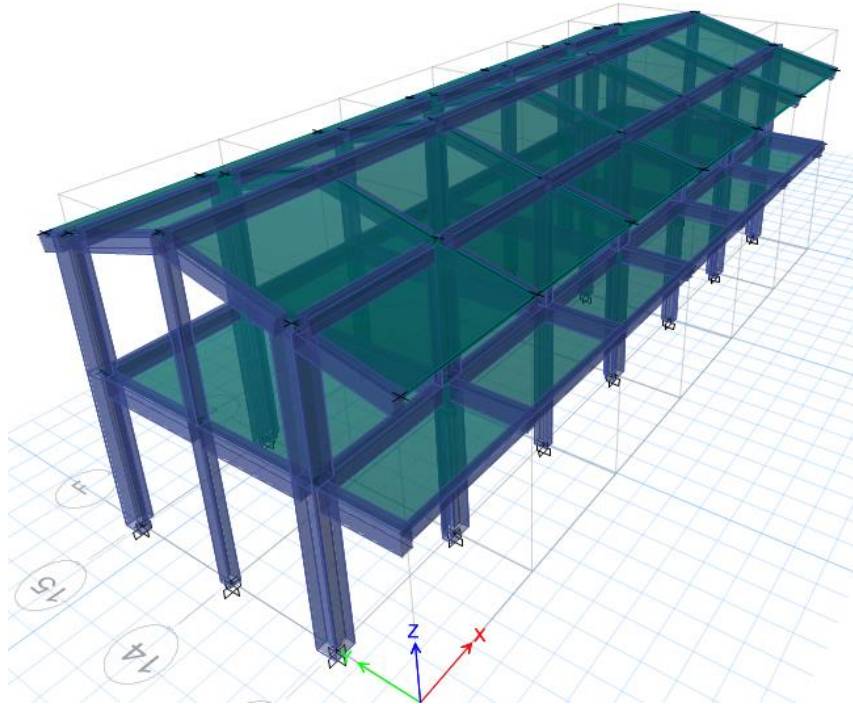
3. Se definen las propiedades del concreto y del acero.



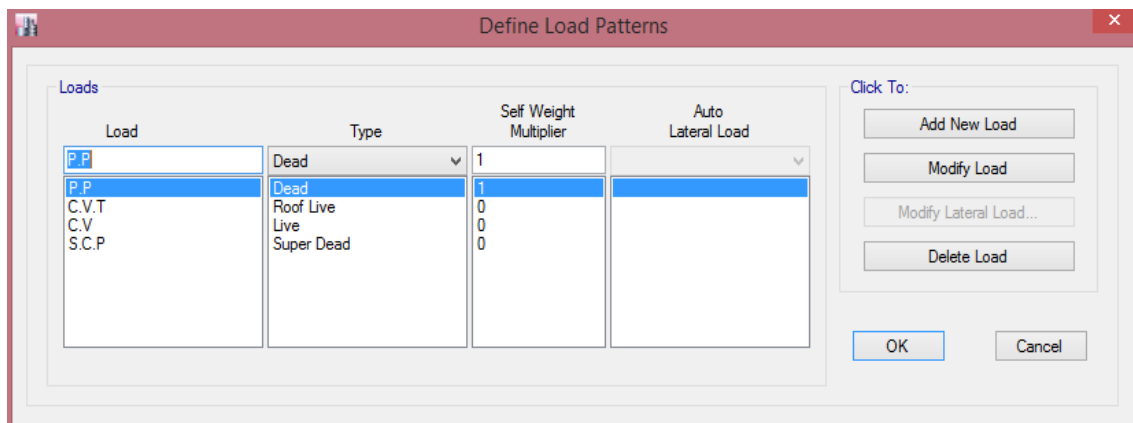
4. Se definen las secciones de los elementos estructurales, tanto vigas como columnas.



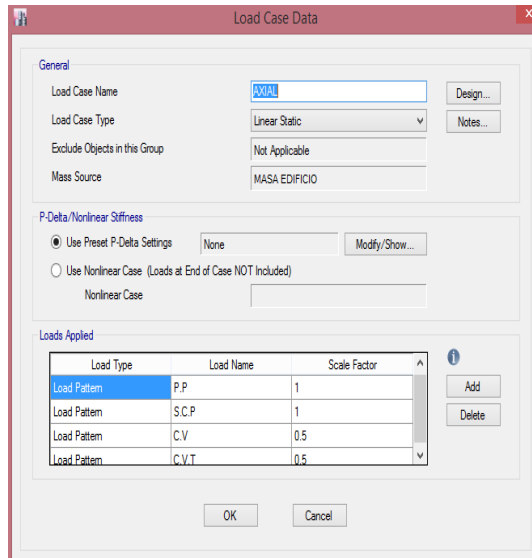
5. Se crea el modelo de la estructura, dibujando los elementos estructurales.



