

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



**“NIVEL DE DESEMPEÑO SÍSMICO DE LAS VIVIENDAS PROYECTADAS
PARA EL AÑO 2017 -2018 EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. ROSSGRI PAOLA SALDAÑA SALDAÑA

ASESOR:

Ing. MARCOS MENDOZA LINARES

CAJAMARCA – PERÚ

2020

AGRADECIMIENTO

A Dios por la vida, la salud y por la fuerza de voluntad.

A la Universidad Nacional de Cajamarca, a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil, por el conocimiento impartido y las experiencias vividas en estos años de estudio.

Al Mg. Ing. Arnold Mendo Rodríguez por su apoyo desinteresado y su interés en el avance de la presente investigación.

A mi asesor Ing. Marcos Mendoza Linares, por su apoyo y orientación en el desarrollo de la esta tesis de grado.

DEDICATORIA

A mi familia,
Federico Neria y Rosa Salazar; Fredy Saldaña
y Nora Saldaña; Piere, Karol y Diana,
Abuelos, padres y hermanos quienes son mi
motivo de seguir y lograr ser una gran
profesional

A mis amigos,
Francell Cáceres y todos quienes me contagian
de alegría y apoyan para alcanzar metas cada
vez mayores.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RELACIÓN DE ABREVIATURAS	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2. PROBLEMA	2
1.3. HIPÓTESIS	3
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.5. DELIMITACIÓN DEL TRABAJO	3
1.6. LIMITACIONES	4
1.7. ALCANCES.....	4
1.8. OBJETIVOS.....	4
1.8.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.8.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.9. ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	5
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	5
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	7
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES	7
2.2. BASES TEÓRICAS	8
2.2.1. NIVEL DE DESEMPEÑO SÍSMICO	8

2.2.2. NIVELES DE DESEMPEÑO SÍSMICO.....	8
2.2.2.1. PROPUESTA COMITÉ VISION 2000 (SEAOC)	8
2.2.2.2. PROPUESTA ATC-40.....	9
2.2.3. NIVELES DE DESEMPEÑO ESPERADO U OBJETIVO	14
2.2.4. ACCIÓN SISMICA PARA LA CIUDAD DE CAJAMARCA.....	16
2.2.4.1. ESPECTRO DE RESPUESTA SEGÚN LA NORMA NTE.030.....	16
2.2.4.2. ESPECTRO DE PELIGRO UNIFORME DE ACELERACIÓN	20
2.2.5. EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE LAS EDIFICACIONES	20
2.2.6. MÉTODOS SIMPLIFICADOS DE ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL	21
2.2.7. MÉTODO DE ESPECTRO DE CAPACIDAD - DEMANDA O PUSHOVER.....	22
2.2.7.1. ESPECTRO DE CAPACIDAD	23
2.2.7.2. ESPECTRO DE DEMANDA	25
2.2.7.3. PUNTO DE DESEMPEÑO	26
2.2.8. SECTORIZACIÓN DE LA CURVA DE CAPACIDAD.....	27
2.2.8.1. MODELO BILINEAL DE LA CURVA DE CAPACIDAD	27
2.2.8.2. SECTORIZACIÓN DE LA CURVA DE CAPACIDAD.....	28
2.2.9. MODELO DE EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DE EDIFICACIONES DE MAMPOSTERÍA	29
2.2.9.1. ENVOLVENTE DE COMPORTAMIENTO HISTERÉTICO	30
2.2.9.2. DEGRADACIÓN DE RIGIDEZ	31
2.2.9.3. MODELO DE COLUMNA ANCHA	32
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	34
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	36
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	36
3.2. ÉPOCA DE INVESTIGACIÓN	37
3.3. PROCEDIMIENTO	37
3.3.1. DESCRIPCIÓN DE LAS EDIFICACIONES A ESTUDIAR.....	37

VIVIENDA 01	38
VIVIENDA 02	38
VIVIENDA 03	39
VIVIENDA 04	39
VIVIENDA 05	40
3.3.2. PROPIEDADES Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE LAS EDIFICACIONES.	40
3.3.3. METRADO DE CARGAS	41
3.3.4. DEMANDA SÍSMICA	42
3.3.4.1. COMPARACIÓN DE ESPECTRO DE LA NORMA CON EL ESPECTRO DE PELIGRO UNIFORME PARA LA CIUDAD DE CAJAMARCA	42
3.3.4.2. ESPECTROS DE PELIGRO UNIFORME PARA LOS DITINTOS PERIODOS	44
3.3.5. ESTIMACIÓN DE LOS NIVELES DE DESEMPEÑO	46
3.3.5.1. MODELAMIENTO EN EL SOFTWARE ETABS V.17	46
3.3.5.2. IDEALIZACIÓN DE MAMPOSTERÍA MEDIANTE EL MODELO DE COLUMNA ANCHA	47
3.3.5.3. SECTORIZACIÓN DE LA CURVA	48
3.4. DIAGRAMA DE LA METODOLOGÍA.....	48
3.5. TRATAMIENTO DE DATOS	49
3.5.1. POBLACIÓN Y MUESTRA	49
3.5.1.1. POBLACIÓN DE ESTUDIO	49
3.5.1.2. MUESTRA.....	49
3.5.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	49
3.5.3. TIPO DE ANÁLISIS	50
3.5.4. RECOLECCIÓN DE DATOS	50
3.5.5. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	50
3.5.6. ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	50
3.5.6.1. MODELAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS	50

3.5.6.2. CURVAS Y ESPECTROS DE CAPACIDAD.....	55
3.5.6.3. REPRESENTACIÓN BILINEAL DE LAS CURVAS DE CAPACIDAD	65
3.5.6.4. PUNTOS DE DESEMPEÑO Y SECTORIZACIÓN DE LA CURVA.....	69
3.5.6.5. NIVELES DE DESEMPEÑO ALCANZADOS.....	74
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	77
4.1. NIVELES DE DESEMPEÑO ALCANZADOS.....	77
4.1.1. VIVIENDA 01	77
4.1.2. VIVIENDA 02	77
4.1.3. VIVIENDA 03	78
4.1.4. VIVIENDA 04	78
4.1.5. VIVIENDA 05	78
4.2. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS ENTRE ESTRUCTURAS	79
4.2.1. DESEMPEÑO SÍSMICO PARA X.....	79
4.2.1. DESEMPEÑO SÍSMICO PARA Y	80
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
5.1. CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	82
5.2. RECOMENDACIONES	83
REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA.....	84
ANEXO 01: PROCESO DE OBTENCIÓN DE CURVAS PELIGRO UNIFORME.....	87
ANEXO 02: PROCESO DE MODELACIÓN EN ETABS v.17	89
ANEXO 03 :PLANOS.....	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 2.1 Estados de daño y niveles de desempeño (SEAOC, 1995, pág. 386).	9
Tabla N° 2.2 Combinación de niveles de desempeño estructural y no estructural para formar niveles de desempeño del edificio. (ATC-40, 1996, Tabla 3-1 Cap.3 pág.2).....	13
Tabla N° 2.3 Niveles de desempeño sísmico correspondientes entre las propuestas VISION 2000, ATC-40 y FEMA 440	13
Tabla N° 2.4 Niveles de movimiento sísmico (ATC-40, 1996, págs. 4-2) & (SEAOC, 1995, pág. 370)	14
Tabla N° 2.5 Niveles de desempeño sísmico objetivo (SEAOC, 1995, pág. 386)	15
Tabla N° 2.6 Niveles de desempeño sísmico objetivo (ATC-40, 1996, págs. 3-10).....	15
Tabla N° 2.7 Factores de Zona “Z” (NTE.030, 2016, pág. 5)	17
Tabla N° 2.8 Factor de Suelo “S” (NTE.030, 2016, pág. 6).....	17
Tabla N° 2.9 Períodos “T _P ” y “T _L ” (NTE.030, 2016, pág. 7).....	17
Tabla N° 2.10 Categoría de Edificaciones (NTE.030, 2016, pág. 8).....	18
Tabla N° 2.11 Sistemas Estructurales (NTE.030, 2016, pág. 9).....	19
Tabla N° 3.1 Ubicación geográfica de las edificaciones	36
Tabla N° 3.2 Resumen de especificaciones técnicas de elementos estructurales	41
Tabla N° 3.3 Resumen de especificaciones técnicas de elementos estructurales	42
Tabla N° 3.4 Parámetros para la construcción de espectro inelástico según la norma NTE.030	42
Tabla N° 3.5 Coordenadas espectrales del espectro inelástico y de la curva de peligro sísmico	43
Tabla N° 3.6 Espectros de peligro uniforme para distintos periodos de retorno para la ciudad de Cajamarca (SENCICO, 2016).....	45
Tabla N° 3.7 Rango de desplazamiento entre niveles de desempeño (SEAOC, 1995, citado en Aguilar, 2018, pág. 61)	48
Tabla N° 3.8 Tipo de Investigación	49
Tabla N° 3.9 Sectorización y puntos de desempeño de Vivienda 01 dirección X.....	70
Tabla N° 3.10 Sectorización y puntos de desempeño de Vivienda 01 dirección Y.....	70
Tabla N° 3.11 Sectorización y puntos de desempeño de Vivienda 02 dirección X.....	71
Tabla N° 3.12 Sectorización y puntos de desempeño de Vivienda 02 dirección Y.....	71
Tabla N° 3.13 Sectorización y puntos de desempeño de vivienda 03 dirección X	72
Tabla N° 3.14 Sectorización y puntos de desempeño de Vivienda 04 dirección X.....	72
Tabla N° 3.15 Sectorización y puntos de desempeño de vivienda 04 dirección Y	73

Tabla N° 3.16 Sectorización y puntos de desempeño de vivienda 05 dirección X	73
Tabla N° 3.17 Sectorización y puntos de desempeño de vivienda 05 dirección Y	74
Tabla N° 3.18 Nivel de desempeño sísmico de vivienda 01 dirección X.....	75
Tabla N° 3.19 Nivel de desempeño sísmico de vivienda 01 dirección Y	75
Tabla N° 3.20 Nivel de desempeño sísmico de vivienda 02 dirección X.....	75
Tabla N° 3.21 Nivel de desempeño sísmico de vivienda 02 dirección Y	75
Tabla N° 3.22 Nivel de desempeño sísmico de vivienda 03 dirección X.....	76
Tabla N° 3.23 Nivel de desempeño sísmico de vivienda 04 dirección X.....	76
Tabla N° 3.24 Nivel de desempeño sísmico de vivienda 04 dirección Y	76
Tabla N° 3.25 Nivel de desempeño sísmico de vivienda 05 dirección X.....	76
Tabla N° 3.26 Nivel de desempeño sísmico de vivienda 05 dirección Y	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1 Patrones de carga lateral (Bolaños Tauma, 2015, pág. 12).....	23
Figura N° 2.2 Pórtico sometido a “Pushover”	24
Figura N° 2.3 Conversión de Curva de Capacidad a Espectro de Capacidad (ATC-40, 1996, págs. 8-12).....	24
Figura N° 2.4 Conversión de Espectro de respuesta a Espectro de Demanda (ATC-40, 1996, págs. 8-12).....	25
Figura N° 2.5 Estimación del punto inicial (ATC-40, 1996, págs. 8-12).....	26
Figura N° 2.6 Cálculo del punto de desempeño por el Espectro de Capacidad (ATC-40, 1996, págs. 8-29).....	27
Figura N° 2.7 Representación bilineal de la curva de Capacidad (Santana, 2012, pág. 55)....	28
Figura N° 2.8 Sectorización de la curva de Capacidad. (Loa Canales, 2017, pág. 13)	29
Figura N° 2.9 Envolvente del comportamiento histerético de muros de mampostería confinada. (Zúñiga Cuevas & Terán Gilmore, 2008, pág. 28)	30
Figura N° 2.10 Evolución del daño estructural en muros de mampostería confinada. (Zúñiga Cuevas & Terán Gilmore, 2008, pág. 29)	31
Figura N° 2.11 Parámetros de calibración para la rama ascendente de la curva histerética. (Gálvez Chunas, 2011, pág. 26).....	32
Figura N° 2.12 Parámetros de calibración para la rama descendente de la curva histerética. (Gálvez Chunas, 2011, pág. 26).....	32

Figura N° 2.13 Modelo de columna ancha (Zúñiga Cuevas & Terán Gilmore, 2008, pág. 32)	33
Figura N° 2.14 Idealización del modelo de columna ancha (Zúñiga Cuevas & Terán Gilmore, 2008, pág. 36)	34
Figura N° 3.1 Ubicación de viviendas en la ciudad de Cajamarca	37
Figura N° 3.2 Espectro de peligro uniforme y espectro inelástico para la ciudad de Cajamarca	44
Figura N° 3.3 Espectros de peligro uniforme para distintos periodos de retorno para la ciudad de Cajamarca (SENCICO, 2016)	46
Figura N° 3.4 Espectros de peligro uniforme para distintos periodos de retorno para la ciudad de Cajamarca	48
Figura N° 3.5 Modelo estructural de la vivienda 01	51
Figura N° 3.6 Modelo estructural de la vivienda 02	52
Figura N° 3.7 Modelo estructural de la vivienda 03	53
Figura N° 3.8 Modelo estructural de la vivienda 04	54
Figura N° 3.9 Modelo estructural de la vivienda 05	55
Figura N° 3.10 Curva de Capacidad de la vivienda 01 dirección X (V-d)	56
Figura N° 3.11 Espectro de Capacidad de la vivienda 01 dirección X (Sa-Sd)	56
Figura N° 3.12 Curva de Capacidad de la vivienda 01 dirección Y (V-d)	57
Figura N° 3.13 Espectro de Capacidad de la vivienda 01 dirección Y (Sa-Sd)	57
Figura N° 3.14 Curva de Capacidad de la vivienda 02 dirección X (V-d)	58
Figura N° 3.15 Espectro de Capacidad de la vivienda 02 dirección X (Sa-Sd)	58
Figura N° 3.16 Curva de Capacidad de la vivienda 02 dirección Y (V-d)	59
Figura N° 3.17 Espectro de Capacidad de la vivienda 02 dirección Y (Sa-Sd)	59
Figura N° 3.18 Curva de Capacidad de la vivienda 03 dirección X (V-d)	60
Figura N° 3.19 Espectro de Capacidad de la vivienda 03 dirección X (Sa-Sd)	60
Figura N° 3.20 Curva de Capacidad de la vivienda 04 dirección X (V-d)	61
Figura N° 3.21 Espectro de Capacidad de la vivienda 04 dirección X (Sd-Sa)	61
Figura N° 3.22 Curva de Capacidad de la vivienda 04 dirección Y (V-d)	62
Figura N° 3.23 Espectro de Capacidad de la vivienda 04 dirección Y (Sa-Sd)	62
Figura N° 3.24 Curva de Capacidad de la vivienda 05 dirección X (V-d)	63
Figura N° 3.25 Espectro de Capacidad de la vivienda 05 dirección X (Sa-Sd)	63
Figura N° 3.26 Curva de Capacidad de la vivienda 05 dirección Y (V-d)	64
Figura N° 3.27 Espectro de Capacidad de la vivienda 05 dirección Y (Sa-Sd)	64

Figura N° 3.28 Curva bilineal vivienda 01 dirección X (Sa-Sd)	65
Figura N° 3.29 Curva bilineal vivienda 01 dirección Y (Sa-Sd)	65
Figura N° 3.30 Curva bilineal vivienda 02 dirección X (Sa-Sd)	66
Figura N° 3.31 Curva bilineal vivienda 02 dirección Y (Sa-Sd)	66
Figura N° 3.32 Curva bilineal vivienda 03 dirección X (Sa-Sd)	67
Figura N° 3.33 Curva bilineal vivienda 04 dirección X (Sa-Sd)	67
Figura N° 3.34 Curva bilineal vivienda 04 dirección Y (Sa-Sd)	68
Figura N° 3.35 Curva bilineal vivienda 05 dirección X (Sa-Sd)	68
Figura N° 3.36 Curva bilineal vivienda 05 dirección Y (Sa-Sd)	69
Figura N° 3.37 Sectorización y puntos de desempeño vivienda 01 dirección X.....	70
Figura N° 3.38 Sectorización y puntos de desempeño vivienda 01 dirección Y.....	70
Figura N° 3.39 Sectorización y puntos de desempeño vivienda 02 dirección X.....	71
Figura N° 3.40 Sectorización y puntos de desempeño vivienda 02 dirección Y.....	71
Figura N° 3.41 Sectorización y puntos de desempeño vivienda 03 dirección X.....	72
Figura N° 3.42 Sectorización y puntos de desempeño vivienda 04 dirección X.....	72
Figura N° 3.43 Sectorización y puntos de desempeño vivienda 04 dirección Y.....	73
Figura N° 3.44 Sectorización y puntos de desempeño vivienda 05 dirección X.....	73
Figura N° 3.45 Sectorización y puntos de desempeño vivienda 05 dirección Y.....	74
Figura N° 4.1 Desempeño sísmico característico para edificaciones (viviendas) en la dirección X.....	79
Figura N° 4.2 Desempeño sísmico característico para edificaciones (viviendas) en la dirección Y.....	80

RELACIÓN DE ABREVIATURAS

A:	Área bajo la curva de capacidad.
ADRS:	Formato de respuesta de aceleración-desplazamiento espectral.
AENL:	Análisis estáticos no lineales.
ATC:	Por sus siglas en inglés, Consejo de Tecnología Aplicada.
C:	Factor de amplificación Sísmica.
CM:	Carga Muerta.
CV:	Carga Viva.
CVT:	Carga Viva de Techo.
FEMA:	Por sus siglas en inglés, Agencia Federal de Manejo de Emergencias.

g:	Aceleración de la gravedad.
gdl:	Grado de libertad.
IDA:	Por sus siglas en inglés, Análisis dinámico incremental.
K:	Rigidez lateral efectiva.
Ke:	Rigidez lateral en rango elástico.
M3:	Momento flector en sentido 3-3.
NP:	Non-structural Performance o Comportamiento no estructural.
NSR:	Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente.
NTE:	Norma Técnica de Edificaciones.
P-M2-M3:	Axial-momento-momento.
PP:	Peso propio de la estructura.
R0:	Coefficiente básico de reducción de fuerzas sísmicas.
RCDF:	Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.
S:	Factor de suelo.
Sa:	Aceleración espectral.
S _{au} :	Aceleración espectral última.
S _{ay} :	Aceleración espectral de fluencia.
S _d :	Desplazamiento espectral.
S _{du} :	Desplazamiento espectral último.
S _{dy} :	Desplazamiento espectral de fluencia.
SEAOC:	Por sus siglas en inglés, Asociación de Ingenieros Estructurales de California.
SENCICO:	Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción.
SP:	Structural Performance o Comportamiento Estructural.
T:	Periodo.
U:	Factor de uso.
V:	Cortante basal.
V2 ó V3:	Cortante en sentido 2-2 o 3-3.
Z:	Factor de zona.
ΔFE:	Rango elástico de la curva de capacidad.
Δ _n ó D:	Desplazamiento.
Δ _p	Rango plástico de la curva de capacidad.
ε:	Error en la representación bilineal.

RESUMEN

Esta investigación estimó los niveles de desempeño sísmico de las viviendas proyectadas en la ciudad de Cajamarca entre el año 2017 y 2018, con el fin de verificar el comportamiento alcanzado con el esperado según su sollicitación sísmica. Para ello, se analizaron cinco viviendas representativas con distinta estructuración mediante el método de espectro de capacidad – demanda, y de esta manera se obtuvo el desempeño por cada nivel de intensidad sísmica propuesta (frecuente, ocasional, raro y muy raro). El proceso inició desde el análisis estático no lineal (pushover) desarrollado en el programa ETABS v.17.01; del cual se obtuvieron las curvas de capacidad de las estructuras modeladas, que al proyectarse conjuntamente con los espectros de peligro uniforme en formato ADRS obtuvieron los puntos de desempeño. Luego, la evaluación se realizó a partir de la sectorización de la curva bilineal; con la cual, se delimitaron los niveles asociados al comportamiento sísmico. Ubicando cada punto de desempeño según los rangos correspondientes, se obtienen finalmente los niveles de desempeño sísmico alcanzado. Éstos resultados se compararon con el desempeño objetivo propuesto por el comité VISION 2000 para cada gradación de sismo, y se concluyó que el desempeño para sismos de baja intensidad (frecuente y ocasional) cumplen relativamente con el objetivo, ya que presentan un desempeño entre totalmente operacional y seguridad de vida, como consecuencia las edificaciones logran soportar esta intensidad. Sin embargo, para sismos de mayor intensidad (raro y muy raro) las edificaciones no tienen la capacidad de soportarlos y llegan al colapso.

Palabras clave: nivel de desempeño, comportamiento, análisis estático no lineal, espectro de capacidad, viviendas, albañilería.

ABSTRACT

This investigation estimated the levels of seismic performance of the homes projected in Cajamarca city between 2017 and 2018, in order to verify the behavior achieved with that expected according to their seismic request. For this five representative buildings with different structuring were analyzed using the capacity-demand spectrum method, and thus the performance was obtained for each level of seismic intensity proposed (frequent, occasional, rare and very rare). The process started from the nonlinear static analysis (pushover) developed in the ETABS v.17.01 program; from which the capacity curves of the modeled structures were obtained, which when projected together with the uniform hazard spectra in ADRS format obtained the performance points. Then, the evaluation was carried out based on the sectorization of the bilinear curve; with which, the levels associated with seismic behavior were delimited. By locating each performance point according to the corresponding ranges, the levels of seismic performance achieved are finally obtained. These results were compared with the objective performance proposed by the VISION 2000 committee for each earthquake gradation, and it was concluded that the performance for low intensity earthquakes (frequent and occasional) relatively meet the objective, since they present a performance between fully operational and life security, as a consequence the buildings manage to withstand this intensity. However, for earthquakes of greater intensity (rare and very rare) the buildings do not have the capacity to withstand them and reach collapse.

Keywords: level of performance, behavior, nonlinear static analysis, capacity spectrum, housing, masonry.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Ante el creciente interés de la comunidad científica en el riesgo de desastres, surgió la necesidad de ampliar el alcance de estudios de estructuras, a fin de lograr un completo entendimiento del daño físico directo a una determinada edificación.

A pesar de ello, en el Perú pocas ciudades han tomado cuidado en la verificación y análisis estructural de las edificaciones destinadas para viviendas, lo que ante la ocurrencia de un sismo o cualquier fenómeno natural podría causar graves daños, tanto materiales como humanos. Siendo el caso más relevante el Sismo de Pisco del 15 de Agosto del 2007, por las grandes pérdidas y fallas en las estructuras.

Dichas verificaciones y evaluaciones no solo deberían ser realizadas por la administración política de la ciudad, sino también por instituciones de educación superior e instituciones de investigación asociadas a ellas. Cuya finalidad es buscar la mejora en la calidad de vida de los ciudadanos; en este caso, incrementar la calidad en el diseño y comportamiento de las estructuras ante posibles movimientos telúricos.

De esta manera la siguiente investigación aporta con un estudio del comportamiento estructural, la determinación del nivel de desempeño de las viviendas ante sismos en la ciudad de Cajamarca, para su inmediata evaluación y toma de decisiones en medidas de prevención y seguridad.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el mundo existen muchas zonas de gran sismicidad, una de ellas es el Cinturón de Fuego Circunpacífico donde ocurren más del 80% de los sismos a nivel mundial. Nuestro país se encuentra situado en dicha zona, siendo propenso a constantes movimientos telúricos. (Tavera, 2016, pág. 25). Sin embargo no todas las ciudades del Perú tienen el mismo nivel de peligro; según la norma sismoresistente NTE.030, la región de Cajamarca se encuentra en la zona sísmica III teniendo una alta probabilidad de ocurrencia de algún evento sísmico, que perjudique las edificaciones de esta ciudad.

Las edificaciones peruanas construidas en los últimos 100 años no se han probado aún bajo condiciones sísmicas severas, sin embargo se tiene la certidumbre que se comportarán adecuadamente. (Muñoz, Tinman, & Quiun, 2013, pág. 1). Con evidencia de sismos altamente destructivos como el ocurrido en Pisco que provocó grandes pérdidas y varios recientes ocurridos en la selva aledaña; es importante cerciorar el adecuado comportamiento de las edificaciones ante movimientos sísmicos específicamente en la ciudad de Cajamarca.

Conforme al Plan de Desarrollo Urbano, el distrito de Cajamarca es el más densamente poblado en comparación al valor regional 45.91 hab/Km²; el crecimiento económico ha acelerado el proceso de urbanización desordenada y desarrollo horizontal (MPC, 2016, pág. 2), lo que provoca déficit en la planeación y construcción, sin criterios necesarios de seguridad ante un desastre natural como un sismo. Históricamente han sido los edificios bajos los que han sufrido mayor daño en los terremotos de subducción de la costa del Pacífico, sin embargo el daño observado comúnmente ha sido menor al anticipado mediante modelos (Muñoz, Tinman, & Quiun, 2013, pág. 7). Como consecuencia, es importante estudiar las edificaciones comúnmente construidas en la ciudad de Cajamarca, tales son las viviendas, con objeto de estimar su desempeño ante sismos de distinta magnitud.

Para determinar el comportamiento sísmico de cualquier edificación, las normas de diseño sismoresistente ATC-40, Comité VISION 2000 (revisado en Recommended lateral force requirements and commentary) y FEMA 440 definen los niveles de desempeño, totalmente operacional, operacional, seguridad de vida y pre-colapso. Además brindan los niveles de desempeño esperado u objetivo según la clase de edificación, estos regulan el aceptable comportamiento de una construcción luego de la ocurrencia de un sismo de cierta magnitud.

Al ser viviendas el objeto de estudio, los niveles de desempeño esperado corresponden a los antes mencionados para sismos frecuentes, ocasionales, raros y muy raros respectivamente. Aunque estas edificaciones tienen baja probabilidad de que durante su vida útil (50 -80 años) se presente un sismo severo (475 o 975 años), se acepta un comportamiento post-elástico durante estos sismos, es decir la estructura puede no recuperar su rigidez original pero debe ser capaz de mantener su estabilidad.

Como resultado las viviendas deben ser estudiadas y comprobadas antes de comenzar su construcción, a fin de alcanzar el nivel de desempeño objetivo ante cierta sollicitación sísmica. Es así que la presente investigación busca determinar y comprobar los niveles de desempeño sísmico de las viviendas que se han proyectado en la ciudad de Cajamarca para distintas intensidades sísmicas mediante procesos analíticos de manera práctica.

1.2. PROBLEMA

¿Qué niveles de desempeño sísmico tienen las viviendas proyectadas entre 2017 y 2018 en la ciudad de Cajamarca?

1.3. HIPÓTESIS

Las viviendas proyectadas entre Julio del 2017 y Febrero del 2018 en la ciudad de Cajamarca cumplen los niveles de desempeño objetivo propuestos por el Comité VISION 2000, para diferentes grados de sollicitación sísmica.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Al estar nuestro territorio en una zona de alta sismicidad, las construcciones están expuestas a este fenómeno, por lo que edificaciones usadas diariamente deben brindarnos la seguridad necesaria ante algún evento sísmico. Por la falta de investigaciones que evalúan el desempeño sísmico de edificaciones de viviendas, se justifica esta investigación ya que brindará un precedente para que esta información pueda ser usada en la implementación de planes de prevención y gestión de riesgos.

Además, este estudio propone el análisis de sistemas estructurales compuestos por pórticos de concreto armado y muros de albañilería mediante el método de curva de capacidad. Para ello la idealización de las estructuras de mampostería se resuelve con un procedimiento sencillo y confiable. El cual brinda un precedente para analizar edificaciones con todos los elementos estructurales, sin privar la acción de la mampostería.

Por otra parte, esta investigación apoya personalmente a la expansión y aplicación de los conocimientos adquiridos, empleándose beneficio de la obtención del título profesional de ingeniero, brindando además un estudio que apoya a las mejoras constructivas de estructuras en la ciudad.

1.5. DELIMITACIÓN DEL TRABAJO

- Las características de las viviendas a analizar se han obtenido de las memorias presentadas a la Municipalidad Provincial de Cajamarca para el trámite de Licencia de construcción. La entidad dispuso de la información, sin embargo en muchos casos estaba incompleta por ello la evaluación se tuvo que restringir a aquellas que cuenten con planos e informe terminado.
- A falta de un registro histórico de sismos ocurridos en la Ciudad de Cajamarca, se usan espectros de respuesta calculados.
- La estimación de las características físicas de los elementos de mampostería confinada se realiza mediante fórmulas que se especifican en la norma NTE.060. Además al no tener procedimiento para calcular los parámetros del comportamiento hysterético de los materiales peruanos en corte, se ha usado la curva obtenida mediante ensayos realizado por Gálvez (2011) en la Pontificia Universidad Católica del Perú.

1.6. LIMITACIONES

La información brindada fue completamente digital y cuenta con descripciones, planos y especificaciones de las viviendas proyectadas. Sin embargo, las resoluciones de aprobación sólo pueden ser entregadas a los propietarios en forma física, de manera que no se adjuntan a la investigación.

1.7. ALCANCES

El estudio a realizar pretende determinar el desempeño de estructuras destinadas para viviendas, proyectadas entre Julio del 2017 a Febrero del 2018, frente a la ocurrencia de distintos grados de eventos sísmicos en la ciudad de Cajamarca. Mediante la comparación del espectro de capacidad de la estructura con el espectro de la demanda sísmica para identificar el punto de desempeño.

Las viviendas proyectadas que se han seleccionado muestran distintas geometrías y disposiciones en la asignación de muros de albañilería, con finalidad de evaluar las diferentes reacciones que produce el sismo en este tipo de sistema estructural. Además el método curva de capacidad - respuesta recomienda considerar edificios mayores a tres niveles, donde la curva capacidad es más definida.

La investigación tiene un alcance descriptivo – aplicativo. Por lo que, el análisis para determinar el desempeño del Edificio (Análisis Estático No Lineal o Análisis Pushover) se basó en criterios tomados de procedimientos propuestos por las instituciones FEMA y ATC. Igualmente, la evaluación se realizará haciendo uso de la normativa vigente en el periodo de proyección, es decir NTE.030 del año 2016.

1.8. OBJETIVOS

1.8.1. OBJETIVO GENERAL

Verificar los niveles de desempeño sísmico de las viviendas proyectadas en la ciudad de Cajamarca entre 2017 y 2018 con los niveles desempeño objetivo propuestos por el Comité VISION 2000.

1.8.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el nivel de desempeño sísmico de las viviendas proyectadas en el rango de Julio del 2017 y Febrero del 2018 mediante el método de espectro de capacidad.
- Hallar los espectros de aceleraciones para los distintos grados de sismo establecidos por el comité VISION 2000.

- Verificar que la idealización por columna ancha es un método factible y preciso para la evaluación de elementos de albañilería.
- Determinar la curva de capacidad de las edificaciones, usando el análisis estático no lineal (Pushover) propuesto por el ATC-40.
- Realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos entre las viviendas estudiadas.

1.9. ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO

El desarrollo de la presente investigación se ha organizado por capítulos de la siguiente manera:

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

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

- **“Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de construcciones escolares usando el enfoque FEMA”.** La Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural presentó en el 2014, la investigación desarrollada por Ismael-Hernández y Mora Pino, en la que se estima el nivel de vulnerabilidad sísmica de construcciones escolares usando el enfoque del FEMA 440, basado en el desempeño sísmico de las estructuras. El procedimiento contempla el análisis de la respuesta no lineal de dos construcciones existentes, para las cuales se estiman los periodos de vibrar de manera experimental y analítica. La respuesta sísmica se obtiene implementando el método de coeficientes, según el FEMA 356. Para comparar la respuesta no lineal se aplica el método de empuje lateral, usando el programa DRAIN-2D y se compara con los resultados en el programa ETABS v14. El procedimiento se aplica en dos edificios de concreto reforzado

pertenecientes a la infraestructura física de la UPAEP. Como resultado presentan una correlación entre los niveles de desempeño presentados por el ATC-40 y el FEMA.

- **“Evaluación sísmica de los edificios de mampostería típicos de Barcelona aplicando la metodología Risk-UE”**. R. Moreno González & J.M. Bairán García (2012) realizaron un estudio para evaluar la vulnerabilidad y el daño sísmico en edificios de obra de fábrica de ladrillo no reforzada. Se han elegido 3 modelos de edificios representativos del distrito Eixample de Barcelona. El análisis de la vulnerabilidad sísmica se lleva a cabo mediante la metodología Risk-UE. La demanda sísmica se define a partir del espectro de proyecto elástico con 5% de amortiguamiento, definido, en este caso, por el Eurocódigo 8. Las curvas de fragilidad se obtienen a partir de un análisis no lineal, teniendo en cuenta los espectros de capacidad. Los edificios aquí analizados son reales y se dispuso de planos e informes específicos. Los resultados obtenidos muestran una vulnerabilidad importante en este tipo de edificios, teniendo en cuenta el escenario sísmico considerado el daño sísmico esperado es alto.
- **“Diseño sísmico basado en desempeño para una edificación esencial de concreto reforzado”**. Sánchez (2010) en su investigación desarrollada en el Tecnológico de Monterrey; buscó contrastar la metodología de diseño y la basada en el desempeño mediante la creación de modelos comparativos a través de la simulación de una edificación en el programa de análisis y diseño estructural “SAP 2000 V.14”, usando análisis estáticos no lineales. Concluye que los resultados obtenidos del diseño por desempeño resultaron ser más precisos que el método por resistencia del RCDF, las curvas de capacidad proporcionaron información exacta de la rigidez inicial, a la primera fluencia y posteriores, para cada nivel de desempeño y demanda sísmica solicitada, además logra apreciar el comportamiento de cada elemento en el rango inelástico.
- **“Vulnerabilidad sísmica en edificaciones aporricadas de concreto reforzado (Edificio Concasa y Banco del Estado)”** Mercado & Sabogal (2016) en la ciudad de Cartagena, realizaron, mediante aplicación de metodologías recomendadas por la FEMA, ATC-40 y la NSR 10. Concluyen que la estructura del Banco del Estado tiene un deficiente comportamiento estructural, ubicándola en un nivel de Seguridad limitada. En cambio, para el caso del edificio Concasa se ubica en un nivel de Seguridad, resultado que es apoyado por la curva de capacidad que presenta la estructura, enmarcando grandes valores de cortante basal, y un punto de comportamiento dentro el espectro de diseño en Cartagena y los espectros propuestos por la FEMA 356.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

- **“Desempeño de estructuras de albañilería confinada”**. En la Universidad Nacional de Ingeniería, Santana (2012) se realizó un estudio de cuya metodología de análisis se desarrolla en tres partes. Primero obtiene la demanda sísmica en el lugar; luego determina la capacidad estructural del edificio, que se obtendrá mediante el espectro de capacidad y finalmente, determina los puntos de desempeño por ambos procedimientos de análisis no lineal, estático y dinámico, para luego verificar con los puntos límite de objetivos que vendría ser el diseño por desempeño. Al final se concluyó que el modelo planteado satisface parcialmente los objetivos de desempeño, es decir, cumple para el análisis no lineal estático – Pushover, pero no cumple para el análisis no lineal dinámico – IDA. Además, los puntos de desempeño obtenido con espectros de demanda sísmica con los niveles sísmicos de ATC 40 presentan valores mayores que los puntos de desempeño obtenidos con espectros de demanda sísmica de la NTE E-030.
- **“Evaluación del desempeño sismoresistente usando análisis no lineal en el tiempo”**. Gálvez (2011) estudió el procedimiento de análisis no lineal para analizar una estructura en el rango inelástico y calibró los elementos estructurales mediante ensayos reales del PEER con el programa CANNY, se utilizaron diagramas esfuerzo deformación de los materiales (concreto reforzado y albañilería confinada), hasta obtener resultados muy similares al ensayo. Ultimó que el proceso es una herramienta útil, precisa y racional para el diseño de estructuras, aunque es más tedioso, brinda información más útil para revisar el diseño. Además concluyó que la estructura ante demandas frecuentes y ocasionales presenta derivas menores al 0.40% estando dentro del nivel operacional, ante un sismo raro obtiene derivas de 0.85% estando dentro del nivel de resguardo de vida con daños moderados, y ante un sismo muy raro la deriva es de 1.10% obteniendo algunos daños irreparables.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

En la Universidad Nacional de Cajamarca, se han realizado varias investigaciones del desempeño sísmico para estructuras de concreto armado: Orrillo (2014), Navarro (2014), Ramírez (2014), Bolaños (2015) y otros. Estos estudios desarrollaron la metodología de espectro de capacidad y espectro de demanda, obteniendo un nivel de desempeño funcional para edificios asignados a educación, salud y comercio.

Por otra parte, Ríos Sánchez (2018) desarrolló el estudio de **“Vulnerabilidad Sísmica de las Viviendas de Albañilería Confinada de la Asociación de Vivienda Guardia Civil I del Sector Nuevo Cajamarca, 2017”**. Donde se usó la metodología desarrollada por Mosqueira y

Tarque en el año 2005, para calcular la vulnerabilidad sísmica de viviendas de albañilería confinada de uno a tres niveles mediante encuestas para sismo severo. Obteniendo que el 70% tienen vulnerabilidad sísmica alta, el 12% tienen vulnerabilidad sísmica media y el 18% tienen vulnerabilidad sísmica baja.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. NIVEL DE DESEMPEÑO SÍSMICO

El nivel de desempeño de un edificio describe el estado máximo de daño permitido, donde se considera tanto la condición de los elementos estructurales, como la de los no estructurales y su contenido, relacionado con la funcionalidad de la edificación (ATC-40, 1996, págs. 3-1). Según el SEAOC (1995) para cada nivel de demanda sísmica; dicha condición límite está dada en base al daño físico del edificio, la amenaza a los ocupantes por el daño estructural y las condiciones de serviciabilidad luego del sismo; además, se expresan en términos cualitativos de consideración pública y en términos ingenieriles para el diseño o evaluación de edificaciones existentes.

Para entender los niveles de desempeño sísmico de un edificio se presentará las propuestas dadas por el Comité VISION 2000, y la propuesta del ATC-40.

2.2.2. NIVELES DE DESEMPEÑO SÍSMICO

2.2.2.1. PROPUESTA COMITÉ VISION 2000 (SEAOC)

La Propuesta del Comité VISION 2000 (SEAOC, 1995) define cuatro niveles de desempeño sísmico descritos a continuación:

A. Totalmente Operacional

En este nivel de desempeño no ocurren daños. Las consecuencias sobre los ocupantes en las instalaciones son despreciables, por lo que la edificación permanece totalmente. Todo el contenido y los servicios de la edificación permanecen funcionales y disponibles para su uso. En general no se requieren reparaciones.

B. Operacional

En este nivel de desempeño ocurren daños leves en elementos no estructurales y en el contenido de la edificación, e incluso algunos daños ligeros en elementos estructurales. El daño es limitado y no compromete la seguridad de la edificación, la cual debería permanecer disponible para cumplir con sus funciones normales inmediatamente después del sismo. En general, se requieren algunas reparaciones.

C. Seguridad

En este nivel ocurren daños moderados en elementos estructurales, no estructurales y en el contenido de la edificación. Además la degradación de la rigidez lateral y capacidad resistente del sistema, la interrupción de servicios eléctricos, mecánicos y la obstrucción de las vías de escape. Las instalaciones quedan fuera de servicio y se requerirán reparaciones importantes, pero se garantiza la seguridad de los ocupantes.

D. Pre- Colapso

En este nivel la degradación de la rigidez lateral y capacidad resistente del sistema compromete la estabilidad de la estructura aproximándose al colapso estructural. Hay interrupción de servicios y vías de escape, como resultado la edificación es completamente insegura para sus ocupantes y la extensión de las reparaciones puede ser no factible técnica o económicamente.

A continuación se incluye una amplia descripción de los niveles permisibles de daño asociados a los niveles de desempeño analizados previamente.

Tabla N° 2.1 Estados de daño y niveles de desempeño (SEAOC, 1995, pág. 386).

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

2.2.2.2. PROPUESTA ATC-40

La propuesta del ACT-40 específica por separado el nivel de desempeño de la estructura y el nivel de desempeño de los componentes no estructurales, de manera que al final su combinación define en forma global el nivel de desempeño de la edificación. (ATC-40, 1996, pág. 3)

$$\text{Nivel de desempeño de la edificación} = \text{Nivel de desempeño de la estructura} + \text{Nivel de desempeño no estructural}$$

Niveles de Desempeño Estructural

- **Ocupación inmediata (SP-1)**

Es el estado de daño donde solo se ha producido deterioro estructural muy limitado. Los sistemas básicos de resistencia de fuerza vertical y lateral del edificio conservan casi todas sus características y capacidades iniciales. El riesgo de lesiones mortales por falla estructural es insignificante, además el edificio debe ser seguro para su ocupación.

- **Control de Daño (SP-2)**

Es el estado de daño que varía entre SP-1 y SP-3. Brinda una posición para situaciones en las que conviene limitar los daños estructurales más allá del nivel de seguridad de vida, no siendo la ocupación un inconveniente. Este nivel de comportamiento es una alternativa para proteger equipos y contenidos valiosos, o para prever elementos históricos importantes.

- **Seguridad de Vida (SP-3)**

Es el estado de daño donde puede haber ocurrido un daño significativo a la estructura, pero queda un margen contra el colapso total o parcial. Los principales componentes estructurales no han sido gravemente afectados, por lo que no amenazan la seguridad de vida. Si bien pueden producirse lesiones durante el terremoto, el riesgo de pérdidas mortales por daños estructurales es muy bajo. Además se espera que sean necesarias grandes reparaciones antes de volver a ocupar el edificio, aunque a veces no sea económicamente práctica.

- **Seguridad Limitada (SP-4)**

Es un estado de daño que varía entre SP-3 (Seguridad de Vida) a SP-5 (Estabilidad Estructural). Brinda una posición para aquellas circunstancias donde el reforzamiento del nivel de Seguridad de Vida no es rentable, y solo se satisface algunos requerimientos estructurales críticos.

- **Estabilidad Estructural (SP-5)**

Este estado de daño es el límite en el que el sistema estructural está a punto del colapso parcial o total. Se produce un daño grave a la estructura, degradación significativa de la rigidez y del sistema resistente a cargas laterales, pero los elementos estructurales que soportan cargas gravitacionales mantienen su estabilidad. Existe alto riesgo de lesiones por la caída de escombros dentro y fuera del edificio. Además para su reocupación es necesaria una reparación estructural importante, sin embargo en edificios antiguos de concreto puede que no sean técnica o económicamente reparables.

- **No Considerado (SP-6)**

No es un nivel de desempeño, pero brinda una descripción en situaciones donde solo se realiza una evaluación o modificación sísmica no estructural.

Niveles de Desempeño No Estructural

- **Operacional (NP-A)**

Es el estado de daño donde los elementos no estructurales y sistemas están generalmente en el mismo lugar y operacionales, aunque se espere daños insignificantes al equipo y maquinaria, deberían estar funcionando. Por otra parte, algunos servicios externos pueden no estar disponibles debido a daños y deben ser respaldados localmente, es decir, los planes de contingencia deben estar en su lugar.

- **Ocupación Inmediata (NP-B)**

Es el estado de daño donde los elementos no estructurales y sistemas están generalmente en su lugar. Debería esperarse daños menores, especialmente debido a daño en el contenido. Aunque el equipo y la maquinaria estén anclados, su capacidad para funcionar puede tener algunas limitaciones de uso o funcionalidad.

- **Seguridad de Vida (NP-C)**

Este estado de daño describe un daño considerable a los componentes y sistemas no estructurales, pero no incluye colapso o caída de objetos pesados que causen lesiones graves dentro o fuera del edificio. Además los sistemas no estructurales, equipos y maquinaria pueden no funcionar sin reemplazo o reparación. Es posible que se produzcan lesiones durante el terremoto, pero el riesgo de lesiones mortales por daños no estructurales es muy bajo.

- **Peligro Reducido (NP-D)**

Este estado comprende daño extenso en componentes y sistemas no estructurales, pero no contempla la caída de elementos grandes y pesados que podrían causar heridas significativas; tal como parapetos, muros exteriores de albañilería y cielo raso. Aunque puedan producirse lesiones aisladas, el riesgo de fallas que pondrían en peligro a muchas personas dentro o fuera del edificio es muy bajo.

- **No Considerado (NP-E)**

Refieren que los elementos no estructurales no son evaluados, a no ser que tengan un efecto directo en la respuesta estructural, como muros portantes de albañilería o tabiquería.

Niveles de Desempeño de la Edificación

El nivel de desempeño de un edificio se forma a partir de la combinación del desempeño estructural y no estructural, para lograr describir totalmente el estado de daño límite del edificio. Todas las posibles combinaciones se detallan en la Tabla 2.2., donde podemos encontrar los cuatro niveles de desempeño más comunes. Estos niveles se destacan por lograr una combinación coherente entre las consecuencias del daño estructural y el deterioro material.

- **Operacional (1-A)**

Este nivel de desempeño está relacionado con la funcionalidad. El daño a la estructura del edificio es limitado, por ello la ocupación es segura y continua, además cualquier reparación requerida es mínima y remediarla no genera molestia hacia los ocupantes. Igualmente, el daño a sistemas no estructurales es mínimo y no compromete el funcionamiento del edificio.

Por otra parte, es muy importante que el edificio cuente con instalaciones de respaldo y planificación de los servicios necesarios para permitir su funcionamiento; aún si estos no se encuentren disponibles.

