

Estimation of seismic behavior through static nonlinear analysis of an 8-story multifamily home, La Esperanza, Trujillo

Cesar Alexander Gutierrez- Mendoza¹, Denilson Villacorta- Olivares¹, Eduardo Manuel Noriega-Vidal, Msc.¹, Juan Carlos Martell-Ortiz, Msc.¹, Alan Yordan Valdiviezo- Velarde, Dr. ¹, Eduar Jose Rodriguez-Beltran, Msc.¹,
cgutierrezmen@ucvvirtual.edu.pe, dvillacortao@ucvvirtual.edu.pe, enoriegavi@ucvvirtual.edu.pe,
jmartellor@ucvvirtual.edu.pe, avaldivieso@ucv.edu.pe, erodriguezb@ucv.edu.pe,

¹Departamento de Ingeniería Civil, Universidad César Vallejo, Perú

Abstract- The general objective of the research is to estimate the seismic behavior through the static nonlinear analysis of an 8-level structure. Additionally, the research type will be applied, and its design will be non-experimental of a descriptive nature, in which we will purpose a multi-family housing located in Mz. 2, Lot 19, Jerusalén Sector, District of la Esperanza, Province of Trujillo, la Libertad. The structure was divided into two modules, revealing that the point of maximum performance is in life safety for a seismic event with a return period of 72 years in the X-axis direction and functional for events with return periods of 450 and 975 years in the Y-axis direction. Both modules were found to be in a state of collapse in both analysis directions for the latter return periods. It was also determined that modules 1 and 2 could not exceed a resistance of 656.3224 tonf in the demand capacity curve in the X-axis direction, nor 1023.7692 tonf in the Y-axis direction. This is where the highest concentration of internal forces in the structural elements occurs, leading to a greater development of plastic hinges in beams, in accordance with the ACE 41-13 and FEMA 440 philosophy.

Keywords: Seismic behavior, Nonlinear analysis, Structure.

Estimation of seismic behavior through static nonlinear analysis of an 8-story multifamily home, La Esperanza, Trujillo

Cesar Alexander Gutierrez- Mendoza¹, Denilson Villacorta- Olivares¹, Eduardo Manuel Noriega-Vidal, Msc.¹, Juan Carlos Martell-Ortiz, Msc.¹, Alan Yordan Valdiviezo- Velarde, Dr.¹, Eduar Jose Rodriguez-Beltran, Msc.¹,
cgutierrezmen@ucvvirtual.edu.pe, dvillacortao@ucvvirtual.edu.pe, enoriegavi@ucvvirtual.edu.pe,
jmartellor@ucvvirtual.edu.pe, avaldivieso@ucv.edu.pe, erodriguezb@ucv.edu.pe,

¹Departamento de Ingeniería Civil, Universidad César Vallejo, Perú

Resumen- El objetivo general de la investigación es estimar el comportamiento sísmico mediante el análisis no lineal estático de una vivienda multifamiliar de 8 niveles, así mismo, el tipo de investigación será aplicada y el diseño de la misma será no experimental de carácter descriptivo, en el cual propondremos una vivienda multifamiliar ubicado en Mz 2, Lt 19, Sector Jerusalén, Distrito de la Esperanza, Provincia de Trujillo, La Libertad, en la cual se dividió la estructura en dos módulos; encontrando así que el punto de desempeño máximo se encuentra en seguridad de vida para un sismo con tiempo de retorno de 72 años en dirección al eje X y funcional en dirección al eje Y, para los sismos con tiempo de retorno de 450 años y 975 años se encontraron en estado de colapso en ambas direcciones de análisis, así mismo se determinó que los módulos 1 y 2, no pudieron sobrepasar una resistencia de 656.3224 tonf en la curva demanda capacidad en la dirección X, ni 1023.7692 tonf en la dirección Y, siendo en este sentido donde se desarrollan mayor cantidad de esfuerzos internos en los elementos estructurales, generándose una mayor concentración de rótulas plásticas en vigas, siendo acorde a la filosofía del ACE41-13 y FEMA 440.

Palabras claves: Comportamiento sísmico, Análisis no lineal, estructura.