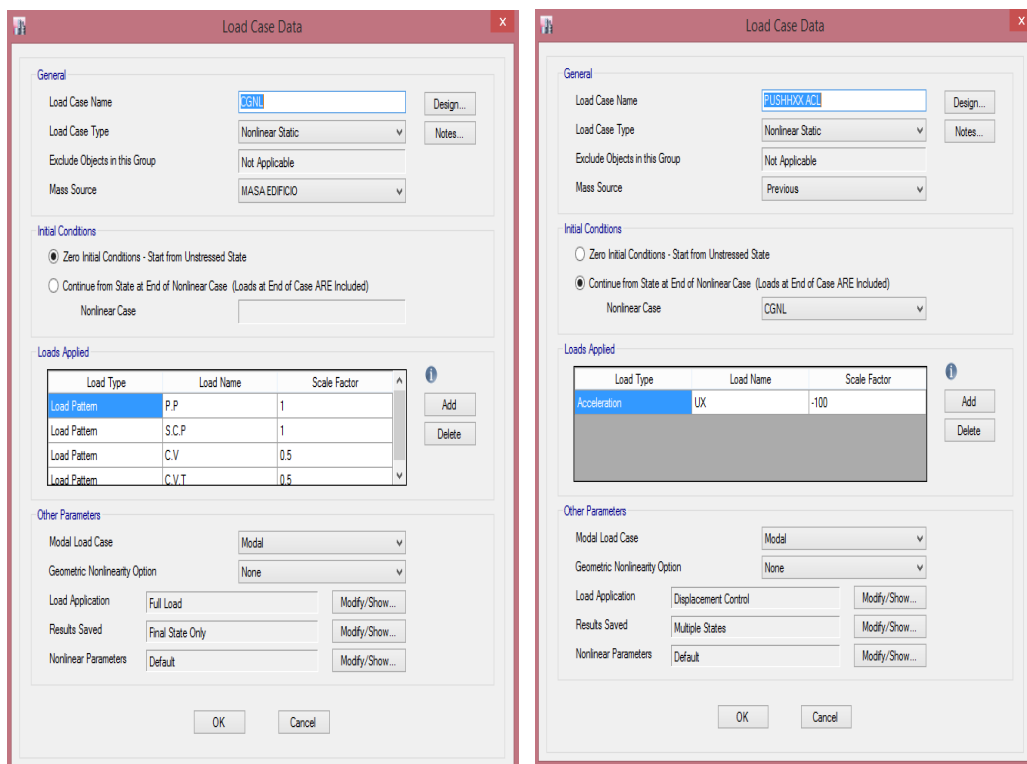
6. Una vez definidas todas las secciones de los elementos estructurales tanto para vigas como para columnas se procede a definir los patrones de carga: peso propio (PP), sobrecarga permanente (SCP), carga viva (CV), carga viva de techo (CVT). Para ello, se elige la opción *define – load patterns*.



7. Con base en los patrones de carga se definen los casos de carga. Para la realización del pushover definimos tres casos de carga: AXIAL, CGNL Y PUSHACL. Ingresamos en la opción *define – load cases*.



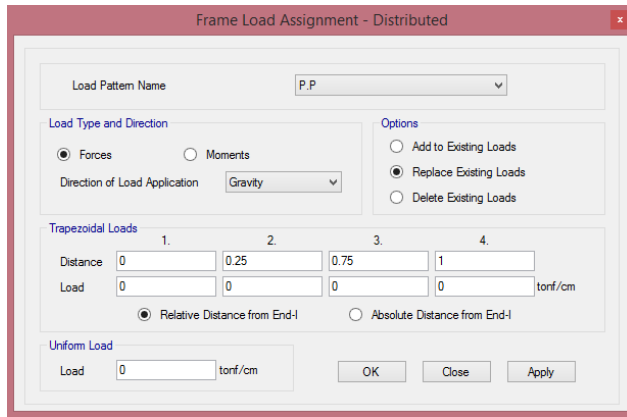
8. La carga AXIAL se define porque sus resultados servirán para calcular las rótulas plásticas de las columnas usando las cargas axiales que soportan.



9. La carga gravitacional no lineal se crea con el criterio de *full load* y *final state only*. usando la masa definida de acuerdo a lo especificado en la norma técnica E.030 – 2016.

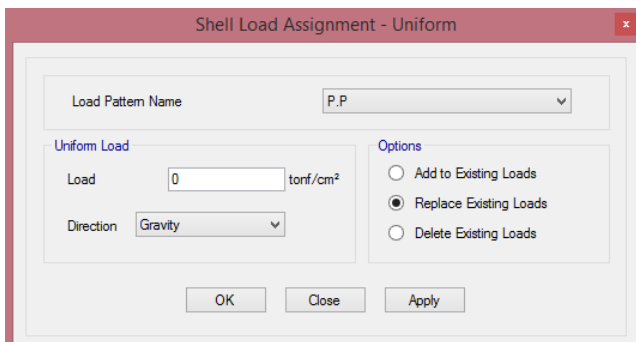
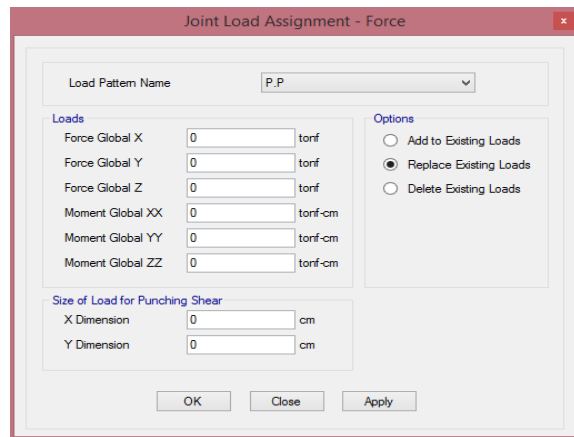
10. El caso de carga PUSHHACL se define utilizando el caso de carga CGNL como condición inicial y empleando un *load type* del tipo aceleración. Para la aplicación de la carga se usa el criterio *displacement control* definiendo un punto para el *monitored displacement*, el cual en este caso se ha considerado como 50 cm.