- **Ocupación Inmediata (1-B)**

Corresponde al criterio más utilizado para instalaciones esenciales; en este nivel de desempeño se espera que los sistemas del edificio y los espacios sean razonablemente utilizables. Pero no necesariamente se proporciona continuidad de los servicios, sean primarios o de respaldo. Además, el contenido del edificio puede resultar dañado.

- **Seguridad de Vida (3-D)**

Este nivel hace referencia a un estado de daño que presenta una probabilidad extremadamente baja de amenazas a la seguridad de vida; siendo estas amenazas por daños estructurales o caídas de componentes del edificio. Muy aparte, los objetos del usuario no están controlados, ya que podrían crear riesgos de caídas e incendios. Se espera que este nivel sea inferior al rendimiento esperado para el diseño de nuevos edificios.

- **Estabilidad Estructural (5-E)**

Este estado de daño se enfoca solamente en los pórticos del edificio, es decir en el sistema de cargas verticales; y sólo es requerida la estabilidad bajo cargas verticales. No engloba ningún margen contra el colapso por réplicas. Pueden producirse caídas debido a los revestimientos, acabados o elementos no estructurales, hasta incluso daño estructural.

Tabla N° 2.2 Combinación de niveles de desempeño estructural y no estructural para formar niveles de desempeño de una edificación. (ATC-40, 1996, Tabla 3-1 Cap.3 pág.2)

NIVELES DE DESEMPEÑO						
NIVELES DE DESEMPEÑO NO ESTRUCTURAL	NIVELES DE DESEMPEÑO ESTRUCTURAL					
	SP-1 Ocupación Inmediata	SP-2 Control de daño	SP-3 Seguridad de Vida	SP-4 Seguridad Limitada	SP-5 Estabilidad Estructural	SP-6 No Considerado
NP-A Operacional	1-A Operacional	2-A	NR	NR	NR	NR
NP-B Ocupación Inmediata	1-B Ocupación Inmediata	2-B	3-B	NR	NR	NR
NP-C Seguridad de Vida	1-C	2-C	3-C Seguridad de Vida	4-C	5-C	6-C
NP-D Peligro Reducido	NR	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E No Considerado	NR	NR	3-E	4-E	5-E Estabilidad Estructural	No Aplicable

Estas dos clasificaciones de niveles de desempeño sísmico son las principales, sin embargo existe otra definición brindada por el FEMA 440, la cual describe los niveles de desplazamiento, los cuales se puede relacionar con los parámetros descritos anteriormente (Ismael-Hernández & Mora Pino, 2014, pág. 7). A manera de resumen y para una mejor comprensión se sistematizan todas las normas en la siguiente tabla.

Tabla N° 2.3 Niveles de desempeño sísmico correspondientes entre las propuestas VISION 2000, ATC-40 y FEMA 440

	Comité VISION 2000	ATC-40	FEMA 440
NIVELES DE DESEMPEÑO	Totalmente Operacional	1-A Operacional	
	Operacional	1-B Ocupación Inmediata	Cortante cercano a la fluencia
	Seguridad	3-C Seguridad de Vida	Cortante máximo
	Pre-Colapso	5-E Estabilidad Estructural	Cortante de falla.

2.2.3. NIVELES DE DESEMPEÑO ESPERADO U OBJETIVO

El nivel de desempeño esperado de una edificación refiere al comportamiento sísmico que debe ser capaz de alcanzar una edificación al ser sometida a movimientos sísmicos de diferentes intensidades. (ATC-40, 1996, págs. 3-9).

El desempeño esperado está ligado al nivel de amenaza sísmica, es decir qué tan probable o cada cuánto tiempo como máximo puede ocurrir un fenómeno sísmico. Según ello se presentan dos enfoques probabilístico y determinístico, representados, el primero por el periodo medio de retorno y el segundo por la probabilidad de excedencia.

El periodo de retorno y la probabilidad de excedencia pueden relacionarse directamente como: (Eurocódigo 8 - Parte 2, 2005, pág. 118)

$$T = - \frac{t}{\ln(1-p)} \quad (\text{Ec.2-1})$$

Donde: T: Periodo de retorno (años).

P: Probabilidad de excedencia.

t: tiempo de exposición (años).

El comité VISION 2000 (SEAOC, 1995, pág. 370) define cuatro niveles de amenaza sísmica, con los siguientes términos: Frecuente, ocasional, Raro y Muy raro. Similarmente el ATC-40 define tres niveles: Sismo de Servicio, Sismo de diseño y Sismo máximo.

Tabla N° 2.4 Niveles de movimiento sísmico (ATC-40, 1996, págs. 4-2) & (SEAOC, 1995, pág. 370)

Nivel de movimiento sísmico		Periodo de retorno T (años)	Probabilidad de excedencia (p,t)
VISION 2000	ATC-40		
Frecuente	-	43 años	50% en 30 años
Ocasional	Sismo de Servicio	72 años	50% en 50 años
Raro	Sismo de Diseño	475 años	10% en 50 años
Muy Raro	Sismo Máximo	975 años	10% en 100 años

Conjuntamente el Comité VISION 2000 referencia los niveles recomendados de desempeño de las edificaciones ante distintos niveles de amenaza sísmica conforme a su uso y ocupación, mostradas en la Tabla 2.5. Siendo edificaciones destinadas a viviendas (instalaciones básicas), el objeto de estudio, nuestros niveles de desempeño objetivo se resaltan en la siguiente tabla.

Tabla N° 2.5 Niveles de desempeño sísmico objetivo (SEAOC, 1995, pág. 386)

1. Instalaciones Básicas 2. Instalaciones Esenciales 3. Instalaciones de Seguridad Crítica 0. Desempeño inaceptable		NIVELES DE DESEMPEÑO SÍSMICO			
		Totalmente Operacional	Operacional	Seguridad	Pre-colapso
NIVEL DE MOVIMIENTO SÍSMICO	Frecuente	1	0	0	0
	Ocasional	2	1	0	0
	Raro	3	2	1	0
	Muy Raro	-	3	2	1

Igualmente para el ATC-40, la decisión sobre el nivel de desempeño esperado depende básicamente de consideraciones funcionales, políticas, económicas y de preservación. Existe una gama de combinaciones atendiendo las características particulares para cada edificación, un ejemplo es la Tabla 2.6. Donde se muestra un nivel dual de desempeño esperado, llamado “Criterio de Seguridad Básica” usado para cualquier edificación.

Tabla N° 2.6 Niveles de desempeño sísmico objetivo (ATC-40, 1996, págs. 3-10)

Nivel de movimiento del terreno	Nivel de desempeño de la edificación			
	Totalmente Operacional	Operacional	Seguridad	Pre-colapso
Frecuente				
Ocasional				
Raro				
Muy Raro				

En los principios de norma peruana de Diseño Sismoresistente se describe el objetivo de desempeño sísmico de las edificaciones. El ítem (a) refiere que la estructura no debería causar daños a las personas ante sismos severos, es decir cumplir el nivel de seguridad de vida ante movimientos raros. El ítem (b) señala que la estructura debería soportar movimientos moderados, pudiendo tener daños reparables dentro de límites aceptables; es decir, cumple el nivel operacional ante sismos ocasionales. (NTE.030, 2016, pág. 5)

Los niveles de desempeño que engloban y están específicos para la clase de estructuras que se va ensayar, están descritas según el comité VISION 2000 en la Tabla 2.5, por lo cual la investigación se va a tomar esos niveles como objetivo.

2.2.4. ACCIÓN SÍSMICA PARA LA CIUDAD DE CAJAMARCA

La acción sísmica, también referida como la demanda sísmica, constituye uno de los elementos fundamentales para la correcta caracterización del desempeño sísmico, debe representar adecuadamente el movimiento esperado en el lugar de emplazamiento, y así proporcionar una respuesta crítica de la estructura con los mayores daños potenciales. (Singh, Ordaz, & Arboleda, 1995)

El Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO) brinda un servicio web para la determinación del peligro sísmico probabilístico para el territorio nacional. En aquel análisis se han empleado leyes de atenuación para cuantificar la aceleración horizontal máxima del suelo en la base y también permiten estimar los niveles de demanda sísmica para diferentes periodos de vibración del suelo publicados en la literatura técnica, denominados leyes de atenuación para ordenadas espectrales. Asimismo, por su parte la norma peruana nos brinda un procedimiento para obtener y caracterizar al sismo de diseño.

2.2.4.1. ESPECTRO DE RESPUESTA SEGÚN LA NORMA NTE.030

La norma NTE.030 - 2016 propone para el diseño y análisis sísmico, la elaboración de un espectro de respuesta con un periodo de retorno de 475 años. El cual se calcula en base a variables como el tipo suelo, el tipo de estructura y el nivel de importancia.

Por otra parte, la aplicación de este espectro de respuesta elástico resulta en el diseño de edificaciones resistentes a sismos de gran intensidad, lo cual conduce a un diseño poco convencional con elementos estructurales de grandes dimensiones y por ende costoso. (Aguilar Huamán, 2018)

Luego, si se toma en cuenta la probabilidad de ocurrencia de un sismo de esa magnitud durante vida útil de la estructura; es improbable usar un espectro de alta demanda. Como consecuencia, la norma peruana propone el uso de un espectro de respuesta inelástico, usando un coeficiente de reducción. Lo cual no debería asegurar un comportamiento similar, sin embargo se espera que la estructura se comporte de manera dúctil para lograr disipar su energía en el rango inelástico.

A continuación se describe el proceso para obtener el espectro de respuesta según la NTE.030-2016.

- **Factor de zona (Z)**

El factor “Z” representa la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años y se expresa como fracción de la gravedad.

Tabla N° 2.7 Factores de Zona “Z” (NTE.030, 2016, pág. 5)

ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

- **Parámetros de sitio (S, T_P y T_L)**

Se toma el perfil de suelo más parecido a las descripciones detalladas en el acápite 2.3.1 de la norma peruana. Con ello, se obtiene el factor de amplificación del suelo (S) y los periodos (T_P y T_L).

Tabla N° 2.8 Factor de Suelo “S” (NTE.030, 2016, pág. 6)

ZONA / SUELO	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
Z ₄	0.80	1.00	1.05	1.10
Z ₃	0.80	1.00	1.15	1.20
Z ₂	0.80	1.00	1.20	1.40
Z ₁	0.80	1.00	1.60	2.00

Tabla N° 2.9 Periodos “T_P” y “T_L” (NTE.030, 2016, pág. 7)

PERIODO / SUELO	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
T _P (s)	0.30	0.40	0.60	1.00
T _L (s)	3.00	2.50	2.00	1.60

- **Factor de uso (U)**

Las estructuras se clasifican de acuerdo a la siguiente tabla, según esta clasificación se utiliza el factor U.

Tabla N° 2.10 Categoría de Edificaciones (NTE.030, 2016, pág. 8)

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, reservorios 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 e información esencial del Estado.	1.5	
	B Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se 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 considerarán 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.	1.0
D Edificaciones Temporales	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.	Ver nota 2	

- **Factor de amplificación sísmica (C)**

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

$$T < T_p \quad C = 2.5 \quad (\text{Ec. 2-2})$$

$$T_p < T < T_L \quad C = 2.5 * \left(\frac{T_p}{T}\right) \quad (\text{Ec. 2-3})$$

$$T > T_L \quad C = 2.5 * \left(\frac{T_p * T_L}{T^2}\right) \quad (\text{Ec. 2-4})$$

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

- **Espectro de diseño**

Para construir el espectro elástico se aplica la siguiente ecuación usando las variables descritas anteriormente, con el fin de obtener las aceleraciones espectrales de acuerdo al tiempo.

$$S_a = Z * U * C * S * g \quad (\text{Ec. 2-5})$$

Donde:

S_a : Aceleración espectral

g : Aceleración de la gravedad

El espectro de diseño, es decir el espectro inelástico se obtiene aplicando el factor R en el espectro elástico, mediante la ecuación siguiente:

$$S_a = \frac{Z * U * C * S}{R} * g \quad (\text{Ec. 2-6})$$

Los coeficientes Z, U, C y S son los mismos que se usan anteriormente, e el factor R se obtiene como sigue.

- **Coefficiente básico de reducción de fuerzas sísmicas (R_0)**

Los sistemas estructurales se clasifican según los materiales usados y el sistema de estructuración sismoresistente en cada dirección de análisis. Al tener más de un sistema estructural, se toma el de menor coeficiente R_0 que corresponda.

Tabla N° 2.11 Sistemas Estructurales (NTE.030, 2016, pág. 9)

SISTEMA ESTRUCTURAL	Coefficiente Básico de Reducción (R_0)
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 Arriostrados (SCBF)	8
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	6
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (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

2.2.4.2. ESPECTRO DE PELIGRO UNIFORME DE ACELERACIÓN

En el informe presentado por SENCICO, actualmente es posible estimar los valores del espectro sin usar factores de escala que considere la dependencia de la forma espectral con la magnitud del evento y la distancia. Refieren también que Anderson y Trifunac (1978) introdujeron el término “espectro de probabilidad uniforme”, como aquel cuyos valores espectrales tienen igual probabilidad de excedencia en todos los periodos estructurales durante un determinado periodo de exposición.

Este espectro de probabilidad uniforme se conoce como espectro de peligro sísmico uniforme, el cual brinda parámetros de respuesta que se usan directamente en la estimación de las demandas sísmicas para el diseño de estructuras y son preferibles e incluso se consideran superiores al espectro derivado de fijar una forma espectral al valor estimado probabilísticamente de la aceleración máxima del suelo. (SENCICO, 2016, pág. 54)

El procedimiento para el cálculo del espectro de peligro sísmico uniforme consiste en caracterizar las fuentes sísmicas (espacio, tamaño, recurrencia); la incertidumbre en la variación se representa mediante una función de distribución de probabilidades. Luego con esta información se obtienen las curvas de peligro de ordenadas espectrales para diferentes periodos estructurales, a fin de obtener un espectro sísmico uniforme para un nivel de peligro deseado.

2.2.5. EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE LAS EDIFICACIONES

Desde el punto de vista operativo Terán (1997) menciona que la evaluación sísmica de una edificación exige la evaluación de los daños probables inducidos por los diferentes niveles de movimiento sísmico; de manera que una edificación se considera sísmicamente inadecuada si las pérdidas potenciales estimadas durante la evaluación superan el nivel de daño tolerable y por ende, los niveles de exigencias sísmicas superan las previsiones sismoresistentes (Citado en Reyes Indira, Vielma, & Pujades Beneit, 2014, pág. 74).

Es entonces que luego de terminar la etapa conceptual y ya habiendo establecido los niveles de daño tolerables de las edificaciones a analizar para cada nivel de amenaza sísmica, la evaluación sísmica de una estructura examina si la capacidad de la estructura satisface el nivel de desempeño objetivo, de acuerdo a la sismicidad local del lugar de emplazamiento.

En adición la evaluación del comportamiento sísmico de una estructura involucra muchos factores para su desarrollo, que van desde la adecuada definición de la aceleración sísmica, la modelación estructural realista de la edificación, la adecuada caracterización de los materiales,

la asignación correcta de cargas y la restringida información de la edificación. Por ende, el proceso de análisis y respuesta de los modelos ofrecen limitaciones supuestas aún más los de naturaleza no lineal.

Reyes (2014) menciona sobre el proceso: existen gran variedad de procedimientos analíticos para la evaluación sísmica de edificaciones, algunos están basados en un comportamiento elástico lineal y otros en un inelástico, o sea no lineal. Los inicialmente mencionados definen estados de fuerzas laterales estáticas o dinámicas y procedimientos elásticos con el fin de determinar la relación demanda-capacidad; además proporcionan una buena aproximación de la capacidad elástica y la primera fluencia, sin embargo no logran pronosticar los mecanismos de falla y tampoco contemplan la redistribución de fuerzas durante la condición inelástica. Recíprocamente, los procesos inelásticos logran casi precisar lo que realmente ocurre en la estructura, ya que identifica las fallas y el colapso eventual.

Entre los métodos inelásticos destacan los basados en el análisis completo de la respuesta no lineal para una señal de entrada o historia de carga en el tiempo. Estos métodos tienden a ser procedimientos complejos y poco prácticos para uso general, por lo que se han desarrollado métodos de análisis no lineales simplificados, también llamados métodos de análisis estático no lineal, que constituyen una alternativa eficiente con mucho auge a los que se le ha dedicado especial atención en los últimos años (ATC-40, 1996, págs. 5-19).

2.2.6. MÉTODOS SIMPLIFICADOS DE ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL

Ante movimientos sísmicos del terreno, los elementos de una estructura perciben desplazamientos laterales y por ende deformaciones. Para solicitaciones sísmicas bajas, la deformación correspondiente se conserva aún en el rango elástico, entre tanto no se observan daños considerables. No obstante, al someterse ante una intensidad sísmica de mayor amplitud, las deformaciones superan el estado elástico, y por consiguiente la edificación sufre daños.

Según lo expresado, la manera más efectiva de evaluar la respuesta global de la estructura y la demanda en sus elementos individuales, se adquiere mediante complejos procesos de análisis no lineal en el tiempo; en los cuales, los rasgos del movimiento definido y el ligero cambio de rigidez de sus componentes altera en gran medida los resultados.

De este modo, el análisis dinámico no lineal conduce a diferentes estimaciones del desplazamiento máximo, para diferentes registros cubiertos por un mismo espectro de respuesta. Correspondientemente esto ha propiciado el desarrollo de procedimientos simples, pero sólidos, que permiten estimar los valores medios de la fuerza y el desplazamiento, los que

se conocen como métodos simplificados de análisis estático no lineal. (Whittaker, Constantinou, ASCE, Tspelas, & Associate Member, 1998, pág. 1)

A continuación se detallan tres de los principales métodos simplificados de análisis estático no lineal, en los cuales se logra comparar la capacidad de la estructura con la demanda sísmica a la que está sujeta en el lugar de emplazamiento.

- El **método del espectro capacidad - demanda**; permite estimar gráficamente el nivel de desempeño sísmico de una edificación a través de la intersección del espectro de capacidad con el espectro de demanda. (ATC-40, 1996, págs. 8-4)
- El **método del coeficiente del desplazamiento**; procedimiento numérico para estimar la demanda de desplazamiento de una estructura usando una representación bilineal de la curva de capacidad y coeficientes de corrección. (ATC-40, 1996, págs. 8-41)
- El **método de la secante**; procedimiento numérico que sustituye la estructura por otra con rigidez secante o efectiva. (ATC-40, 1996, págs. 8-56)

La presente investigación se basará en el método de “espectro capacidad – demanda” que a continuación se detalla con mayor precisión. Se usará el método, ya que permite realizar una representación gráfica de la curva de capacidad global de la estructura analizada; y al mismo tiempo, dibuja las curvas de espectro demanda sísmica de diferentes intensidades de acuerdo a la gravedad del movimiento. Por lo tanto, nos brindará la información necesaria para realizar la evaluación de todas las estructuras de viviendas.

2.2.7. MÉTODO DE ESPECTRO DE CAPACIDAD - DEMANDA O PUSHOVER

Sobre el método, se entiende que la capacidad de una edificación específica y la demanda asignada según el sismo dado no son independientes. En realidad, al incrementar la demanda, la estructura eventualmente comenzará a ceder, su rigidez se reducirá significativamente y los períodos de vibración serán más largos, lo cual se puede visualizar dinámicamente en el espectro de capacidad. Así también aumenta la energía disipada por ciclo, ya que la resistencia y la rigidez van degradándose progresivamente; aún más al estar la edificación en capacidad de resistir ciclos histeréticos grandes y estables, incidiendo directamente en el amortiguamiento efectivo.

De esta manera la determinación del punto de desplazamiento donde la capacidad y la demanda se igualan, exige un proceso iterativo. En el que se contrasta el espectro de capacidad con el espectro de demanda, graficado a través del espectro de respuesta elástico usando 5% de amortiguamiento, el cual será ajustado continuamente por un factor de reducción. Después de

concluir el proceso, es fácil identificar el punto de desempeño para la respuesta sísmica que percibirá la edificación durante el movimiento sísmico definido; el cual se podrá evaluar en base al nivel de desempeño esperado, si cumple ante el eventual movimiento o habrá necesidad de reforzar aquella edificación. (Reyes Indira, Vielma, & Pujades Beneit, 2014, pág. 77)

El ATC-40 muestra a este método como base para el diseño sísmico, y detallan los pasos a seguir:

2.2.7.1. ESPECTRO DE CAPACIDAD

El resultado del análisis no lineal o pushover es la curva de capacidad, gráfica que representa el corte basal (V_0) calculado de acuerdo al incremento continuo de cargas laterales, con el desplazamiento lateral del ultimo nivel del edificio (Δ_n); estas cargas laterales siguen la forma del modo fundamental de vibración o una distribución más sencilla, como puede ser triangular invertida, parabólica o uniforme.

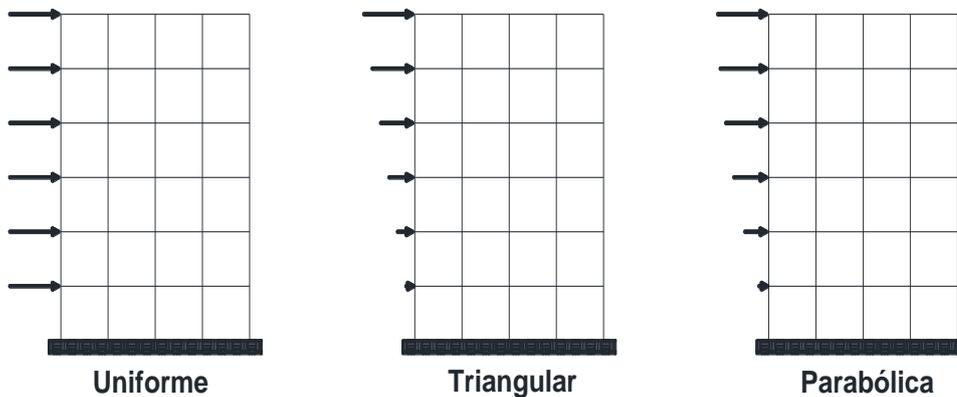


Figura N° 2.1 Patrones de carga lateral (Bolaños Tauma, 2015, pág. 12)

De hecho la curva obtenida consiste en una serie de segmentos de rectas de pendiente decreciente, asociados a la progresiva degradación de la rigidez, la cedencia en elementos y en general, al daño.

Luego, usando propiedades modales asociadas al modo fundamental de vibración, es posible transformar la curva de capacidad a un nuevo formato ADRS (Acceleration-Displacement Response Spectra) donde se representa la aceleración espectral (S_a), respecto del desplazamiento espectral (S_d), denominado espectro de capacidad, con el fin de comparar directamente con la demanda de la estructura.

Para esta conversión el ATC-40 propone que cada punto (V_i, Δ_n) de la curva de capacidad, corresponde a un punto (S_{a_i}, S_{d_i}) del espectro de capacidad, y se realiza mediante las siguientes fórmulas:

$$S_{ai} = \frac{V_i}{M \cdot \alpha_1} \quad (\text{Ec. 2-7})$$

$$S_{di} = \frac{\Delta n}{PF_1 \cdot \phi_{n1}} \quad (\text{Ec. 2-8})$$

Donde α_1 es el coeficiente de masa, PF_1 el factor de participación del modo fundamental y ϕ_{n1} es la amplitud en el techo de la estructura asociado al modo fundamental y M es la masa total de la estructura

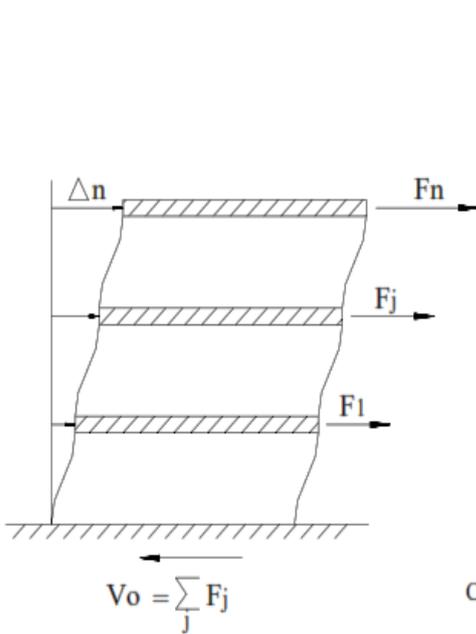
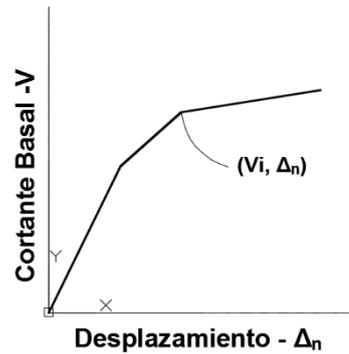
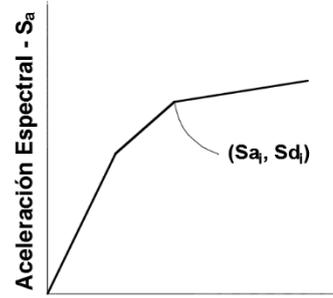


Figura N° 2.2 Pórtico sometido a "Pushover"



CURVA DE CAPACIDAD



ESPECTRO DE CAPACIDAD

Figura N° 2.3 Conversión de Curva de Capacidad a Espectro de Capacidad (ATC-40, 1996, págs. 8-12)

2.2.7.2. ESPECTRO DE DEMANDA

Comúnmente la sollicitación sísmica viene dada mediante un espectro de respuesta elástico de aceleración típicamente definido para un amortiguamiento del 5%; para proceder a calcular el punto de desempeño, éste debe ser transformado a un formato ADRS, es decir, de aceleración espectral (S_a como una fracción de la aceleración de la gravedad) respecto el desplazamiento espectral (S_d). Para dicha conversión cada punto (S_{ai} , T_i) del espectro de respuesta, donde T_i es el periodo en segundos, corresponde a un punto (S_{di} , S_{di}) del espectro de demanda.

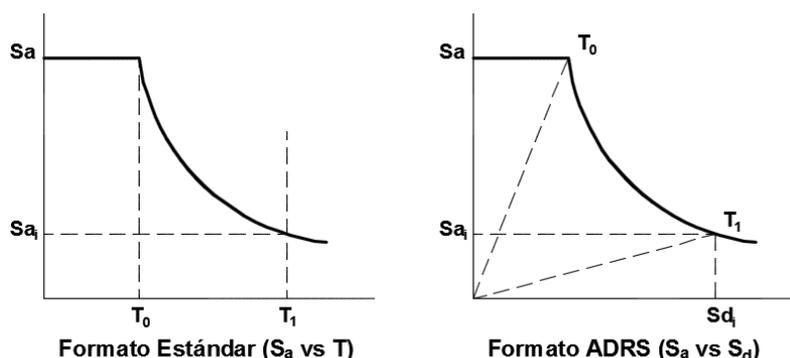


Figura N° 2.4 Conversión de Espectro de respuesta a Espectro de Demanda (ATC-40, 1996, págs. 8-12)

$$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_{ai} \quad (\text{Ec.2-9})$$

Este espectro de respuesta elástico debe ser sucesivamente ajustado para un factor de amortiguamiento con el nivel de deformaciones esperado. Para tal fin, diversas recomendaciones proponen valores de amortiguamiento característico y factores de modificación de la respuesta elástica dependientes del amortiguamiento. Por lo Andrei Reinhorn recomienda que el espectro de demanda inelástico se le obtenga a partir del espectro elástico dividido por el factor de reducción de las fuerzas sísmicas, R_μ . (Citado en Santana, 2012, pág. 46)

$$S_a = \frac{S_{ae}}{R_\mu} \quad (\text{Ec.2-10})$$

$$S_d = \frac{\mu S_{de}}{R_\mu} = \frac{\mu T^2}{R_\mu 4\pi^2} S_{ae} = \mu \frac{T^2}{4\pi^2} S_a \quad (\text{Ec.2-11})$$

Donde μ es el factor de ductilidad definida como la relación entre el máximo desplazamiento y el desplazamiento de fluencia, en la curva de capacidad ($\mu=\Delta u/\Delta y$); y R_μ es el factor de reducción por ductilidad, es decir debido a la disipación de energía histerética de estructuras dúctiles.

2.2.7.3. PUNTO DE DESEMPEÑO

El punto de desempeño (S_a ; S_d) como ya se ha venido mencionando es aquel que se obtiene de la superposición del espectro de capacidad y demanda. Este representa el comportamiento estructural que corresponde al modo fundamental de vibración en términos de pseudo-aceleración y pseudo-desplazamiento.

Si en caso la intersección de los espectros de demanda y capacidad esté localizada en el rango lineal de la capacidad, entonces se define el punto de desempeño de la estructura, aunque generalmente esto no ocurre. Por lo que para encontrar el punto donde la demanda y la capacidad sean iguales, primero se selecciona un punto en el espectro de capacidad como una estimación inicial. Esta primera estimación puede ser el desplazamiento obtenido usando la hipótesis del igual desplazamiento, o el punto final del espectro de capacidad. (ATC-40, 1996, págs. 8-20,21)

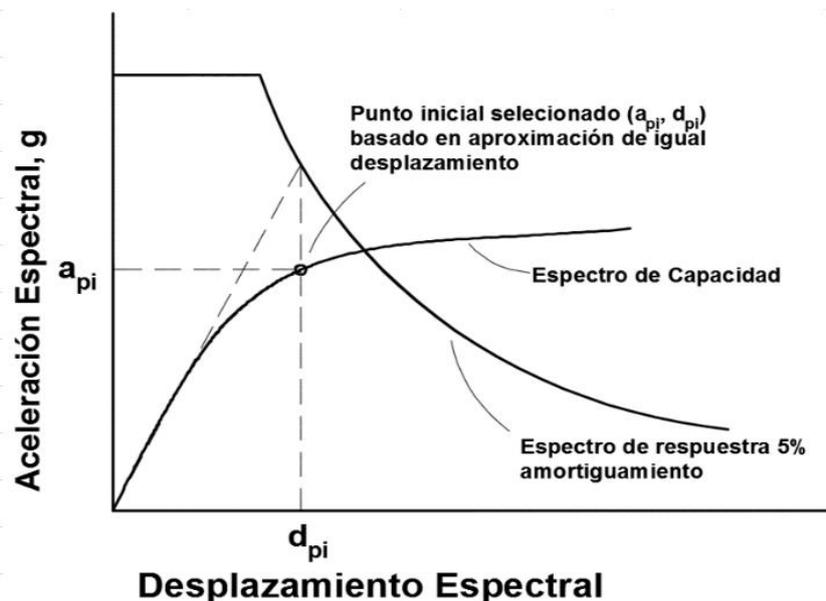


Figura N° 2.5 Estimación del punto inicial (ATC-40, 1996, págs. 8-12)

Luego, se pueden calcular factores de reducción para aplicar al 5% de amortiguamiento del espectro elástico de esta manera encontrar la amortiguación efectiva asociada con el **punto específico**. El ATC-40 menciona un proceso iterativo donde, 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. (Citado en Aguilar, 2018, pág. 24)

Curvas de demanda $\beta e_{ff} = 5\%, 10\%, 15\%, 20\%, 25\%$ y 30%

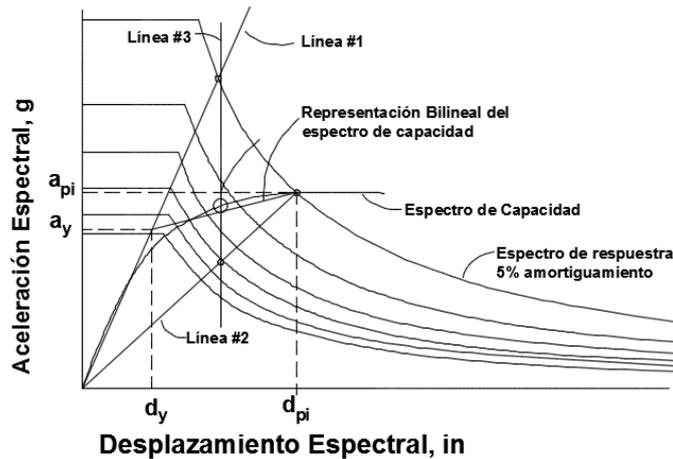


Figura N° 2.6 Cálculo del punto de desempeño por el Espectro de Capacidad (ATC-40, 1996, págs. 8-29)

Es importante recordar que esta metodología representa un enfoque aproximado de la respuesta no lineal de una estructura, en ningún caso se debe considerar exacta. Sin embargo Tsopleas (1997) obtuvo resultados buenos estimados de la respuesta estructural en sus estudios comparativos de análisis estáticos no lineales con el AENL simplificado, en términos de desplazamiento máximo promedio y aceleración total, resaltando la incorporación apropiada de la reducción de la demanda sísmica debido a la modificación del amortiguamiento del sistema.

2.2.8. SECTORIZACIÓN DE LA CURVA DE CAPACIDAD

2.2.8.1. MODELO BILINEAL DE LA CURVA DE CAPACIDAD

El FEMA 356 y el ATC-40 proponen el método del coeficiente para obtener la representación bilineal de la curva de capacidad, el cual es muy utilizado internacionalmente. En el presente estudio, se ha adoptado dicho procedimiento pero con ciertas variaciones en la determinación del desplazamiento último y en el cálculo de la rigidez efectiva de la estructura, con el fin de ser consecuentes con lo que se ha venido desarrollando previamente (Santana, 2012, pág. 54). Según esto, el procedimiento se desarrolla como sigue:

- i. Se define el desplazamiento último D_u y su correspondiente cortante basal V_u , en el momento que un elemento de la edificación haya alcanzado su momento o resistencia última. (Punto B, figura 2.7).
- ii. Se calcula el área bajo la curva de capacidad A_{curva} , utilizando un método de integración como la regla de los trapecios.
- iii. Se calcula la rigidez lateral efectiva de la estructura o pendiente inicial K de la curva bilineal. Se obtiene de línea recta entre el origen O y el punto donde se ha producido la primera fluencia (D'_y, V'_y).

$$K_e = \frac{V_y}{D_y} \quad (\text{Ec.2-12})$$

iv. Se estima la cortante basal de fluencia V_y . Este valor se elige arbitrariamente, y se redefine mediante un proceso iterativo que iguala las áreas bajo la curva real de capacidad A_{curva} y la curva bilineal idealizada A_{bilineal} .

v. Se calcula el desplazamiento de fluencia D_y , el cual se define como:

$$D_y = \frac{V_y}{K_e} \quad (\text{Ec.2-13})$$

vi. Se define la curva bilineal mediante las rectas OA y AB y se calcula el área de la curva.

vii. Se determina el error ε en la representación bilineal, según:

$$\varepsilon = \frac{A_{\text{curva}} - A_{\text{bilineal}}}{A_{\text{curva}}} * 100 \quad (\text{Ec.2-14})$$

viii. Si el error excede el nivel de tolerancia preestablecido, se requiere nueva iteración, en donde el nuevo valor de cortante basal de fluencia y se repiten los pasos iv al vii con el nuevo cortante.

$$V_y^{i+1} = \frac{A_{\text{curva}}}{A_{\text{bilineal}}} * V_y^i \quad (\text{Ec.2-15})$$

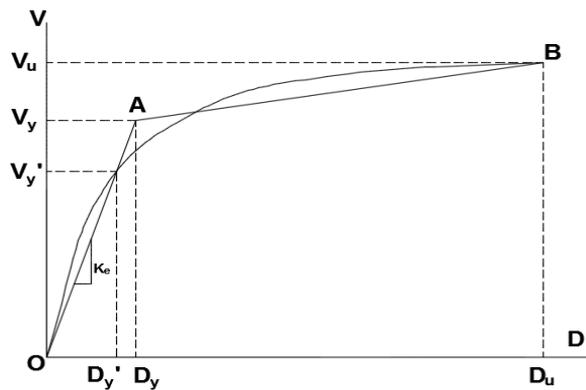


Figura N° 2.7 Representación bilineal de la curva de Capacidad (Santana, 2012, pág. 55).

2.2.8.2. SECTORIZACIÓN DE LA CURVA DE CAPACIDAD

Para obtener el nivel de desempeño para el punto de desempeño encontrado la curva de capacidad se divide en sectores que se asocian a un estado de daño de la estructura (Figura 2.8). Según la metodología propuesta en el SEAOC (1995). La zona elástica (Δ_e) corresponde a un estado operacional de la estructura y se determina con el punto de fluencia efectivo mediante una idealización bilineal de la curva de capacidad, vista en el acápite anterior. La zona inelástica (Δ_p) se divide en 4 partes, correspondiente a porcentajes de 30, 30, 20 y 20% a los que se asocian los cuatro últimos niveles de desempeño: funcional, Seguridad de Vida, Cerca al colapso, Colapso.

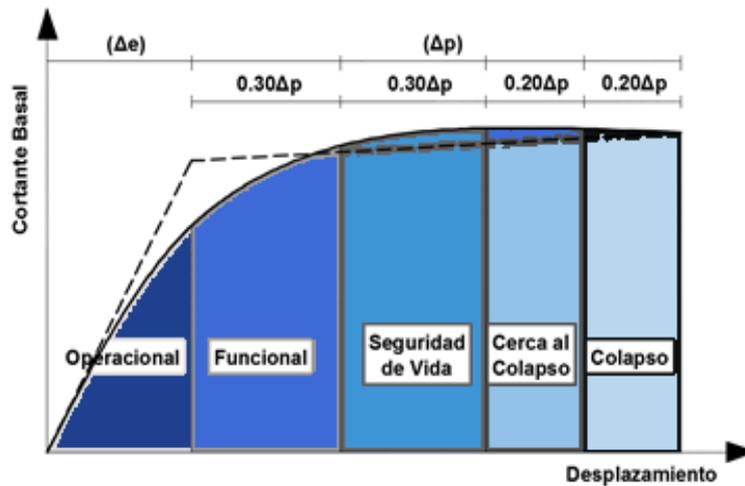


Figura N° 2.8 Sectorización de la curva de Capacidad. (Loa Canales, 2017, pág. 13)

2.2.9. MODELO DE EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DE EDIFICACIONES DE MAMPOSTERÍA

Un artículo publicado por la Revista de Ingeniería Sísmica de la Universidad Autónoma Metropolitana, discute un procedimiento de análisis no lineal que permite estimar de manera razonable el comportamiento de las edificaciones de mampostería confinada más allá de su límite elástico.

Por el alto número de edificaciones de mampostería ubicadas en zonas de alto peligro sísmico de la República Mexicana, es necesario entender el comportamiento esperado ante sollicitaciones sísmicas intensas. Por ello, se plantean nuevos criterios de análisis y diseño sísmico, con el objetivo de reducir su vulnerabilidad a través del control explícito del daño estructural. Esta opción es considerablemente simple ya que se basa en el control sísmico en base del desplazamiento lateral. (Zúñiga Cuevas & Terán Gilmore, 2008, pág. 26)

Además mencionan que “A pesar de los desarrollos recientes en México, no será posible la aplicación racional de metodologías basadas en desplazamiento a las edificaciones de mampostería hasta que no se desarrollen métodos de análisis no lineal para este tipo de estructuras”. Es entonces que Zúñiga y Terán plantean una adaptación del modelo de columna ancha, un modelo de análisis que es capaz de estimar la respuesta de la mampostería en sus rangos tanto elástico como inelástico. Este es un procedimiento simple para obtener la curva de capacidad para este tipo de edificaciones y su uso dentro de un método de evaluación por desplazamientos.

2.2.9.1. ENVOLVENTE DE COMPORTAMIENTO HISTERÉTICO

El comportamiento histerético es la curva del comportamiento de muros de mampostería al estar sujeta a cargas laterales cíclicas. Dado que el comportamiento de la mampostería suele estar dominado por la componente de deformación por corte (Sanchez, Alcocer, & Flores, 1996, pág. 914) la respuesta tiende a estar caracterizada, aún para pequeñas deformaciones, por el deterioro de sus propiedades estructurales.

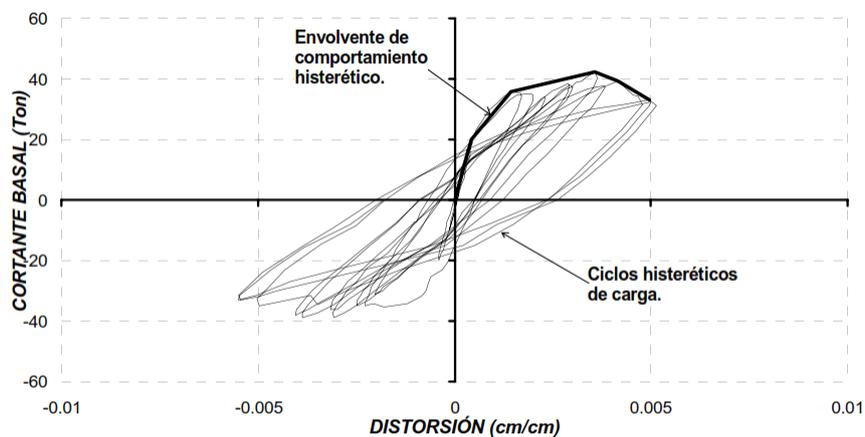


Figura N° 2.9 Envolvente del comportamiento histerético de muros de mampostería confinada. (Zúñiga Cuevas & Terán Gilmore, 2008, pág. 28)

Zúñiga y Terán definen en la anterior imagen zonas asociadas a la envolvente del comportamiento histerético de muros de mampostería confinada:

- Comportamiento elástico. A niveles pequeños de desplazamiento y esfuerzo, caracterizados por la presencia de agrietamiento horizontal en los castillos que confinan al muro y de un mínimo agrietamiento en el panel de mampostería, los muros exhiben un comportamiento prácticamente elástico.
- Degradación de rigidez. Después de que se presenta el agrietamiento diagonal, los muros de mampostería exhiben una pendiente post-elástica positiva que es sustancialmente menor a la rigidez elástica inicial, lo que les permite alcanzar una resistencia máxima mayor que la que corresponde al primer agrietamiento.
- Degradación de rigidez y resistencia. Una vez que alcanza su resistencia máxima, la mampostería exhibe una pendiente negativa asociada a pérdidas de resistencia y rigidez que evolucionan hasta la falla del muro.

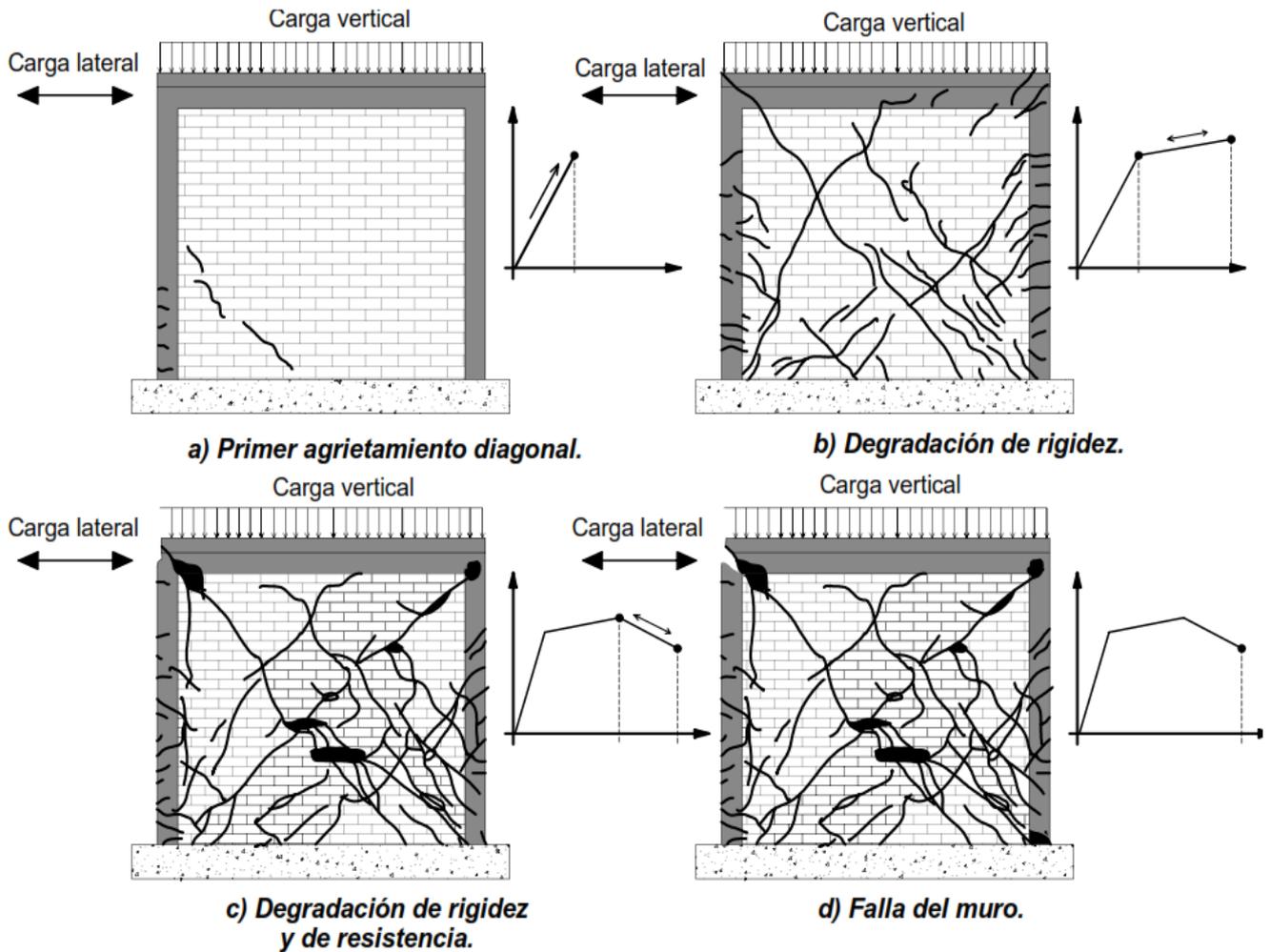


Figura N° 2.10 Evolución del daño estructural en muros de mampostería confinada. (Zúñiga Cuevas & Terán Gilmore, 2008, pág. 29)

2.2.9.2. DEGRADACIÓN DE RIGIDEZ

En la investigación previamente citada, se desarrollan métodos para el cálculo de la curva envolvente. De esta manera concebir el grado de deterioro que exhibe la rigidez lateral de las estructuras de mampostería mediante el concepto de rigidez de ciclo. Aunque para asumir estas ecuaciones, se tendría que tener materiales de construcción similares. Por lo cual se tomarán los lazos y curva histerética calculada por Gálvez (2011), con el objetivo de calibrar correctamente la degradación de rigidez y los límites de la mampostería usada en el Perú.