Abstract- The general objective of the research is to estimate the seismic behavior through the static nonlinear analysis of an 8-level structure. Additionally, the research type will be applied, and its design will be non-experimental of a descriptive nature, in which we will propose a multi-family housing located in Mz. 2, Lot 19, Jerusalén Sector, District of la Esperanza, Province of Trujillo, la Libertad. The structure was divided into two modules, revealing that the point of maximum performance is in life safety for a seismic event with a return period of 72 years in the X-axis direction and functional for events with return periods of 450 and 975 years in the Y-axis direction. Both modules were found to be in a state of collapse in both analysis directions for the latter return periods. It was also determined that modules 1 and 2 could not exceed a resistance of 656.3224 tonf in the demand capacity curve in the X-axis direction, nor 1023.7692 tonf in the Y-axis direction. This is where the highest concentration of internal forces in the structural elements occurs, leading to a greater development of plastic hinges in beams, in accordance with the ACE 41-13 and FEMA 440 philosophy.

Keywords: Seismic behavior, Nonlinear analysis, Structure.

I. INTRODUCCIÓN

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

El continente americano, se encuentra en contacto con el Cinturón de Fuego del Pacífico, el cual es la zona con mayores registros de terremotos, debido a que, en esta inmensa franja de lava, se concentra el 90% de los movimientos de masa de tierra según [1] y un 85% según [2]. Debido a esta gran concentración de masa de tierra en el litoral peruano, se genera la interacción entre la placa de Nazca y del Continental, lo que produce energía por la fricción y por el efecto del desgaste de los materiales que componen las placas, se genera la ruptura de las mismas, liberándose en energía y generando estos desastres llamados sismos según el INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil) a través del [3]. Es por ello, que los sismos son desastres que han generado la incertidumbre y el miedo, debido a los registros de colapsos, daños en las estructuras y pérdidas humanas.

El problema presente en el área profesional es que, si bien es cierto existe una norma que nos avala para el análisis respectivo, estos criterios generan resultados un poco lejos de la realidad. Esto es debido a que según [4] nos menciona que la naturaleza de los sismos es aleatoria e impredecible, en el cual las estructuras diseñadas acorde a la norma, no necesariamente garantizan un buen comportamiento. Por ende, las edificaciones son modeladas en el rango elástico e incursionadas al rango no lineal a través de coeficientes mencionados en la NTE. 030 – 2018 según [5]. Sin embargo, ponen como criterio opcional el análisis no lineal y esto es un gran problema, ya que según [6] comenta que la mayor parte de las edificaciones se comportan en el estado no lineal, ante un movimiento telúrico. Es por ello que utilizando el método del análisis no lineal estático, podemos modelar una estructura directamente en el rango no lineal y poder predecir de forma más aproximado su comportamiento en su estado real, en comparación a los métodos tradicionales.

Según, [7] empleó el software SAP 2000 para realizar la estimación sísmica por el método Pushover, utilizando el espectro establecido en la norma FEMA-440, teniendo como finalidad encontrar registro del comportamiento estructural bajo el efecto de un sismo. Se analizó un bloque que constituye parte de un colegio, el cual fue elegido como su muestra, ubicado en la ciudad de Espinar. Además, tuvo el objetivo de encontrar el comportamiento estructural bajo

diferentes niveles de intensidad de diseño como: el de servicio, el de máximo y el de diseño.

Conforme a, [8] nos dicen que para el proceso de restauración de edificios históricos que presenten técnicas de construcción y características de materiales de su época es importante saber del desempeño estructural bajo efectos del sismo. Todo esto consta de tres etapas importantes, exámenes en el sitio, prácticas de restauración y estudios sísmicos; por todo esto, podemos decir que requiere de un enfoque multidisciplinario, así mismo se realizó mecanismos de falla para la estructura después de la restauración, a los cuales los resultados indicaron que, para la estructura modelada cumple con los parámetros de su resistencia al corte para sismos DD3 y DD2.

Por el modo en que, [9] en su estudio, utilizó el programa DIANA FEA en su versión 10.5, para el respectivo análisis, así como el estudio de los materiales compuestos en dicho templo. Entre los resultados se observó que los desplazamientos máximos en dicha estructura antigua variaron entre los 0.086 cm a 2.92 cm, lo cual indica que la estructura es vulnerable. Es por ello que se optó por la incorporación de muros de contrafuerte como propuesta de refuerzo. Siendo este una gran decisión en donde la curva de capacidad global, disminuyendo el desplazamiento a 0.062 cm.