11. Se procede a asignar las cargas a los elementos estructurales. Para ello, se deben seleccionar los elementos a asignar, luego se elige la opción de la barra menú principal *assign-frame loads*. De acuerdo al tipo de carga que se desea asignar se puede usar *point* para cargas puntuales, *distributed* para cargas distribuidas. La asignación de cargas puede ocurrir en puntos (*joins*), barras (*frames*) y elementos área (*shell, wall*).



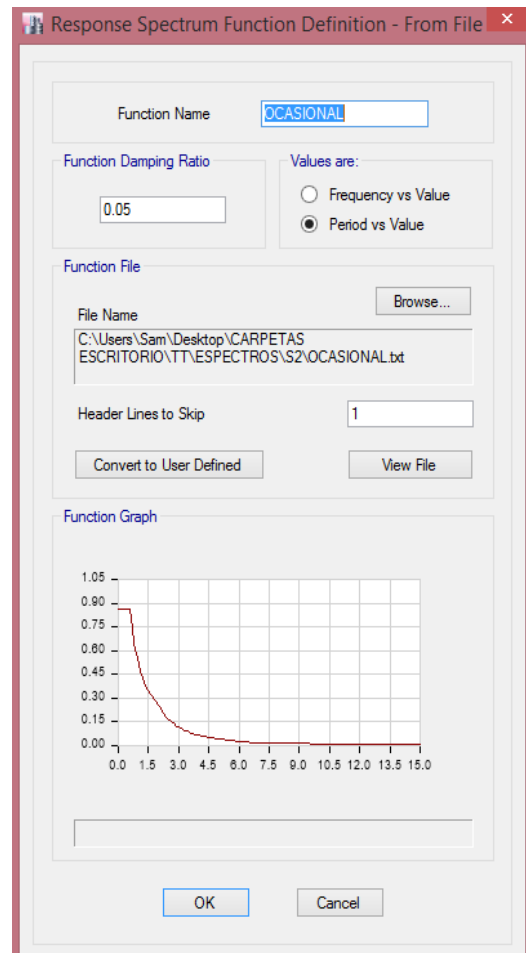
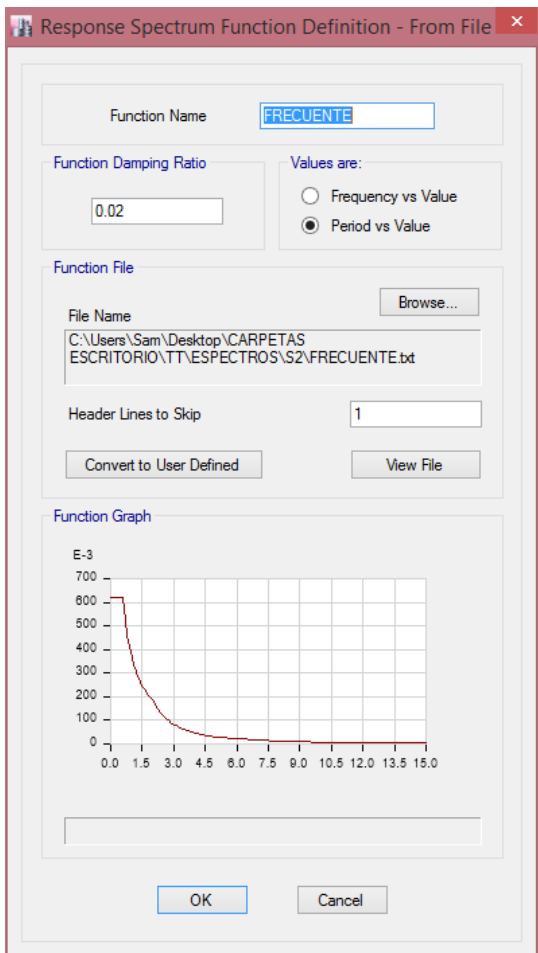
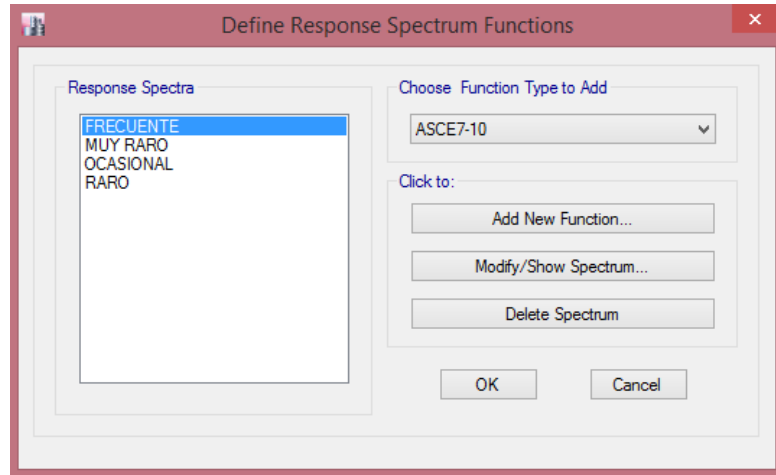
← Cargas uniformemente distribuidas