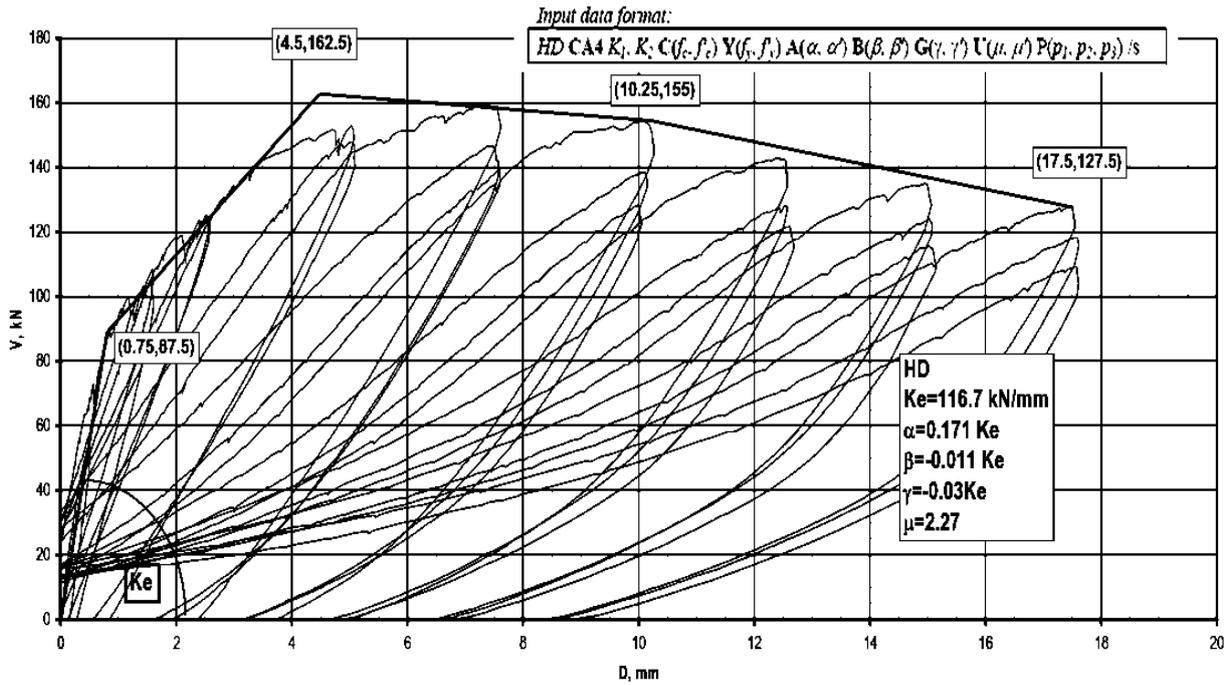


Figura N° 2.11 Parámetros de calibración para la rama ascendente de la curva histerética. (Gálvez Chunas, 2011, pág. 26)

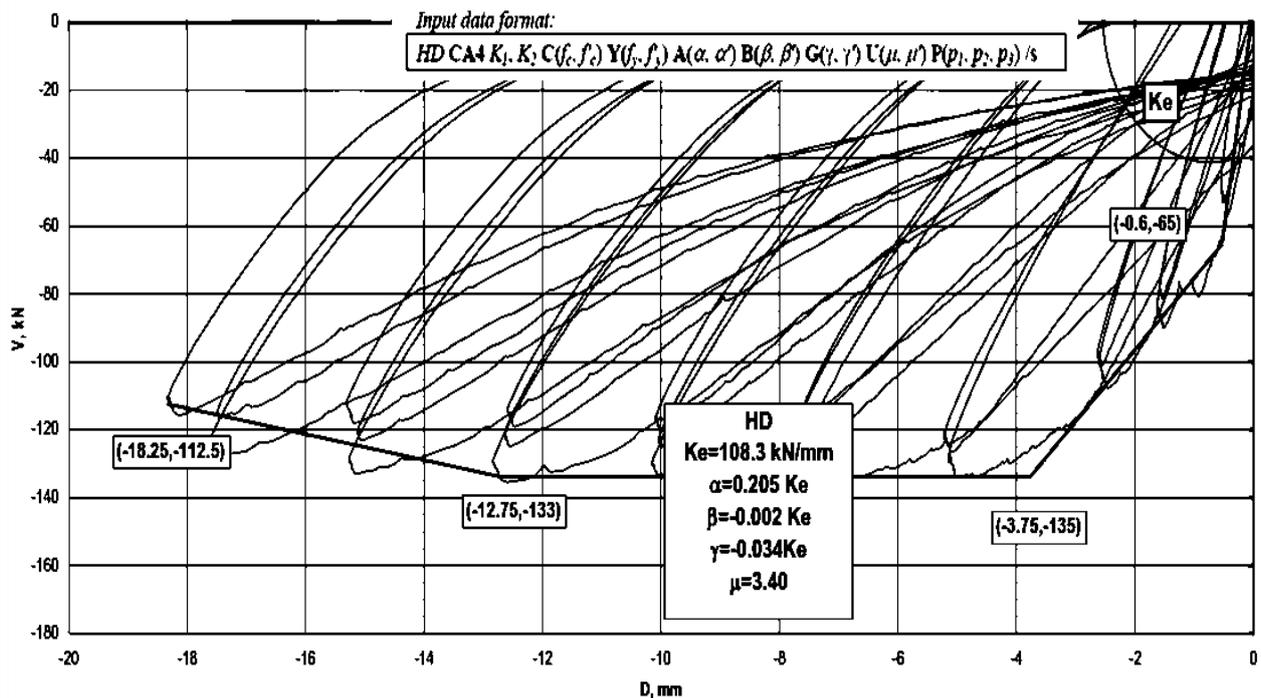


Figura N° 2.12 Parámetros de calibración para la rama descendente de la curva histerética. (Gálvez Chunas, 2011, pág. 26)

2.2.9.3. MODELO DE COLUMNA ANCHA

Un modelo analítico es la representación matemática de un sistema que toma en cuenta las propiedades de la estructura, y al someterse a un sistema de fuerzas responde de forma semejante a la estructura original. Para el análisis estructural es necesario que el modelo

considere las propiedades mecánicas de la mampostería, a pesar que en la actualidad ya existen algunos modelos de análisis estructural para muros, no son directamente aplicables en mampostería confinada. (Zúñiga Cuevas & Terán Gilmore, 2008, pág. 31)

El modelo de columna ancha que presentan la Revista de Ingeniería Sísmica (2008), idealiza a los muros de mampostería a través de marcos. En este sentido, los muros vienen a ser columnas equivalentes que deben representar sus propiedades a flexión y corte y las vigas inmersas en los muros se les asignará rigidez infinita, a flexión como a corte.

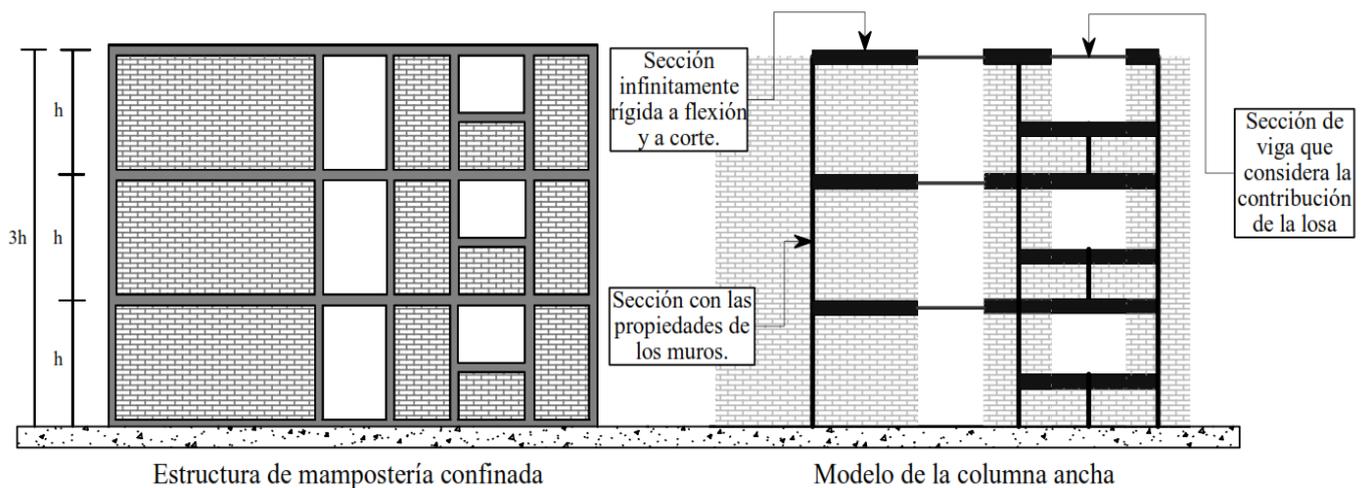


Figura N° 2.13 Modelo de columna ancha (Zúñiga Cuevas & Terán Gilmore, 2008, pág. 32)

También se menciona que, la ventaja de utilizar el modelo de la columna ancha es que las propiedades a corte y a flexión de los muros dependen directamente de las propiedades geométricas de sus secciones y de las propiedades mecánicas de la mampostería.

Además las deformaciones por corte tienden a ser de mayor importancia en elementos robustos, lo que inversamente ocurre en muros esbeltos, los cuales son dominados por deformaciones por flexión. La respuesta de elementos doblemente empotrados y cuyas relaciones de aspecto (L/H) sean ligeramente menores que la unidad, son deformaciones de corte; es el caso de la mayoría de muros de mampostería, cuyo comportamiento ante cargas laterales queda dominado por deformaciones a corte. (Zúñiga Cuevas & Terán Gilmore, 2008)

La siguiente figura muestra la idealización esquemática de los muros de mampostería para la condición de doble empotramiento. El comportamiento inelástico de los muros se modela mediante un resorte rotacional en la base que contempla las propiedades a corte.

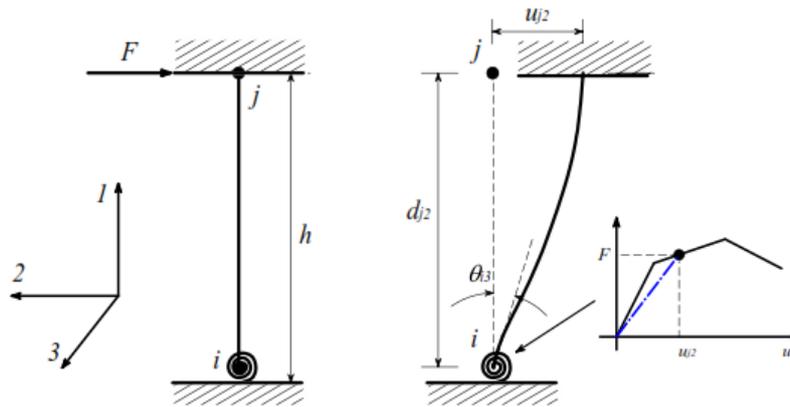


Figura N° 2.14 Idealización del modelo de columna ancha (Zúñiga Cuevas & Terán Gilmore, 2008, pág. 36)

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

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 después del mismo. (ATC-40, 1996, págs. 3-1)

Desempeño esperado u objetivo de desempeño

Refiere al nivel de comportamiento deseado de un edificio para una o varias demandas sísmicas. El comportamiento sísmico es descrito por el máximo estado de daño permitido para un nivel de demanda sísmica, expresado según la deformación de la rótula. (Delgadillo Alanya, 2005, pág. 9)

Análisis estático no lineal

El análisis no lineal estático es una técnica sencilla y eficiente para determinar la capacidad más allá del límite elástico; este procedimiento usa una serie de análisis elásticos secuenciales, superpuestos para aproximar un diagrama de capacidad fuerza-desplazamiento de toda la estructura. La estructura es afectada por una carga lateral que incrementa progresivamente, este proceso continúa hasta que la estructura se vuelva inestable o hasta que un predeterminado límite sea alcanzado. (Santana, 2012, pág. 57)

Método de espectro de capacidad

El método constituye un procedimiento gráfico, que compara la capacidad estructural con la demanda sísmica en un mismo diagrama, esta representación permite visualizar el probable comportamiento de una estructura cuando se somete a un determinado movimiento sísmico. (ATC-40, 1996, págs. 8-4).

Curva y espectro de capacidad

La curva de capacidad es el resultado del AENL, luego se transforma esta curva a una que relacione el desplazamiento espectral S_d , con la aceleración espectral S_a que es capaz de resistir la estructura, y así poder comparar directamente la demanda con la capacidad de la estructura, ambos parámetros se obtienen usando las características dinámicas del modo fundamental, que representa a la estructura como un sistema de un solo Grado De Libertad (1 gdl), a esta representación se le conoce como espectro de capacidad. (Villanueva Mohr, 2009, pág. 46)

Espectro de respuesta

El espectro de respuesta se puede definir como un gráfico de la respuesta máxima (expresada en términos de desplazamiento, velocidad, aceleración, o cualquier otro parámetro de interés) que produce una acción dinámica determinada en una estructura u oscilador de un grado de libertad. En estos gráficos, se representa en abscisas el periodo propio de la estructura (o la frecuencia) y en ordenadas la respuesta máxima calculada para distintos factores de amortiguamiento. (Crisafulli & Villa fañe, 2002, pág. 12)

Espectro de peligro uniforme

Es una curva que provee parámetros de respuesta que pueden ser usados directamente en la estimación de las demandas sísmicas para el diseño de estructuras y son preferibles y considerados superiores al espectro derivado de fijar una forma espectral al valor estimado probabilísticamente de la aceleración máxima del suelo. (SENCICO, 2016, pág. 53)

Espectro de respuesta

Se define el espectro de riesgo uniforme como la curva que une las aceleraciones espectrales asociadas independientemente a cada período estructural con una probabilidad de excedencia dada en un tiempo determinado y para un cierto factor de amortiguamiento con respecto al crítico. (SEAOC, 1995, Citado en Santana, pág. 45)

Curva histerética

La histéresis mecánica se puede interpretar como el área que hay entre los lazos de carga y descarga. La curva histerética está compuesta por tres regímenes: elástico, plástico y daño. (Gálvez Chunas, 2011, pág. 13)

Punto de desempeño

Superponiendo el espectro de capacidad y el de demanda se obtiene la respuesta máxima del edificio, en el punto de intersección de ambos espectros. Este punto es conocido como punto de desempeño, o bien en la literatura inglesa como performance point. El punto de desempeño (PD) representa el máximo desplazamiento estructural esperado para el terremoto de demanda. (Delgadillo Alanya, 2005, pág. 10)

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

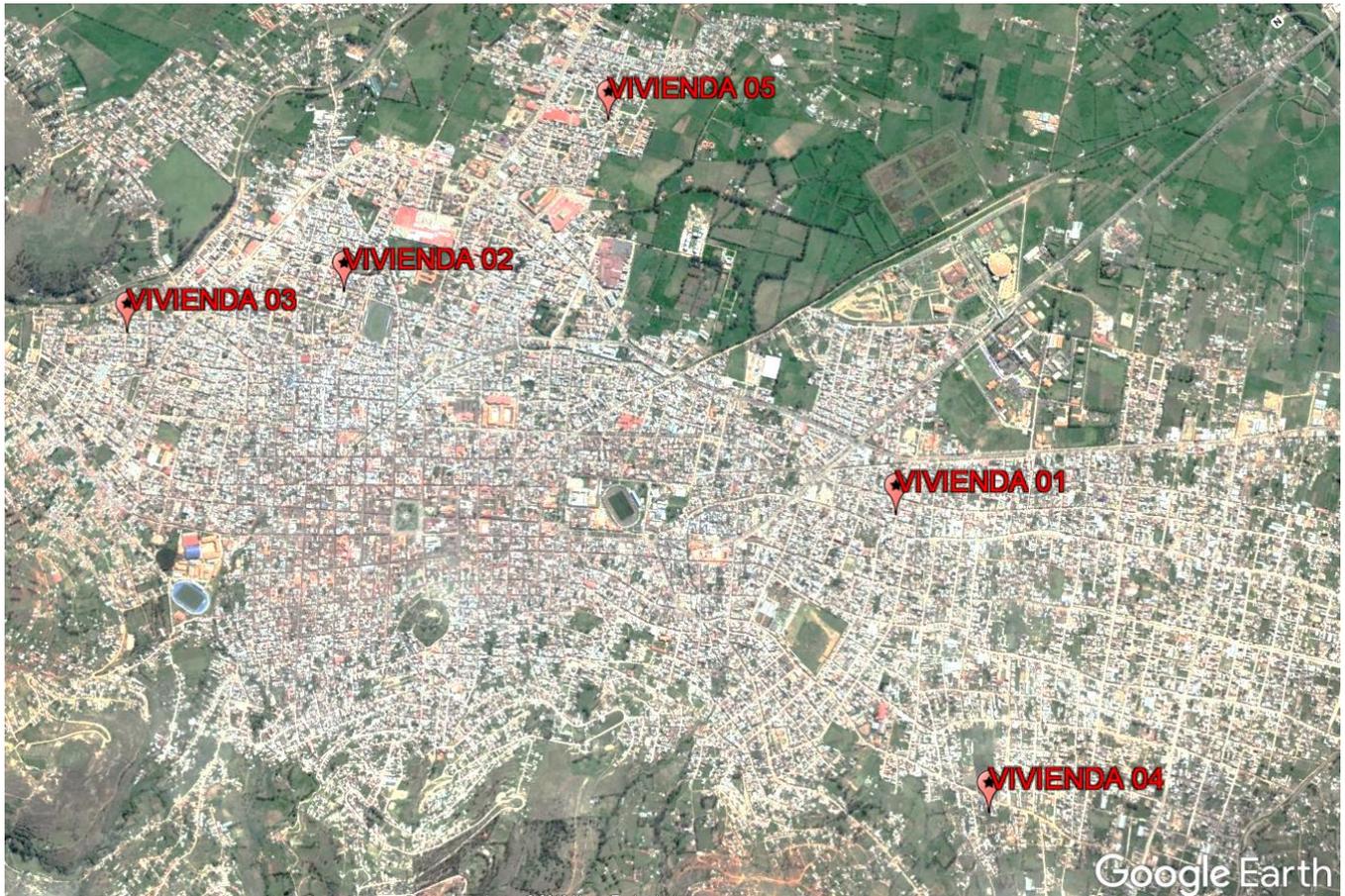
El objeto de estudio, que se define en 3.5, son cinco viviendas proyectadas en la ciudad de Cajamarca, ubicada el distrito, provincia y departamento del mismo nombre. La ubicación puntual es necesaria para el cálculo de espectros, más no se asume como variable en la investigación. A continuación se brinda la ubicación exacta de los predios, propietarios, además se numeran para fines prácticos.

Tabla N° 3.1 Ubicación geográfica de las edificaciones

EDIFICACIÓN	PROPIETARIO	DIRECCIÓN	REFERENCIA	COORDENADAS		FECHA DE PROYECCIÓN
				E	N	
Vivienda 01	Juan Carlos Soto Zevallos	Jr. El milagro N° 155	Barrio San Martín de Porres	775751.06	9206853.75	Febrero del 2018 *
Vivienda 02	Aldo Ricamir Mostacero León	Jr. Los sauces N°508	Urbanización El Ingenio	774599.03	9209061.37	Setiembre del 2017 *
Vivienda 03	Segundo Vallejos Martha Pompa	Calle Los alisos N° 296	Barrio Chontapaccha	773788.24	9209510.46	Enero del 2018 *
Vivienda 04	Eduardo Terrones María Huaripata	Psj. Santa catalina s/n Cdr. 3	Barrio Shucapampa	775227.92	9205694.38	Agosto del 2017 *
Vivienda 05	José Abelino Mendo Aguilar	Calle n° 08, Mz. M, Lt.11	Barrio Las Torrecitas	775943.71	9208919.56	Julio del 2017 *

* Fecha de planificación, no refiere a la fecha de licencia aprobada.

Figura N° 3.1 Ubicación de viviendas en la ciudad de Cajamarca



3.2. ÉPOCA DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación se centra en viviendas proyectadas durante un año (2017-2018), específicamente el rango se establece entre Julio del 2017 y Febrero del 2018, según los expedientes técnicos presentados por los propietarios ante la Municipalidad Provincial de Cajamarca. Este estudio se realizó en el año 2019 desde el mes de Febrero hasta el mes de Noviembre.

3.3. PROCEDIMIENTO

A continuación se presenta el procedimiento a seguir para el desarrollo de la investigación.

3.3.1. DESCRIPCIÓN DE LAS EDIFICACIONES A ESTUDIAR

Se cuenta con la memoria de respectiva del proyecto y el juego de planos completo presentados a la oficina de planeamiento de la MPC como parte del proceso para la emisión de licencias de construcción. En base a ellos, se describen las características de la muestra tomada (cinco viviendas) que se analizará en el siguiente trabajo de investigación. Además se adjunta en el Anexo 03 los planos correspondientes a arquitectura y estructuras.

VIVIENDA 01

El proyecto consiste en la proyección de una edificación de tres pisos más azotea, donde se desarrollará la distribución respectiva para viviendas:

- Primer nivel: Sala, cuarto de servicios higiénicos, comedor y cocina.
- Segundo nivel y tercer nivel: Dos dormitorios simples, un cuarto de servicios higiénicos completo, un área de estar y un dormitorio principal, con clóset y servicio higiénico completo.
- Cuarto nivel: Área abierta (azotea).

La estructura de vivienda está conformada por tres niveles y un tanque elevado. Presenta un sistema estructural formado por pórticos y muros de albañilería confinada. Los pórticos están formados mayoritariamente de columnas cuadradas, C (25X25), conectados con vigas peraltadas de en su dirección transversal y por vigas chatas en su dirección longitudinal. Los muros de albañilería son de 25 cm. Las losas son aligeradas de 20 cm de espesor, horizontal en el primer nivel, segundo y tercer nivel. En la Dirección X los tabiques que sirven de alfeizares están independizados de las columnas mediante juntas de 1” de espesor.

VIVIENDA 02

El proyecto consiste en la proyección de una edificación de cuatro pisos más azotea, donde se desarrollará la siguiente distribución:

- Primer nivel: Recepción y estar, salón multiusos, cuarto de servicios higiénicos para varones y mujeres y cocina.
- Segundo nivel y tercer nivel: Dos habitaciones simples, dos habitaciones dobles y tres habitaciones matrimoniales; cada una con baño completo. Además de una sala de estar para uso común.
- Cuarto nivel: Área asignada para gimnasio cuenta con: recepción, salón de máquinas , salón de spinning y servicios higiénicos completos para varones y mujeres,
- Quinto nivel: Lavandería y planchado, dormitorio de servicio y azotea.

La estructura está conformada por cuatro niveles y una losa que cubre la escalera. Presenta un sistema estructural formado por pórticos y muros de albañilería confinada. Los pórticos están formados mayoritariamente de columnas cuadradas y rectangulares, cuyas secciones se especifican en los planos, conectados con vigas peraltadas de en su dirección transversal y por vigas chatas en su dirección longitudinal. Los muros de albañilería son de 25 cm. Las losas son

aligeradas de 20 cm de espesor, horizontal en todos los niveles. Además algunos muros están compuestos de drywall, lo cual no es estructural y solo se considera como carga muerta.

VIVIENDA 03

El proyecto consiste en la proyección de una edificación de dos pisos más azotea y tanque elevado, donde se desarrollará la distribución respectiva para una vivienda multifamiliar:

- Primer nivel: Área de estacionamiento.
- Segundo nivel: Sala – comedor, cocina, lavandería, cuarto de servicios higiénicos, dos dormitorios y un dormitorio principal con servicio higiénico completo y una terraza.
- Tercer nivel: Sala – comedor, cocina, cuarto de servicios higiénicos, dos dormitorios y un dormitorio principal con servicio higiénico completo.
- Cuarto nivel: Área libre, con cobertura solo para escalera y base del tanque elevado.

La estructura de la vivienda multifamiliar está conformada por tres niveles y una losa que cubre la escalera y que es base para el tanque elevado. Presenta un sistema estructural formado por placas, pórticos y muros de albañilería confinada. Los pórticos están formados mayoritariamente de columnas en “L”, “T”, rectangulares y cuadradas; cuyas secciones se especifican en los planos, conectados con vigas peraltadas de en su dirección transversal y por vigas chatas en su dirección longitudinal. Además las placas y las vigas se conectan completamente. Los muros de albañilería son de 25 cm. Las losas son aligeradas de 20 cm de espesor, horizontal en todos los niveles.

VIVIENDA 04

El proyecto consiste en la proyección de una edificación de cuatro pisos más azotea, donde se desarrollará la distribución respectiva para una vivienda multifamiliar:

- Primer nivel: Cochera, oficina, sala – comedor, cocina, cuarto de servicios higiénicos, dos dormitorios, uno con servicios higiénicos completo y un patio.
- Segundo nivel, tercer nivel y cuarto nivel: Sala – comedor, cocina, dos cuartos de servicios higiénicos, dos dormitorios y un dormitorio principal con servicio higiénico completo.
- Quinto nivel: Área libre como azotea con cobertura solo para escalera.

La estructura de la vivienda multifamiliar está conformada por cuatro niveles y una losa que cubre la escalera. Presenta un sistema estructural formado por pórticos y muros de albañilería confinada. Los pórticos están formados mayoritariamente de columnas cuadradas C (25 x 25) conectados con vigas peraltadas de en su dirección transversal mayoritariamente y por vigas

chatas en su dirección longitudinal; aunque en la parte posterior de la edificación el sentido de viguetas cambia. Los muros de albañilería son de 25 cm. Las losas son aligeradas de 20 cm de espesor, horizontal en todos los niveles.

VIVIENDA 05

El proyecto consiste en la proyección de una edificación de tres pisos más azotea, donde se desarrollará la distribución respectiva para una vivienda:

- Primer nivel: Primera parte consta de un consultorio con sala de espera y servicios higiénicos completos; la segunda parte consta de un estar, hall, servicios higiénicos para visitas, sala – comedor y cocina.
- Segundo nivel: Hall, tres dormitorios, un cuarto de servicios higiénicos completo y un dormitorio principal con servicios higiénicos propio.
- Tercer nivel: Hall, tres dormitorios, un cuarto de servicios higiénicos completo y una terraza sin cobertura.
- Cuarto nivel: Área libre como azotea con cobertura solo para escalera, además la misma se usa como base del tanque elevado.

La estructura de la vivienda está conformada por tres niveles y una losa que cubre la escalera, además es la base del tanque elevado. Presenta un sistema estructural formado por pórticos y muros de albañilería confinada de 25 cm. Los pórticos están formados mayoritariamente de columnas cuadradas C (25 x 25) conectados con vigas peraltadas de en su dirección transversal mayoritariamente y por vigas chatas en su dirección longitudinal; por ende la dirección del aligerado de 20 cm de espesor es longitudinal en todos los niveles de la edificación.

3.3.2. PROPIEDADES Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE LAS EDIFICACIONES.

En esta sección se describen las características y parámetros usados en la construcción de las edificaciones en estudio; esencialmente, las características para el concreto, el acero y mampostería correspondiente a los elementos estructurales. Estos datos son base para la idealización de las edificaciones mediante el modelo estructural. Es necesario comentar que, las siguientes características descritas han sido obtenidas de las memorias presentadas para obtener licencias de construcción proporcionados por la Municipalidad de Cajamarca.

Tabla N° 3.2 Resumen de especificaciones técnicas de elementos estructurales

MATERIAL	ESTRUCTURAS	VIVIENDA 01	VIVIENDA 02	VIVIENDA 03	VIVIENDA 04	VIVIENDA 05	
CONCRETO	Resistencia a la compresión (f_c)	Columnas	210 Kg/cm ²				
		Vigas Principales					
		Vigas Chatas					
		Aligerado					
	Módulo de Elasticidad (E)	Columnas	218820 Kg/cm ²				
		Vigas Principales					
		Vigas Chatas					
		Aligerado					
	Peso Unitario (PU)	Columnas	2400 Kg/m ³				
		Vigas Principales					
		Vigas Chatas					
		Aligerado					
	Módulo de Poisson (ν)	Columnas	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
		Vigas Principales					
		Vigas Chatas					
		Aligerado					
Recubrimiento (r)	Columnas	4.0 cm	4.0 cm	4.0 cm	4.0 cm	4.0 cm	
	Vigas Principales	4.0 cm	4.0 cm	4.0 cm	4.0 cm	4.0 cm	
	Vigas Chatas	3 cm - 2.5 cm	3 cm - 2.5 cm	2.5 cm	3 cm - 2.5 cm	3 cm - 2.5 cm	
	Aligerado	2.0 cm	2.0 cm	3.0 cm	2.0 cm	2.0 cm	
ACERO	Esfuerzo de fluencia (f_y)	Columnas	4200 Kg/cm ²				
		Vigas Principales					
		Vigas Chatas					
		Aligerado					
	Peso Unitario (PU)	Columnas	7850 Kg/m ³				
		Vigas Principales					
		Vigas Chatas					
		Aligerado					
	Módulo de Elasticidad €	Columnas	2100000 Tn/m ²				
		Vigas Principales					
		Vigas Chatas					
		Aligerado					
MAPOSTERÍA	Resistencia a la compresión (f _m) *		35 Kg/cm ²				
	Peso Unitario (PU)		1800 Kg/m ³				
	Módulo de Elasticidad (E)		17500 Kg/cm ²				
	Módulo de Poisson (ν)		0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
	Módulo de Corte (G)		7000 Kg/cm ²				

3.3.3. METRADO DE CARGAS

Para realizar el metrado de cargas se considera lo estipulado en la norma E.020 Cargas. Según la tipología al asignarse en el modelo, se tienen cargas muertas, vivas y cargas vivas de techo. En la Tabla N°3.3 se detalla cada carga, según la ocupación o uso y los pesos considerados según las especificaciones.

Tabla N° 3.3 Resumen de especificaciones técnicas de elementos estructurales

TIPO DE CARGA	ESTRUCTURA	CARGA	CÁLCULO DE CARGA
Carga Muerta	Muros de Albañilería	1800 Kg/m ³	1800*b(m)*e(m) Kg/m
	Acabados	100 Kg/m ²	Asignación directa
	Losa Aligerada 20 cm	300 Kg/m ²	300 - PP*(210) = 90 Kg/m ²
Carga Viva	Viviendas	200 Kg/m ²	Asignación directa
	Escaleras y corredores en viviendas	200 Kg/m ²	Asignación directa
	Barandas	30 Kg/m	Asignación directa
	Cuartos	200 Kg/m ²	Asignación directa
	Escaleras y corredores en hoteles	400 Kg/m ²	Asignación directa
	Salas comunes	400 Kg/m ²	Asignación directa
	Gimnasio	400 Kg/m ²	Asignación directa
Carga Viva de Techo	Azoteas	100 Kg/m ²	Asignación directa

* PP peso propio calculado por ETABS, mediante el peso específico del concreto

3.3.4. DEMANDA SÍSMICA

3.3.4.1. COMPARACIÓN DE ESPECTRO DE LA NORMA CON EL ESPECTRO DE PELIGRO UNIFORME PARA LA CIUDAD DE CAJAMARCA

En la sección 2.2.6.1 y 2.2.6.2 se describen los parámetros para obtener los espectros de respuesta de aceleraciones. Aunque los espectros de peligro uniforme nos brindan información sísmica de mayor precisión, es necesario comparar ambos espectros ya que las edificaciones fueron diseñadas según la norma. Sin embargo, no existe un método fehaciente que pueda obtener, a partir de un espectro construido, otros espectros de distinto periodo de retorno.

Tabla N° 3.4 Parámetros para la construcción de espectro inelástico según la norma NTE.030

VARIABLE	FACTOR	DESCRIPCIÓN	PARÁMETRO	VALOR
Factor de zona	"Z"	Ubicación: Ciudad de Cajamarca	Z ₃	0.35
Categoría	"U"	Edificaciones de uso común (viviendas y hoteles)	C	1.00
Factor de amplificación sísmica	"C"	Factor de amplificación varía de acuerdo al periodo	T < 1.0, C = 2.5 1.0 < T < 1.6, C = 2.5*(1.0/T) T > 1.6, C = 2.5*(1.0*1.6/T ²)	
Periodos	"T _P "	Se obtienen haciendo uso de la tabla N°4 de la norma técnica, en base a los perfiles de suelo	Límite	1.00
	"T _L "		Límite	1.60
Factor de Suelo	"S"	Según las memorias, todas las edificaciones se edificaron sobre suelos blandos	S ₃	1.20
Factor de Reducción básica	"R"	Edificaciones de sistema de pórticos y albañilería confinada. Se toma el menor factor.	Albañilería confinada	3.00

Tabla N° 3.5 Coordinadas espectrales del espectro inelástico y de la curva de peligro sísmico

T(s)	NTP E.030 - 2016		Peligro Sísmico
	C	Sa (g)	475 años
0.00	2.50	0.350	0.48
0.05	2.50	0.350	0.67
0.08	2.50	0.350	0.83
0.10	2.50	0.350	1.00
0.15	2.50	0.350	1.08
0.20	2.50	0.350	1.11
0.25	2.50	0.350	0.98
0.30	2.50	0.350	0.88
0.35	2.14	0.300	0.81
0.40	2.50	0.350	0.74
0.45	2.50	0.350	0.69
0.50	2.50	0.350	0.63
0.55	2.50	0.350	0.59
0.60	2.50	0.350	0.54
0.65	2.50	0.350	0.50
0.70	2.50	0.350	0.46
0.75	2.50	0.350	0.42
0.80	2.50	0.350	0.40
0.85	2.50	0.350	0.38
0.90	2.50	0.350	0.36
0.95	2.50	0.350	0.34
1.00	2.50	0.350	0.31
1.10	2.27	0.318	0.29
1.20	2.08	0.292	0.27
1.30	1.92	0.269	0.25
1.40	1.79	0.250	0.23
1.50	1.67	0.233	0.20
1.60	1.56	0.219	0.19
1.70	1.38	0.194	0.18
1.80	1.23	0.173	0.17
1.90	1.11	0.155	0.16
2.00	1.00	0.140	0.15
2.10	0.91	0.127	0.14
2.20	0.83	0.116	0.13
2.30	0.76	0.106	0.13
2.40	0.69	0.097	0.12
2.50	0.64	0.090	0.11
2.60	0.59	0.083	0.11
2.70	0.55	0.077	0.10
2.80	0.51	0.071	0.09
2.90	0.48	0.067	0.09
3.00	0.44	0.062	0.08

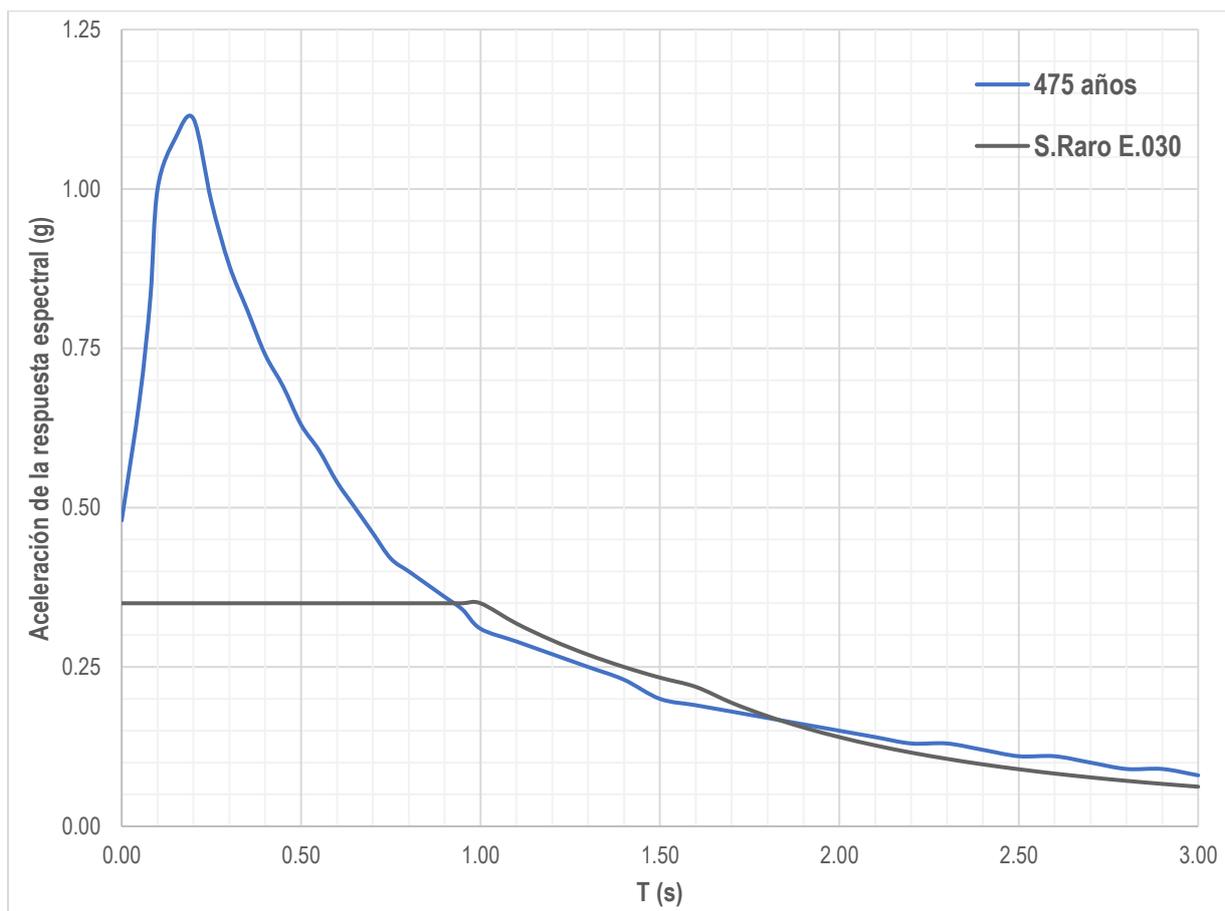


Figura N° 3.2 Espectro de peligro uniforme y espectro inelástico para la ciudad de Cajamarca

Como observamos el espectro de peligro uniforme brinda aquel incremento de aceleración espectral inicial, el cual es muy importante y es una de las condiciones que como observación se podría mejorar en nuestro código. Al estar inmersos en una investigación para definir la convergencia con espectros de demanda de niveles de sismo definidos, es preferible usar el espectro de peligro uniforme.

3.3.4.2. ESPECTROS DE PELIGRO UNIFORME PARA LOS DITINTOS PERIODOS

Otra ventaja del uso de un espectro de peligro uniforme es calcular con mayor precisión la demanda para una zona específica, el actual trabajo de investigación optará por usar los espectros de demanda calculados mediante el programa web. Se insertan las coordenadas de ubicación de las viviendas en la ciudad de Cajamarca (en latitud y longitud) y varían los periodos de retorno frecuente (43 años), ocasional (72 años), raro (475 años) y muy raro (975 años). Con lo que se obtienen los siguientes datos:

Tabla N° 3.6 Espectros de peligro uniforme para distintos periodos de retorno para la ciudad de Cajamarca (SENCICO, 2016)

T(s)	43 años	72 años	475 años	975 años
0.00	0.18	0.23	0.48	0.61
0.05	0.26	0.32	0.67	0.85
0.08	0.31	0.39	0.83	1.07
0.10	0.36	0.46	1.00	1.29
0.15	0.39	0.50	1.08	1.40
0.20	0.40	0.51	1.11	1.43
0.25	0.36	0.46	0.98	1.26
0.30	0.32	0.41	0.88	1.12
0.35	0.30	0.38	0.81	1.03
0.40	0.27	0.35	0.74	0.94
0.45	0.25	0.32	0.69	0.87
0.50	0.23	0.30	0.63	0.80
0.55	0.22	0.28	0.59	0.74
0.60	0.20	0.26	0.54	0.69
0.65	0.18	0.24	0.50	0.64
0.70	0.17	0.22	0.46	0.59
0.75	0.15	0.20	0.42	0.55
0.80	0.15	0.19	0.40	0.52
0.85	0.14	0.18	0.38	0.49
0.90	0.13	0.17	0.36	0.46
0.95	0.12	0.16	0.34	0.43
1.00	0.11	0.14	0.31	0.40
1.10	0.10	0.13	0.29	0.38
1.20	0.10	0.12	0.27	0.35
1.30	0.09	0.11	0.25	0.32
1.40	0.08	0.10	0.23	0.29
1.50	0.07	0.09	0.20	0.26
1.60	0.07	0.09	0.19	0.25
1.70	0.06	0.08	0.18	0.24
1.80	0.06	0.07	0.17	0.22
1.90	0.05	0.07	0.16	0.21
2.00	0.05	0.06	0.15	0.19
2.10	0.05	0.06	0.14	0.18
2.20	0.04	0.06	0.13	0.17
2.30	0.04	0.05	0.13	0.17
2.40	0.04	0.05	0.12	0.16
2.50	0.04	0.05	0.11	0.15
2.60	0.03	0.05	0.11	0.14
2.70	0.03	0.04	0.10	0.13
2.80	0.03	0.04	0.09	0.12
2.90	0.03	0.04	0.09	0.11
3.00	0.02	0.03	0.08	0.11

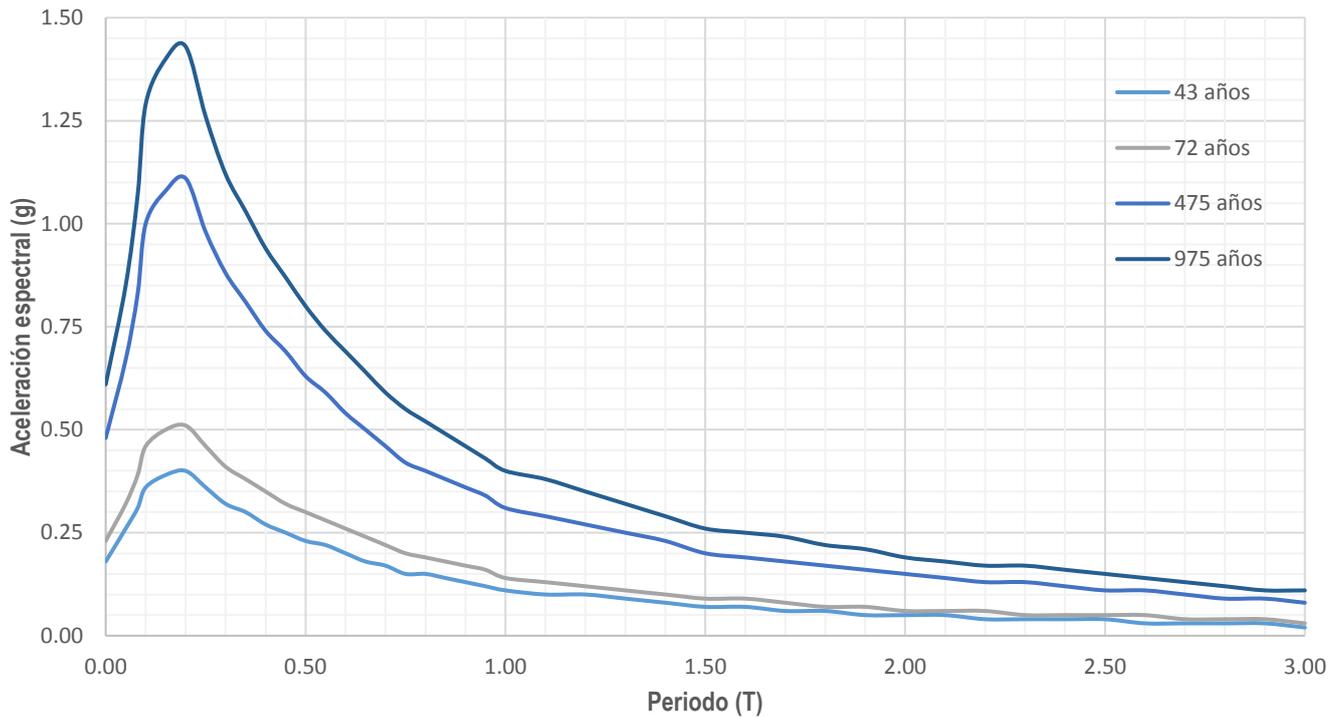


Figura N° 3.3 Espectros de peligro uniforme para distintos periodos de retorno para la ciudad de Cajamarca (SENCICO, 2016)

3.3.5. ESTIMACIÓN DE LOS NIVELES DE DESEMPEÑO

3.3.5.1. MODELAMIENTO EN EL SOFTWARE ETABS V.17

Para obtener el nivel de desempeño de una estructura es necesario dos parámetros: espectro de demanda, el cual ya se ha definido en la sección anterior; y espectro de capacidad el cual se adquiere en base a la curva de capacidad. Esta última es el resultado de un análisis pushover, esta investigación hace uso del software ETABS v.17 siguiendo los pasos a continuación:

- Realizar el modelo computacional.
- Definir el comportamiento de los elementos estructurales y sus características.
- Asignar directamente todas las cargas según su tipo.
- Establecer las rótulas a cada elemento estructural de acuerdo a su comportamiento predominante. De esta manera en vigas se asignan rótulas para momento flector (M3), en columnas, para axial-momento – momento (P-M2-M3) y en muros, para cortante (V2 o V3).
- Establecer la sollicitación lateral, para ello se importa el espectro de peligro sísmico para de cada nivel establecido. En el caso de fuerzas laterales se usa la masa, esta participa en el modo fundamental de vibración. Además en el cálculo de las fuerzas sísmicas también deben incluirse las cargas de gravedad.