Tal como, [10] en su respectiva investigación, tuvo como objetivo en pronosticar el comportamiento de la estructura con mecanismos de disipadores tipo SLB. Utilizando el programa SAP 2000 para su respectivo análisis, así como otros estudios esenciales. Entre los resultados se observó que la estructura es regular con deformaciones angulares máximas a 0.0068. Además en ambos métodos de análisis no lineal; en la dirección "Y" no cumplió con el sismo de diseño, en donde su desempeño no cumplió con los parámetros mínimos.

Como señala [11], aplicaron el método estático no lineal y desempeño sísmico para estimar el comportamiento de las estructuras frente a los movimientos telúricos, utilizando el programa de cálculo Etabs 2018. Se basaron en los parámetros sísmicos del reglamento técnico peruano y normas internacionales. Primero, se realizó un análisis acuerdo a los métodos establecidos en el RNE, luego se realizó un análisis no lineal, utilizando el método pushover para obtener el puntaje de rendimiento y, finalmente, se encontraron los puntajes del rendimiento en los módulos analizados.

Teniendo en cuenta a [12], planteó una estructura con aislamiento sísmico para precisar el comportamiento de la estructura planteada de hormigón armado, donde logró obtener propiedades plásticas y el comportamiento para las distintas categorías de sismicidad, a través del análisis inelástico. También enfatizó la importancia de la investigación porque permite discernir la naturaleza de la estructura en comparación con los métodos tradicionales.

Desde el punto de vista de [13], argumentó que su investigación no fue experimental, ya que se utilizó bases teóricas para realizar el estudio, en vez de la aplicación de instrumentos de laboratorios, cuyo medio fueron las fichas

de recolección de datos y los resultados proporcionados por el software estructural. Se precisó la deriva máxima de "X" e "Y", en donde la estructura muestra un mejor rendimiento en la dirección X.

Por otro lado [14], realizó un proyecto de investigación de diseño de desempeño para discernir el equilibrio de un edificio de 8 pisos sistema combinada y aporticada. También concluyó que el estudio se considera aplicable porque su propuesta de diseño de desempeño involucrará cambios estructurales en el área, lo que simboliza que el comportamiento de la edificación cumplía en ambas direcciones de análisis, discerniendo además que los sistemas estructurales establecidos eran los adecuados.

De acuerdo con [15], se verificó el comportamiento sísmico que cumple con los requerimientos sísmicos esperados mediante el análisis de cinco edificaciones con diferentes estructuras utilizando los espectros de la capacidad como metodología, el cual permitió determinar el desempeño en cada nivel. El investigador se apoyó en la herramienta de cálculo Etabs v17.01 para obtener resultados de curvas de capacidad utilizando del procedimiento de empuje inelástico.

Según [16], nos dice que se utiliza una técnica de análisis no lineal (pushover) para analizar las fuerzas de arrastre de una estructura mediante el método empuje inelástico en la estructura. Esto da como resultado un estado no lineal con el fin de determinar los niveles de rendimiento durante la carga sísmica. El investigador nos comenta sobre la aplicación del estudio presentado, ya que la esquematización de la estructura se evaluará frente a los estándares de las normas de construcción nacional. También explica los detalles del análisis mencionado.

Además [17], estudiaron la importancia del análisis del comportamiento en la estructura de un edificio. En donde utilizaron las normas actuales de su país y la norma extranjera del método no lineal estático. Con ayuda del programa Etabs se pudo estimar que el coeficiente R (Coeficiente de reducción sísmica) calculado, igual a 6.14, lo cual es menor que 8, concluyendo que la estructura no cumplía en el diseño. Luego propuso la misma estructura con muros, en ese sentido el coeficiente R aumentó a 8.1, siendo este mayor que 8, concluyendo que la estructura cumplía con la ductilidad.

Del mismo modo [18], nos dice que el diseño y construcción de edificaciones a través del tiempo ha representado un reto para la ingeniería, por eso que se evaluará los elementos estructurales de una vivienda multifamiliar denominada TORRE BOSH, garantizando el buen funcionamiento estructural, para lo cual se consideró las normas de diseño tanto nacional como internacional, tales como la norma sismo resistente Colombiana (NSR-10), el American Concrete Institut (ACI-318-19) y la American Society of Civil Engineer (ASCE-41-17).