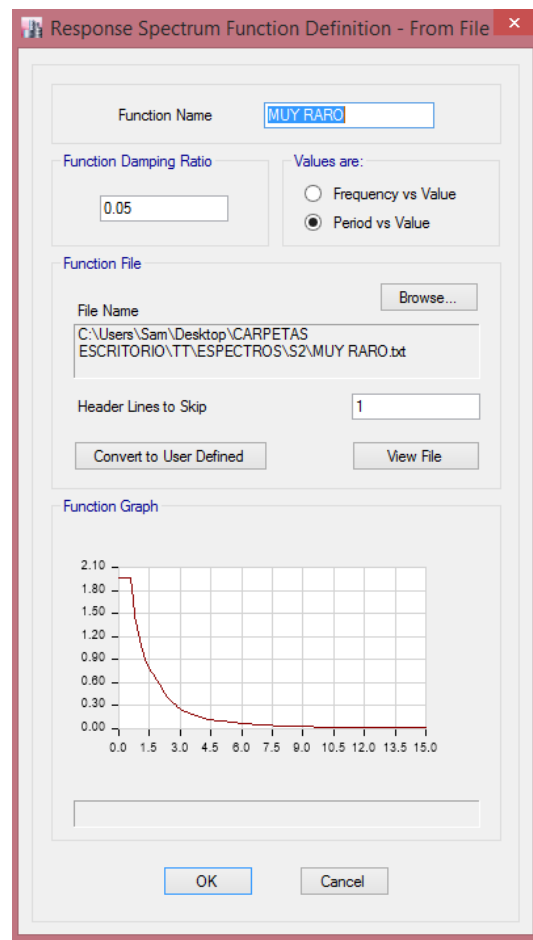
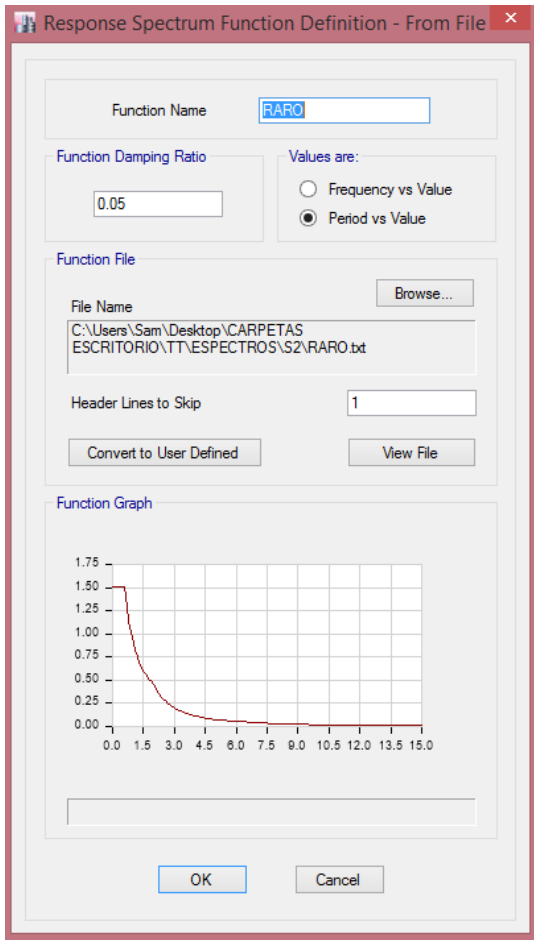
Asignación de cargas en puntos →



← Cargas distribuidas en elementos área

12. Se definen los espectros que se emplearán para la verificación del comportamiento: frecuente, ocasional, raro y muy raro. Para ello usamos los espectros calculados en el capítulo III de la tesis. Los espectros se importan al programa como archivos CSV delimitados por comas.

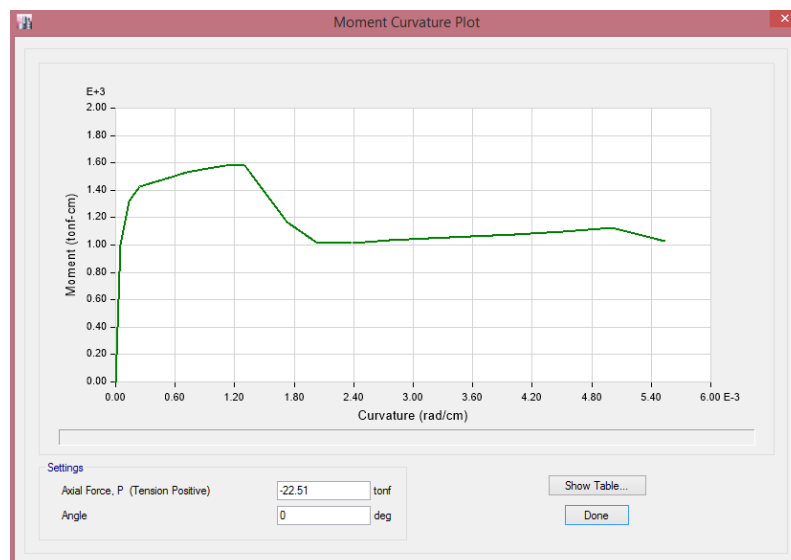




13. Ahora se procede a definir las rótulas plásticas que caracterizarán los mecanismos de colapso de las estructuras. Para esta investigación se ha considerado realizar las rótulas de las columnas de manera manual y las rótulas de las vigas de forma automática con las opciones que nos da el software Etabs v. 16.