- Calcular las fuerzas en los elementos para la combinación de cargas verticales y horizontales.
- 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.
- Reajustar el modelo con la rigidez que señala la curva histerética del material, en los elementos que han alcanzado su fluencia para su nuevo comportamiento respectivo.
- Simultáneamente aplicar un nuevo incremento de solicitaciones laterales a la estructura hasta que otros elementos alcancen la fluencia.
- Plotear a la vez la resultante del cortante basal debido al incremento de la carga lateral y el correspondiente incremento del desplazamiento total previo para de este modo obtener los valores acumulados de la gráfica.
- Repetir sucesivamente los pasos anteriores hasta que la estructura alcance su límite último, distorsión más allá de los niveles prescritos. Los elementos pierden toda su resistencia.

3.3.5.2. IDEALIZACIÓN DE MAMPOSTERÍA MEDIANTE EL MODELO DE COLUMNA ANCHA

Además de realizar el proceso de definición de materiales conocidos (acero y concreto), la investigación involucra el uso de un material poco estudiado, como lo es la albañilería confinada. Para ello se propone usar un método de idealización llamado modelo de columna ancha.

- Definir un material de mampostería y asignar sus características básicas.
- Asignar su comportamiento no-lineal directamente en el sentido axial, mediante la calibración de parámetros de distorsión. Además calibrar la curva histerética de corte, en base a los resultados anteriormente mostrados.
- Dibujar elementos columna con el ancho del muro y asignar el material definido.
- Definir una rótula de corte, en la cual se detallan los límites de distorsión para cada comportamiento.
- Establecer las rótulas de corte en la base de cada columna ancha.
- Conectar las columnas anchas y las vigas, mediante un coeficiente de zona rígida de 1.

3.3.5.3. SECTORIZACIÓN DE LA CURVA

Luego del cálculo de la curva de capacidad es necesario determinar los límites para poder ubicar el punto de desempeño, en el intervalo del nivel correspondiente. En la sección 2.2.7.2 se ha detallado el proceso y como resumen se presentan la fórmula para establecer los límites.

Tabla N° 3.7 Rango de desplazamiento entre niveles de desempeño (SEAOC, 1995, citado en Aguilar, 2018, pág. 61)

NIVEL DE DESEMPEÑO	DESPLAZAMIENTO	
	Límite inferior	Límite superior
Totalmente Operacional	0	ΔFE
Operacional	ΔFE	$\Delta FE + 0.30\Delta p$
Seguridad de Vida	$\Delta FE + 0.30\Delta p$	$\Delta FE + 0.60\Delta p$
Prevención del Colapso	$\Delta FE + 0.60\Delta p$	$\Delta FE + 0.80\Delta p$
Colapso	$\Delta FE + 0.80\Delta p$	$\Delta FE + \Delta p$

3.4. DIAGRAMA DE LA METODOLOGÍA

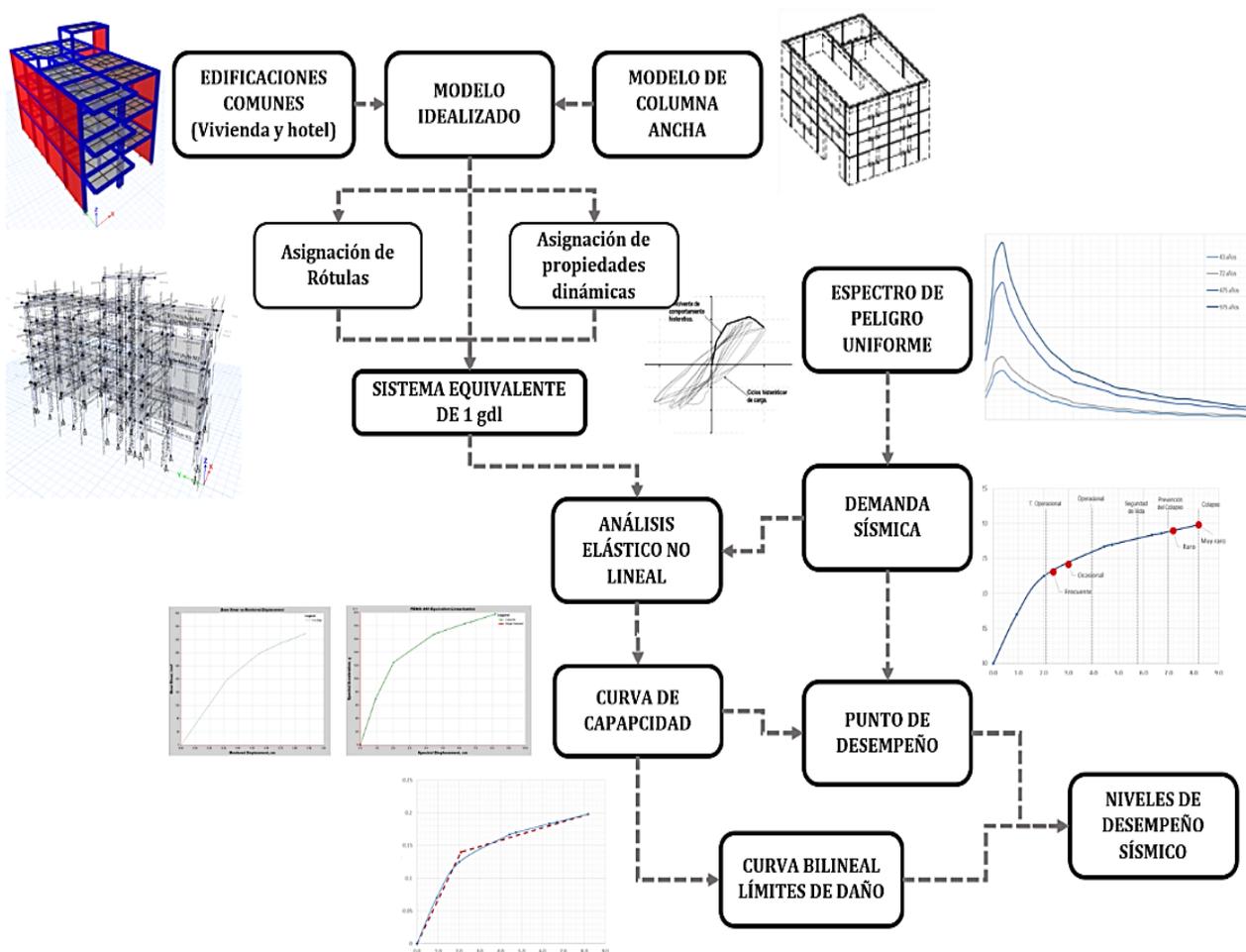


Figura N° 3.4 Espectros de peligro uniforme para distintos periodos de retorno para la ciudad de Cajamarca

3.5. TRATAMIENTO DE DATOS

3.5.1. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.5.1.1. POBLACIÓN DE ESTUDIO

En la ciudad de Cajamarca para construir cualquier edificación, es necesario solicitar a la MPC una licencia que verifique el diseño y su buen funcionamiento. Este estudio busca comprobar el desempeño de las viviendas proyectadas, siendo las de mayor incidencia en esta ciudad aquellas con albañilería; de este modo se selecciona como población a las viviendas proyectadas en la ciudad de Cajamarca entre los años 2017 y 2018. Además el método usado recomienda considerar edificios mayores a tres niveles, donde la curva capacidad es más definida.

3.5.1.2. MUESTRA

Previo a la selección de la muestra se aplicaron dos filtros: el primero consiste en la revisión minuciosa de los expedientes, extrayendo sólo aquellos que cuenten esencialmente con memoria descriptiva, planos de arquitectura y estructuras; y al mismo tiempo estén detallados y completos; el segundo filtro verifica el uso coherente de los parámetros para la elaboración, diseño y planificación del proyecto de construcción.

Luego, la muestra resulta de la elección de construcciones cuya geometría y distribución son las más características de toda la población, es decir tienen diferente estructuración y número de ambientes entre sí. De esta manera, se toman cinco viviendas representativas, las cuales han sido detalladas en la Tabla N°3.1.

3.5.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N° 3.8 Tipo de Investigación

CRITERIO	INVESTIGACIÓN
Finalidad	Aplicada
Estrategia o enfoque teórico metodológico	Cuantitativo - cualitativo
Objetivos (alcances)	Descriptiva
Fuente de datos	Mixta
Control de diseño de prueba	No experimental
Temporalidad	Transversal
Contexto donde se realizara	Ciudad
Intervención disciplinaria	Unidisciplinaria

3.5.3. TIPO DE ANÁLISIS

En la presente investigación se desarrolla un Análisis Cuantitativo – Cualitativo; en otras palabras, se recoleta información y se procesan los datos recolectados mediante ensayos formulados. Finalmente, los resultados se analizan asociando las variables con el fin de contrastar las hipótesis.

3.5.4. RECOLECCIÓN DE DATOS

Las características, especificaciones, planos y más información de las edificaciones a estudiar fueron extraídos de las memorias presentadas por propietarios, para la obtención de licencias de construcción, a la Municipalidad Provincial de Cajamarca. La oficina de planificación urbana brindó la información en digital, la cual fue filtrada tomando en consideración la integridad de datos necesarios para la modelación e idealización.

Además se asume que las viviendas cumplen con los requisitos de resistencia mínimos para el concreto y acero, considerando exactamente los datos de las especificaciones técnicas para la elaboración de los modelos estructurales.

3.5.5. PROCESAMIENTO DE DATOS

El procesamiento de datos se ha realizado en forma computarizada mediante el software para análisis estructural y modelado de edificios CSI ETABS v.17. Este programa es considerablemente útil, ya que realiza completamente el análisis estático no lineal y las conversiones, base para probar la hipótesis planteada.

También cabe mencionar el uso de otros programas complementarios en el desarrollo de la investigación, tales como AutoCAD, Microsoft Excel, Microsoft Word, lectores de PDF, etc.

3.5.6. ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.5.6.1. MODELAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS

A continuación se presenta el modelado de las viviendas realizado en el programa ETABS v.17, siguiendo las pautas descritas en los puntos 3.3.5.1 y 3.3.5.2. Es el resultado de la idealización de los elementos con los parámetros dispuestos en las memorias de estructuras, arquitectura y especificaciones técnicas brindadas.

El proceso está descrito en el Anexo 02, donde se detalla el diseño de elementos estructurales, la construcción del modelo y la aplicación de parámetros para su evaluación. Es importante esclarecer que para la idealización solo se ha tomado en cuenta los elementos estructurales; de esta manera, los elementos construidos son: columnas, vigas principales y secundarias, y muros de 25 cm de espesos confinados (laterales).

- **VIVIENDA 01**

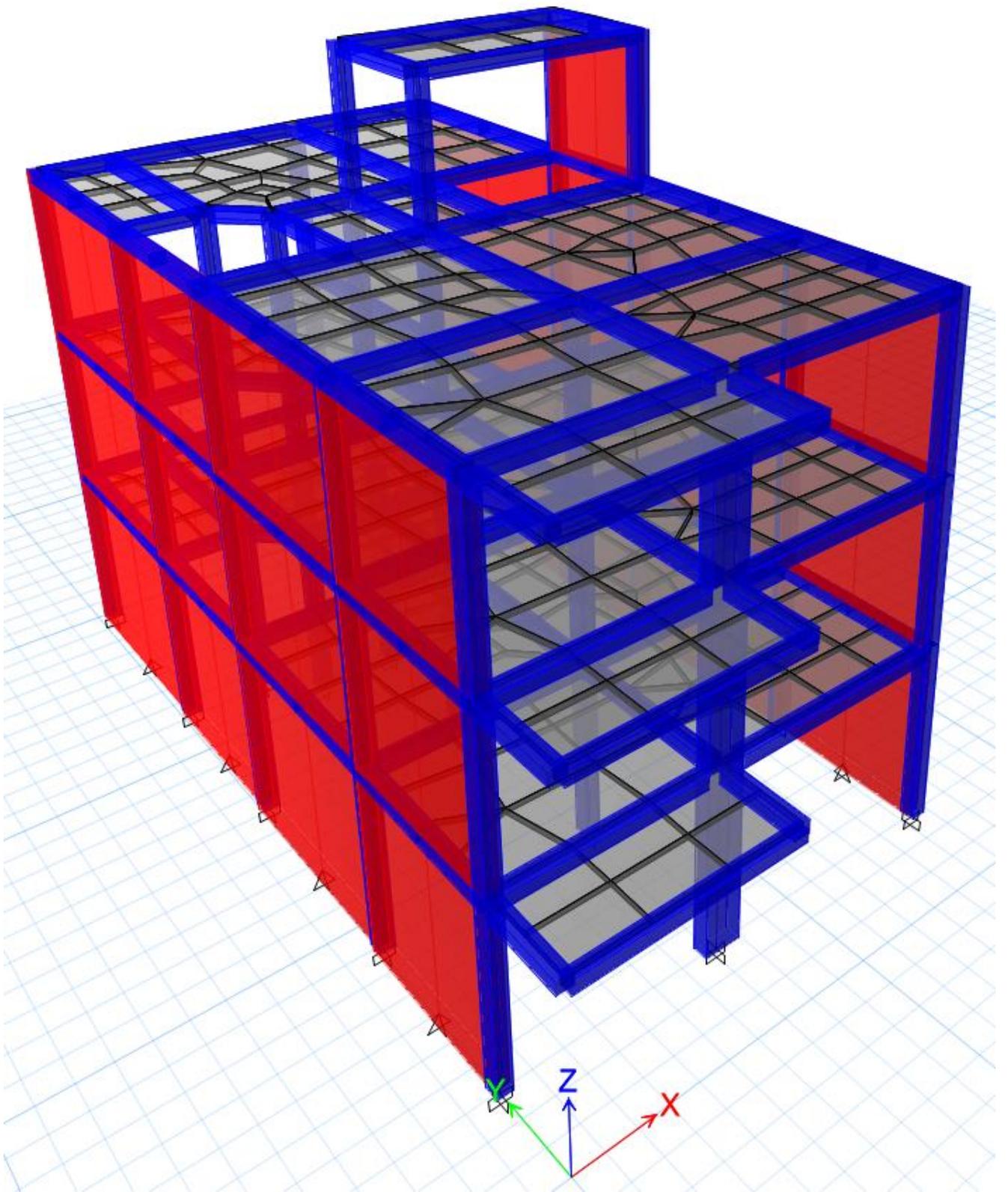


Figura N° 3.5 Modelo estructural de la vivienda 01.

- **VIVIENDA 02**

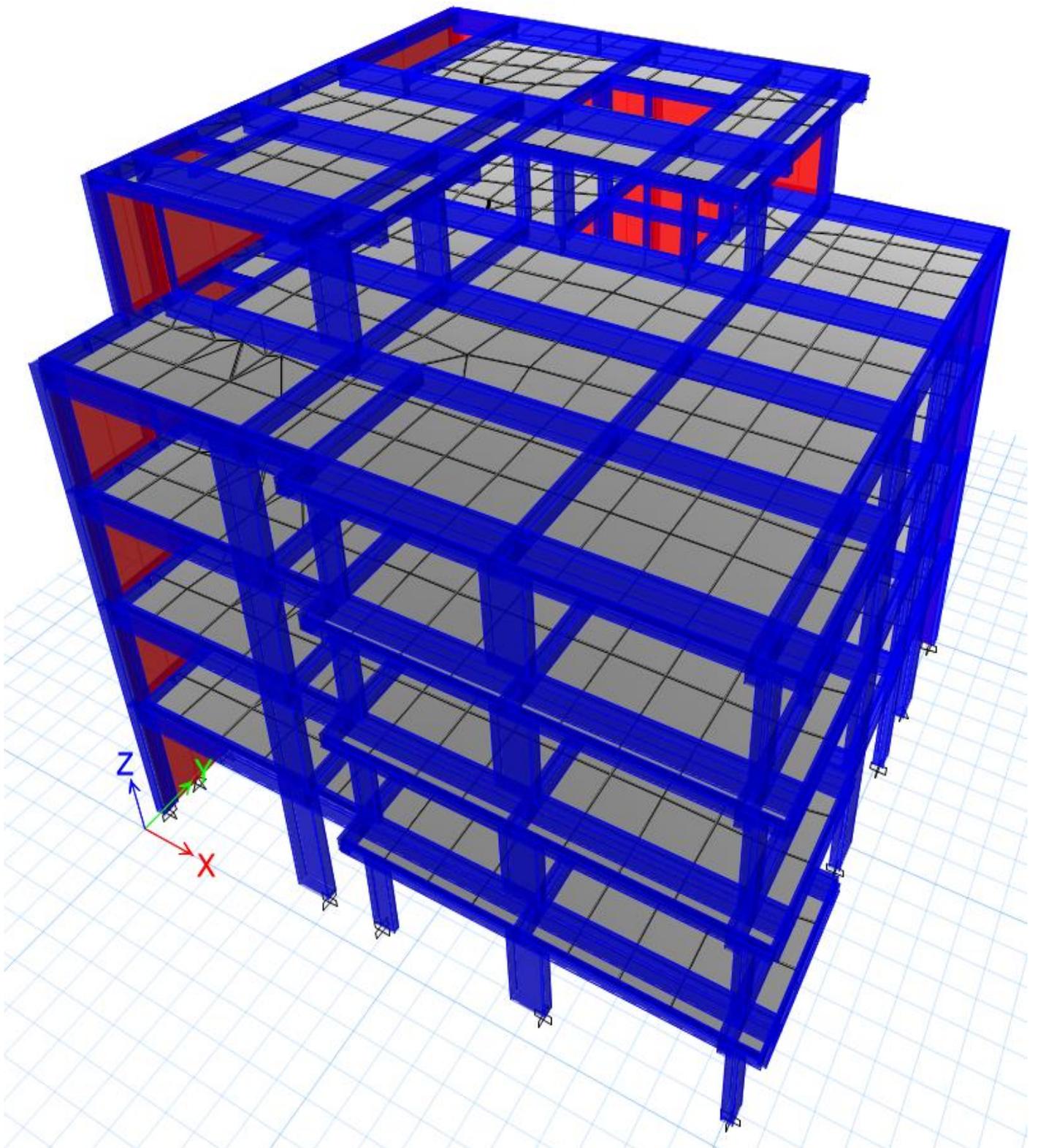


Figura N° 3.6 Modelo estructural de la vivienda 02.

- **VIVIENDA 03**

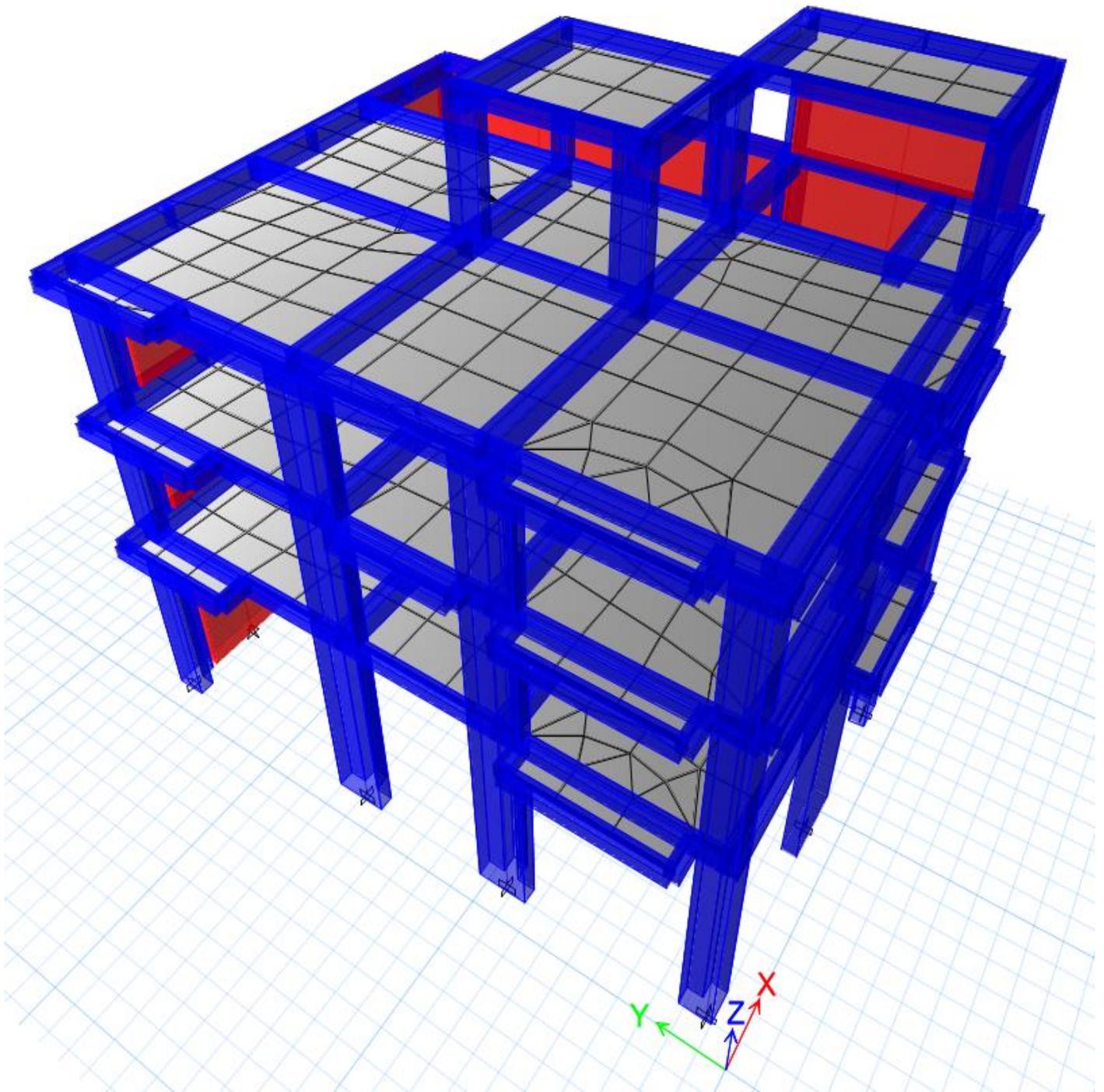


Figura N° 3.7 Modelo estructural de la vivienda 03.

- **VIVIENDA 04**

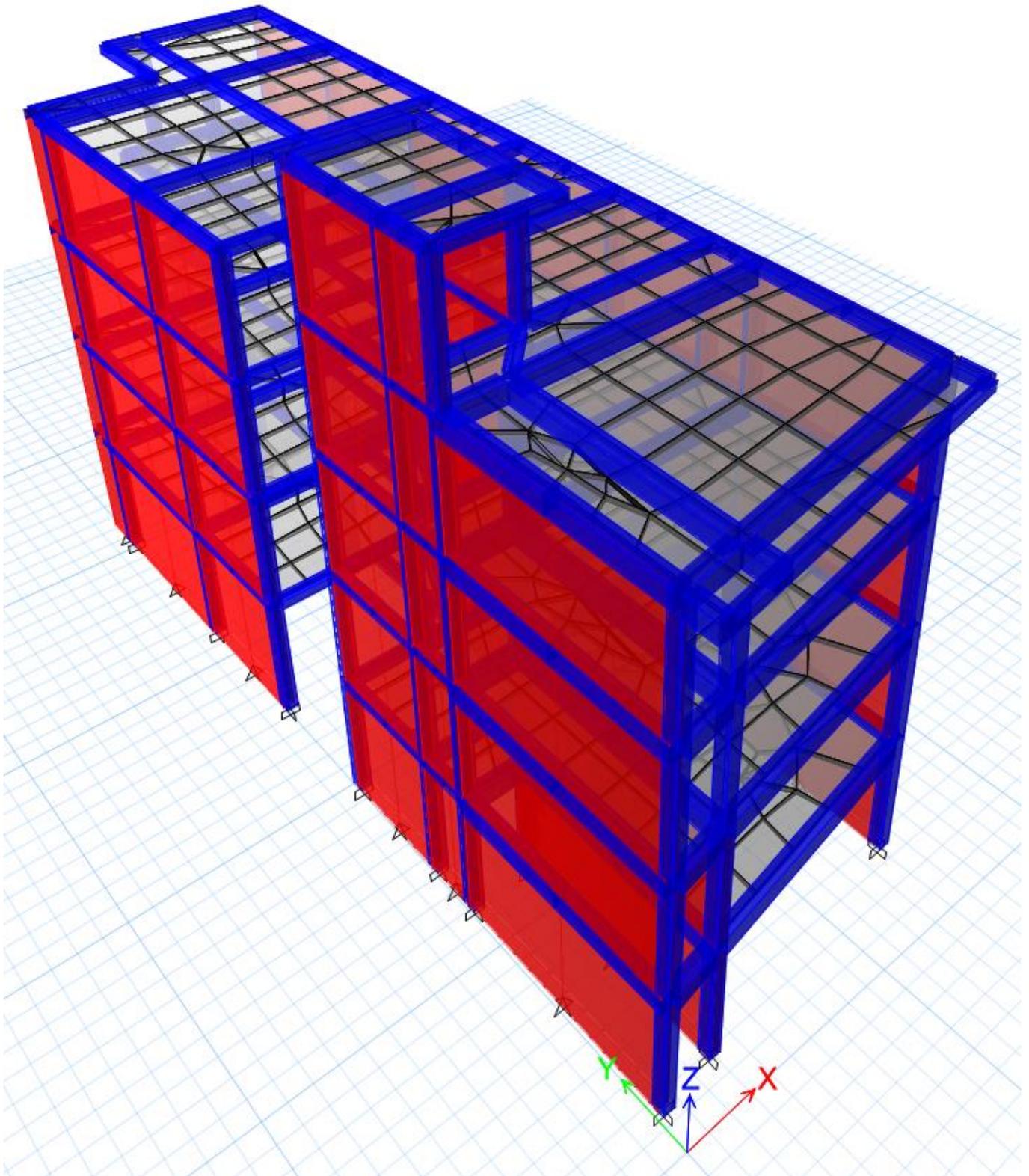


Figura N° 3.8 Modelo estructural de la vivienda 04.

- **VIVIENDA 05**

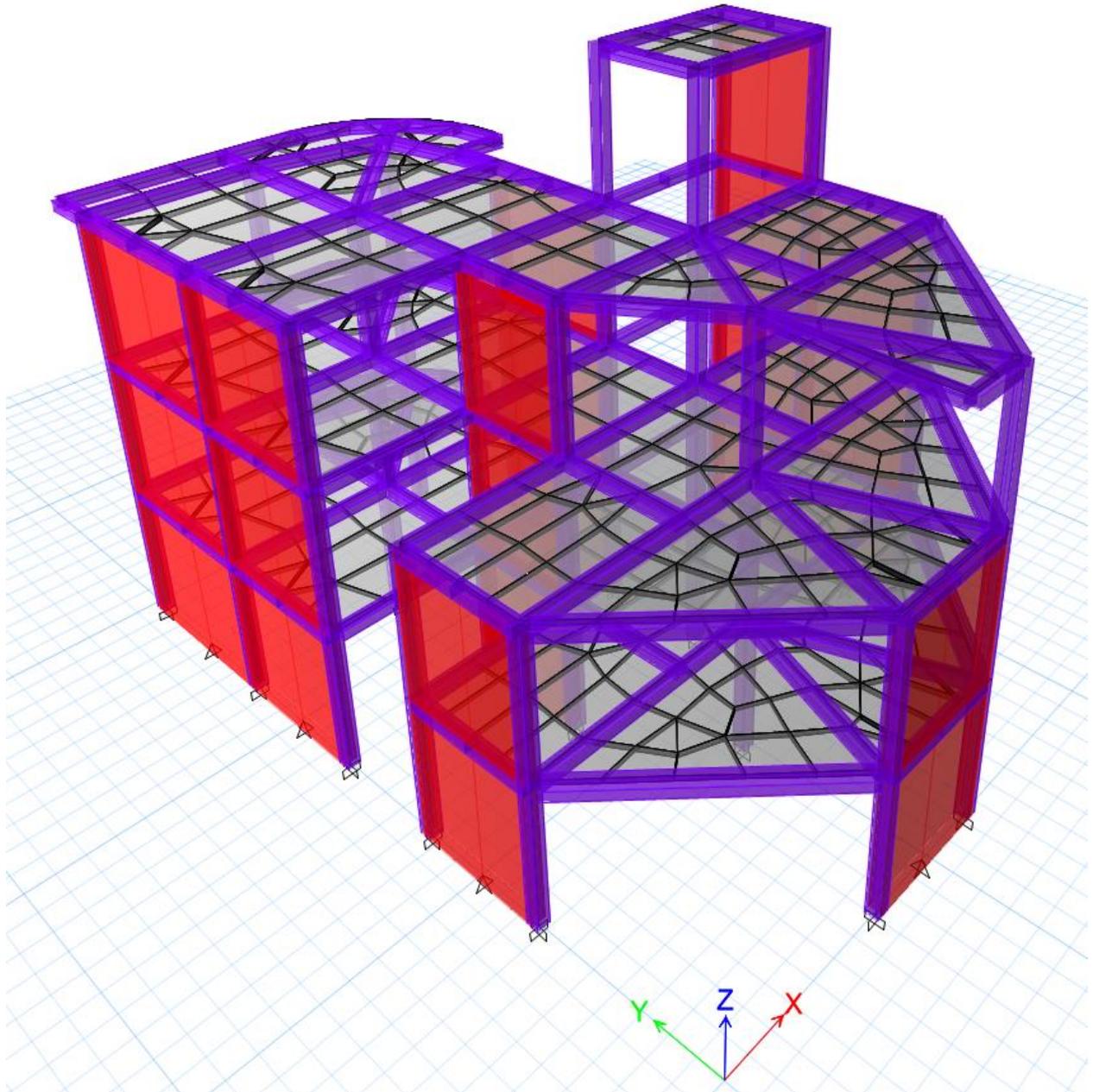


Figura N° 3.9 Modelo estructural de la vivienda 05.

3.5.6.2. CURVAS Y ESPECTROS DE CAPACIDAD

Como resultado del análisis pushover, se obtienen las curvas de capacidad en formato cortante vs desplazamiento (V-d) y mediante la conversión, los espectros de capacidad en formato aceleración espectral vs desplazamiento espectral (Sd-Sa). Además, cabe mencionar que la dirección del sismo ha sido determinada en base al sentido de desplazamiento hacia una zona libre.

VIVIENDA 01

Curva de Capacidad en dirección X

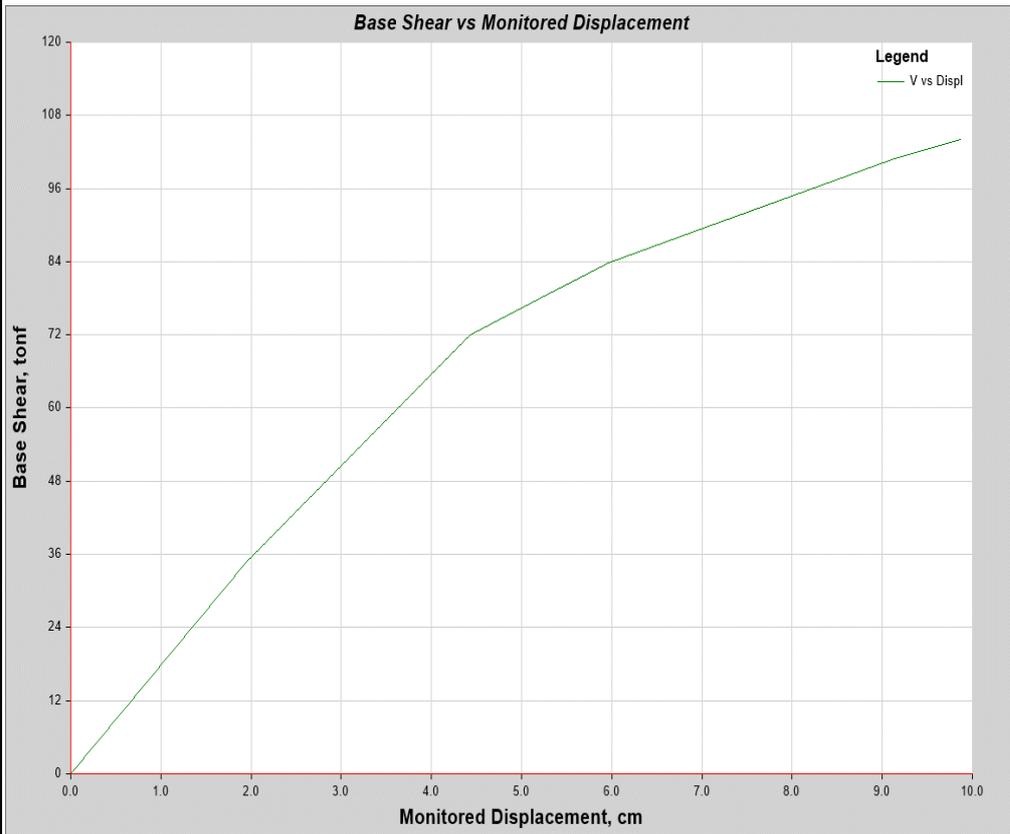


Figura N° 3.10 Curva de Capacidad de la vivienda 01 dirección X (V-d).

Espectro de Capacidad en dirección X

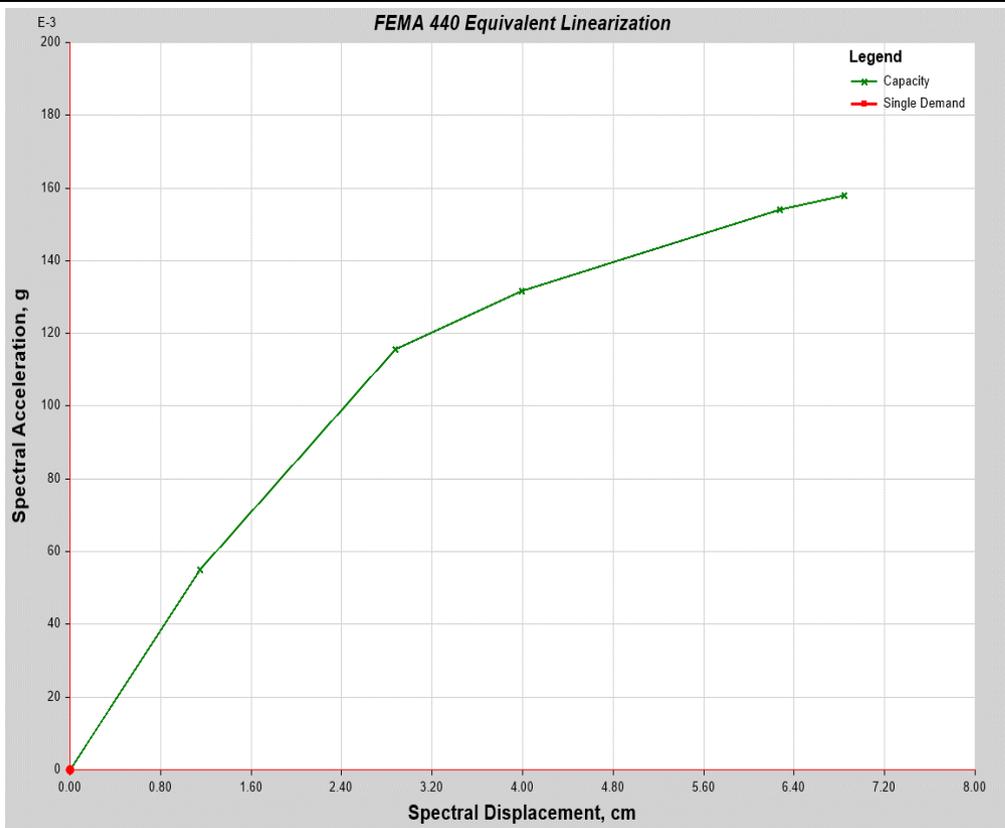
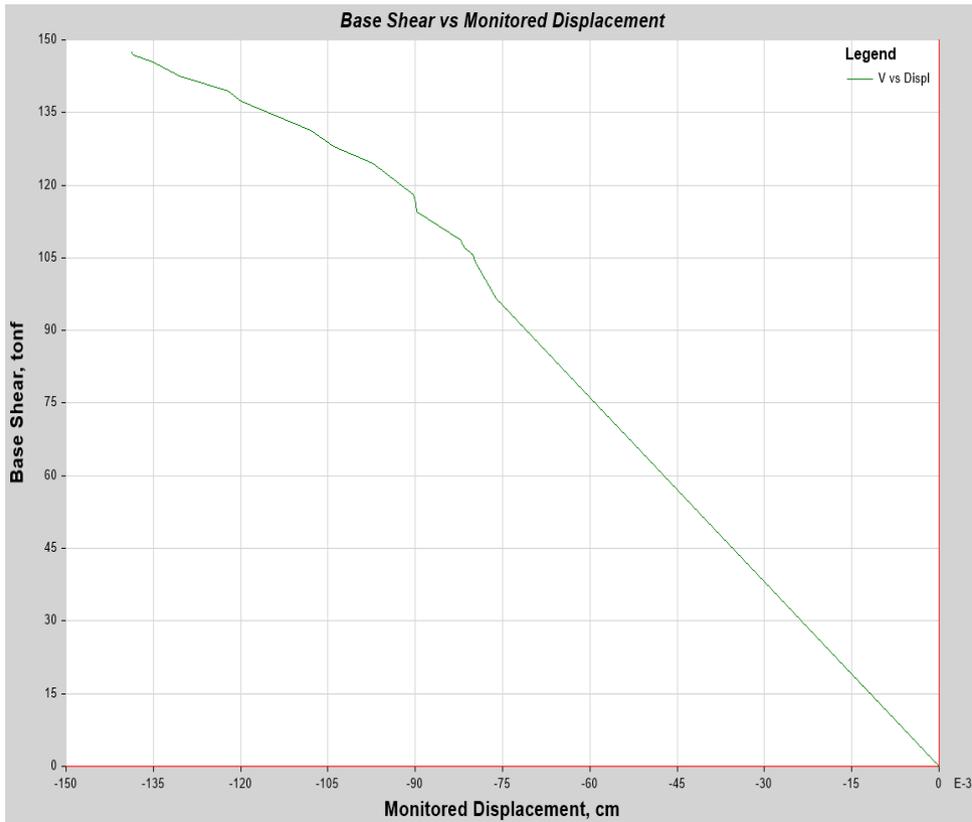


Figura N° 3.11 Espectro de Capacidad de la vivienda 01 dirección X (Sa-Sd).

VIVIENDA 01

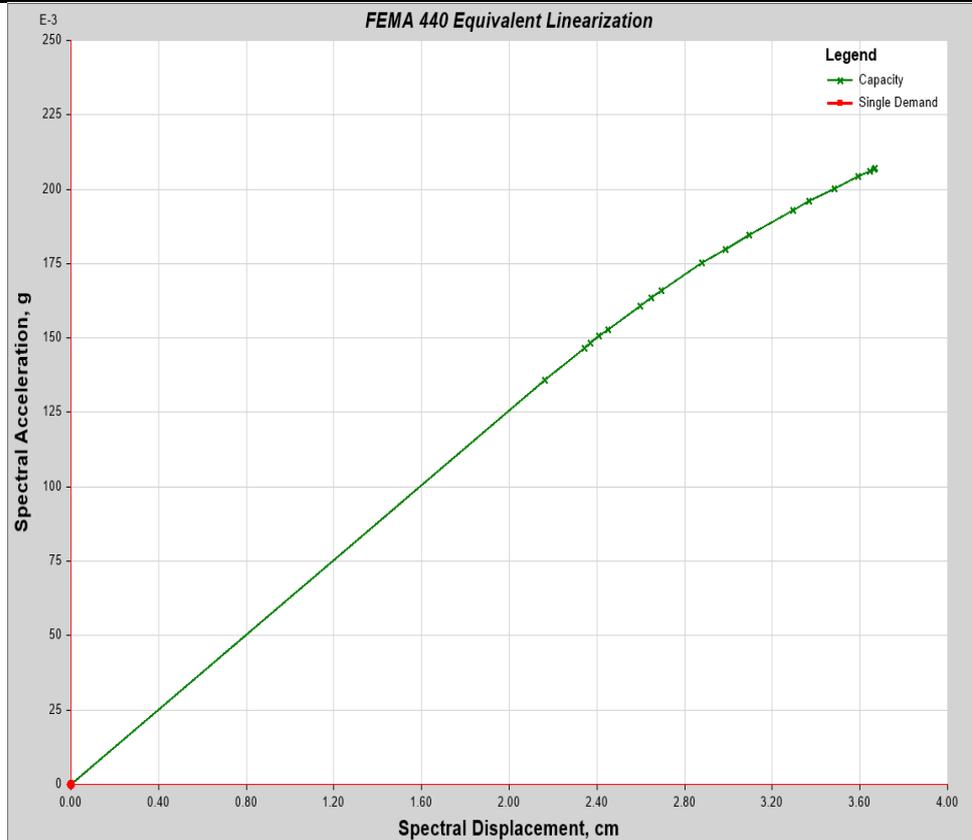
Curva de Capacidad en dirección Y



D (cm)	V (Tn)
0.000	0.000
0.076	96.633
0.080	104.406
0.080	105.511
0.082	107.106
0.082	108.728
0.090	114.462
0.090	116.217
0.090	117.963
0.097	124.469
0.104	127.938
0.108	131.304
0.120	137.393
0.122	139.345
0.131	142.586
0.135	145.482
0.139	146.875
0.139	147.340
0.139	147.344
0.139	147.408
0.139	147.412
0.139	147.428
0.139	147.429
0.139	147.431

Figura N° 3.12 Curva de Capacidad de la vivienda 01 dirección Y (V-d).

Espectro de Capacidad en dirección Y



Sd (cm)	Sa (g)
0.000	0.000
2.163	0.136
2.343	0.147
2.370	0.148
2.409	0.151
2.450	0.153
2.598	0.161
2.646	0.164
2.694	0.166
2.879	0.175
2.987	0.180
3.094	0.185
3.295	0.193
3.366	0.196
3.482	0.200
3.591	0.204
3.646	0.206
3.664	0.207
3.664	0.207
3.667	0.207
3.667	0.207
3.667	0.207
3.667	0.207
3.667	0.207

Figura N° 3.13 Espectro de Capacidad de la vivienda 01 dirección Y (Sa-Sd).

VIVIENDA 02

Curva de Capacidad en dirección X

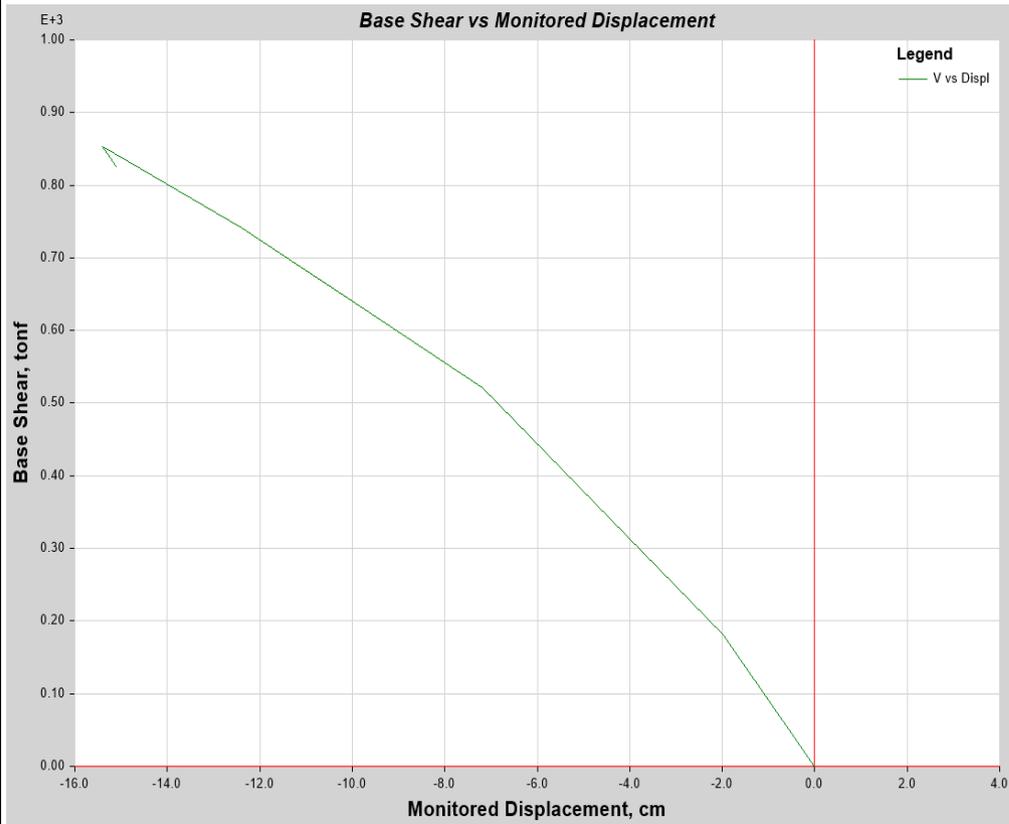


Figura N° 3.14 Curva de Capacidad de la vivienda 02 dirección X (V-d).