En ese sentido [19], explica que utilizando las ediciones y planos de construcción de FEMA 356, ASCE 41-13 y NEC-SE-DS 2015, se desarrolló el modelado estructural de edificios utilizando el software Etabs 2016, donde se tomaron en cuenta consideraciones lineales y no

lineales. Por consiguiente, surge la siguiente pregunta: ¿Cómo es la estimación del comportamiento sísmico mediante el análisis no lineal estático de una vivienda multifamiliar de 8 niveles?

El presente artículo se justifica de manera general, en conocer el comportamiento de la estructura, más allá del rango elástico, la misma que permitirá generar nuevos estudios, teniendo como base el análisis no lineal. También se justifica de manera teórica, con el propósito de aportar a los estudiantes el conocimiento del análisis no lineal estático e incentivar a los profesionales, en establecer de manera obligatoria el método no lineal en la norma correspondiente al análisis sismorresistente del Perú. Además, se justifica de manera práctica, porque existe la necesidad de tener resultados más reales del comportamiento de la estructura, a través de programas estructurales, la misma que busca disminuir el tiempo de cálculo. Por último, se justifica de manera metodológica, porque utilizaremos como guía las normas ASCE 41.13 y FEMA 440 para poder realizar el análisis respectivo.

En este artículo, se planteó como objetivo principal en estimar comportamiento sísmico mediante el análisis no lineal estático de una vivienda multifamiliar de 8 niveles, la Esperanza, Trujillo. Como objetivos específicos se planteó en determinar la curva de demanda capacidad de la vivienda multifamiliar de 8 niveles mediante el análisis no lineal estático; determinar el estado límite de rotación de las rótulas plásticas mediante el análisis no lineal estático de una vivienda multifamiliar de 8 niveles y estimar el punto del comportamiento sísmico de la vivienda multifamiliar de 8 niveles para los diferentes niveles de peligro sísmico aplicando los criterios del ASCE 41-13 Y FEMA 440.

En el presente estudio por ser no experimental de carácter descriptivo, nos planteamos la siguiente hipótesis: Mediante el análisis no lineal estático de una vivienda multifamiliar de 8 niveles se podría estimar el comportamiento sísmico.

II. METODOLOGIA

En concordancia al estudio será aplicada, porque está dirigida hacia un propósito, en el cual se determinan los posibles resultados, para dar solución a los problemas planteados [20]. Además, postula la aplicación teórica de una determinada ciencia, para dar soluciones a problemas prácticos [21]. Según su diseño será no experimental, porque no se manipulará las variables, si no que se observará y evaluará en su estado natural [22]. Además, será de carácter transversal, ya que se realizará en un momento dado. También, de manera descriptiva, ya que se recolectará información, con el fin de analizar las respectivas variables.

A) Población, muestra, muestreo

1. Población

La población que se establecerá en la presente investigación, son todas las viviendas que pertenecen al Sector Jerusalén, la Esperanza.

1.1. Criterios de inclusión

En este estudio se incluirá a todas las viviendas que cuenta con un solo piso techado, que estén dentro de la delimitación del Sector Jerusalén, que cuenten con un área de 315.945 m².

1.2. Criterios de exclusión

Se excluirá a las viviendas que cuenten con más de un nivel. Además, aquellos que se encuentran ubicados fuera del Sector Jerusalén Mz 2.

2. Muestra

En el presente estudio se tomará como muestra la propuesta estructural de una vivienda multifamiliar de 8 pisos, ubicada en la Mz 2, Lt 19, Sector Jerusalén, Distrito de la Esperanza, Provincia de Trujillo, La Libertad.

3. Muestreo

En ese estudio, es de carácter no probabilístico, ya que se escogerá la muestra por juicio y experiencia propia.

4. Unidad de análisis

La unidad en este estudio, es un edificio de Concreto armado de 8 niveles.