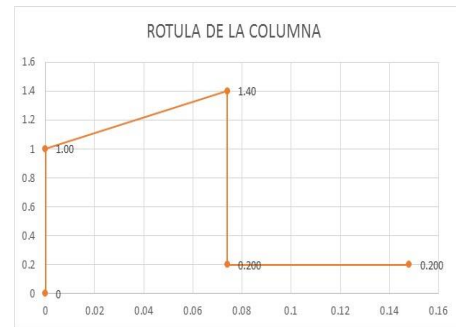
Columnas

Se usa el diagrama momento curvatura



Se obtiene la tabulación del diagrama momento curvatura y se modela la rótula

Point	Moment tonf-cm	Curvature rad/cm
2	1027.578	0.0001
3	1344.31	0.0001
4	1453.767	0.0002
5	1484.674	0.0004
6	1521.422	0.0005
7	1557.683	0.0007
8	1590.796	0.0009
9	1612.458	0.0012
10	1358.138	0.0014
11	1076.94	0.0017
12	995.542	0.002
13	1003.066	0.0024
14	1021.053	0.0028
15	1033.973	0.0032



Se calcula la longitud de la rótula y se ingresa junto con los puntos B,C,D Y E.

Frame Hinge Property Data for RJH13N1 - Interacting P-M2-M3

Hinge Specification Type

- Moment - Rotation
- Moment - Curvature

Hinge Length: 23 cm

Scale Factor for Curvature (SF)

- SF is Equal to Yield Curvature (Steel Objects Only)
- User SF: 0.1 rad/cm

Load Carrying Capacity Beyond Point E

- Drops To Zero
- Is Extrapolated

Symmetry Condition

- Moment Curvature Dependence is Circular
- Moment Curvature Dependence has No Symmetry
- Moment Rotation Dependence has No Symmetry

Requirements for Specified Symmetry Condition

- Specify curve at angle of 0°.

Axial Forces for Moment Curvature Curves

Number of Axial Forces: 1

Curve Angles for Moment Curvature Curves

Number of Angles: 1

Longitud de rótula

Definición de los puntos A,B,C,D Y E

Moment Curvature Data for RJH13N1 - Interacting P-M2-M3

Select Curve: Axial Force: -24.7564, Angle: 0, Curve #1

Point	Moment/Yield Mom	Curvature/SF
A	0	0
B	1	0
C	1.46	0.04
D	0.2	0.04
E	0.2	0.08

Note: Yield moment is defined by interaction surface

Acceptance Criteria (Plastic Deformation / SF)