Espectro de Capacidad en dirección X

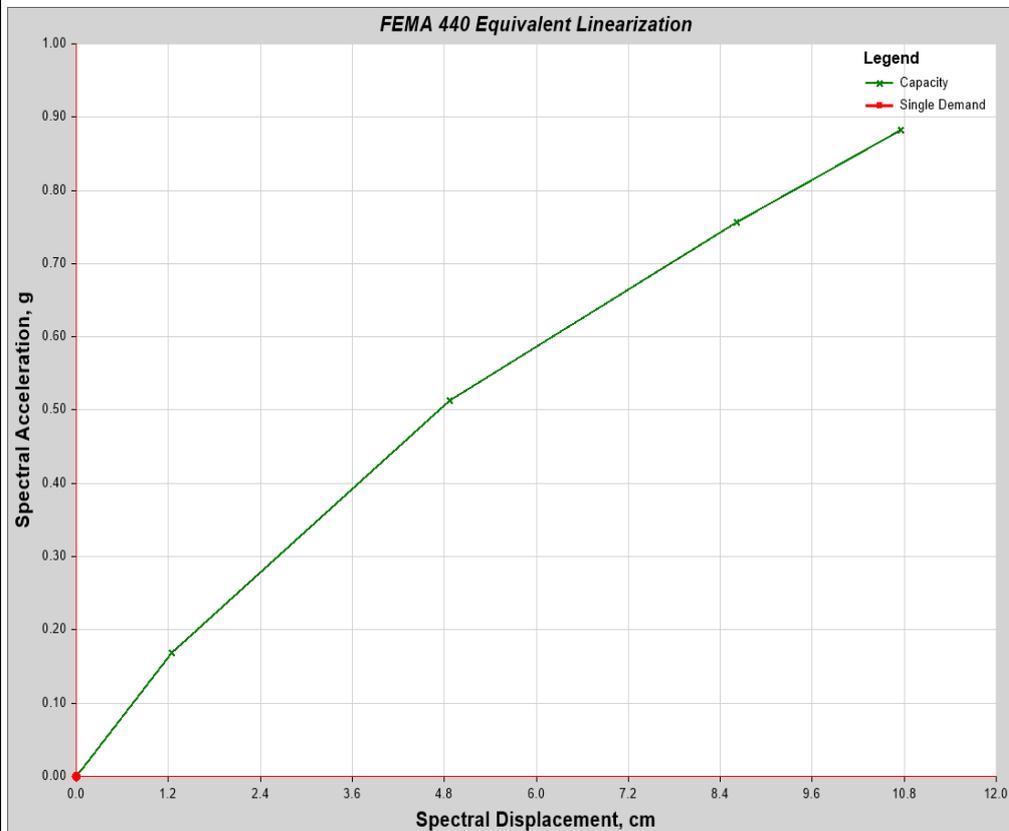


Figura N° 3.15 Espectro de Capacidad de la vivienda 02 dirección X (Sa-Sd).

VIVIENDA 02

Curva de Capacidad en dirección Y

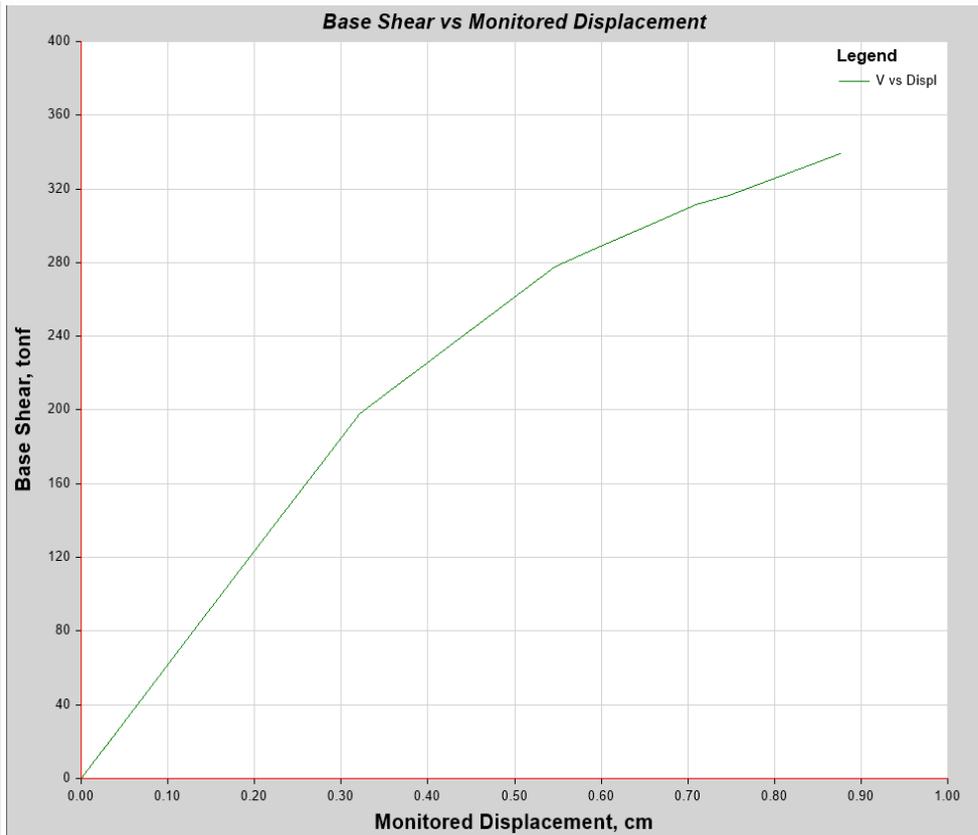


Figura N° 3.16 Curva de Capacidad de la vivienda 02 dirección Y (V-d).

Espectro de Capacidad en dirección Y

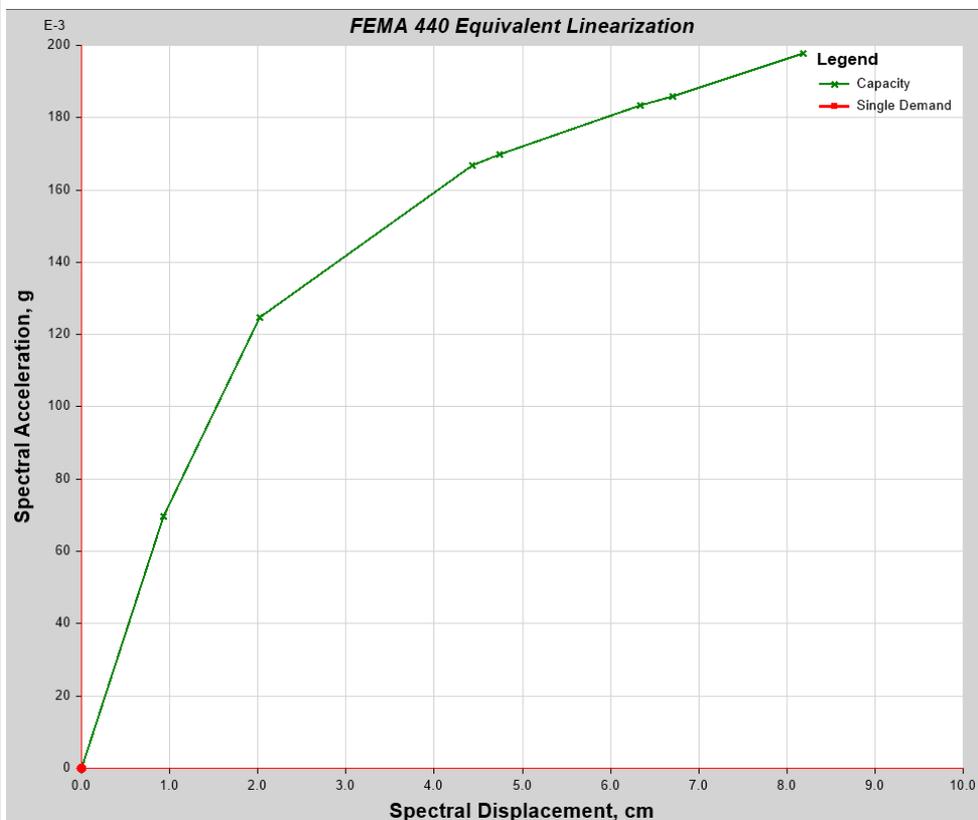
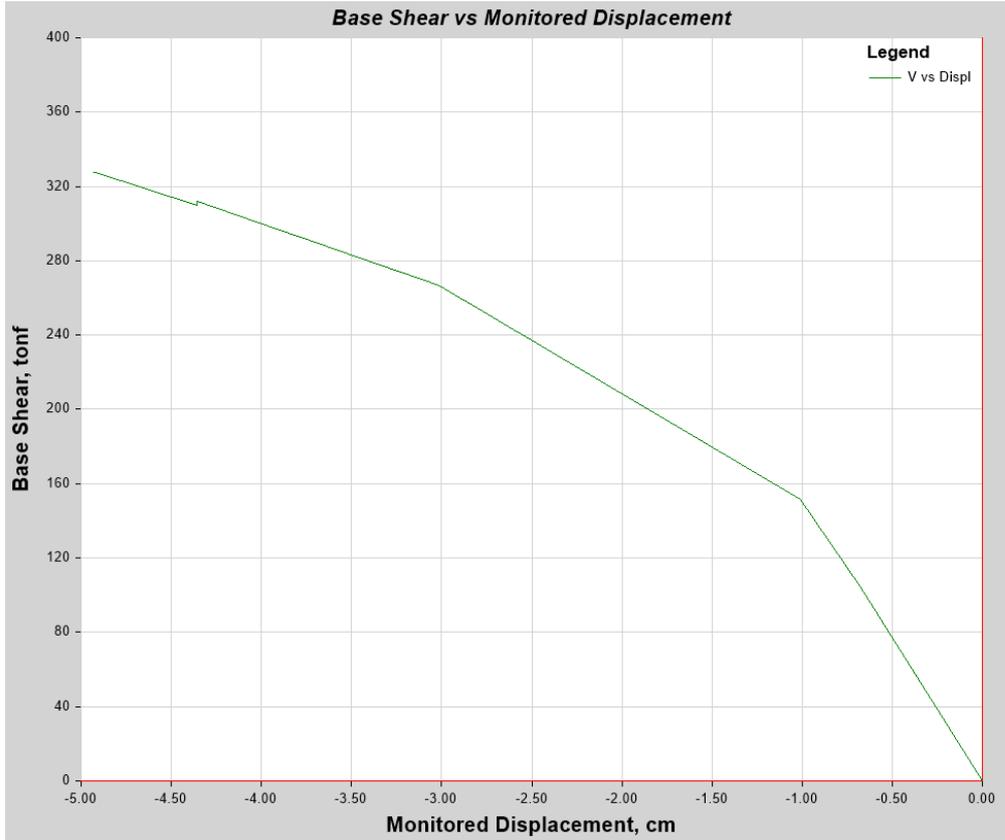


Figura N° 3.17 Espectro de Capacidad de la vivienda 02 dirección Y (Sa-Sd).

VIVIENDA 03

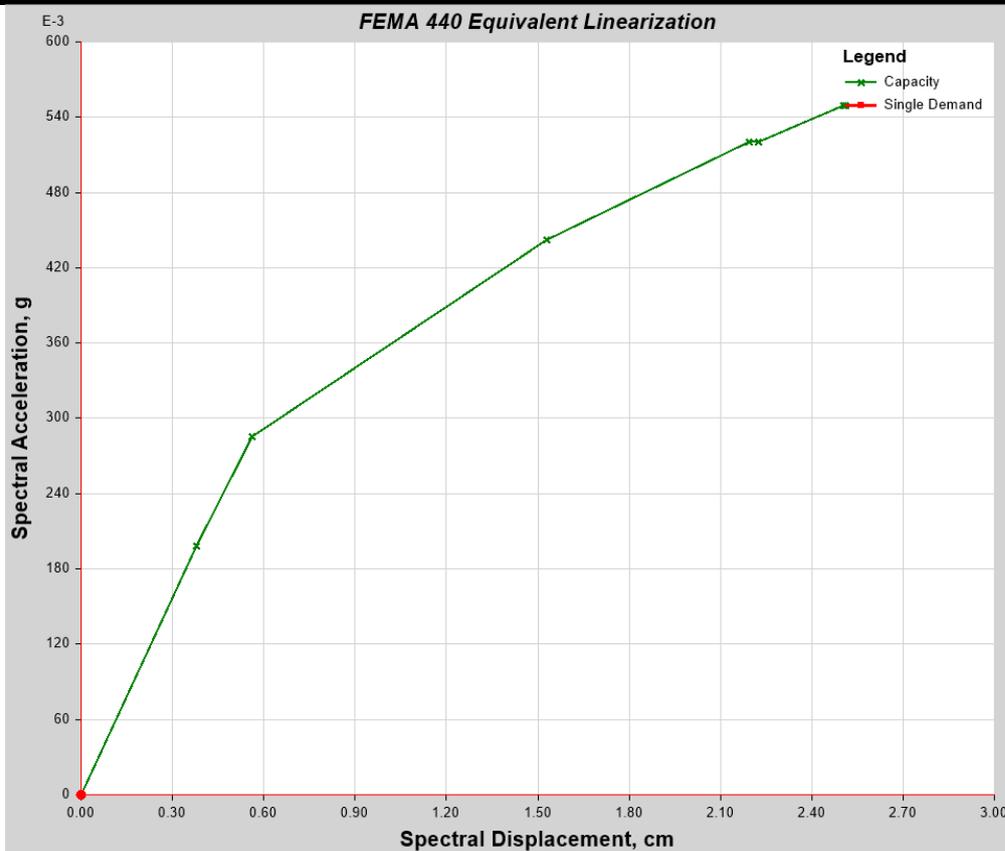
Curva de Capacidad en dirección X



D (cm)	V (Tn)
0.000	0.000
0.679	104.475
1.012	151.339
3.014	266.515
4.357	312.038
4.357	309.658
4.922	327.440
4.923	327.445
4.933	327.734

Figura N° 3.18 Curva de Capacidad de la vivienda 03 dirección X (V-d).

Espectro de Capacidad en dirección X



Sd (cm)	Sa (g)
0.000	0.000
0.378	0.199
0.560	0.285
1.528	0.442
2.193	0.520
2.226	0.521
2.504	0.549
2.505	0.549
2.510	0.550

Figura N° 3.19 Espectro de Capacidad de la vivienda 03 dirección X (Sa-Sd).

VIVIENDA 04

Curva de Capacidad en dirección X

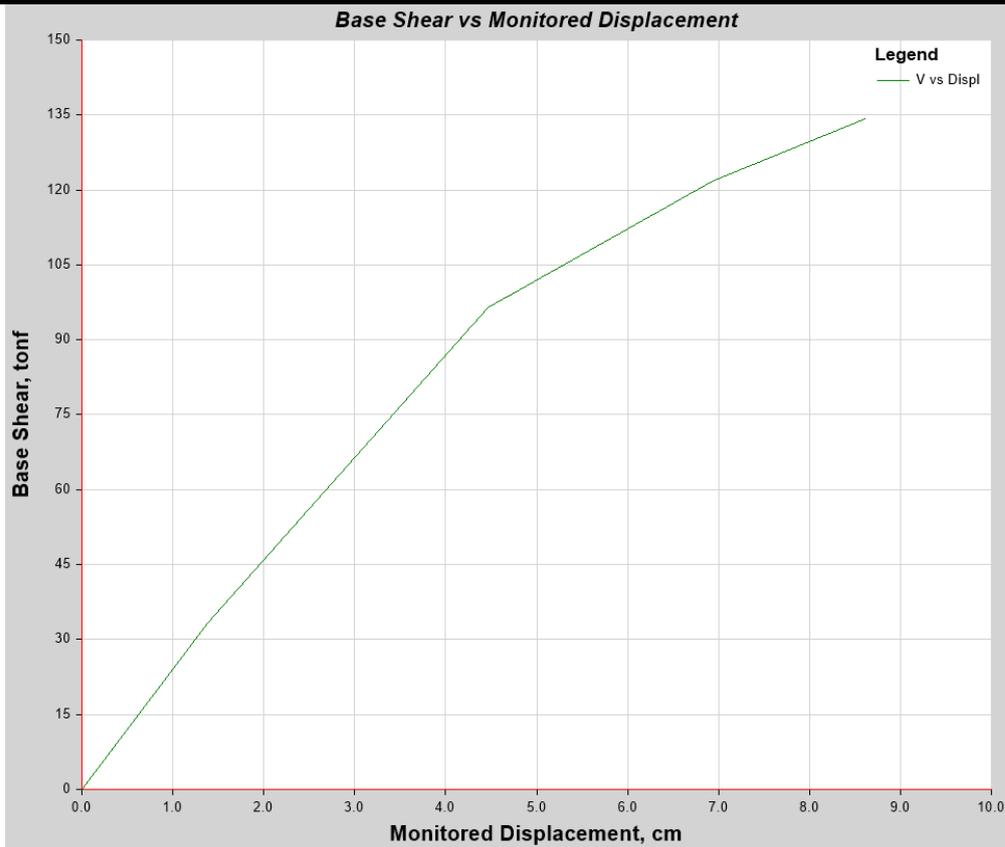


Figura N° 3.20 Curva de Capacidad de la vivienda 04 dirección X (V-d).

Espectro de Capacidad en dirección X

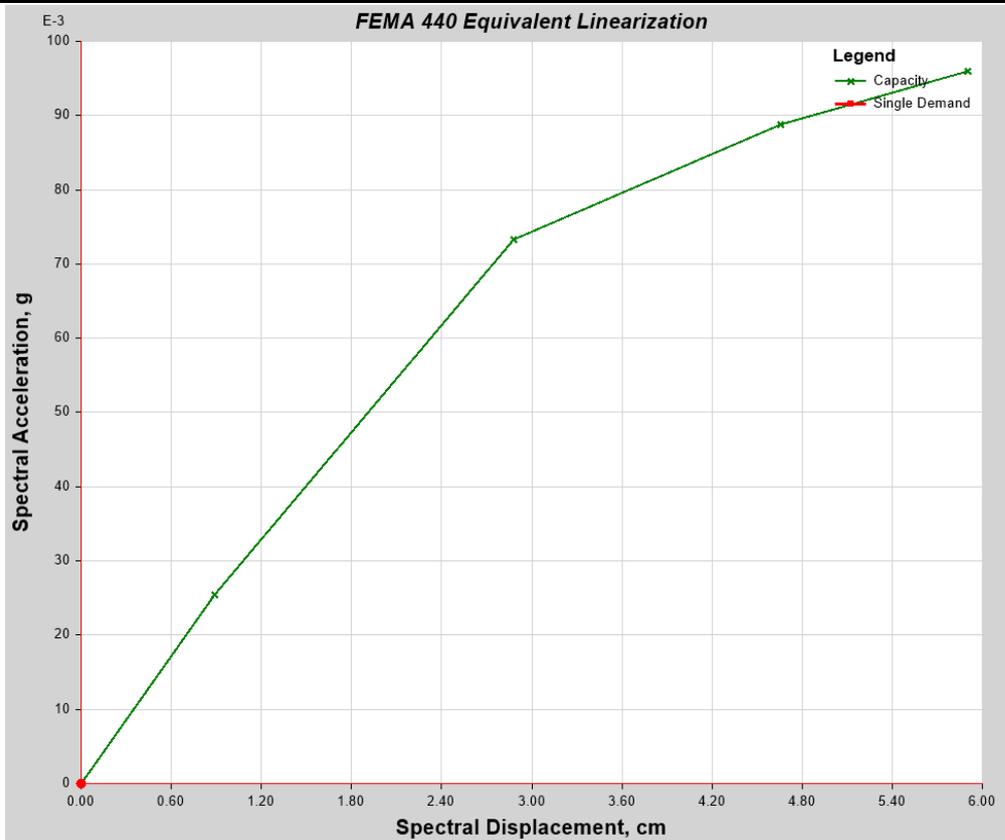
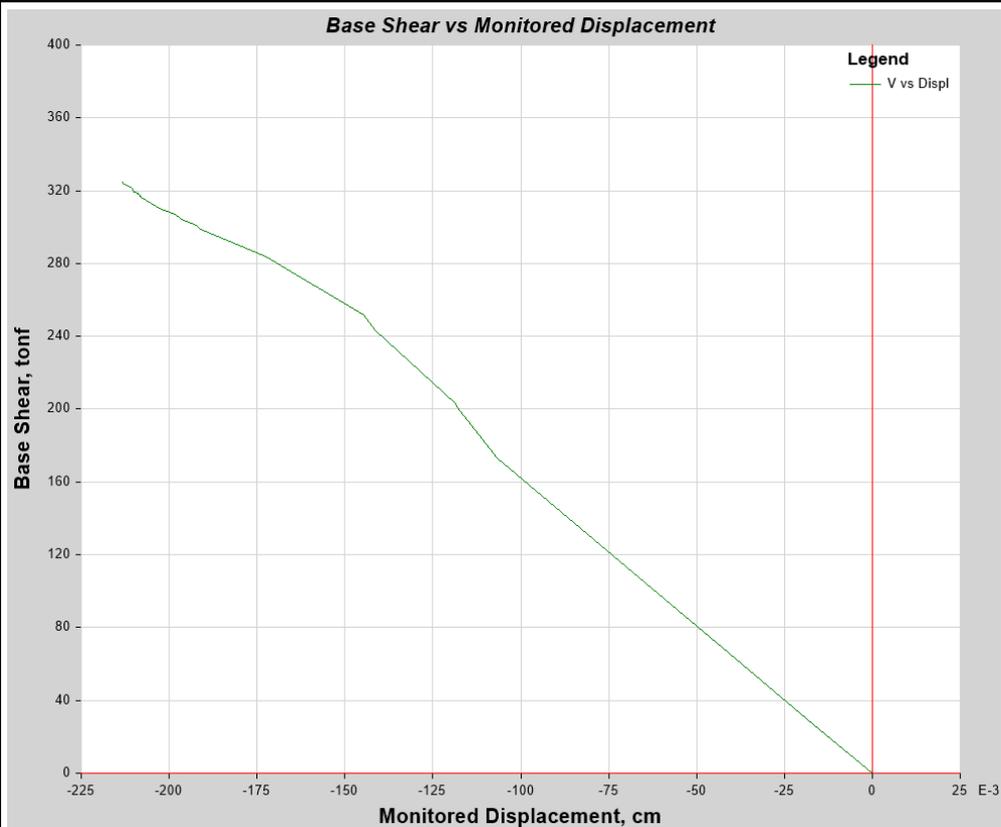


Figura N° 3.21 Espectro de Capacidad de la vivienda 04 dirección X (Sd-Sa).

VIVIENDA 04

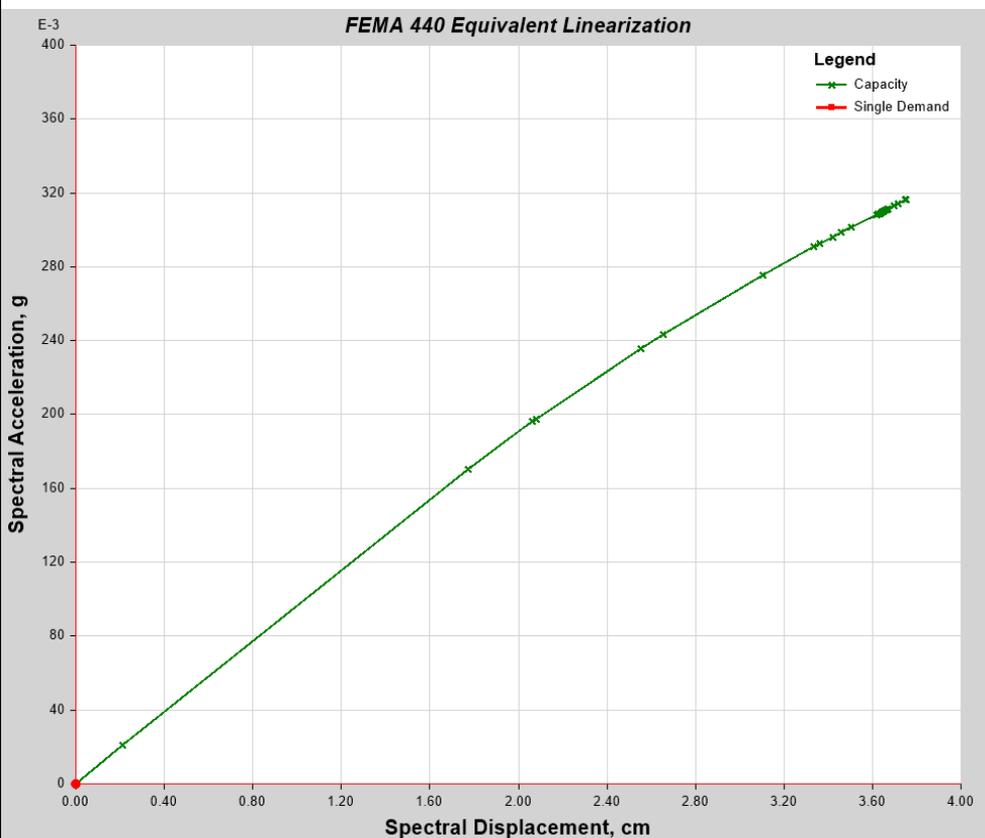
Curva de Capacidad en dirección Y



D (cm)	V (Tn)
0.000	0.000
0.013	20.846
0.107	173.350
0.118	201.207
0.118	202.892
0.142	243.553
0.145	251.528
0.172	283.603
0.191	298.989
0.192	300.819
0.197	304.470
0.198	306.954
0.203	309.628
0.208	316.733
0.208	316.961
0.208	317.179
0.208	317.532
0.209	317.958
0.209	318.160
0.209	318.165
0.209	318.464
0.209	318.790
0.210	319.221
0.210	319.473
0.210	319.502
0.210	319.519
0.210	319.562
0.210	319.712
0.211	321.518
0.212	322.561
0.213	324.468
0.213	324.509
0.213	324.511
0.213	324.650

Figura N° 3.22 Curva de Capacidad de la vivienda 04 dirección Y (V-d).

Espectro de Capacidad en dirección Y



Sd (cm)	Sa (g)
0.000	0.000
0.212	0.021
1.771	0.170
2.061	0.196
2.079	0.198
2.553	0.236
2.653	0.243
3.104	0.275
3.336	0.291
3.363	0.292
3.421	0.296
3.460	0.299
3.503	0.301
3.617	0.308
3.621	0.308
3.625	0.309
3.630	0.309
3.638	0.309
3.641	0.310
3.641	0.310
3.646	0.310
3.651	0.310
3.659	0.311
3.663	0.311
3.664	0.311
3.664	0.311
3.665	0.311
3.667	0.311
3.698	0.313
3.716	0.314
3.749	0.316
3.750	0.316
3.750	0.316
3.752	0.316

Figura N° 3.23 Espectro de Capacidad de la vivienda 04 dirección Y (Sa-Sd).

VIVIENDA 05

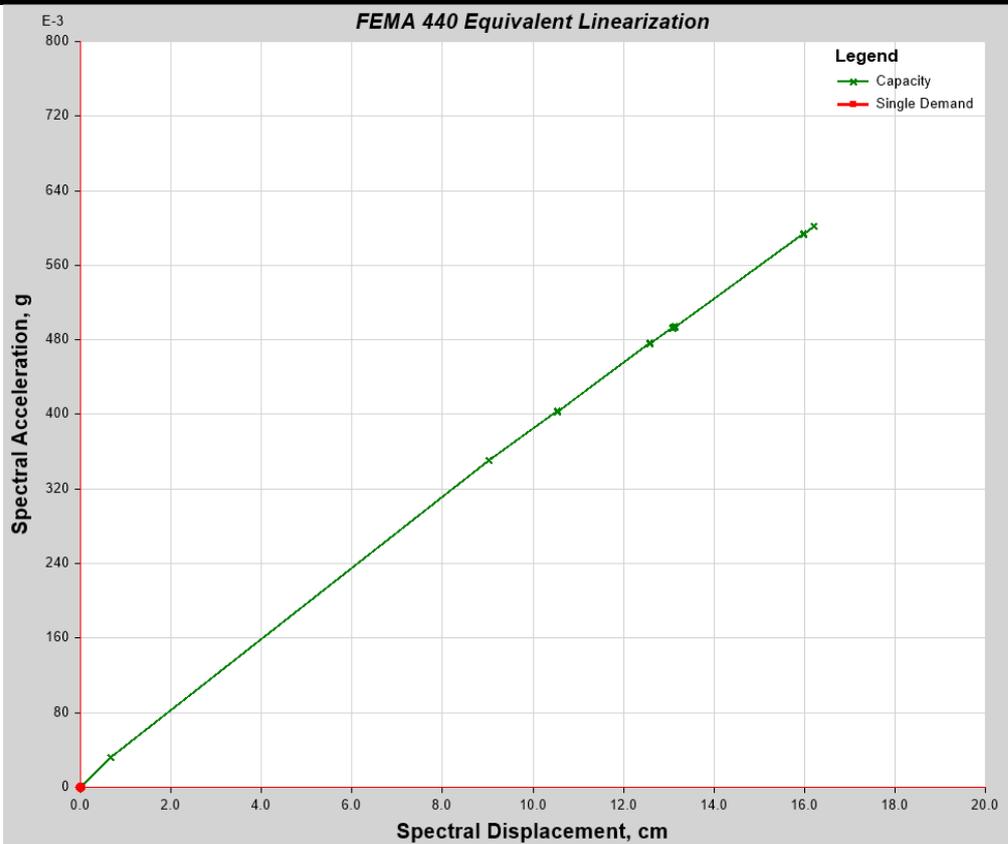
Curva de Capacidad en dirección X



D (cm)	V (Tn)
0.000	0.000
1.209	21.055
16.264	227.184
16.264	226.523
19.050	260.962
19.050	260.076
22.840	306.814
22.841	306.239
23.759	317.221
23.760	316.648
23.872	318.038
23.872	317.298
29.173	381.176
29.174	380.352
29.594	385.614

Figura N° 3.24 Curva de Capacidad de la vivienda 05 dirección X (V-d).

Espectro de Capacidad en dirección X

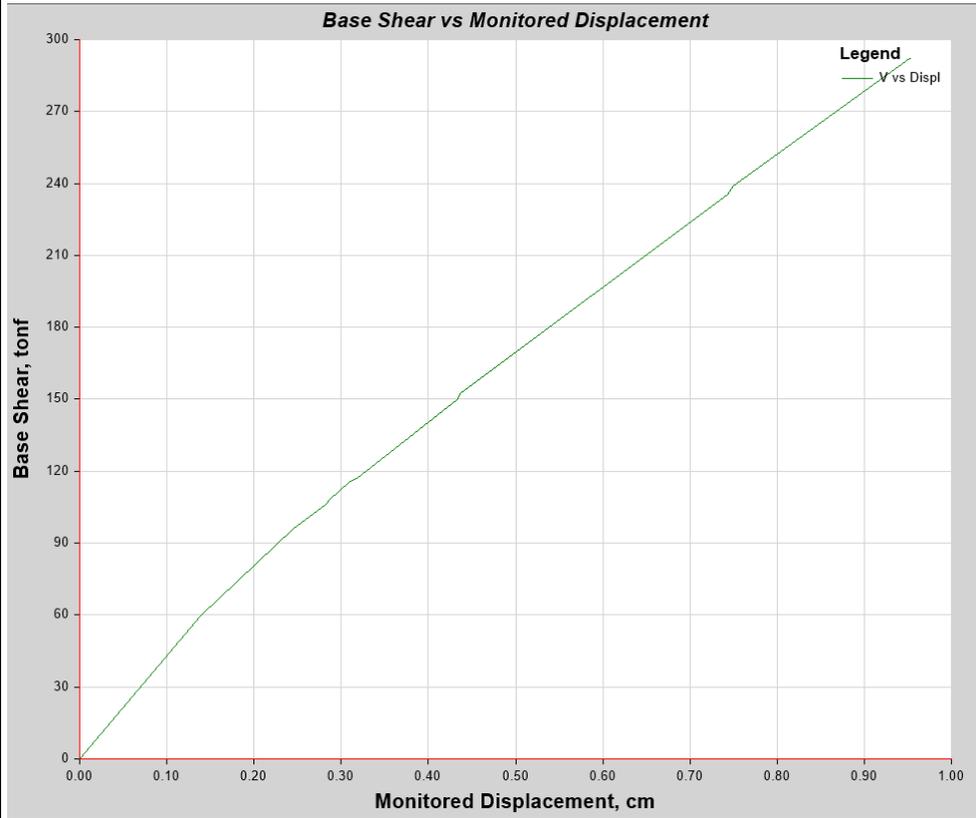


Sd (cm)	Sa (g)
0.000	0.000
0.675	0.032
9.031	0.351
9.034	0.350
10.535	0.404
10.542	0.403
12.582	0.477
12.583	0.476
13.079	0.493
13.080	0.492
13.142	0.495
13.144	0.493
15.982	0.594
15.986	0.593
16.214	0.601

Figura N° 3.25 Espectro de Capacidad de la vivienda 05 dirección X (Sa-Sd).

VIVIENDA 05

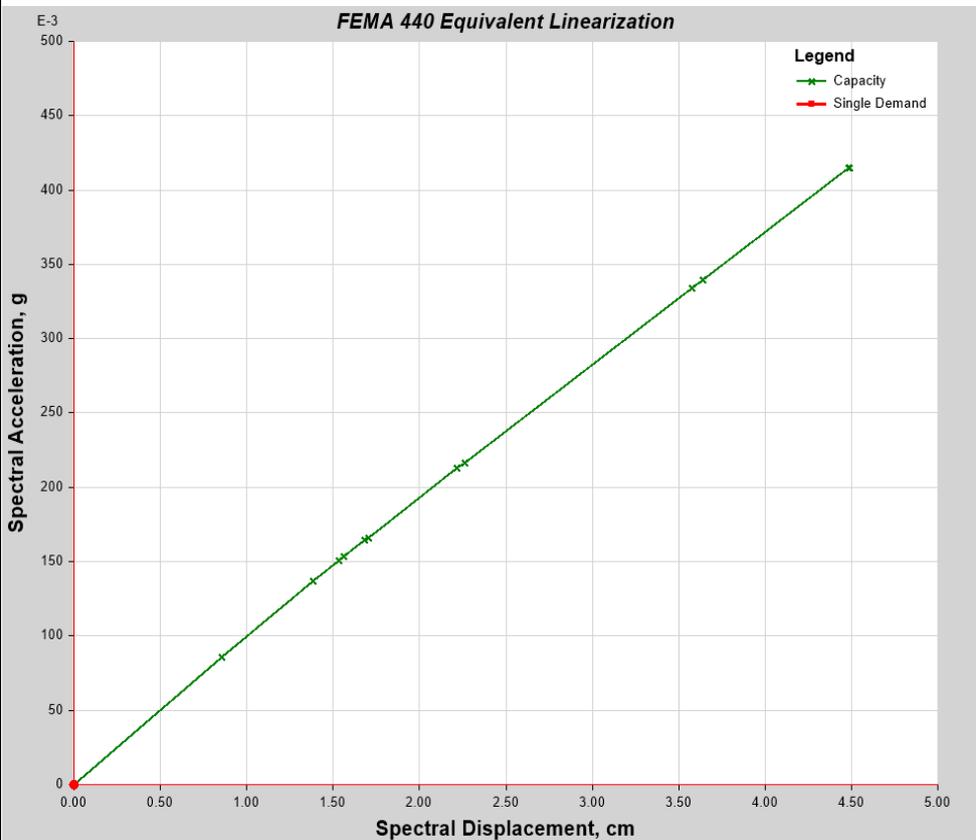
Curva de Capacidad en dirección Y



D (cm)	V (Tn)
0.000	0.000
0.139	59.900
0.246	96.247
0.282	106.154
0.286	108.084
0.310	115.788
0.318	117.046
0.433	149.897
0.437	152.716
0.743	235.185
0.750	239.124
0.952	291.921
0.952	291.925
0.952	291.952
0.952	291.960
0.953	291.986
0.953	292.002
0.953	292.023
0.953	292.072

Figura N° 3.26 Curva de Capacidad de la vivienda 05 dirección Y (V-d).

Espectro de Capacidad en dirección Y



Sd (cm)	Sa (g)
0.000	0.000
0.853	0.086
1.383	0.137
1.533	0.151
1.563	0.154
1.683	0.165
1.703	0.166
2.214	0.213
2.259	0.217
3.576	0.334
3.642	0.340
4.486	0.415
4.486	0.415
4.487	0.415
4.487	0.415
4.487	0.415
4.488	0.415
4.488	0.415
4.489	0.415

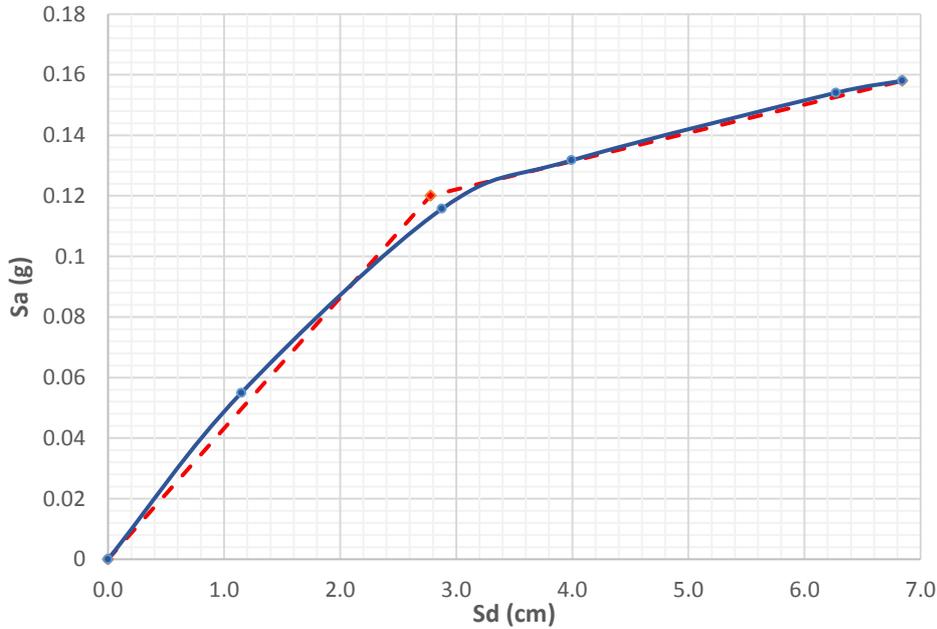
Figura N° 3.27 Espectro de Capacidad de la vivienda 05 dirección Y (Sa-Sd).

3.5.6.3. REPRESENTACIÓN BILINEAL DE LAS CURVAS DE CAPACIDAD

A continuación se realiza el proceso de representar la curva espectral de capacidad en un modelo bilineal, siguiendo el proceso descrito en el ítem 2.2.8.1 para cada edificación. Asimismo, la curva bilineal se emplea para calcular los umbrales de daño que permitan después calcular el punto de desempeño.