B) Técnicas e instrumento de recolección de datos

Entre las técnicas que se utilizará para la recolección de los datos será a través de la observación; la revisión de documentos, normas y códigos. La ficha de recolección de datos será uno de los instrumentos establecidos, en el cual, se recogerá toda la información que nos otorgue el programa mencionado anteriormente como: la curva demanda capacidad, el estado límite de rotación de las rótulas plásticas, el comportamiento de la estructura en ambas direcciones para los diferentes niveles de peligro sísmico aplicando los criterios del ASCE 41-13 Y FEMA 440. Asimismo, utilizaremos la guía de observación, la cual tendrá concordancia con el RNE como: la NTE. 020 y NTE. 030.

Tabla I.

Resumen de descripción de la estructura (material y cargas empleadas).

Materiales		
Concreto		
Resistencia a compresión	280	kg/cm ²
Módulo de elasticidad	250998.008	kg/cm ²
Módulo de poisson	0.2	
Módulo de corte	104582.503	kg/cm ²
Acero		
Esfuerzo de fluencia	4200	kg/cm ²
Módulo de elasticidad	2000000	kg/cm ²
Cargas empleadas		
Carga muerta		
Concreto	2.4	tonf/m ³
Losa aligerada unidireccional	0.2	m
Losa maciza	2.4	tonf/m ²
Bloque de techo	0.063	tonf/m ²
Acabados	0.1	tonf/m ²
Tabiquería	1.8	tonf/m ²
Carga viva		
Habitaciones	0.2	tonf/m ²
Escalera y corredor	0.2	tonf/m ²
Azotea	0.1	tonf/m ²
Carga de sismo		

De acuerdo a los parámetros de la NTE 0.30	
Masa sísmica	1*CM+0.25*CV

Tabla II.

Resumen de parámetros de análisis (Mecánica de suelo)

Parámetros de análisis	
Parámetros de mecánica de suelo	Según el estudio de suelo con fines de cimentación de un proyecto de un I.E en la Esperanza - Sector Jerusalén, se pudo obtener: El tipo de suelo presente en el Sector Jerusalén, es un suelo SP (Suelo arenoso mal graduado), tipo S3 según la NTE.030. Con respecto a la capacidad admisible, para cimentación cuadra se obtuvo una capacidad admisible de 1.26 kg/cm ² y 0.76 kg/cm ² de capacidad admisible para cimentación corrida. El ángulo de fricción hallado es de 31° y 22° para un ángulo de fricción por falla local, con una cohesión de 0.00 kg/cm ² . También se recomendó que la profundidad de desplante de cimentación debe de ser como mínimo 1.80 m. Además, con un peso unitario de 1.65 gr/cm ³

Tabla III

Resumen de parámetros sísmico

Parámetros sísmicos	
Zonificación	0.45
Factor de ampliación de suelo(S)	1.1
Factor de ampliación sísmica(C)	2.5
Factor de uso(U)	1
Periodo (TP)	1
Periodo (TL)	1.6
Coefficiente básico de reducción	6
Coefficiente periodo de vibración	60
Irregularidad en altura	Depende de análisis lineal
Irregularidad en planta	Depende de análisis lineal
Altura de entrepiso	
Piso 1	4.5 m
Piso de 2 al 8	2.7 m

C) Procedimiento

El procedimiento de la obtención de los resultados estará conformado en 4 etapas, las cuales son:

En primera etapa, se realizará el modelado lineal de la estructura (columnas, vigas, losas, muros de corte y otras propiedades importantes, acorde al planteamiento estructural). Posteriormente se realizará el análisis dinámico, para establecer las condiciones óptimas del comportamiento de la estructura ante el sismo de diseño. Posteriormente se verificará las condiciones de aceptabilidad de la estructura considerando los parámetros de la NTE. 030. Además, se realizará el análisis estático, para poder compararlo con el análisis dinámico y poder realizar la escalación respectiva si es necesario. Por último, se creará las

combinaciones de carga para el respectivo diseño según el NTE.060.

En la segunda etapa, realizaremos el diseño correspondiente de los elementos estructurales. Para las vigas, losas y escaleras se diseñarán por flexión y cortante. Las columnas y placas por flexo compresión y cortante. La cimentación superficial de la estructura se realizará por flexión, cortante y punzonamiento. Todos los parámetros para el diseño de estos elementos, nos guiaremos de la NTE.060.