- Immediate Occupancy: 0.01
- Life Safety: 0.03
- Collapse Prevention: 0.04

Moment Curvature Information

Symmetry Condition: Circular

Number of Axial Force Values: 1

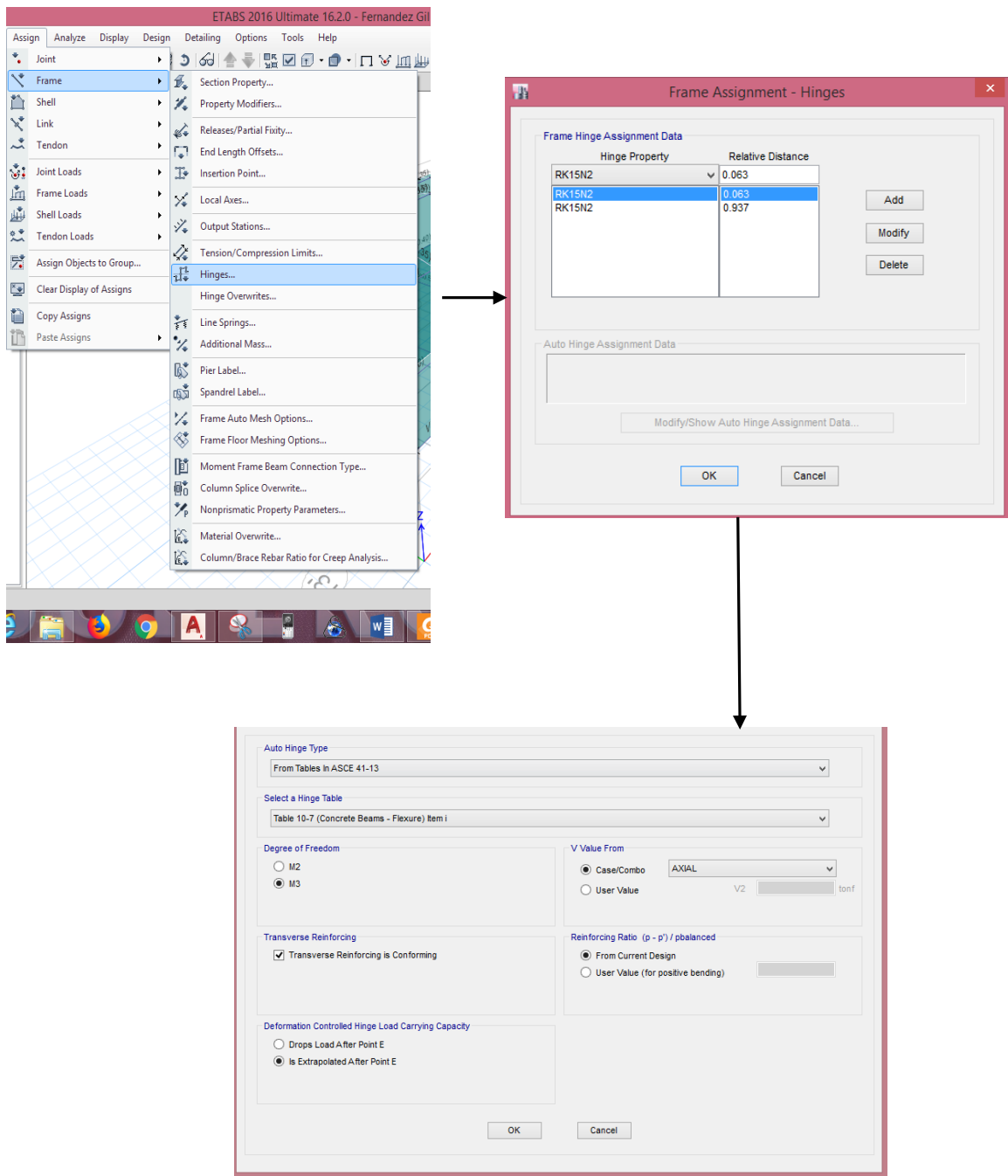
Number of Angles: 1

Total Number of Curves: 1

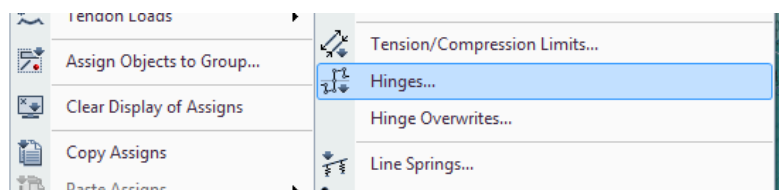
Angle Is Moment About

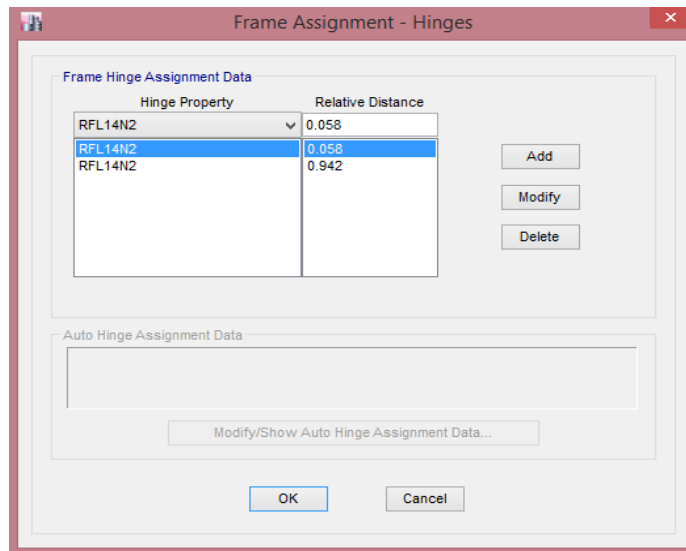
- 0 degrees = About Positive M2 Axis
- 90 degrees = About Positive M3 Axis
- 180 degrees = About Negative M2 Axis
- 270 degrees = About Negative M3 Axis

14. Se definen las rótulas de las vigas de manera automática

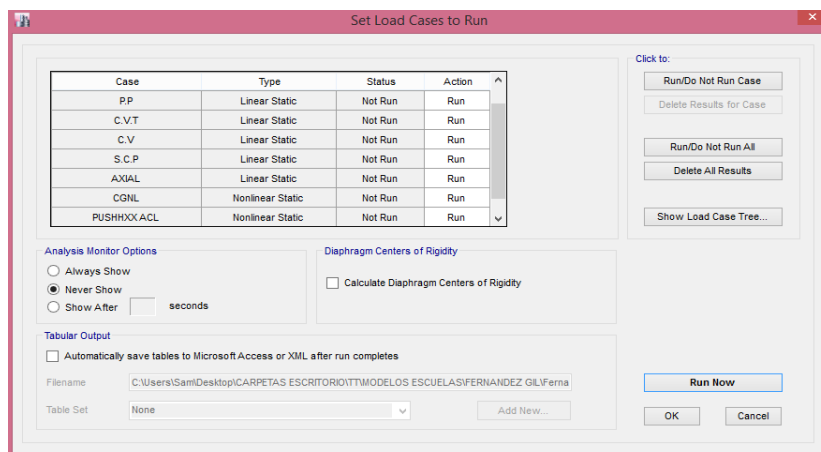


15. Se seleccionan las columnas y se asignan las rótulas creadas manualmente. Se asignan en la longitud que se expresa en % de la longitud del elemento estructural.