- **VIVIENDA 01**

Sismo en X

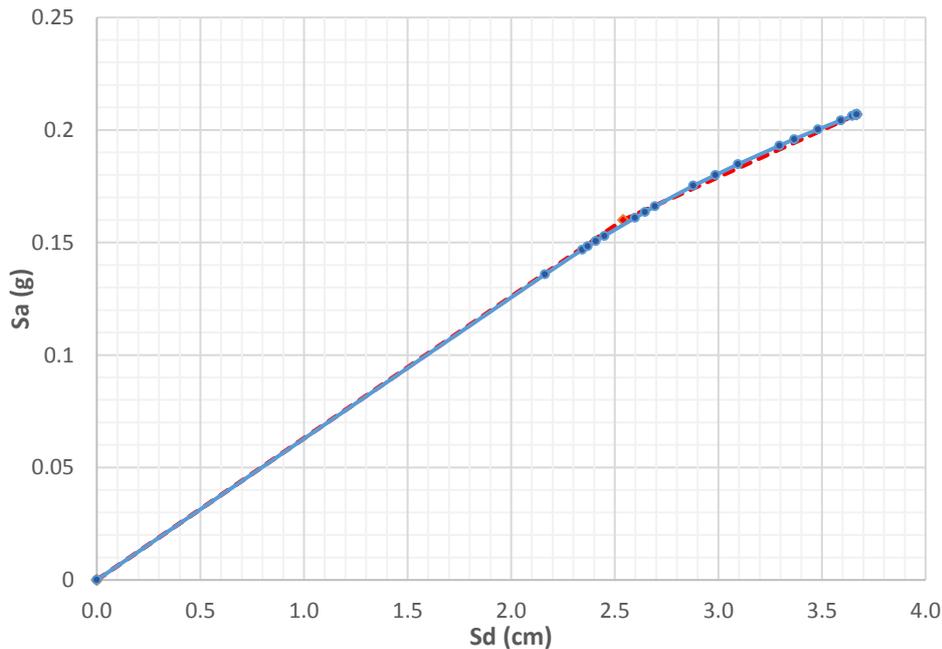


Parámetros

- Say = 0.12
- Sdy = 2.78
- Ke = 23.15
- 0.60 Say = 0.07
- 0.60 Sdy = 1.67
- Sau = 0.16
- Sdu = 6.84
- Área Curva = 0.7317
- Área Bilineal = 0.7316
- Error % = 0.008%

Figura N° 3.28 Curva bilineal vivienda 01 dirección X (Sa-Sd)

Sismo en Y



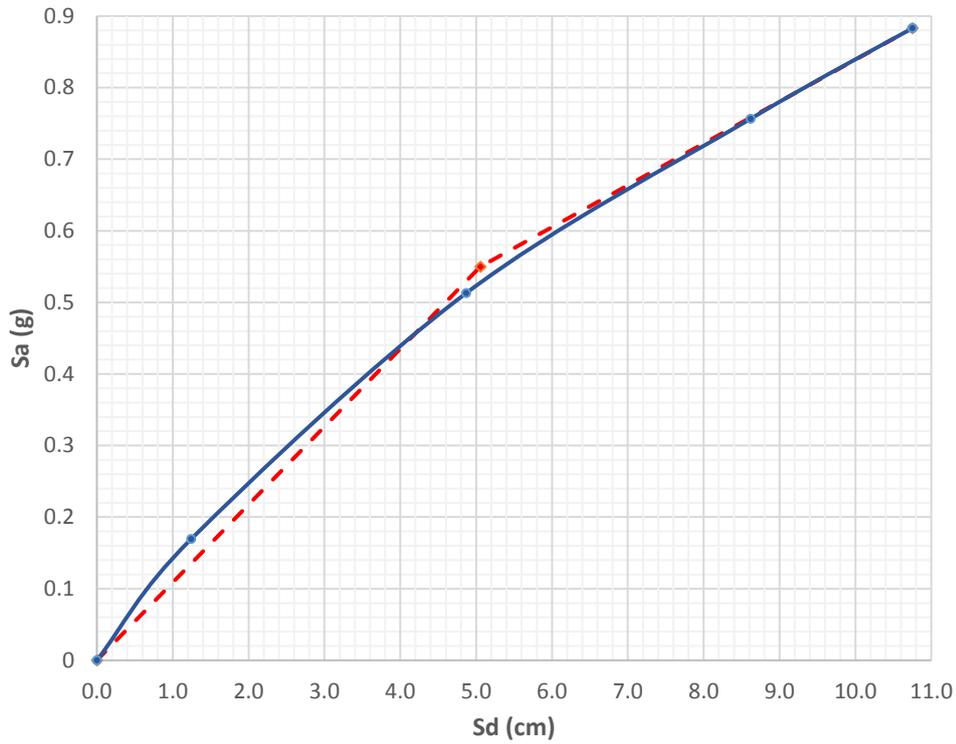
Parámetros

- Say = 0.16
- Sdy = 2.54
- Ke = 15.88
- 0.60 Say = 0.1
- 0.60 Sdy = 1.52
- Sau = 0.21
- Sdu = 3.67
- Área Curva = 0.41
- Área Bilineal = 0.41
- Error % = -0.008%

Figura N° 3.29 Curva bilineal vivienda 01 dirección Y (Sa-Sd)

• **VIVIENDA 02**

Sismo en X

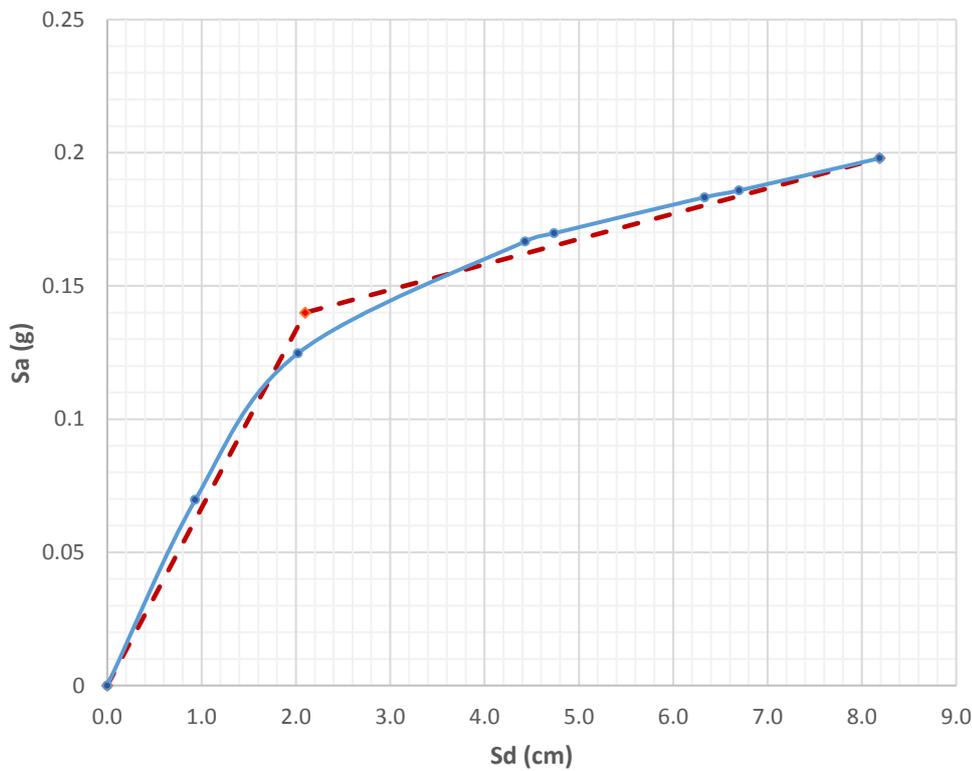


Parámetros

$S_{ay} = 0.55$
 $S_{dy} = 5.06$
 $K_e = 9.19$
 $0.60 S_{ay} = 0.33$
 $0.60 S_{dy} = 3.03$
 $S_{au} = 0.88$
 $S_{du} = 10.75$
 $\text{Área Curva} = 5.4692$
 $\text{Área Bilineal} = 5.4691$
 $\text{Error \%} = 0.001\%$

Figura N° 3.30 Curva bilineal vivienda 02 dirección X (Sa-Sd)

Sismo en Y



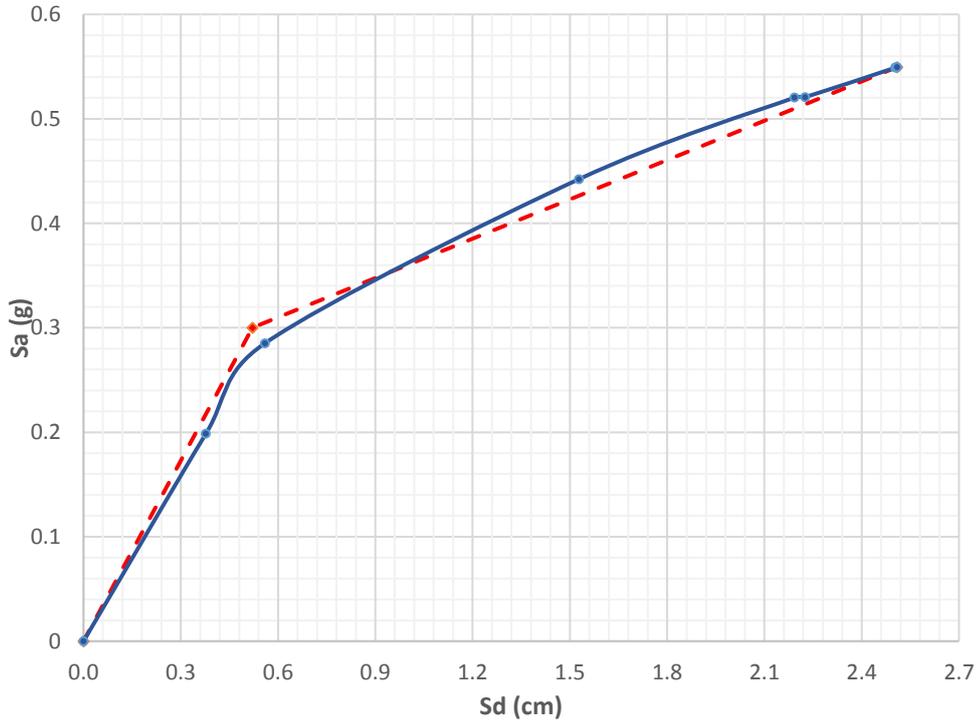
Parámetros

$S_{ay} = 0.14$
 $S_{dy} = 2.10$
 $K_e = 15.00$
 $0.60 S_{ay} = 0.08$
 $0.60 S_{dy} = 1.26$
 $S_{au} = 0.20$
 $S_{du} = 8.19$
 $\text{Área Curva} = 1.176$
 $\text{Área Bilineal} = 1.1760$
 $\text{Error \%} = 0.020\%$

Figura N° 3.31 Curva bilineal vivienda 02 dirección Y (Sa-Sd)

- **VIVIENDA 03**

Sismo en X



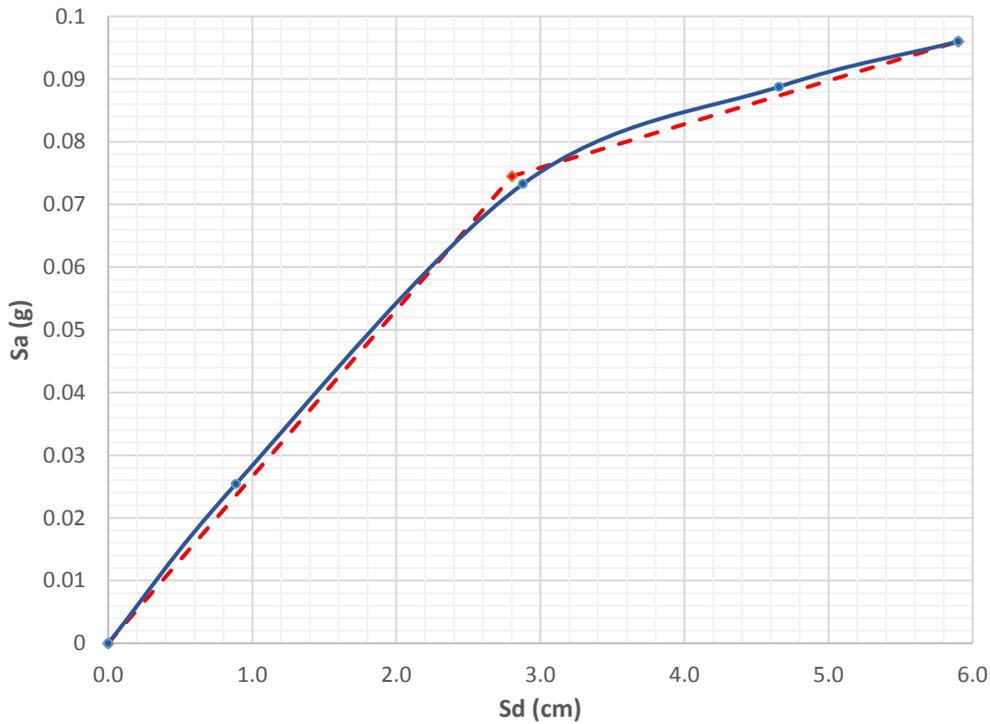
Parámetros

Say =	0.30
Sdy =	0.52
Ke =	1.74
0.60 Say =	0.18
0.60 Sdy =	0.31
Sau =	0.55
Sdu =	2.51
Área Curva =	0.9228
Área Bilineal =	0.9229
Error % =	-0.006%

Figura N° 3.32 Curva bilineal vivienda 03 dirección X (Sa-Sd)

- **VIVIENDA 04**

Sismo en X

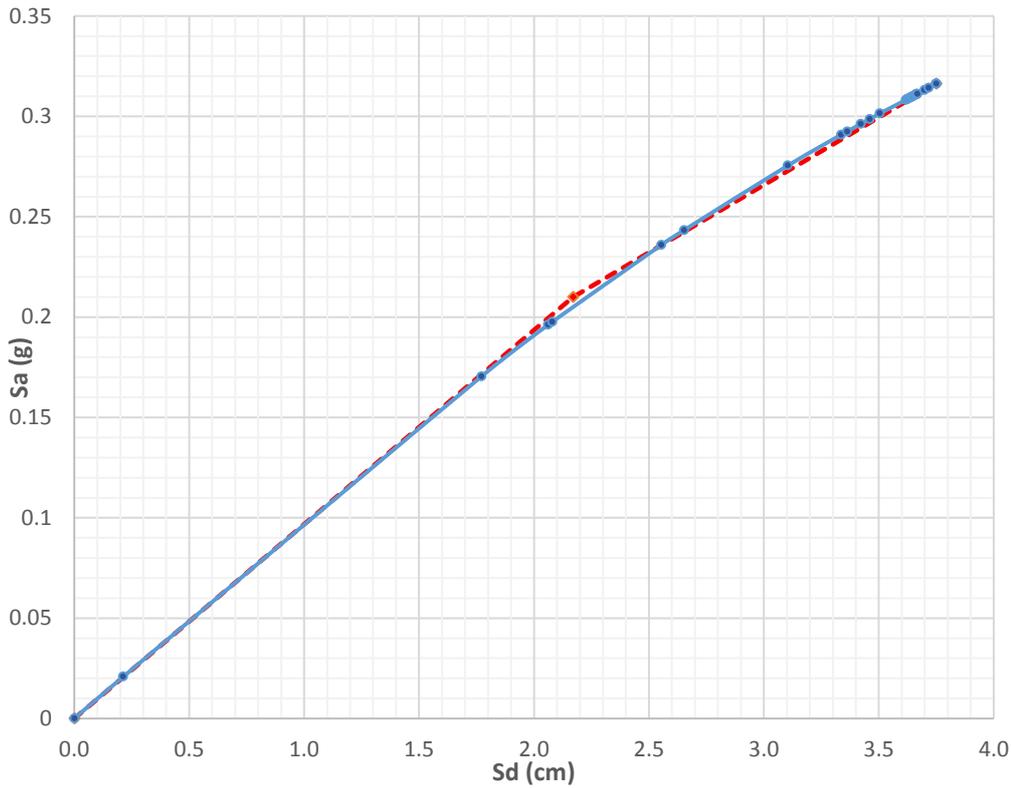


Parámetros

Say =	0.07
Sdy =	2.80
Ke =	37.62
0.60 Say =	0.04
0.60 Sdy =	1.68
Sau =	0.10
Sdu =	5.90
Área Curva =	0.3685
Área Bilineal =	0.3685
Error % =	0.009%

Figura N° 3.33 Curva bilineal vivienda 04 dirección X (Sa-Sd)

Sismo en Y



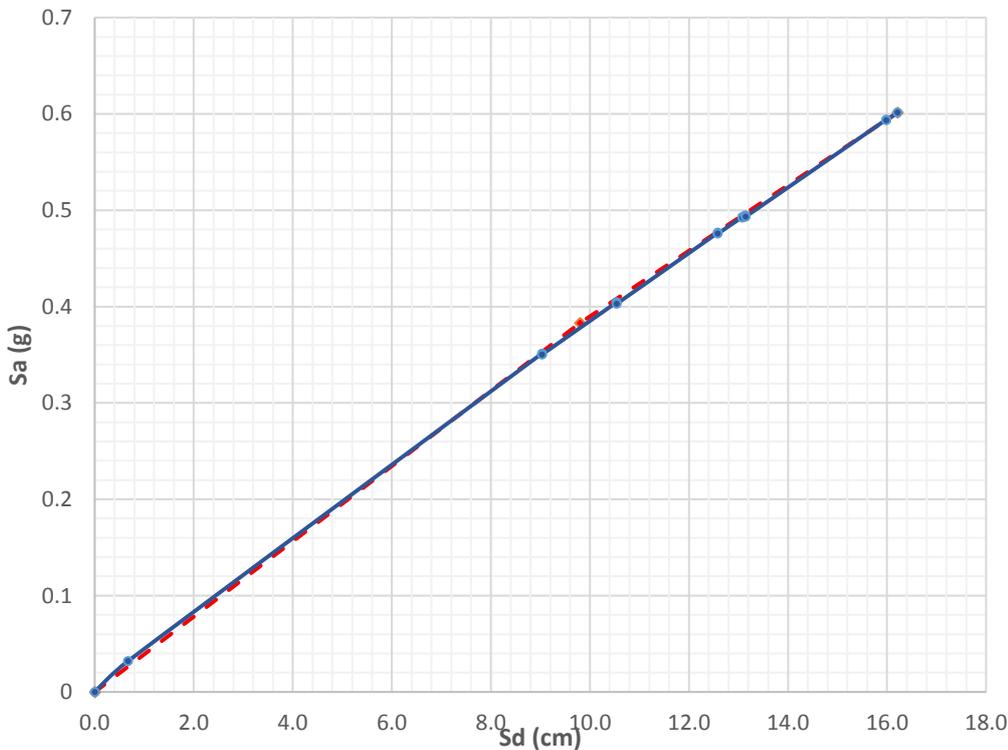
Parámetros

Say =	0.21
Sdy =	2.17
Ke =	10.33
0.60 Say =	0.13
0.60 Sdy =	1.30
Sau =	0.32
Sdu =	3.75
Área Curva =	0.6437
Área Bilineal =	0.6436
Error % =	0.016%

Figura N° 3.34 Curva bilineal vivienda 04 dirección Y (Sa-Sd)

- **VIVIENDA 05**

Sismo en X



Parámetros

Say =	0.38
Sdy =	9.80
Ke =	25.59
0.6 Say =	0.23
0.6 Sdy =	5.88
Sau =	0.60
Sdu =	16.21
Área Curva =	5.0343
Área Bilineal =	5.0341
Error % =	0.005%

Figura N° 3.35 Curva bilineal vivienda 05 dirección X (Sa-Sd)

Sismo en Y

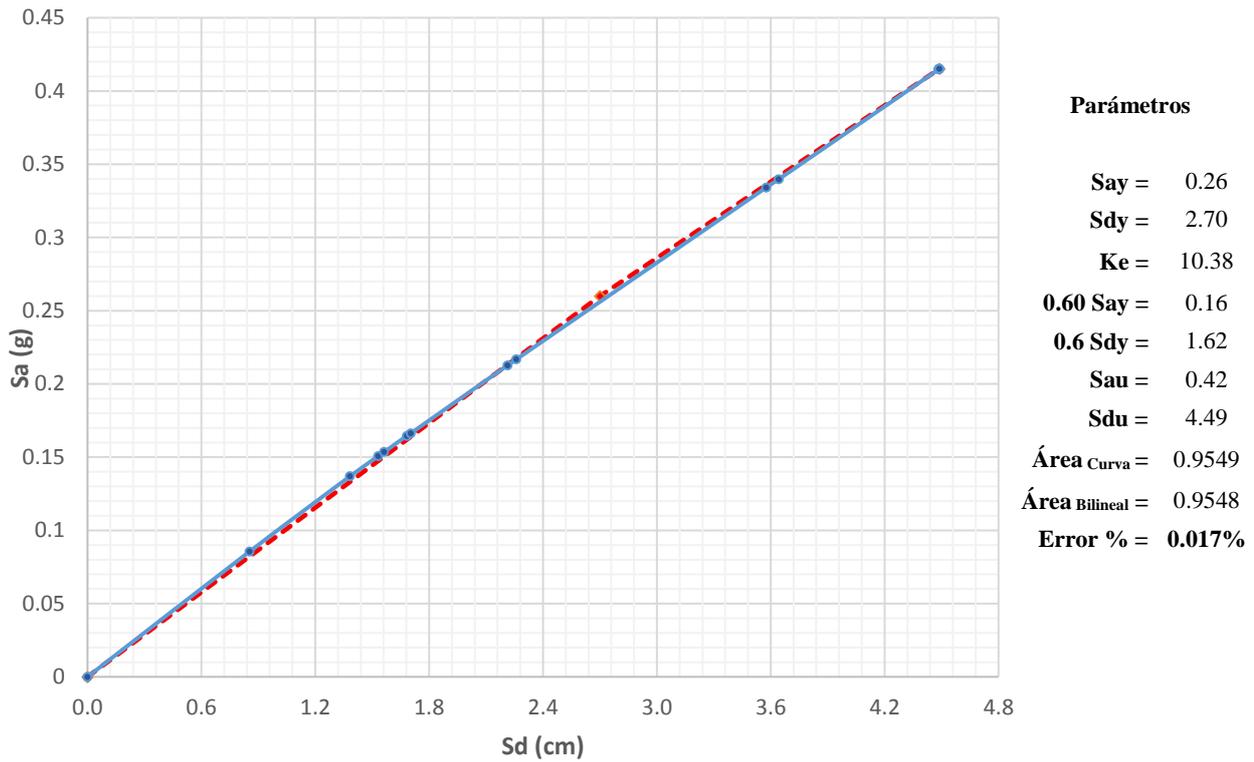


Figura N° 3.36 Curva bilineal vivienda 05 dirección Y (Sa-Sd)

3.5.6.4. PUNTOS DE DESEMPEÑO Y SECTORIZACIÓN DE LA CURVA

Luego de haber definido las zonas elástica y plástica de los espectros de capacidad, es momento para delimitar los niveles de daño y encontrar los puntos de desempeño, mediante la intersección con los espectros de demanda obtenidos de los espectros de peligro sísmico detallados. El programa ETABS v.17 realiza esta operación siguiendo los pasos especificados en la sección 2.2.7.3; de esta manera obtenemos lo siguiente.

• **VIVIENDA 01**

Sismo X

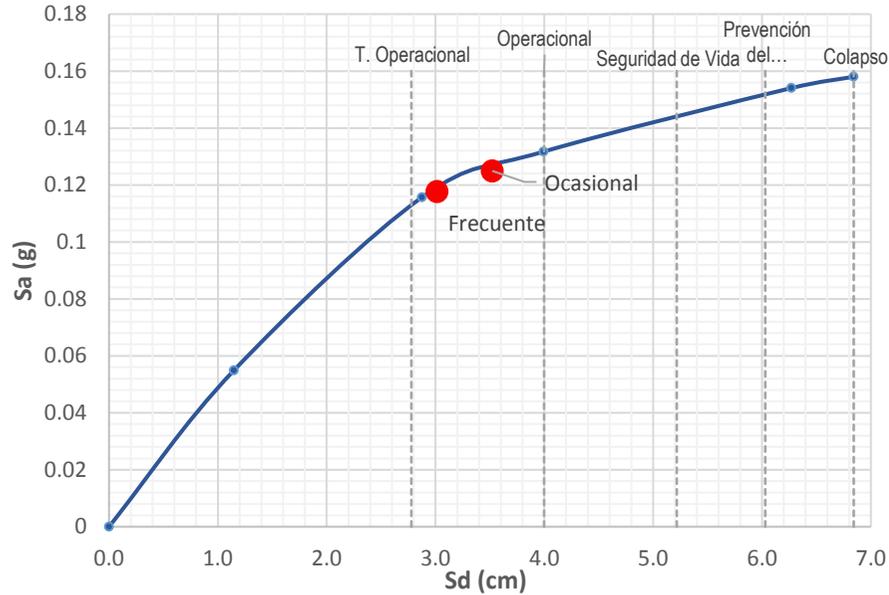


Figura N° 3.37 Sectorización y puntos de desempeño vivienda 01 dirección X

Tabla N° 3.9 Sectorización y puntos de desempeño de Vivienda 01 dirección X

Nivel de Desempeño	Desde	Hasta	PUNTOS DE DESEMPEÑO		
			Peligro Sísmico	Sd (cm)	Sa (g)
Totalmente Operacional	0.00 cm	2.78 cm	Sismo Frecuente	3.01	0.12
Operacional	2.78 cm	4.00 cm	Sismo Ocasional	3.52	0.12
Seguridad de Vida	4.00 cm	5.22 cm	Sismo Raro		
Prevención del Colapso	5.22 cm	6.03 cm	Sismo Muy Raro		
Colapso	6.03 cm	6.84 cm			

Sismo Y

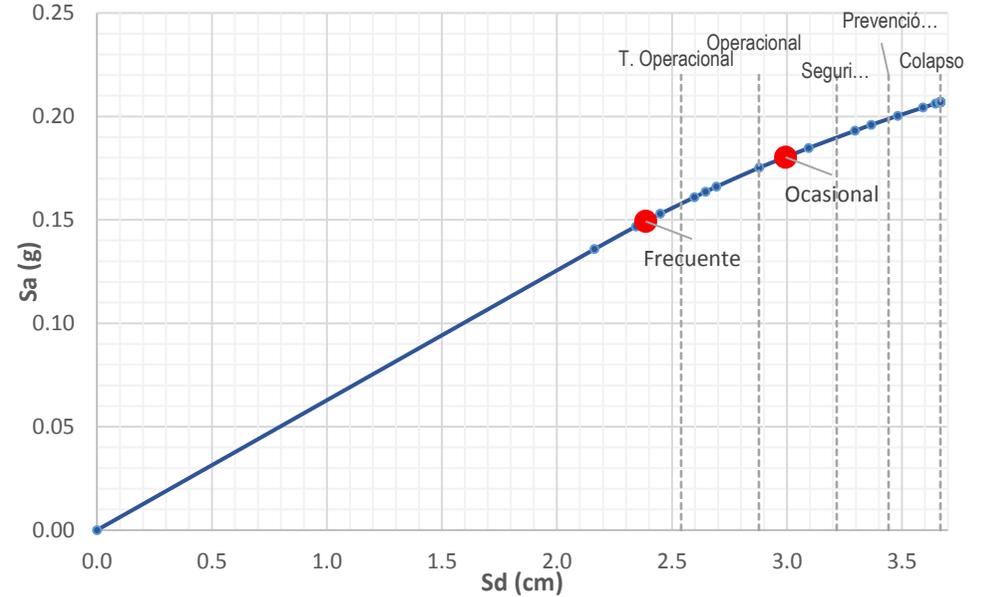


Figura N° 3.38 Sectorización y puntos de desempeño vivienda 01 dirección Y

Tabla N° 3.10 Sectorización y puntos de desempeño de Vivienda 01 dirección Y

Nivel de Desempeño	Desde	Hasta	PUNTO DE DESEMPEÑO		
			Peligro Sísmico	Sd (cm)	Sa (g)
Totalmente Operacional	0.00 cm	2.54 cm	Sismo Frecuente	2.39	0.15
Operacional	2.54 cm	2.88 cm	Sismo Ocasional	2.99	0.18
Seguridad de Vida	2.88 cm	3.22 cm	Sismo Raro		
Prevención del Colapso	3.22 cm	3.44 cm	Sismo Muy Raro		
Colapso	3.44 cm	3.67 cm			

• **VIVIENDA 02**

Sismo X

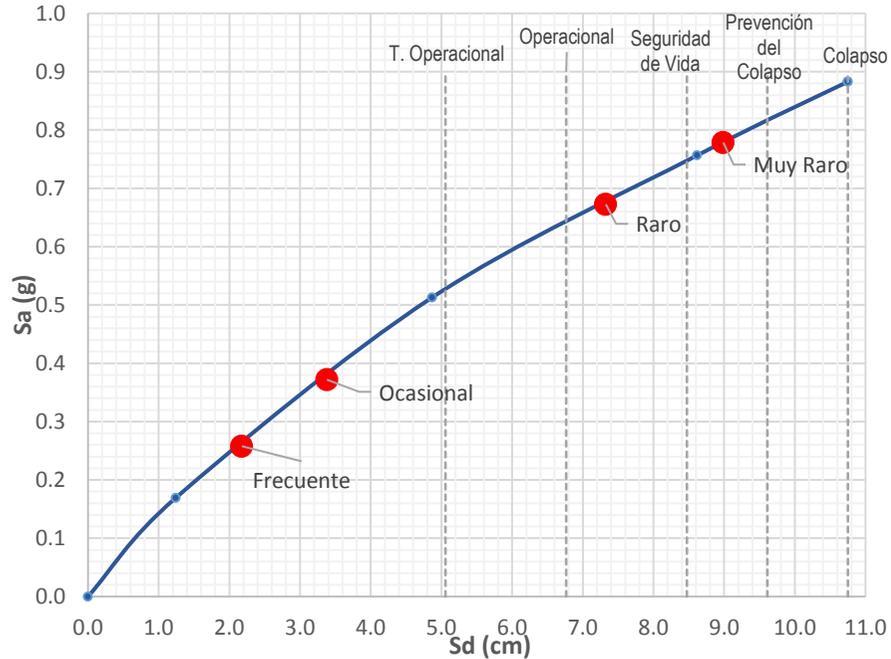


Figura N° 3.39 Sectorización y puntos de desempeño vivienda 02 dirección X

Tabla N° 3.11 Sectorización y puntos de desempeño de Vivienda 02 dirección X

Nivel de Desempeño	Desde	Hasta	PUNTO DE DESEMPEÑO		
			Peligro Sísmico	Sd (cm)	Sa (g)
Totalmente Operacional	0.00 cm	5.06 cm	Sismo Frecuente	2.18	0.26
Operacional	5.06 cm	6.76 cm	Sismo Ocasional	3.38	0.37
Seguridad de Vida	6.76 cm	8.47 cm	Sismo Raro	7.33	0.67
Prevención del Colapso	8.47 cm	9.61 cm	Sismo Muy Raro	8.99	0.78
Colapso	9.61 cm	10.75 cm			

Sismo Y

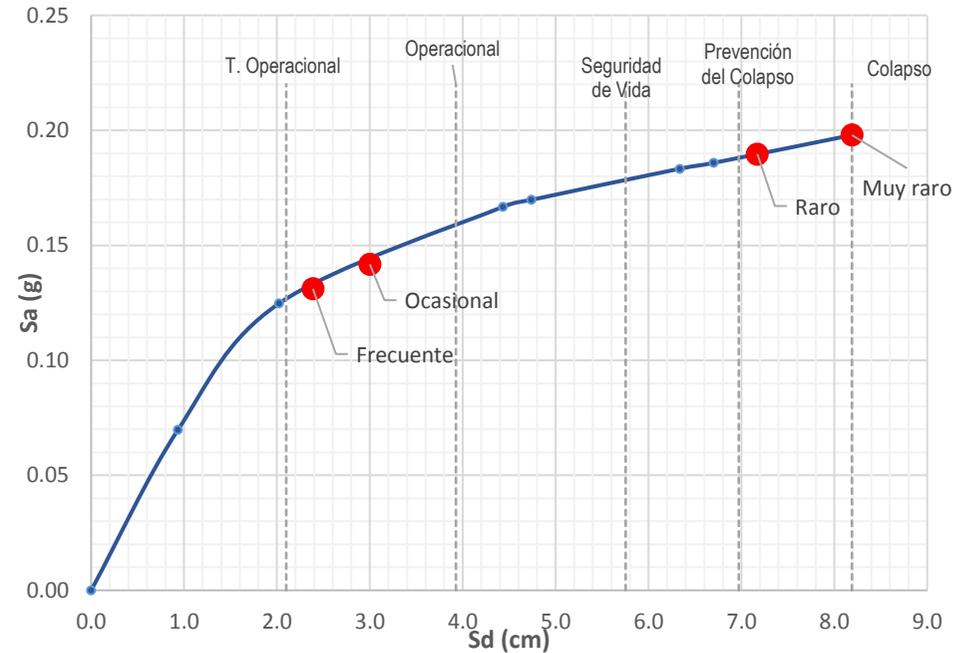


Figura N° 3.40 Sectorización y puntos de desempeño vivienda 02 dirección Y

Tabla N° 3.12 Sectorización y puntos de desempeño de Vivienda 02 dirección Y

Nivel de Desempeño	Desde	Hasta	PUNTO DE DESEMPEÑO		
			Peligro Sísmico	Sd (cm)	Sa (g)
Totalmente Operacional	0.00 cm	2.10 cm	Sismo Frecuente	2.39	0.13
Operacional	2.10 cm	3.93 cm	Sismo Ocasional	3.00	0.14
Seguridad de Vida	3.93 cm	5.75 cm	Sismo Raro	7.17	0.19
Prevención del Colapso	5.75 cm	6.97 cm	Sismo Muy Raro	8.19	0.20
Colapso	6.97 cm	8.19 cm			

• **VIVIENDA 03**

Sismo X

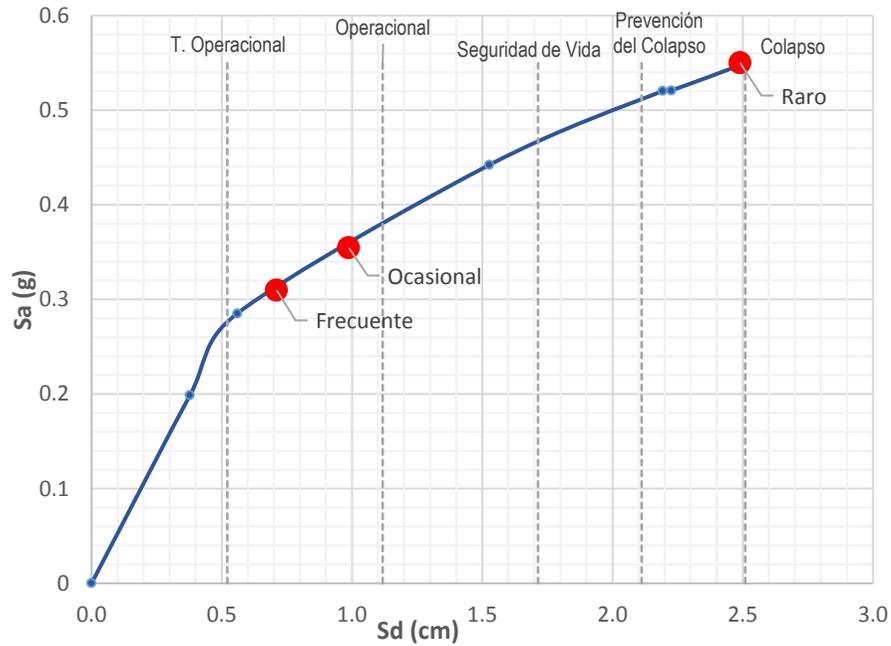


Figura N° 3.41 Sectorización y puntos de desempeño vivienda 03 dirección X

Tabla N° 3.13 Sectorización y puntos de desempeño de vivienda 03 dirección X

Nivel de Desempeño	Desde	Hasta	PUNTO DE DESEMPEÑO		
			Peligro Sísmico	Sd (cm)	Sa (g)
Totalmente Operacional	0.00 cm	0.52 cm	Sismo Frecuente	0.71	0.31
Operacional	0.52 cm	1.12 cm	Sismo Ocasional	0.99	0.35
Seguridad de Vida	1.12 cm	1.71 cm	Sismo Raro	2.49	0.55
Prevención del Colapso	1.71 cm	2.11 cm	Sismo Muy Raro		
Colapso	2.11 cm	2.51 cm			

• **VIVIENDA 04**

Sismo X

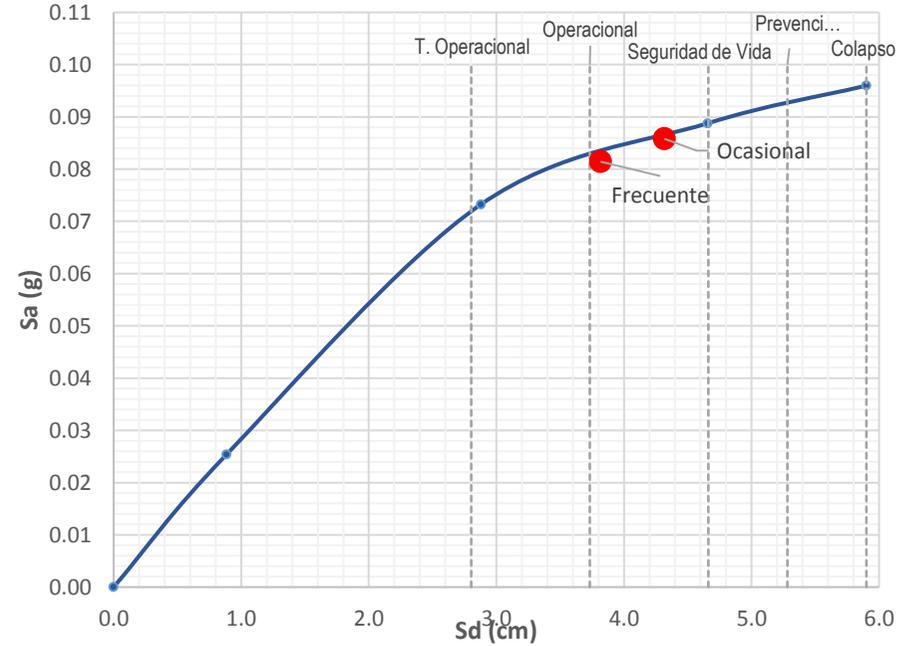


Figura N° 3.42 Sectorización y puntos de desempeño vivienda 04 dirección X

Tabla N° 3.14 Sectorización y puntos de desempeño de Vivienda 04 dirección X

Nivel de Desempeño	Desde	Hasta	PUNTO DE DESEMPEÑO		
			Peligro Sísmico	Sd (cm)	Sa (g)
Totalmente Operacional	0.00 cm	2.80 cm	Sismo Frecuente	3.82	0.08
Operacional	2.80 cm	3.73 cm	Sismo Ocasional	4.32	0.09
Seguridad de Vida	3.73 cm	4.66 cm	Sismo Raro		
Prevención del Colapso	4.66 cm	5.28 cm	Sismo Muy Raro		
Colapso	5.28 cm	5.90 cm			

Sismo Y

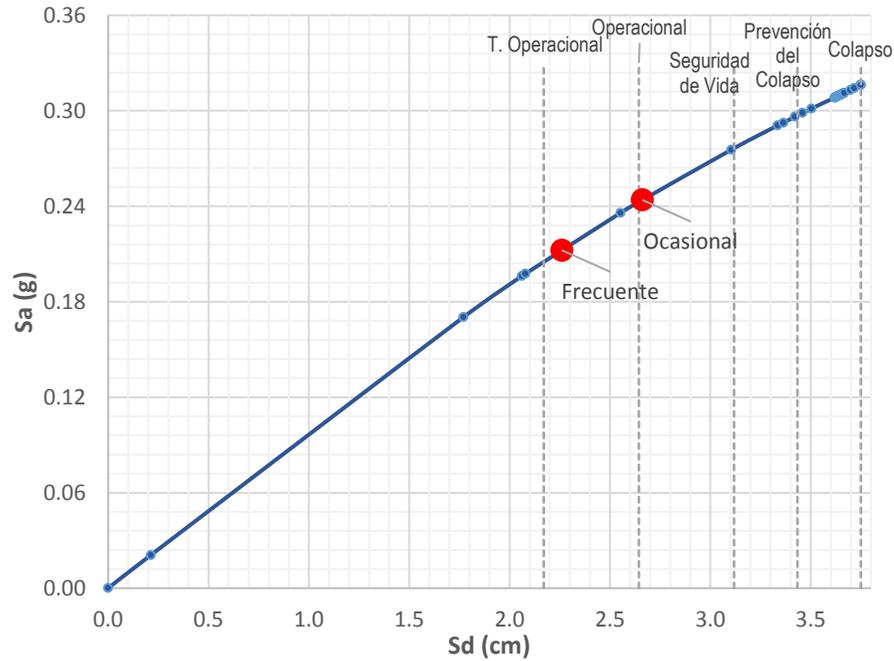


Figura N° 3.43 Sectorización y puntos de desempeño vivienda 04 dirección Y

Tabla N° 3.15 Sectorización y puntos de desempeño de vivienda 04 dirección Y

Nivel de Desempeño	Desde	Hasta	PUNTO DE DESEMPEÑO		
			Peligro Sísmico	Sd (cm)	Sa (g)
Totalmente Operacional	0.00 cm	2.17 cm	Sismo Frecuente	2.26	0.21
Operacional	2.17 cm	2.64 cm	Sismo Ocasional	2.66	0.24
Seguridad de Vida	2.64 cm	3.12 cm	Sismo Raro		
Prevención del Colapso	3.12 cm	3.43 cm	Sismo Muy Raro		
Colapso	3.43 cm	3.75 cm			

VIVIENDA 05

Sismo X

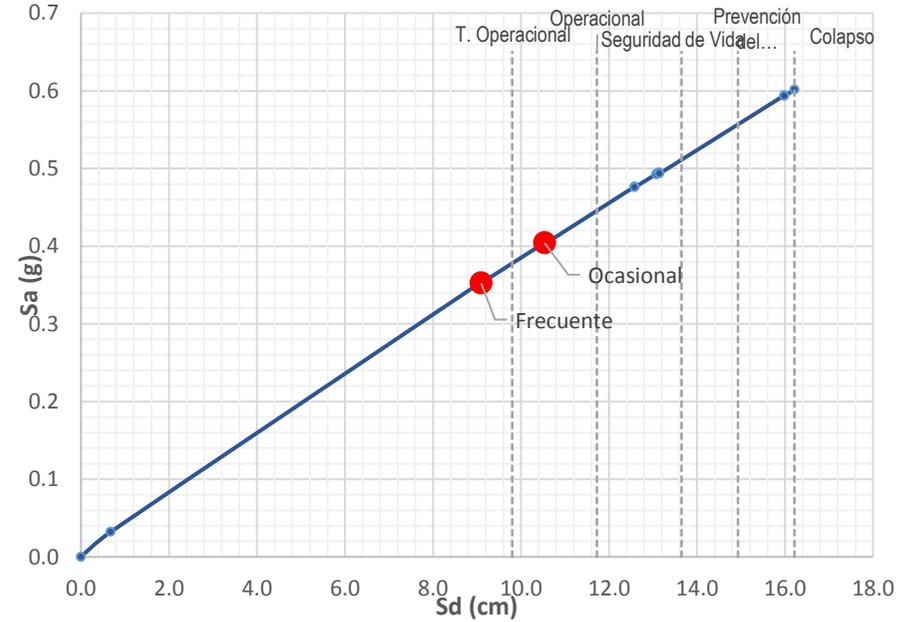


Figura N° 3.44 Sectorización y puntos de desempeño vivienda 05 dirección X

Tabla N° 3.16 Sectorización y puntos de desempeño de vivienda 05 dirección X

Nivel de Desempeño	Desde	Hasta	PUNTO DE DESEMPEÑO		
			Peligro Sísmico	Sd (cm)	Sa (g)
Totalmente Operacional	0.00 cm	9.80 cm	Sismo Frecuente	9.09	0.35
Operacional	9.80 cm	11.72 cm	Sismo Ocasional	10.54	0.40
Seguridad de Vida	11.72 cm	13.65 cm	Sismo Raro		
Prevención del Colapso	13.65 cm	14.93 cm	Sismo Muy Raro		
Colapso	14.93 cm	16.21 cm			

Sismo Y

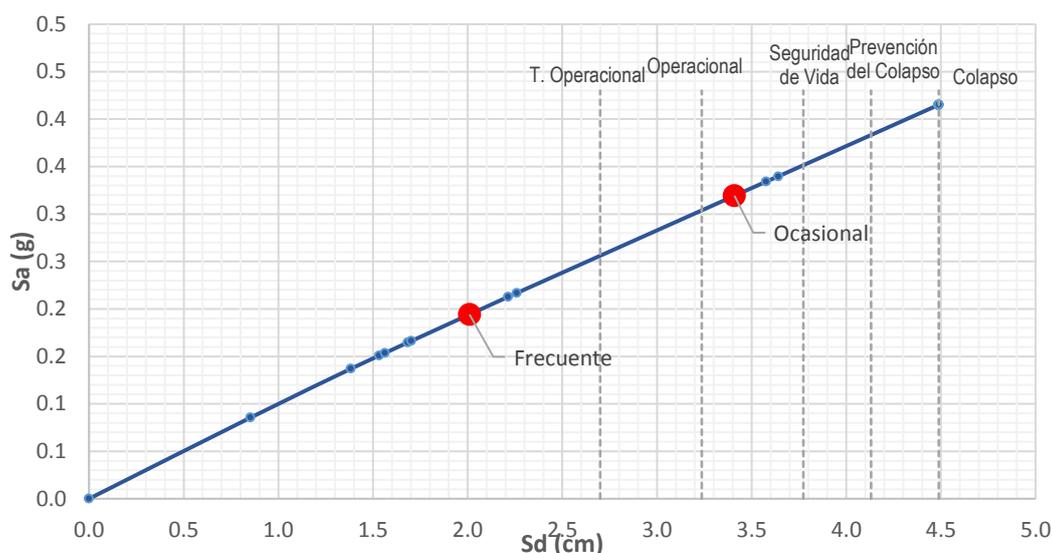


Figura N° 3.45 Sectorización y puntos de desempeño vivienda 05 dirección Y

Tabla N° 3.17 Sectorización y puntos de desempeño de vivienda 05 dirección Y

Nivel de Desempeño	Desde	Hasta
Totalmente Operacional	0.00 cm	2.70 cm
Operacional	2.70 cm	3.24 cm
Seguridad de Vida	3.24 cm	3.77 cm
Prevención del Colapso	3.77 cm	4.13 cm
Colapso	4.13 cm	4.49 cm

PUNTO DE DESEMPEÑO		
Peligro Sísmico	Sd (cm)	Sa (g)
Sismo Frecuente	2.01	0.19
Sismo Ocasional	3.41	0.32
Sismo Raro		
Sismo Muy Raro		

3.5.6.5. NIVELES DE DESEMPEÑO ALCANZADOS

El resultado de esta investigación es demostrar que estas edificaciones presentan los niveles de desempeño sísmico objetivos propuestos. Para ello se examina y comparan los niveles de desempeño alcanzados con los niveles propuesto por el comité VISION 2000; de esta manera se puede observar en los cuadros mostrados a continuación, la variación o cumplimiento de lo esperado.

	Nivel de desempeño esperado
X	Nivel de desempeño obtenido

Cabe tener en cuenta que todas las edificaciones fueron diseñadas con forme a la norma técnica peruana y aseguran su comportamiento frente a las sollicitaciones sísmicas.

- **VIVIENDA 01**

Sismo X

PELIGRO SÍSMICO	NIVELES DE DESEMPEÑO SÍSMICO				
	Totalmente Operacional	Operacional	Seguridad	Pre-colapso	Colapso
Frecuente		X			
Ocasional		X			
Raro					X
Muy Raro					X

Tabla N° 3.18 Nivel de desempeño sísmico de vivienda 01 dirección X

Sismo Y

PELIGRO SÍSMICO	NIVELES DE DESEMPEÑO SÍSMICO				
	Totalmente Operacional	Operacional	Seguridad de Vida	Pre-colapso	Colapso
Frecuente	X				
Ocasional			X		
Raro					X
Muy Raro					X

Tabla N° 3.19 Nivel de desempeño sísmico de vivienda 01 dirección Y

- **VIVIENDA 02**

Sismo X

PELIGRO SÍSMICO	NIVELES DE DESEMPEÑO SÍSMICO				
	Totalmente Operacional	Operacional	Seguridad	Pre-colapso	Colapso
Frecuente	X				
Ocasional	X				
Raro			X		
Muy Raro				X	

Tabla N° 3.20 Nivel de desempeño sísmico de vivienda 02 dirección X

Sismo Y

PELIGRO SÍSMICO	NIVELES DE DESEMPEÑO SÍSMICO				
	Totalmente Operacional	Operacional	Seguridad de Vida	Pre-colapso	Colapso
Frecuente		X			
Ocasional		X			
Raro					X
Muy Raro					X

Tabla N° 3.21 Nivel de desempeño sísmico de vivienda 02 dirección Y

- **VIVIENDA 03**

Sismo X

PELIGRO SÍSMICO	NIVELES DE DESEMPEÑO SÍSMICO				
	Totalmente Operacional	Operacional	Seguridad	Pre-colapso	Colapso
Frecuente		X			
Ocasional		X			
Raro					X
Muy Raro					X

Tabla N° 3.22 Nivel de desempeño sísmico de vivienda 03 dirección X

- **VIVIENDA 04**

Sismo X

PELIGRO SÍSMICO	NIVELES DE DESEMPEÑO SÍSMICO				
	Totalmente Operacional	Operacional	Seguridad	Pre-colapso	Colapso
Frecuente			X		
Ocasional			X		
Raro					X
Muy Raro					X

Tabla N° 3.23 Nivel de desempeño sísmico de vivienda 04 dirección X

Sismo Y

PELIGRO SÍSMICO	NIVELES DE DESEMPEÑO SÍSMICO				
	Totalmente Operacional	Operacional	Seguridad de Vida	Pre-colapso	Colapso
Frecuente		X			
Ocasional			X		
Raro					X
Muy Raro					X

Tabla N° 3.24 Nivel de desempeño sísmico de vivienda 04 dirección Y

- **VIVIENDA 05**

Sismo X

PELIGRO SÍSMICO	NIVELES DE DESEMPEÑO SÍSMICO				
	Totalmente Operacional	Operacional	Seguridad	Pre-colapso	Colapso
Frecuente	X				
Ocasional		X			
Raro					X
Muy Raro					X

Tabla N° 3.25 Nivel de desempeño sísmico de vivienda 05 dirección X

Sismo Y

PELIGRO SÍSMICO	NIVELES DE DESEMPEÑO SÍSMICO				
	Totalmente Operacional	Operacional	Seguridad de Vida	Pre-colapso	Colapso
Frecuente	X				
Ocasional			X		
Raro					X
Muy Raro					X

Tabla N° 3.26 Nivel de desempeño sísmico de vivienda 05 dirección Y

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. NIVELES DE DESEMPEÑO ALCANZADOS

4.1.1. VIVIENDA 01

Sismo X

En la Tabla 3.18 se aprecia que la edificación en sentido de sismo X, no cumple con el desempeño para las sollicitaciones sísmicas frecuente, raro y muy raro. Sin embargo, sí se comporta adecuadamente frente al sismo ocasional. La curva de desempeño si tiene apreciable ductilidad, y se comporta relativamente bien frente a los sismos iniciales, sin embargo no brinda la suficiente capacidad para satisfacer los sismos de gran intensidad.