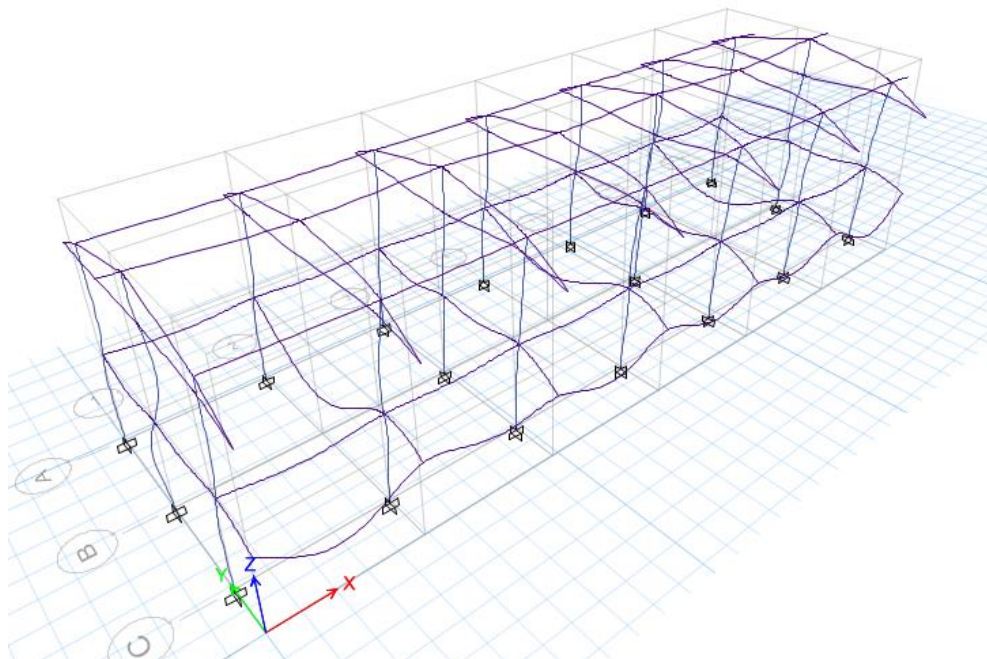




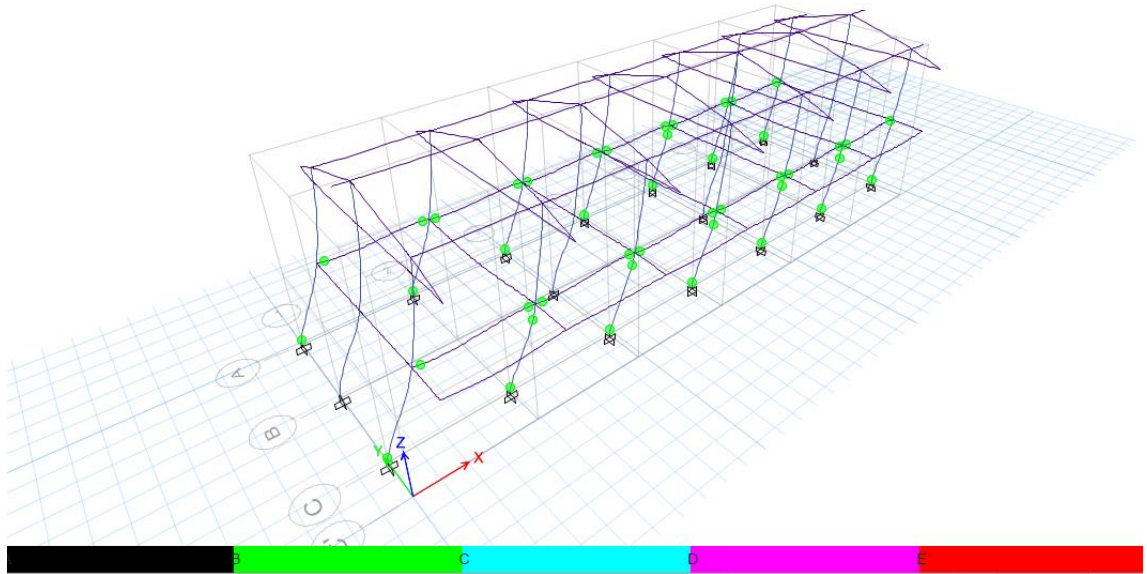
16. Luego se procede a correr el modelo. Para ello se oprime el botón *RUN*.



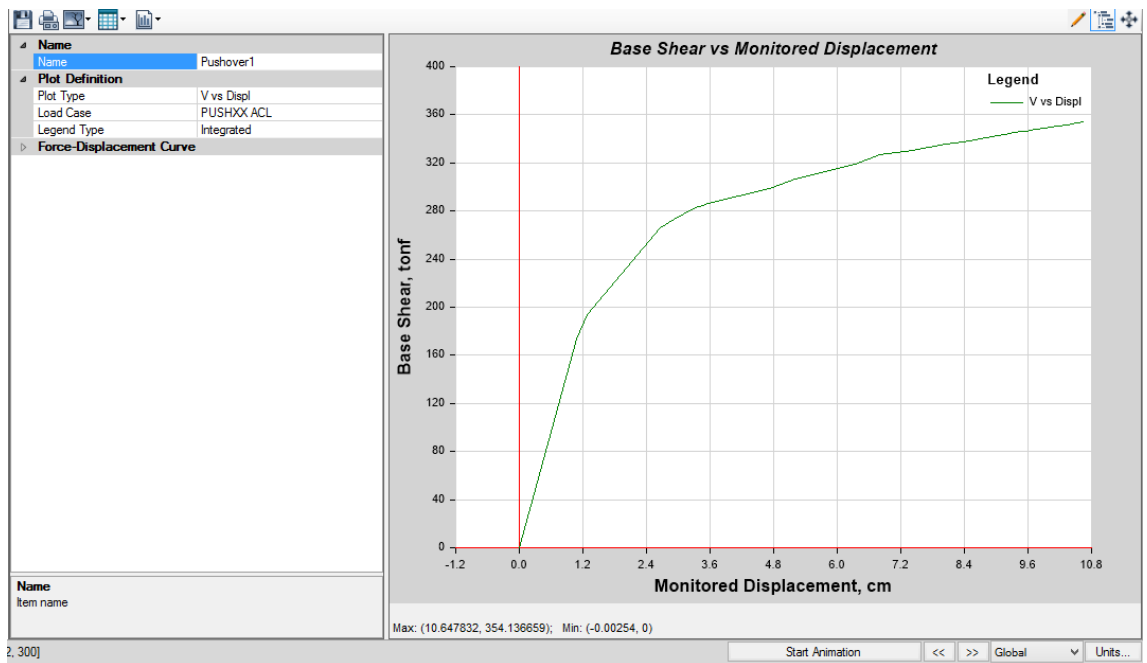
17. Cuando termina el análisis se muestra la estructura en su forma deformada.