Sismo Y

En la Tabla 3.19 se aprecia que la misma edificación en sentido de sismo Y, no cumple con el desempeño para las sollicitaciones sísmicas ocasional, raro y muy raro. Sin embargo, sí se comporta adecuadamente frente al sismo frecuente. La curva de desempeño no tiene considerable ductilidad, y por ende tiene un comportamiento bueno frente a un bajo peligro, sin embargo no brinda la suficiente capacidad para satisfacer los sismos de mayor intensidad.

4.1.2. VIVIENDA 02

Sismo X

En la tabla 3.20 se aprecia que la edificación en sentido de sismo X, cumple completamente con el desempeño para las sollicitaciones sísmicas frecuente, ocasional, raro y muy raro. Es más para los sismos de baja intensidad se desempeña satisfactoriamente. La curva de desempeño no tiene apreciable ductilidad, aun así se comporta bien frente a los sismos de mayor demanda.

Sismo Y

En la Tabla 3.21 se aprecia que esta misma edificación en sentido de sismo Y, no cumple con el desempeño para las sollicitaciones sísmicas frecuente, raro y muy raro. Sin embargo, sí se

comporta adecuadamente frente al sismo ocasional. Aunque la curva de capacidad posee una ductilidad considerable, esto no es suficiente para asegurar que la estructura trabaje de una manera confiable frente a las solicitaciones sísmicas.

4.1.3. VIVIENDA 03

Sismo X

Esta edificación no se analizó en el sentido en Y, ya que no presentaba la suficiente capacidad para desempeñarse ante ninguna solicitación sísmicas. Ahora en la Tabla 3.22, se aprecia que desempeño sísmico no se verifica ante solicitaciones sísmicas de grado frecuente, raro y muy raro. Sin embargo, llega a comportarse adecuadamente frente al sismo ocasional. La curva de desempeño no tiene una considerable ductilidad, como consecuencia el comportamiento frente a un peligro alto no es bueno. No obstante la curva de capacidad muestra un desempeño relativamente aceptable para sismos de baja intensidad.

4.1.4. VIVIENDA 04

Sismo X

En la tabla 3.23 se aprecia que la cuarta edificación en estudio en sentido de sismo X, no cumple con el desempeño para ninguna de las solicitaciones sísmicas que han sido detalladas; a pesar que la curva de capacidad muestra cierta ductilidad, la edificación no es capaz de soportar sismos con intensidades mayores a la estipulada en la norma (475 años).

Sismo Y

En la Tabla 3.24 se aprecia que en sentido de sismo Y, esta edificación no cumple con el desempeño objetivo para las solicitaciones sísmicas (frecuente, ocasional, raro y muy raro). No obstante, la edificación es capaz de soportar los sismos de menor demanda aunque con un daño apreciable. La curva de capacidad no tiene ductilidad notable, como consecuencia no está lo suficientemente preparada para satisfacer los sismos de mayor intensidad.

4.1.5. VIVIENDA 05

Sismo X

En la Tabla 3.25 se aprecia que la edificación N°05 en sentido de sismo X, no cumple con el desempeño para las solicitaciones sísmicas, raro y muy raro. Sin embargo, sí se comporta favorablemente frente a los sismos frecuente y ocasional. La curva de desempeño no tiene apreciable ductilidad, y por ello su buen comportamiento frente a sismo de peligro leve; por otra parte la edificación no tiene la capacidad frente a sismos de mayor demanda sísmica como

consecuencia no garantiza la seguridad de vida de los ocupantes frente al sismo base de nuestra norma.

Sismo Y

En la Tabla 3.26 se aprecia que esta misma edificación en sentido de sismo Y, tampoco cumple con el desempeño para las sollicitaciones sísmicas ocasional, raro y muy raro. Sin embargo, sí se comporta adecuadamente frente al sismo frecuente. La curva de desempeño igualmente no tiene apreciable ductilidad, con ello resulta un buen comportamiento frente a sismos de peligro leve, aunque con daños notables; por otra parte la edificación no tiene la suficiente capacidad ante sismos de menor probabilidad de ocurrencia (mayor intensidad) como consecuencia la garantía vital de los ocupantes no es integrada.

4.2. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS ENTRE ESTRUCTURAS

Continuando, se determina el desempeño en general de las viviendas proyectadas. Relacionando las características particulares de ellas como un indicador relativo de su comportamiento.

4.2.1. DESEMPEÑO SÍSMICO PARA X

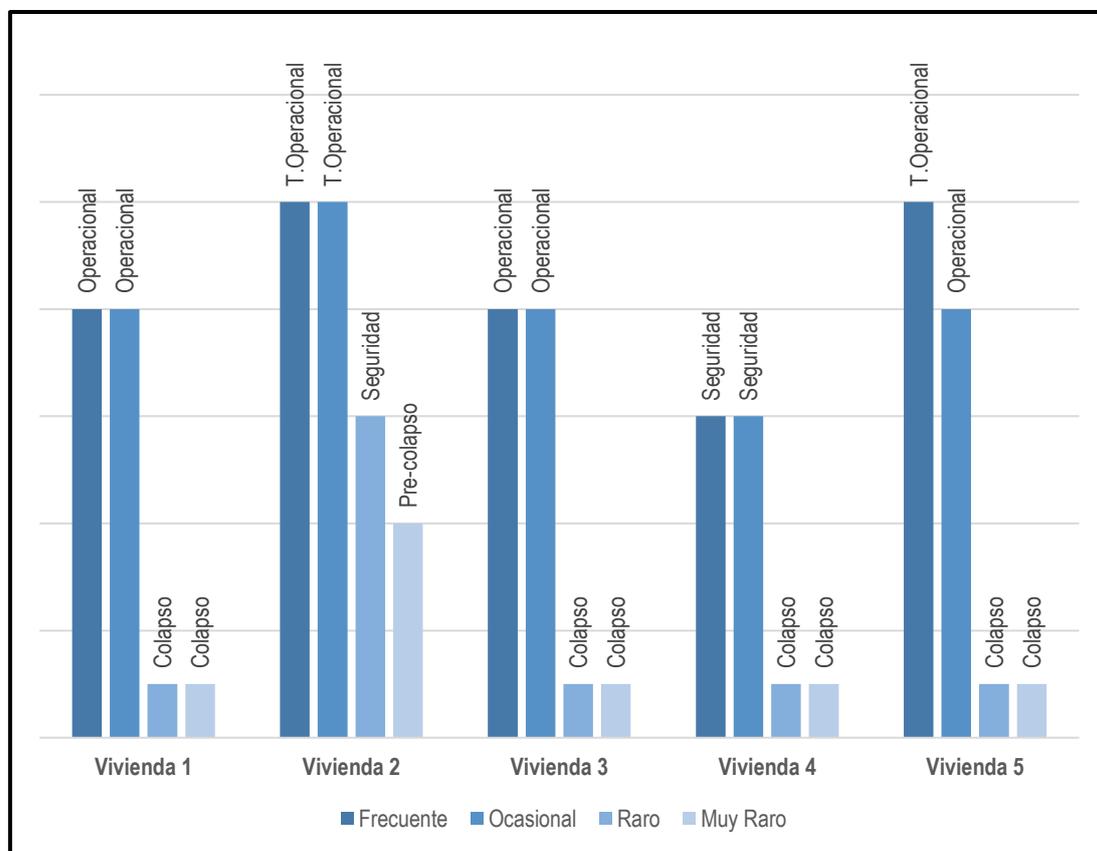


Figura N° 4.1 Desempeño sísmico característico para edificaciones (viviendas) en la dirección X

Realizando una comparación, podemos concluir que la mayoría de edificaciones no logran satisfacer el desempeño objetivo ante solicitaciones sísmicas altas (raro y muy raro). Significa que ante la ocurrencia de estos eventos la estructura pierde su estabilidad completamente y las personas no preservan su integridad.

A pesar de ello existe una vivienda analizada que sí logró asegurar completamente el desempeño. Las características de esta estructura son muros de albañilería continuos perpendicular al sentido del sismo, pórticos de igual número en ambos sentidos con luces similares, columnas de alto peralte y verticalmente regular.

Otra característica importante de estas viviendas es su capacidad total de soportar sismos de poca a regular intensidad; aunque no necesariamente cumpliendo con desempeño aceptable. El 80% de las edificaciones analizadas si logran comportarse de manera adecuada, teniendo un estado operacional después de ocurrir el sismo. Sin embargo, una de ellas (vivienda 3) asegura la vida de los ocupantes, más no la estabilidad de la estructura. Analizando sus características, irregularidad vertical y horizontal, ausencia de muros de mampostería continuos y columnas pobremente reforzadas, es comprensible su respectivo comportamiento.

4.2.1. DESEMPEÑO SÍSMICO PARA Y

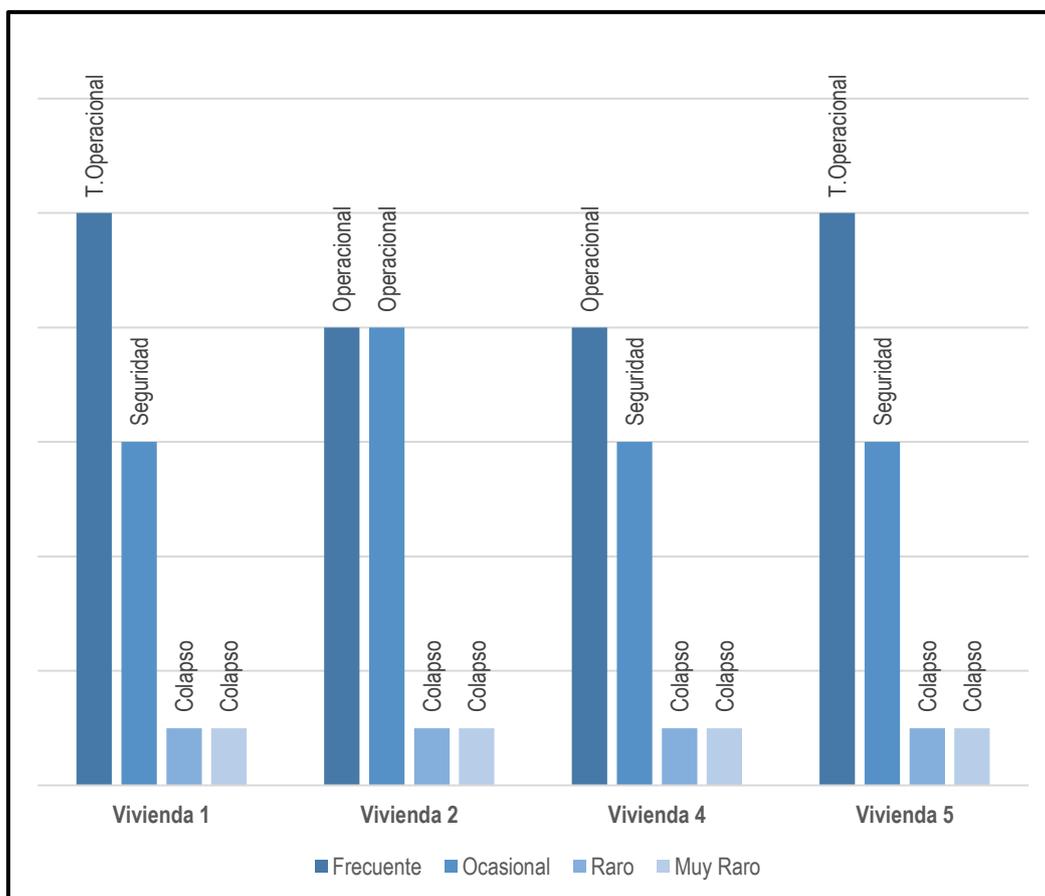


Figura N° 4.2 Desempeño sísmico característico para edificaciones (viviendas) en la dirección Y

De la misma manera en este sentido de sismo, las estructuras no logran satisfacer el desempeño objetivo ante intensidades de peligro sísmico altos (raro y muy raro). Provocando que frente a la ocurrencia de eventos de esta magnitud, la estructura pierde completamente su estabilidad y la seguridad de la vida está seriamente comprometida.

Ante la intensidad de sismo frecuente (43 años), todas los miembros estructurales de las edificaciones están preparadas para mantener su integridad o como máximo presentar daños reparables.

Por otro lado ante sollicitaciones sísmicas moderadas (72 años), los elementos estructurales pierden notablemente su rigidez y como consecuencia el sistema pierde su capacidad. A pesar de ello, las estructuras garantizan la seguridad de sus ocupantes.

A diferencia del comportamiento en el sentido X, en este sentido la mayoría de edificaciones no contempla pórticos continuos con muros ya sean de albañilería confinada o concreto. Adicionalmente, los elementos verticales tienen menor dimensionamiento.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

- El nivel de desempeño sísmico alcanzado es diferente para cada demanda sísmica atendida. La hipótesis planteada en la presente investigación se válida en gran medida para los sismos de mayor probabilidad, como son frecuente y ocasional. Producto que cumplen con las características establecidas del comportamiento de niveles de desempeño objetivos dispuestos por el comité VISION 2000. De esta manera se puede afirmar que las viviendas son capaces de resistir sismos de baja intensidad.

Además el estado de daño provocado por estos sismos, comprende daños menores localizados en el contenido de la vivienda. Los sistemas estructurales de resistencia de fuerza vertical y lateral del edificio conservan casi todas sus características iniciales y el riesgo de lesiones mortales por falla estructural es insignificante.

- Para los sismos raro y muy raro el nivel de desempeño sísmico es deficiente, debido a que no se cumplen con los objetivos de desempeño que ha propuesto el comité VISION 2000. Ante esto, se puede concluir que para sismos de igual a mayor intensidad que el propuesto por la norma, las estructuras no son capaces de mantenerse estables y solo una de las analizadas garantiza la vida de sus ocupantes.

Entonces el estado de daño consecuente al desempeño ante sismos raros y muy raros es un deterioro grave a la estructura, pero queda un margen contra el colapso estructural total o parcial. Existe alto riesgo de lesiones por la caída de escombros dentro y fuera del edificio. Además, existe un daño extenso en componentes y sistemas no estructurales, aún si no se contempla la caída de elementos grandes (parapetos, muros exteriores de albañilería, cielo raso, etc.) que pueden causar heridas significativas; existe el riesgo de fallas ponen en peligro a muchas personas dentro o fuera del edificio.

- Se calculan los espectros de peligro uniforme en lugar de los espectros por coeficientes según la norma NTE.030, lo que muestra una mejora en la precisión de aceleraciones espectrales. Además a comparación de otras metodologías, el cálculo para distintos periodos de retorno no se realiza mediante escala directa de un espectro base y se ha desarrollado específicamente para nuestro país.
- El método de análisis desarrollado (Pushover) funciona adecuadamente en el procesamiento y obtención de la curva de capacidad; conjuntamente con el modelo de columna ancha para la idealización de los muros de albañilería, se obtiene un método simple y confiable para estudiar edificaciones con elementos estructurales de concreto armado y albañilería.

- El comportamiento en general de las viviendas proyectadas, es mejor para la dirección X que para la otra dirección. Producto que las estructuras tienen en su mayoría muros continuos en esta dirección, y casi ninguno en la dirección la dirección Y.
- Existe una edificación (vivienda 02), la cual en su dirección principal cumple completamente, y en comparación con las demás resaltan ciertas características, como son regularidad en planta y vertical, además de igual número de pórticos en cada dirección y luces más cortas.

5.2. RECOMENDACIONES

- Que para similares investigaciones se opte por la determinación de los niveles de comportamiento en base a distintos grados de intensidad sísmica; como los descritos en esta investigación, esta propuesta permite la observación del progreso de daño en función del peligro sometido.
- También se propone que para el diseño de edificaciones se tome como base las curvas de peligro uniforme, ya que la presentan el incremento de aceleraciones iniciales, las cuales son omitidas en los espectros de cálculo. Además la elaboración de este tipo de curvas se ha realizado con el historial sísmico del Perú, por ende es la herramienta más precisa y real hasta la fecha.
- A pesar que el método de columna ancha es una gran alternativa para obtener curvas de capacidad de estructural por análisis estático no lineal, existen otros programas que idealizan directamente el comportamiento de muros de albañilería confinados y de otros tipos de materiales (adobe, tapial y quincha); en consecuencia se recomienda el uso de otros software como Perform 3D o DIANA FEA que a pesar de tener una mayor capacidad de análisis no son muy comerciales.
- En base a la estructuración y las características diferenciales de la vivienda 02, es recomendable que en el diseño de estructuras se tome mayor atención al dimensionamiento de elementos estructurales, la asignación de muros continuos verticalmente a lo largo de la estructura y la minimización de irregularidades en planta o verticales.
- Se recomienda que en futuras investigaciones se tome en cuenta el sentido probable de sismo; es decir se calcule mediante ensayos de propagación de ondas, la dirección de incursión del sismo en la edificación en coordenadas polares.
- Otros estudios complementarios pueden realizarse con el fin de relacionar específicamente el desempeño a otra variable cuantitativa como la irregularidad o porcentaje de muros en cada dirección de las edificaciones.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

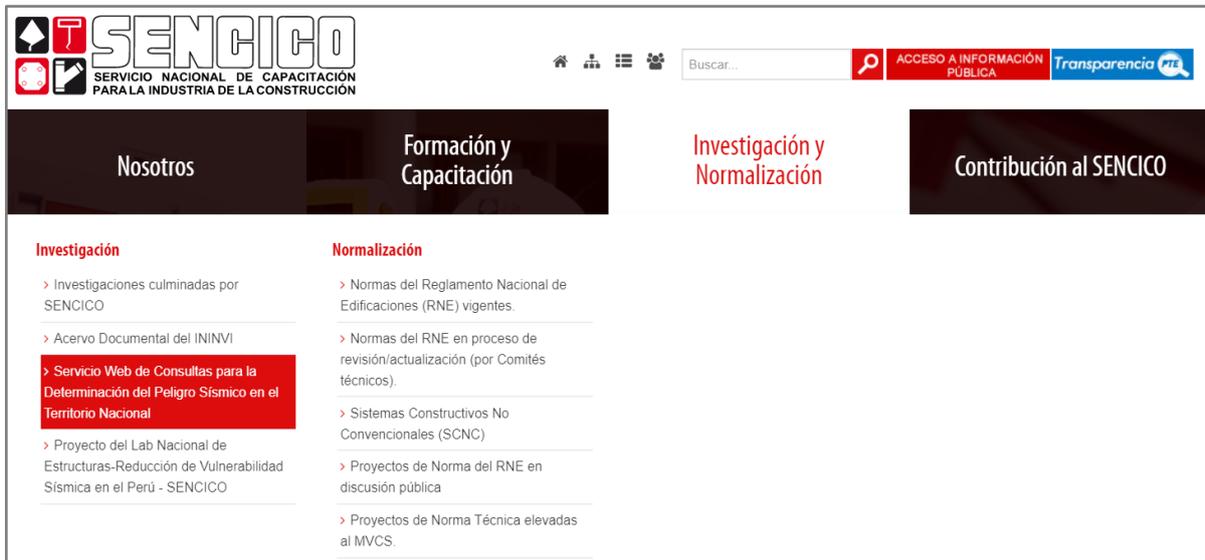
- Aguilar Huamán, E. S. (2018). *Determinación de la seguridad sísmica en escuelas del distrito de Cajamarca por el método de espectro de capacidad*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- ATC-40. (1996). *Seismic evaluation and retrofit of concrete Building*. California: Applied Technology Council.
- Bazán Arbildo, J. (2007). *Vulnerabilidad Sísmica de las viviendas en Cajamarca*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Bolaños Tauma, M. I. (2015). *Desempeño sismoresistente del edificio 4F de la Universidad Nacional de Cajamarca*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Crisafulli, F., & Villa fañe, E. (2002). *Espectros de respuesta y de diseño*. Argentina: Universidad Nacional de Cuyo.
- Delgadillo Alanya, J. E. (2005). *Análisis no lineal de estructuras y la norma E-030*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- E.030, N. (2016). *Norma de Diseño Sismoresistente*. Lima: RNE.
- Eurocódigo 8 - Parte 2. (2005). *Probabilidades relacionadas a la acción sísmica referencial*. Bruselas: CEN national members.
- Gálvez Chunas, V. A. (2011). *Evaluación del Desempeño Sismorresistente Usando Análisis No Lineal en el Tiempo*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Intituto Geofísico del Perú. (2014). *Evaluación del Peligro Sísmico en Perú*. Lima-Perú: Mapa de Peligro Sísmico para el Perú.
- Ismael-Hernández, E., & Mora Pino, D. (2014). *La vulnerabilidad sísmica de construcciones escolares usando el enfoque FEMA*. Jalisco, México: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.
- Loa Canales, G. (2017). *Evaluación del desempeño sísmico de tres opciones de reforzamiento incremental en edificaciones educativas típicas construidas antes de 1997*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

- Mercado Ruiz, L. C., & Sabogal Lorduy, C. A. (2016). *ánalisis de vulnerabilidad sísmica en edificaciones aporticadas de concreto reforzado en la ciudad de Cartagena caso estudio: Edificio Concasa y Banco del Estado*. Cartagena: Universidad de Cartagena.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2016). *NTE.030*. Lima: El Peruano.
- Moreno Gonzáles, R., & Bairán García, J. (2012). *Evaluación sísmica de los edificios de mampostería típicos de Barcelona, aplicando la metodología Risk-UE*. Barcelona: Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño de Ingeniería.
- MPC. (2016). *Plan de desarrollo Urbano de Cajamarca 2016*. Cajamarca: Municipalidad Provincial de Cajamarca.
- Muñoz, A., Tinman, M., & Quiun, D. (2013). *Riesgo Sísmico de Edificios Peruanos*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Reyes Indira, H., Vielma, J. C., & Pujades Beneit, L. G. (2014). *Contribuciones de la vulnerabilidad sísmica de edificios*. Chile: Monografía CIMNE IS-68.
- Ríos Sánchez, W. (2018). *Vulnerabilidad Sísmica de las Viviendas de Albañilería Confinada de la Asociación de Vivienda Guardia Civil I del Sector Nuevo Cajamarca, 2017*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Sánchez Aguilar, M. A. (2010). *Diseño Sísmico Basado en Desempeño para una Edificación Escencial de Concreto Reforzado*. Monterrey: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
- Sanchez, T., Alcocer, S., & Flores, L. (1996). *Estudio Experimental Sobre una Estructura de Mampostería Confinada Tridimensional, Construida a Escala Natural y Sujeta a Cargas Laterales*. México: Memorias del Décimo Congreso Nacional de Ingeniería Estructural.
- Santana, R. (2012). *Diseño Sísmico por Desempeño de estructuras de Albañilería Confinada*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- SEAOC. (1995). *A Framework for performance based desing*. (C. S. California, Ed.) Sacramento, California: Vision 2000.
- SENCICO. (2016). *Actualización del programa de Computo Orientado a la Determinación del Peligro Sísmico en el País*. Lima, Perú.

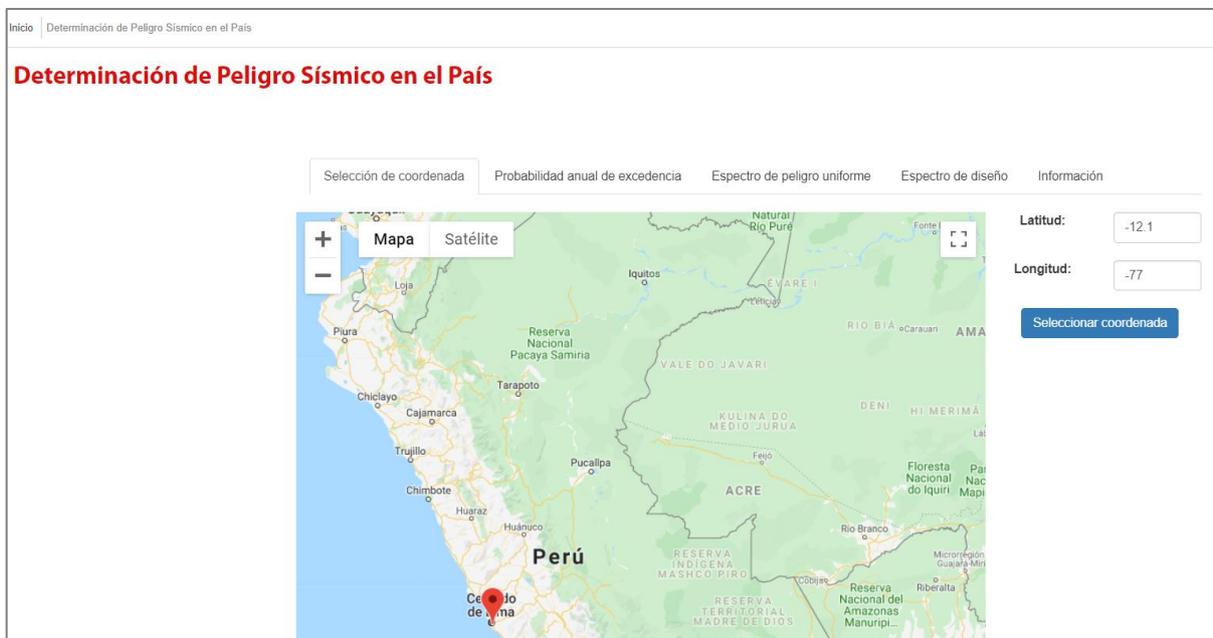
- Singh, S. K., Ordaz, M., & Arboleda, J. (1995). *A scheme of random Summation of an empirical green's function to estimate ground motions from future large earthquakes*. Mexico: Boletín de la sociedad sismológica de América.
- Soto Miranda, J. (2009). *Diseño Sísmico por desempeño aplicado a un edificio de hormigón armado*. Valdivia - Chile: Universidad Austral de Chile.
- Tavera, H. (2016). La Sismicidad en el mundo. *Geofísica*, 25-27.
- Villanueva Mohr, G. O. (2009). *Diseño Sísmico por Desempeño Aplicado a un Edificio de Hormigón Armado*. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile.
- Whittaker, A., Constantinou, M., ASCE, M., Tselas, P., & Associate Member, A. (1998). *Displacement estimates for performance-based seismic design*. Buffalo: ASCE.
- Zúñiga Cuevas, O., & Terán Gilmore, A. (2008). *EVALUACIÓN BASADA EN DESPLAZAMIENTOS DE EDIFICACIONES DE MAMPOSTERÍA CONFINADA*. México: Revista de Ingeniería Sísmica No. 79 25-48.

ANEXO 01: PROCESO DE OBTENCIÓN DE CURVAS PELIGRO UNIFORME

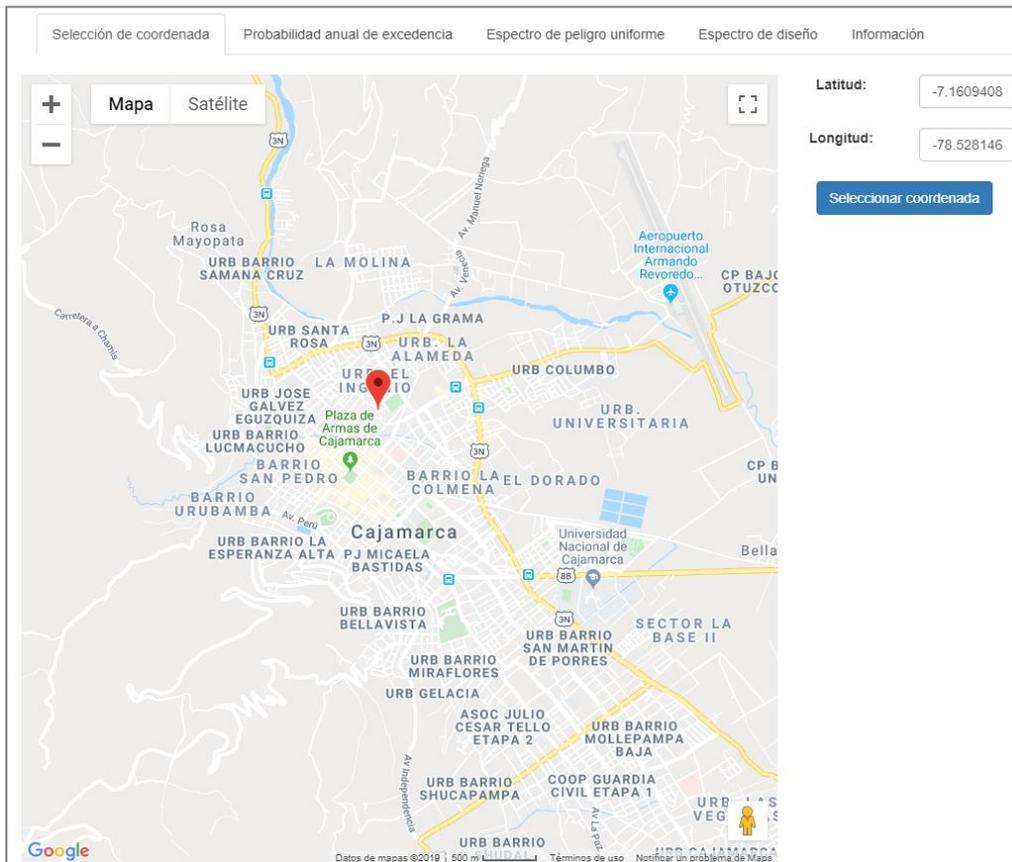
1. Ingresar a la página de SENCICO, en la barra de menú seleccionar “Investigación y Normalización” y luego abrir el “Servicio web de consultas para la determinación del peligro sísmico en el territorio nacional”.



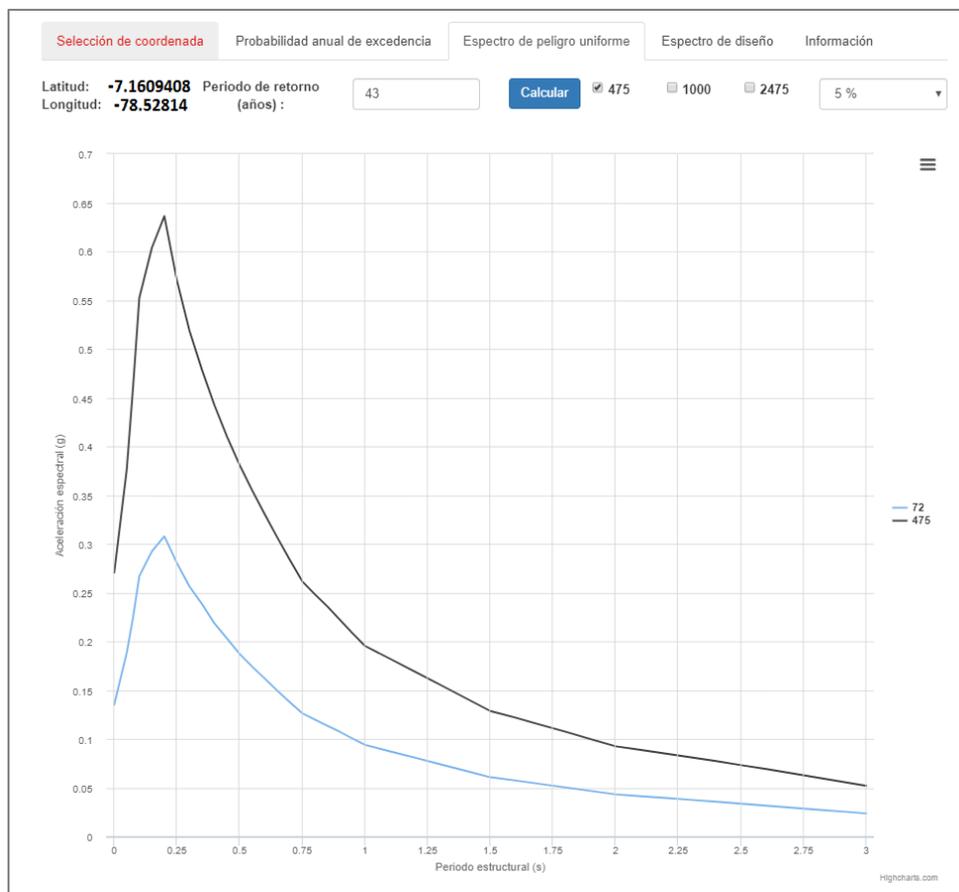
2. Al ingresar el entorno del servicio web se observa de la siguiente manera:



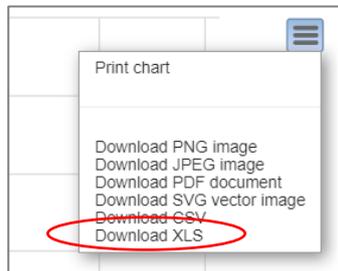
3. Ingresar las coordenadas de latitud y longitud o arrastrar la viñeta hacia el punto preciso donde se ubica la edificación a analizar. Tal como: Cajamarca (latitud -7.1609408 longitud -78.5281461). Luego de seleccionar las demás pestañas se generarán automáticamente.



4. Al finalizar el cálculo, se obtienen las curvas de peligro uniforme que se busca, para variar el periodo de retorno solo se debe ingresar el valor en años.

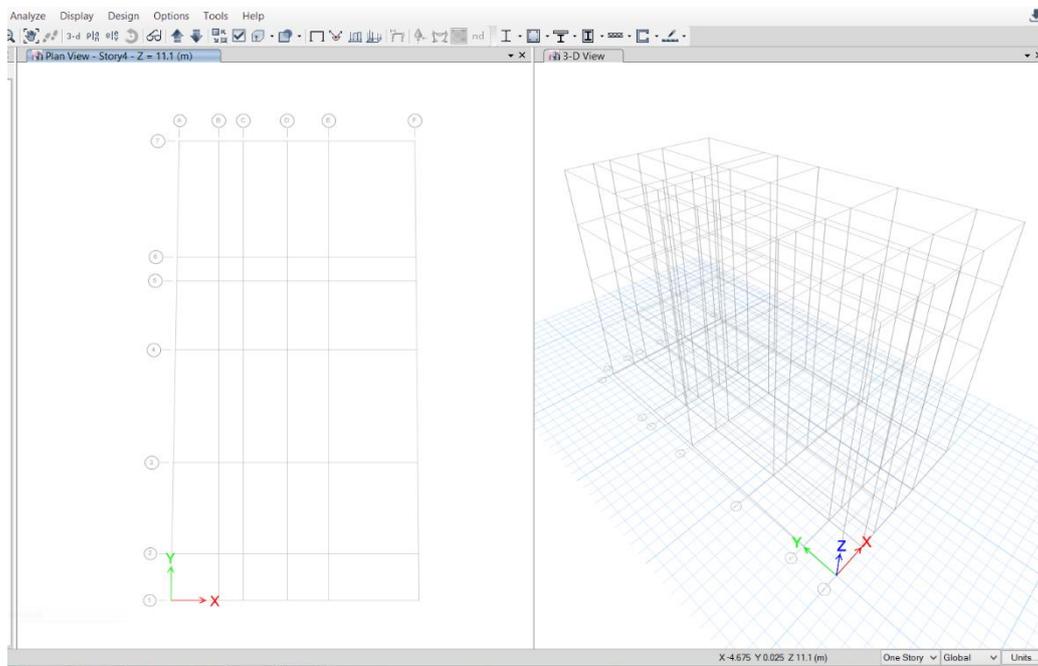


5. Para exportar los datos graficados ir a Menú ☰ y seleccionar “Download XLS” lo cual exportará los datos obtenidos en una tabla de Excel. Realizar para todos los periodos de retorno (43, 72, 475 y 975 años).

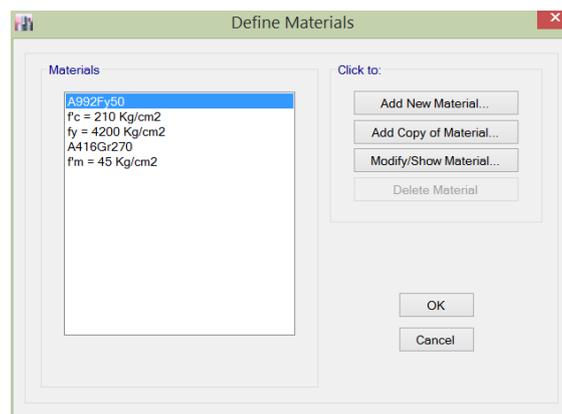


ANEXO 02: PROCESO DE MODELACIÓN EN ETABS v.17

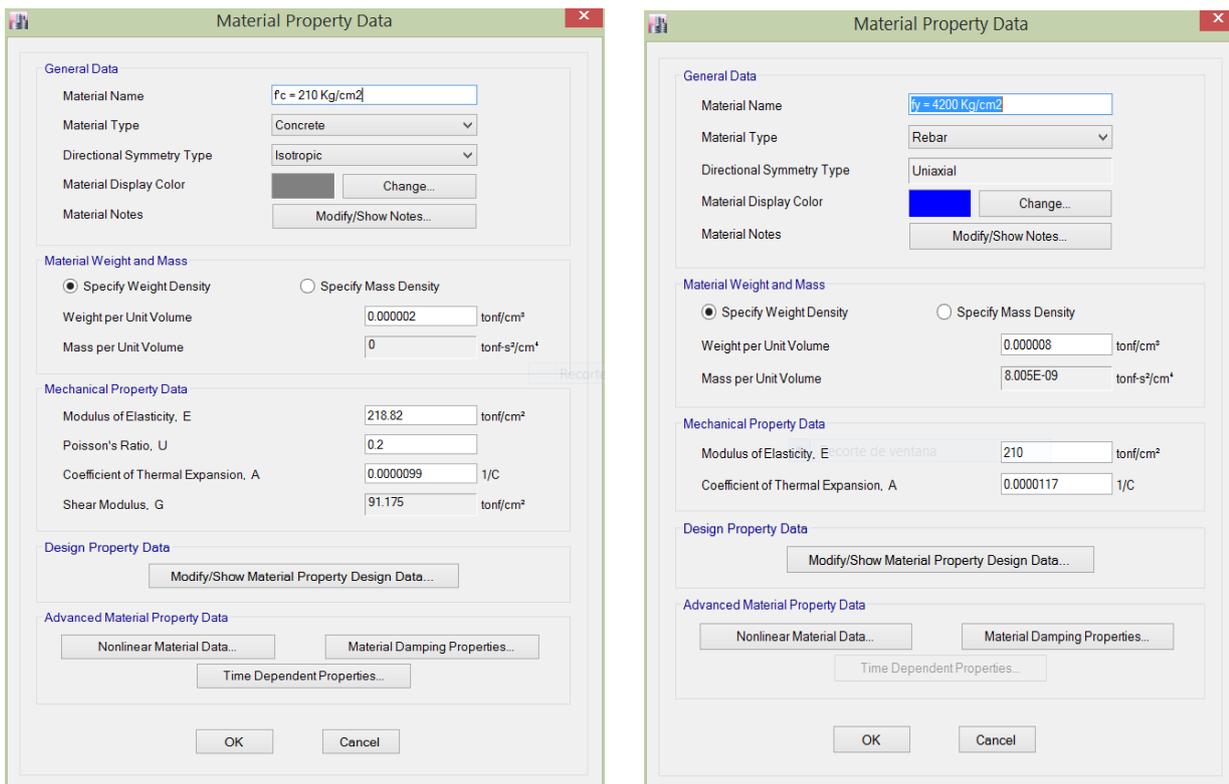
1. Importamos desde AutoCad los ejes estructurales que se utilizarán en base a los planos, las alturas se cotejan con el perfil de corte en cada vivienda.



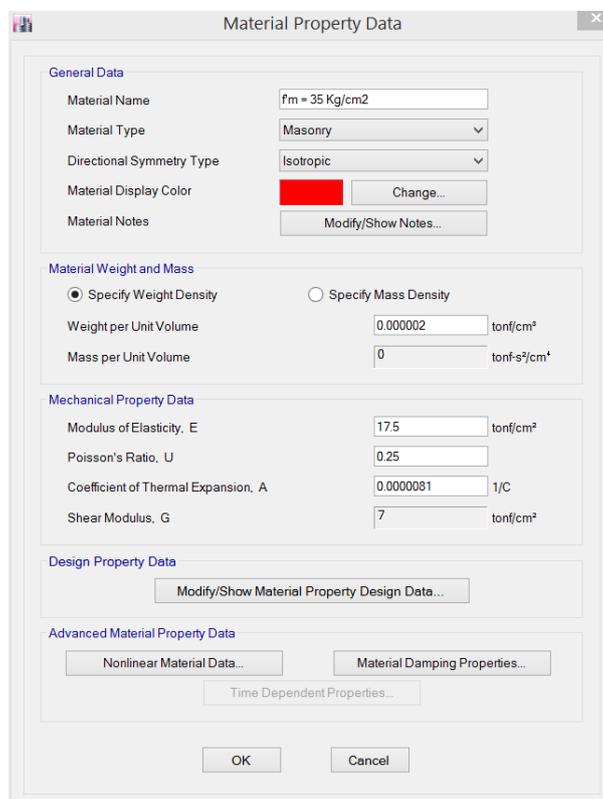
2. Luego se definen los materiales y sus propiedades. Ingresamos al menú “define”, en “materials”. Se agregan los materiales a usar: concreto, acero y mampostería.



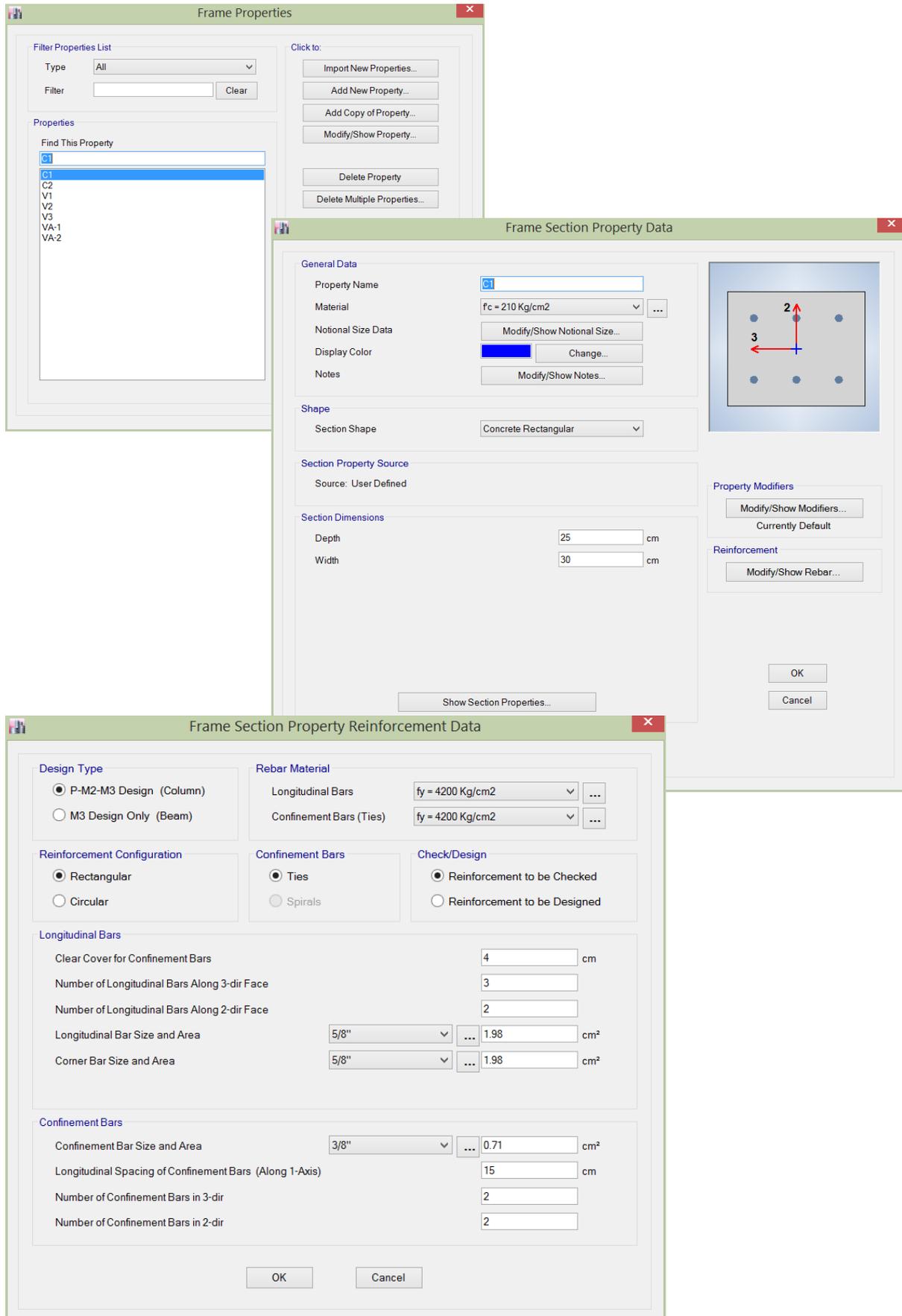
3. Se actualizan las propiedades de acero y concreto.



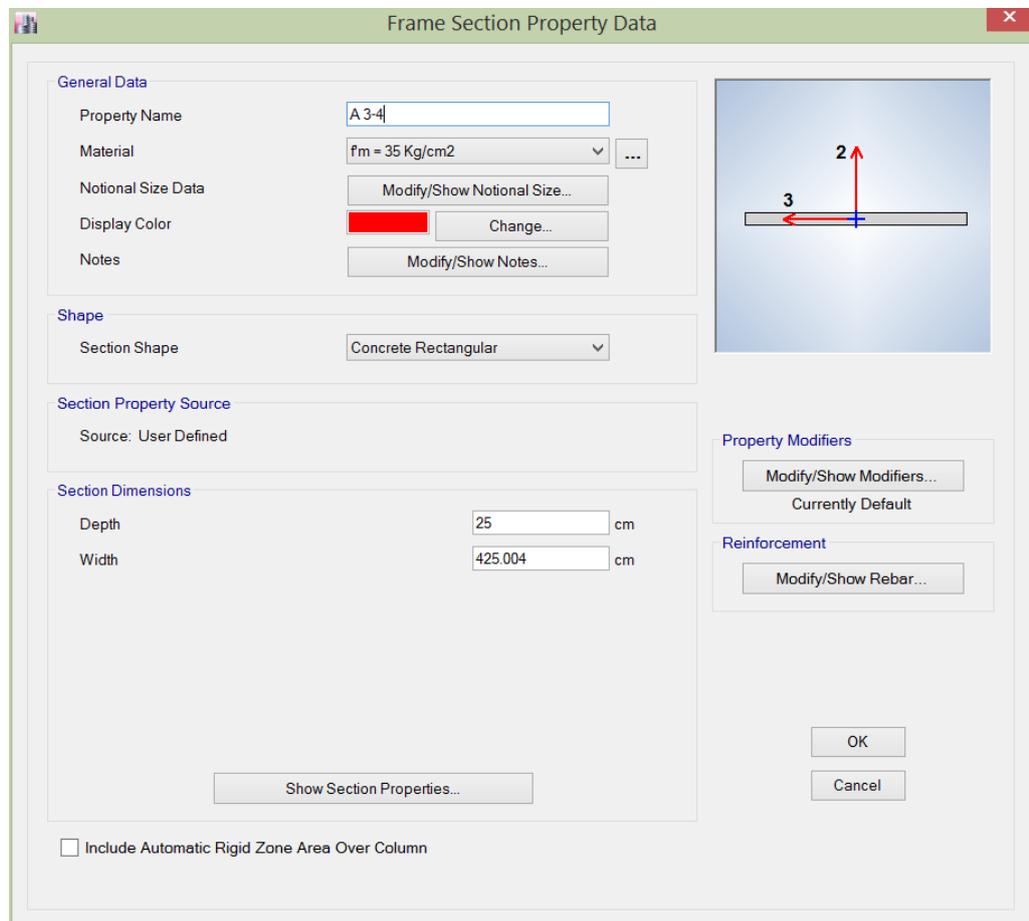
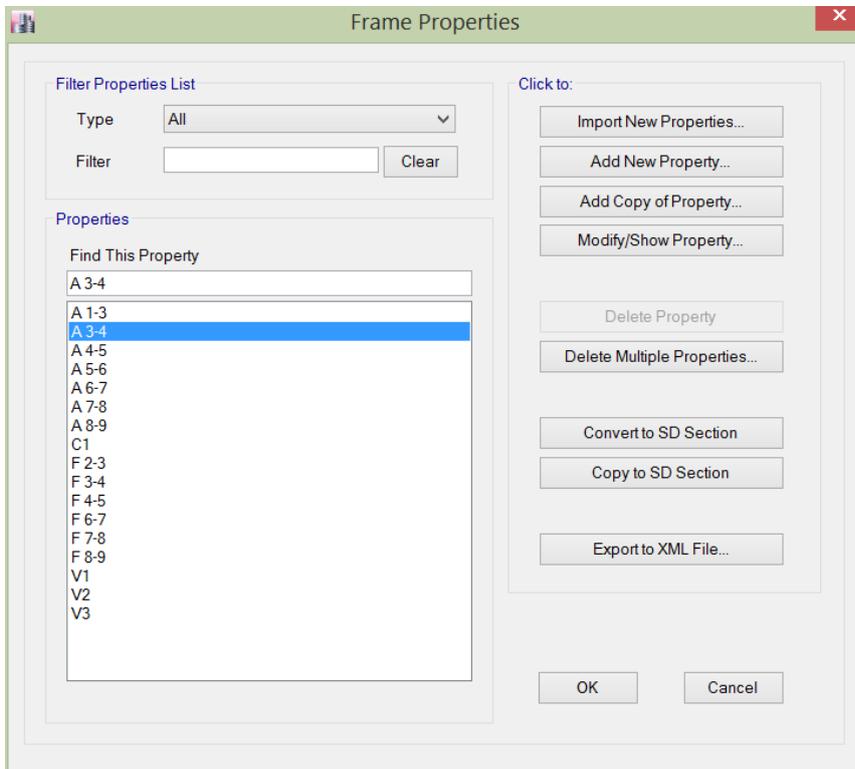
4. Se define las características mecánicas y no lineales de la mampostería, descritas en la Tabla 2.12.



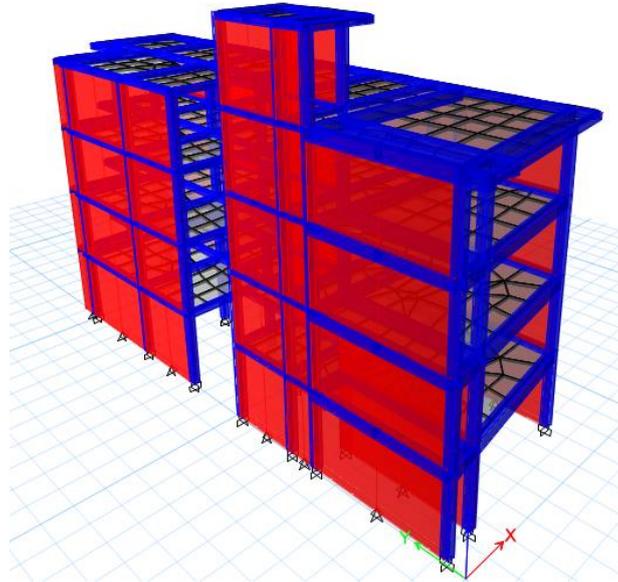
5. Se definen las secciones “frame”, siendo en este caso vigas y columnas. Luego se definen las secciones “Shell” de aligerado, con el sentido correspondiente de viguetas.



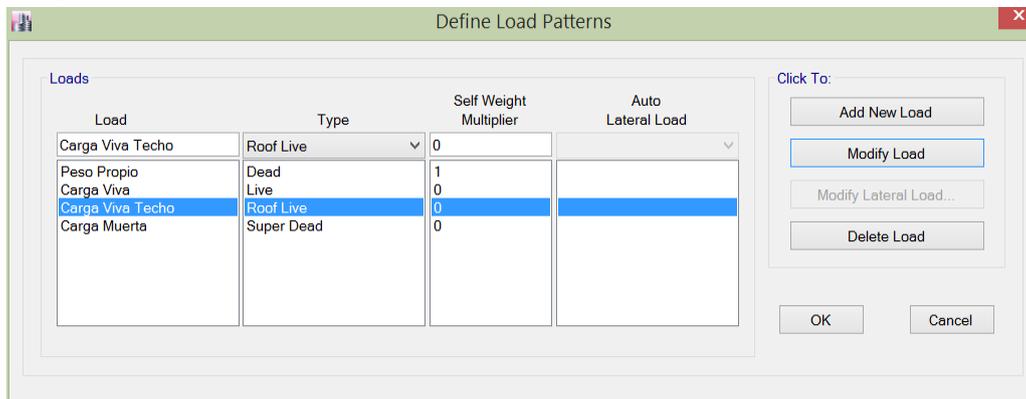
6. Para finalizar la construcción del modelo se definen las secciones de mampostería con el ancho y espesor de muro en cada caso. Y se dibuja usando una sección “frame”. Es importante que no se asigne reforzamiento con acero.



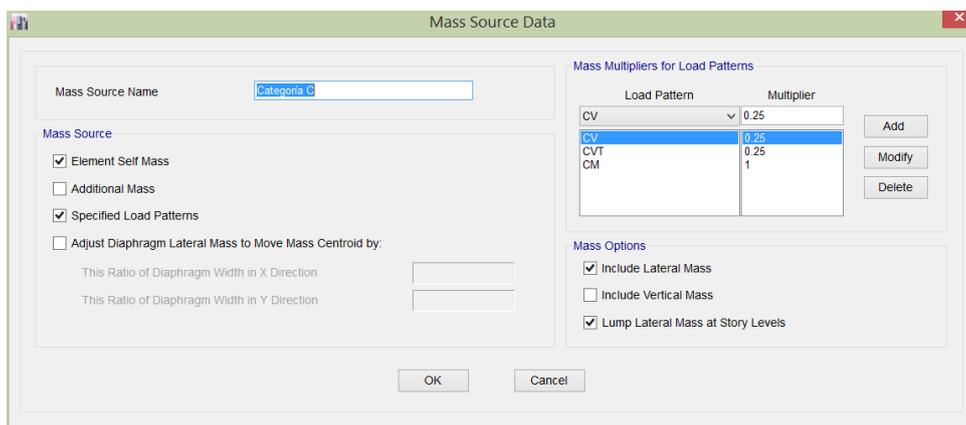
7. El modelo se construye completamente dibujando los elementos estructurales y cerciorándonos de su conexión entre ellos.



8. Luego de haber definido todas las secciones estructurales, empieza a definir los patrones de carga: peso propio, carga muerta, carga viva y carga de techo. Para ello, ingresamos a la opción “define” – “load patterns”. Se asignan las cargas en base a los planos y al uso correspondiente de cada ambiente. Además de lo descrito en la Tabla 3.3



9. A continuación se asigna el origen de masa para la categoría C ($1.00\text{ CM} + 0.25\text{CV} + 0.25\text{CVT}$) y patrones de carga descritos: Carga gravitacional no lineal, Sismo X y Sismo Y.



Load Case Data

General

Load Case Name: Design...

Load Case Type: Notes...

Exclude Objects in this Group:

Mass Source:

Initial Conditions

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case:

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Peso Propio	1
Load Pattern	CM	1
Load Pattern	CV	0.25
Load Pattern	CVT	0.25

Add Delete

Other Parameters

Modal Load Case:

Geometric Nonlinearity Option:

Load Application: Modify/Show...

Results Saved: Modify/Show...

Nonlinear Parameters: Modify/Show...

OK Cancel

Load Case Data

General

Load Case Name: Design...

Load Case Type: Notes...

Exclude Objects in this Group:

Mass Source:

Initial Conditions

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case:

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Acceleration	UX	-1

Add Delete

Other Parameters

Modal Load Case:

Geometric Nonlinearity Option:

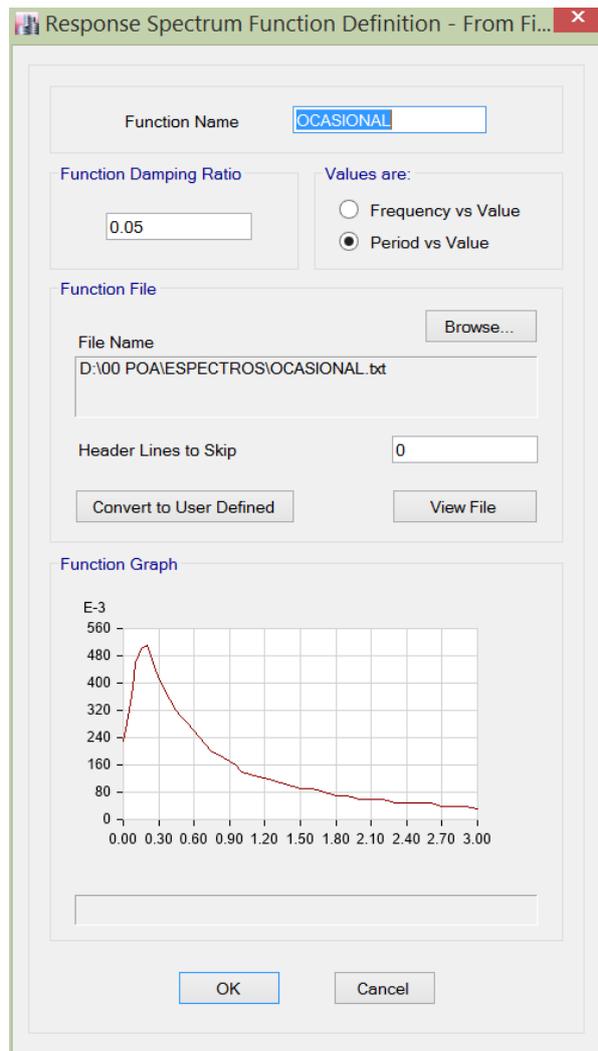
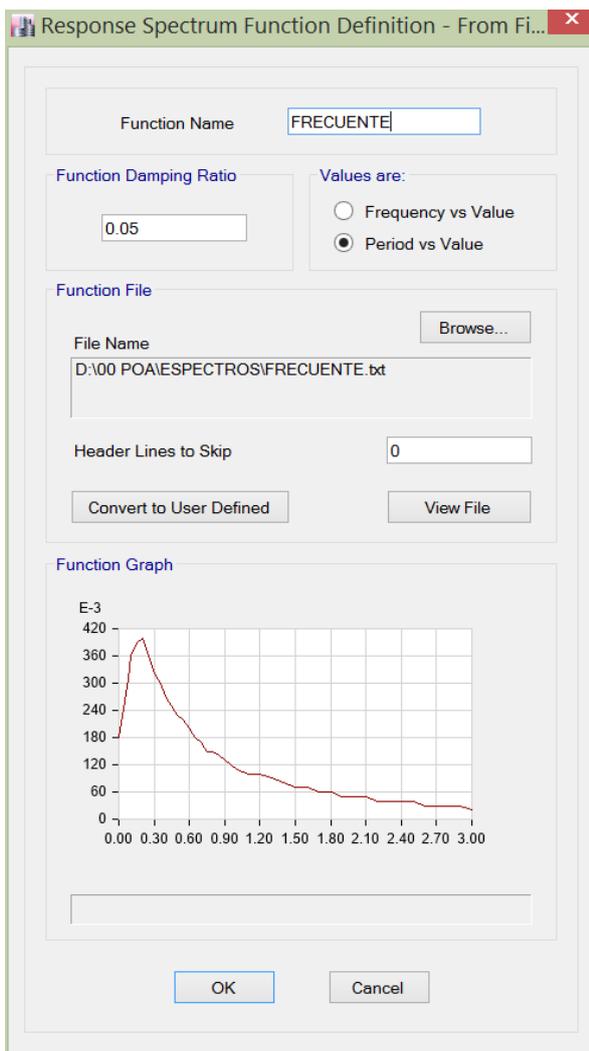
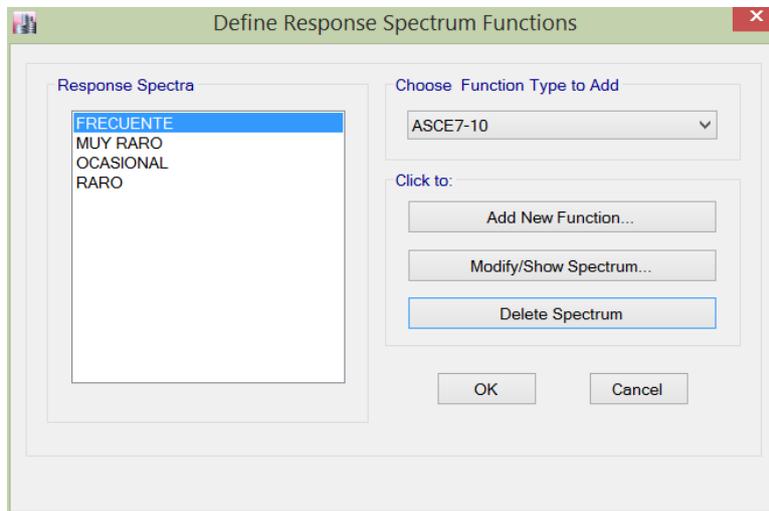
Load Application: Modify/Show...

Results Saved: Modify/Show...

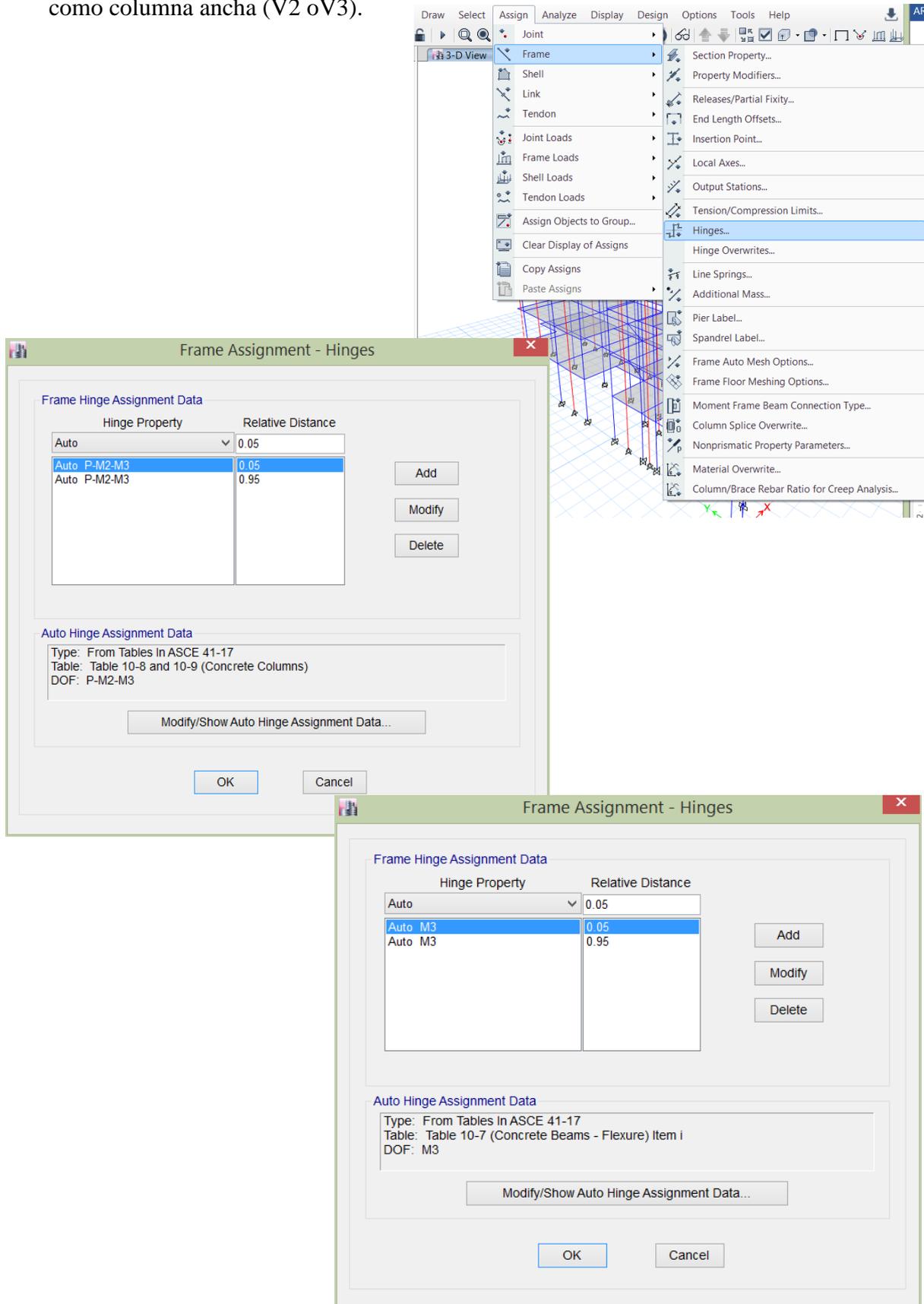
Nonlinear Parameters: Modify/Show...

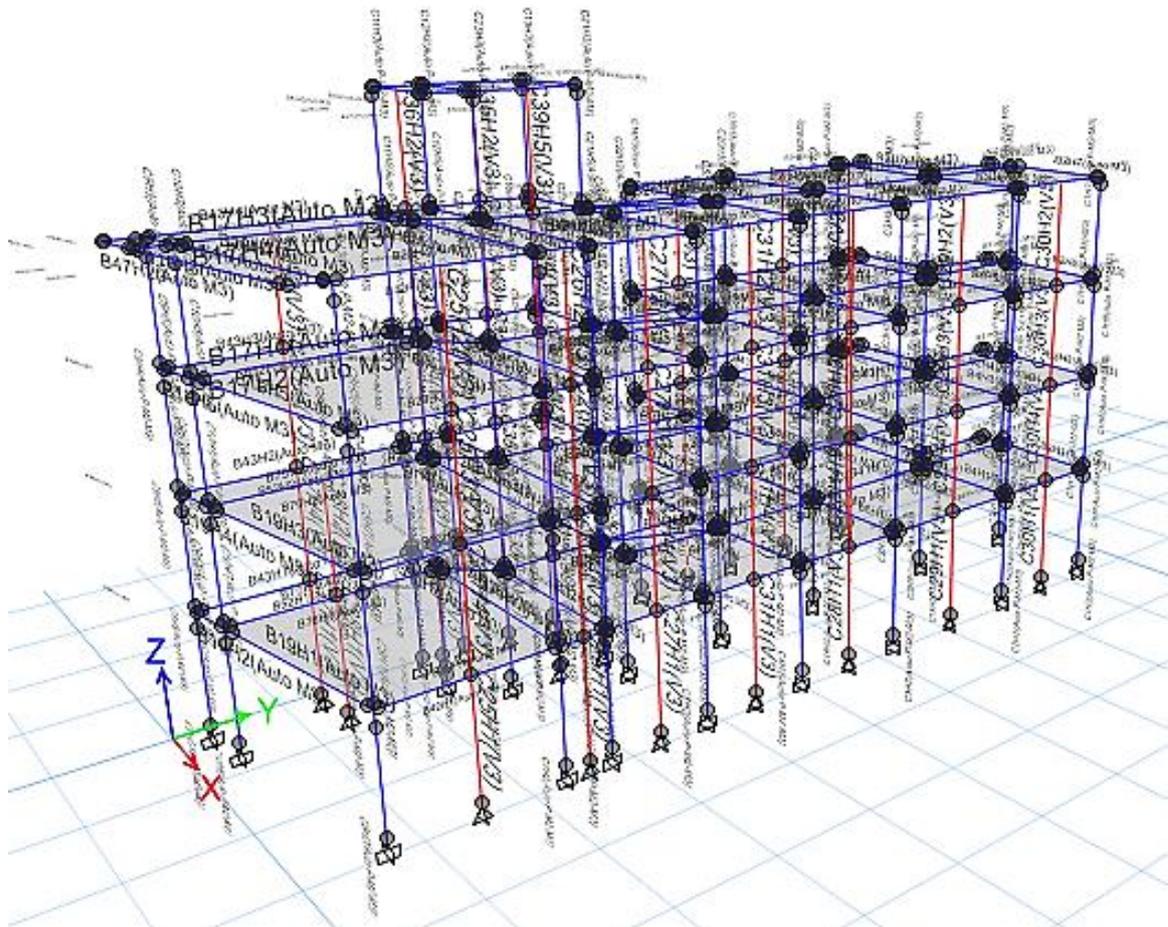
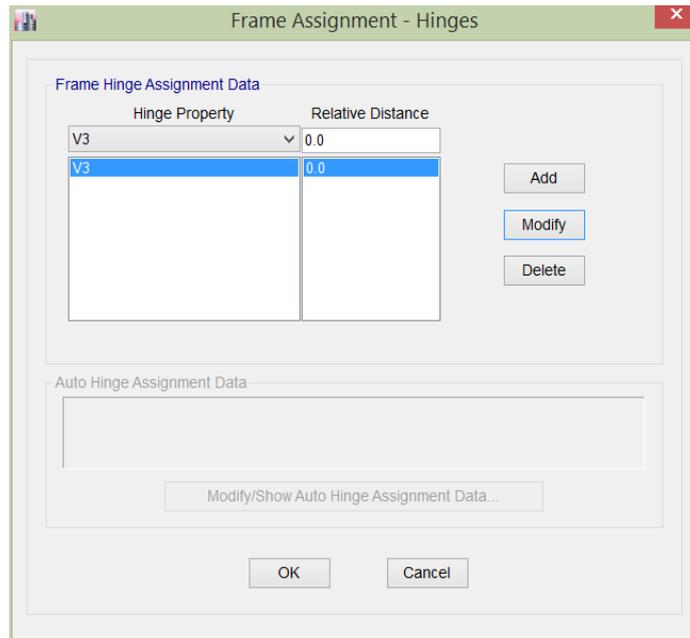
OK Cancel

10. Se definen los espectros que se emplearán en la verificación del punto de desempeño: frecuente, ocasional, raro y muy raro. Se toma lo antes descrito en el anexo 01 y se importan como archivos txt.

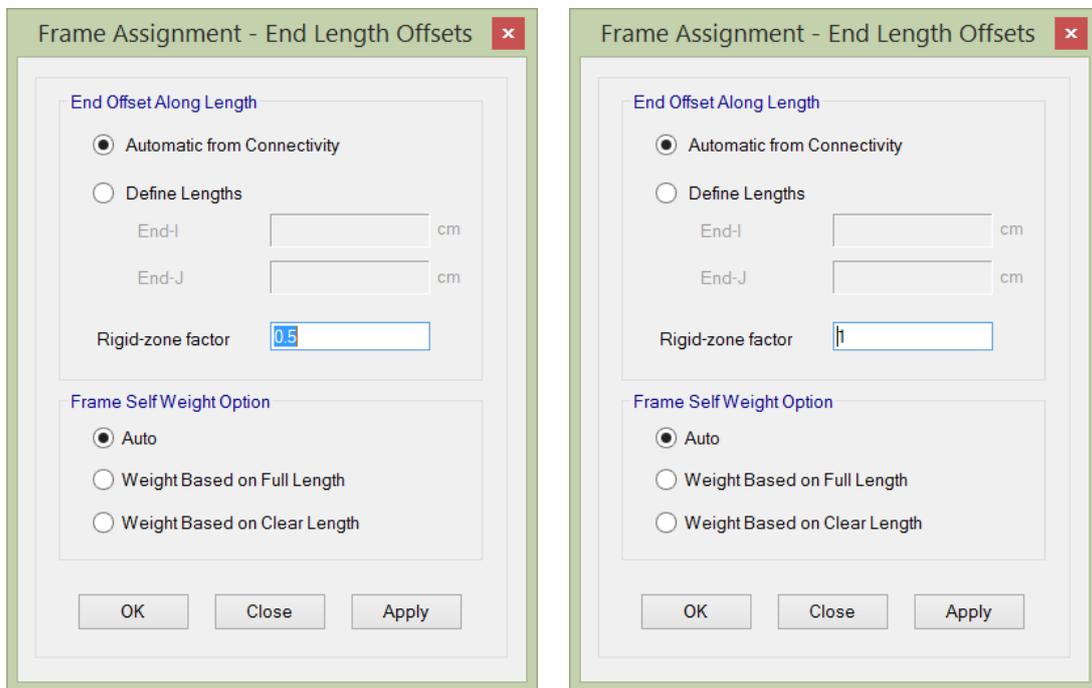


11. Se asignan las rótulas plásticas que caracterizarán los mecanismos de colapso de las estructuras. Para la investigación se definen rótulas para vigas, y columnas de manera automática. Y se define un tipo de rótula especial de cortante para los muros emplazados como columna ancha (V2 o V3).

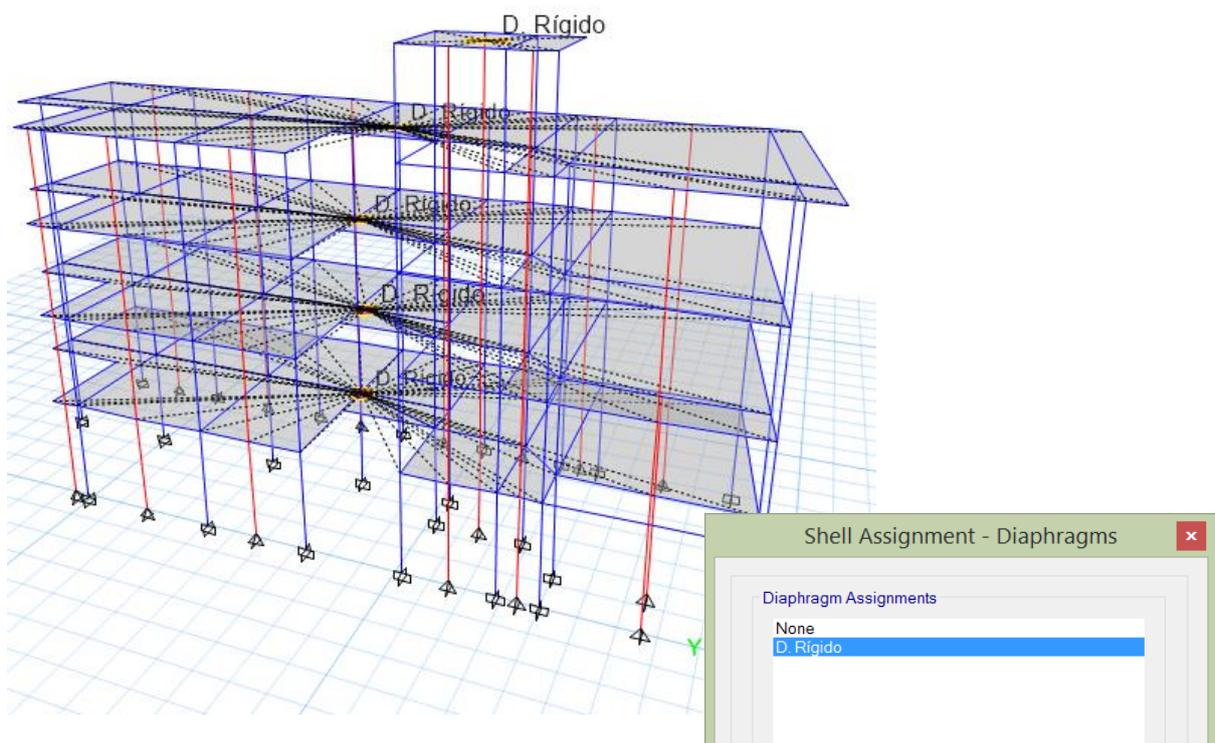




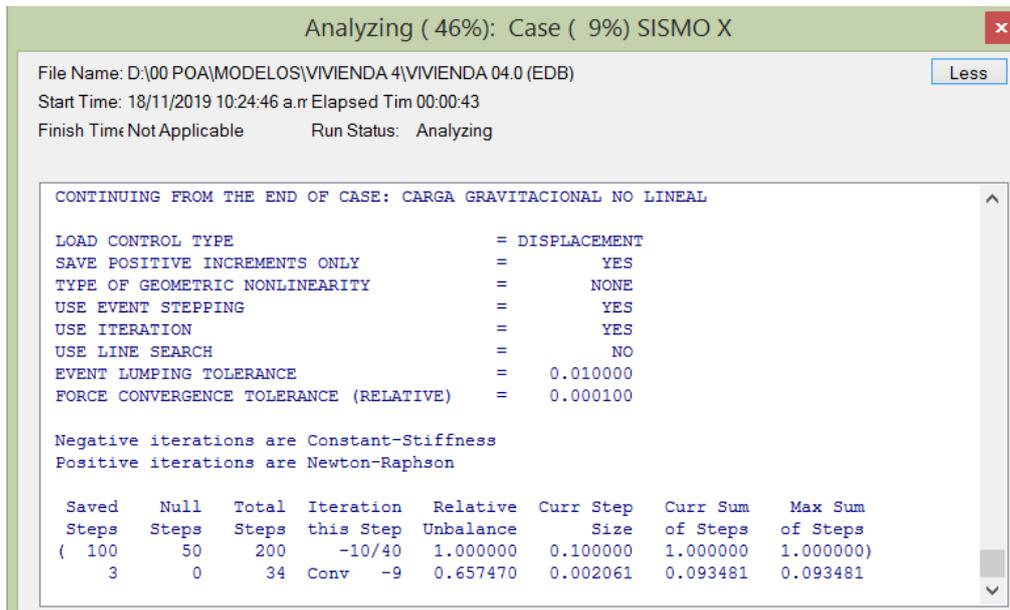
12. Se asignan los brazos rígidos “End length offset” entre estructuras con un factor de zona rígida de 0.50. Pero para la conexión entre columna ancha el factor será de 1.



13. Además se asigna un diafragma rígido por nivel. Se seleccionan los elementos “Shell” por nivel y se asigna con el comando “Assign”-“Shell”-“Diaphragm”.

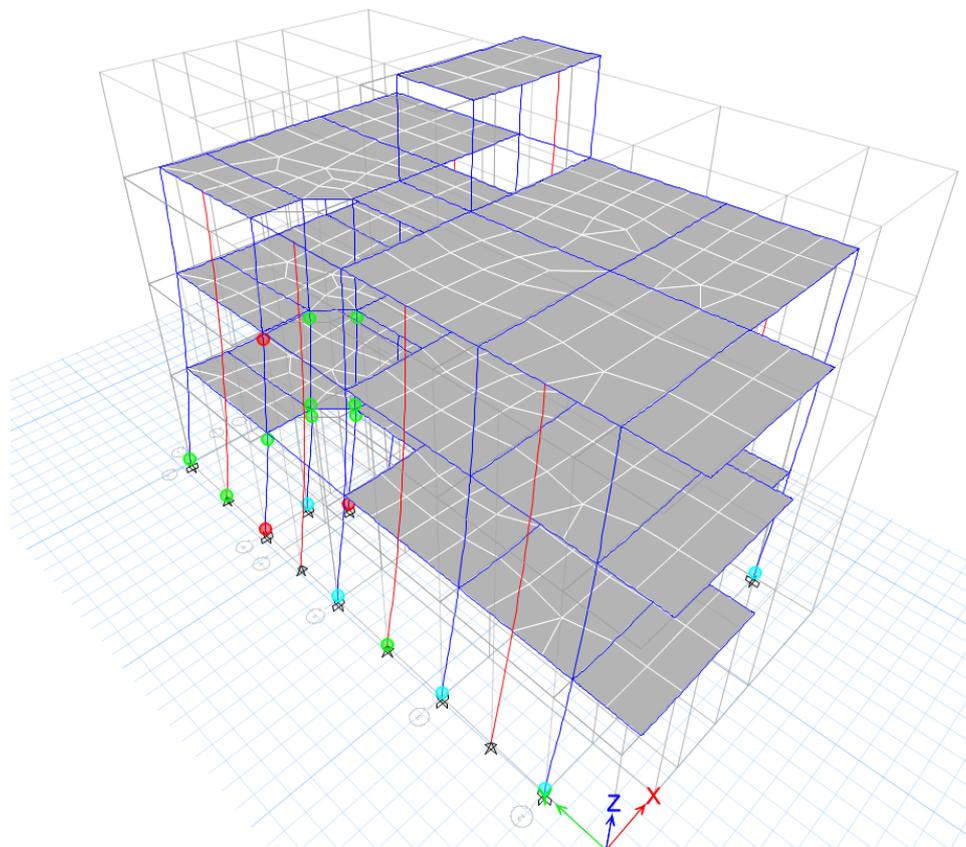


14. Finalmente se procede a correr el modelo. Para ello se oprime el botón “Run Analysis” o F5.

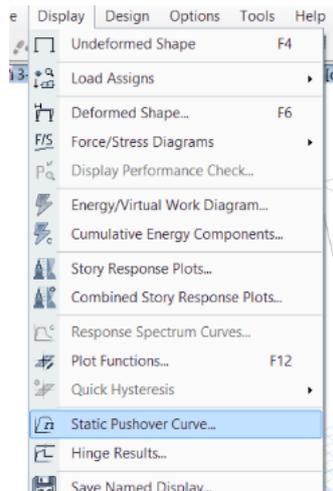


15. Al terminar el análisis se observan la distorsión de la estructura ante diferentes cargas.

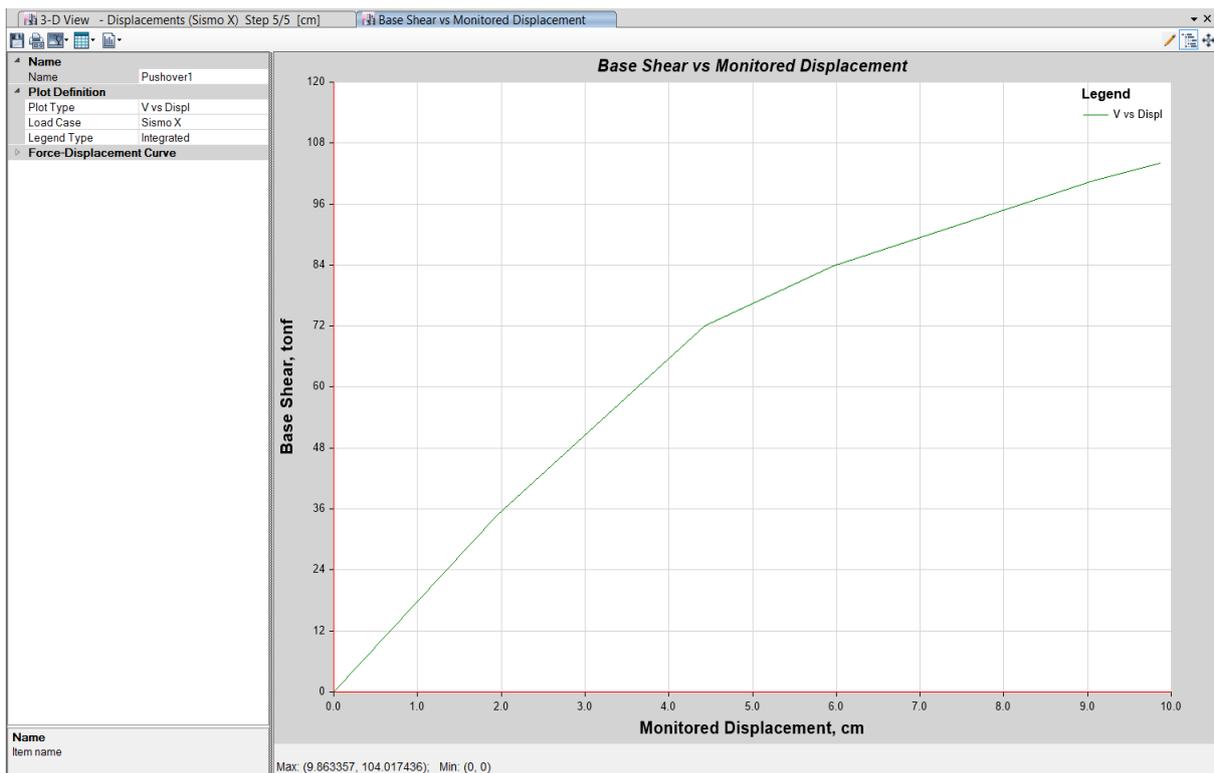
16. Se pueden visualizar los pasos del proceso Pushover, ingresando a “Deformed shape” y el caso de carga Sismo X o Sismo Y.

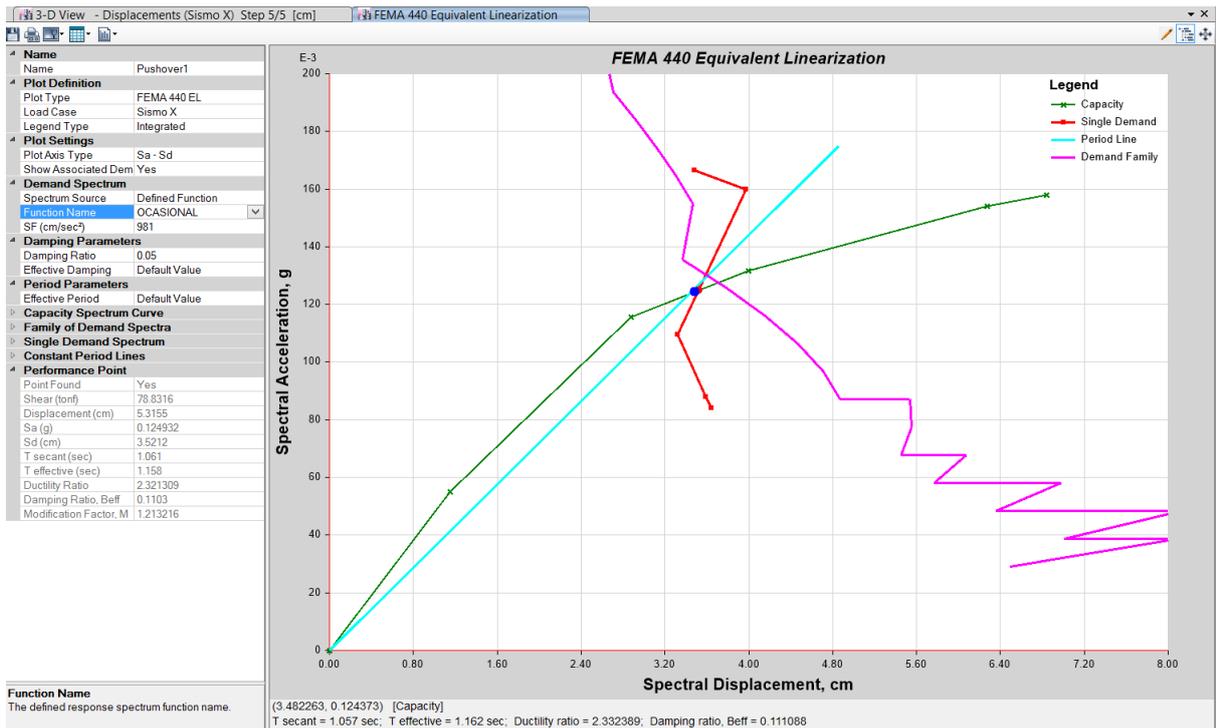
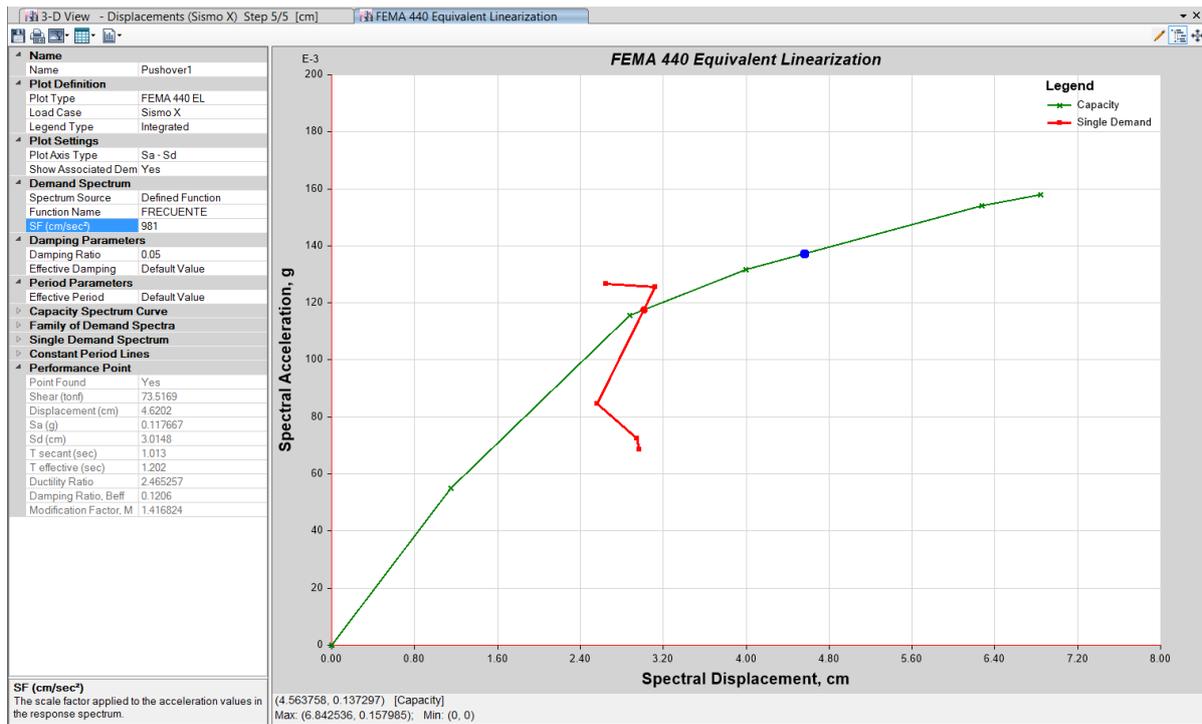


17. Para obtener la cura de capacidad, ingresamos a “Display”- “Show static pushover curve”.



18. Para visualizar el cambio de coordenadas a formato ADRS, cambiamos el tipo de dibujo “Plot type” a “FEMA 440 EL”, donde también podemos visualizar los puntos de desempeño y las características se extraen de esta misma gráfica.





ANEXO 03: PLANOS