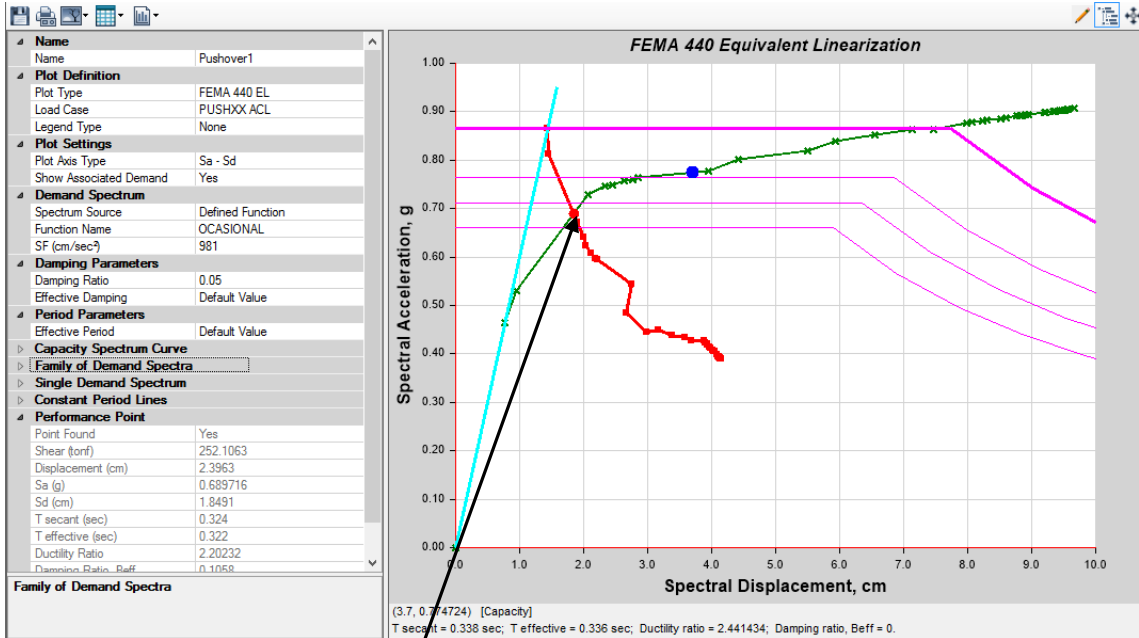
18. Para visualizar los pasos del proceso de pushover, se dirige a *deformed shape* y se coloca el caso de carga PUSHHACL.



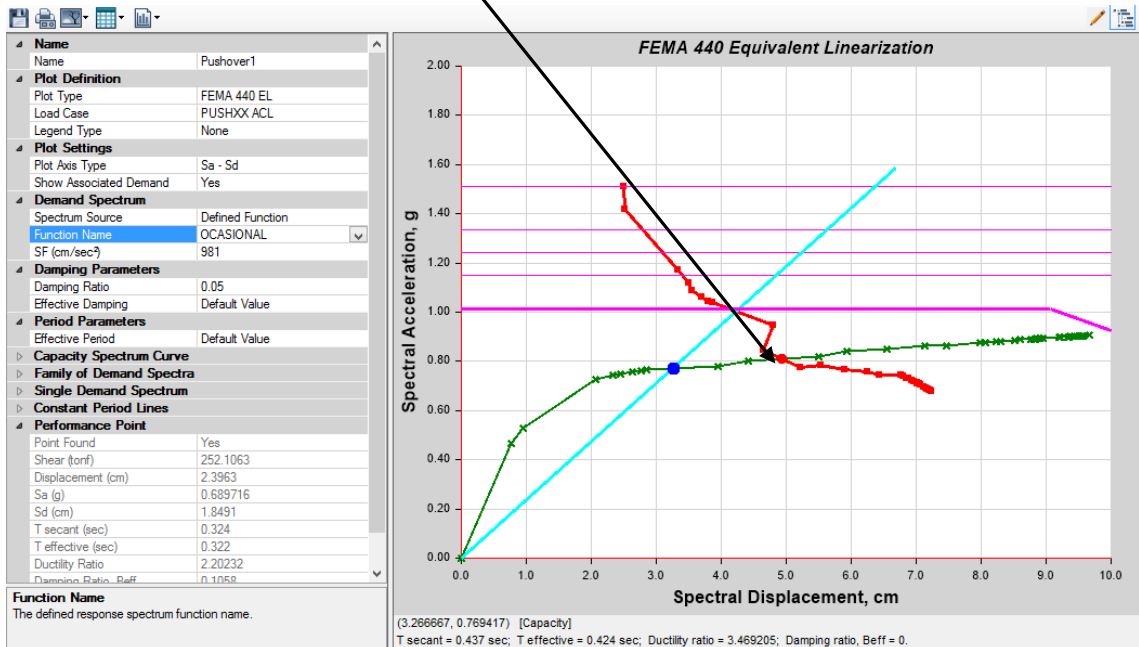
19. Para encontrar los puntos de desempeño para las diferentes sollicitaciones sísmicas, nos vamos a *display- show static pushover curve*.



20. Seleccionamos el *plot type* del FEMA 440 y buscamos el espectro del sismo de diseño que se desee intersectar.



Punto de desempeño obtenido para el sismo determinado



ANEXO 02

PLANOS

I.E. N°82030 FERNÁNDEZ GIL

I.E. N°821396 URUBAMBA BAJO

I.E. N°82594 PACHACÚTEC

I.E. N°82016 SANTA TERESITA (PRIMARIA)

I.E. SAN MARCELINO CHAMPAGNAT