En la tercera etapa, realizaremos el análisis no lineal (Fuerzas incrementales), en la que modificaremos las propiedades mecánicas de los materiales, referente al rango no lineal. Además, ingresamos los refuerzos de acero en columnas, vigas y muros de corte. Se asignará los “load pattern laterales incrementales” y cargas por gravedad. Posteriormente se asignará la rigidez efectiva acorde al ASCE 41 – 13. Después se asignará el modelo de rótula para los elementos estructurales, sin incluir las losas y escaleras.

En la etapa cuatro, concierne al análisis del comportamiento sísmico, en la que se creará los diferentes espectros, para poder determinar la curva demanda capacidad, el punto de desempeño y las rótulas de plasticidad.

III. RESULTADOS

A) Curva demanda capacidad.

1. Modulo 1

En la figura 1, se pudo observar el registro de desplazamiento vs cortante del análisis de fuerzas incrementales en la dirección X – ANLE M1 XX, con el efecto de rigidez efectiva (R.E) propuesto por el ASCE 41-13. Ante esto, se observó que la cortante máxima de resistencia de la estructura fue de 656.322 tonf con un desplazamiento de 0.1581 m.

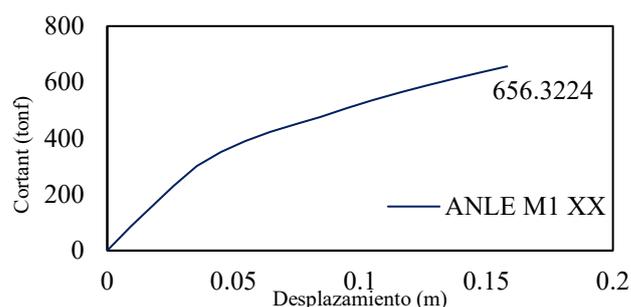


Figura 1. Curva demanda capacidad – ANLE M1 XX.

En la Figura 2, se pudo observar el registro de desplazamiento vs cortante del análisis de fuerzas incremental en la dirección Y – ANLE M1 YY. Ante esto, se observó que la cortante máxima de resistencia de la estructura fue de 1023.7692 tonf con un desplazamiento de

0.3741m.

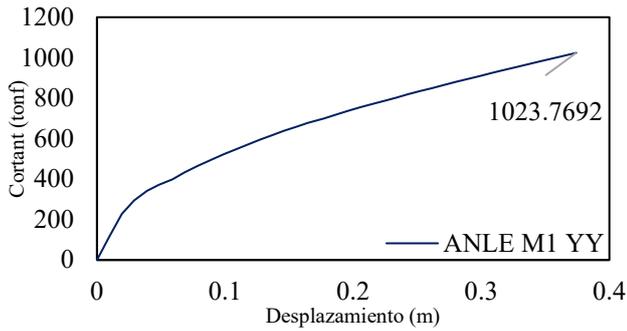


Figura 2. Curva demanda capacidad – ANLE M1 YY.

2. Modulo 2

En la Figura 3, se pudo observar el registro de desplazamiento vs cortante del análisis de fuerzas incrementales en la dirección X – ANLE M2 XX, con el efecto de rigidez efectiva (R.E) propuesto por el ASCE 41-13. Ante esto, se determinó que la cortante máxima de resistencia de la estructura fue de 596.312 tonf con un desplazamiento máximo de 0.2643 m.

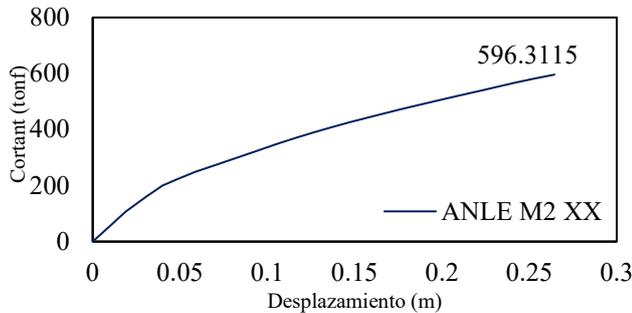


Figura 3. Curva demanda capacidad – ANLE M2 XX.

En la Figura 4, se pudo observar el registro de desplazamiento vs cortante del análisis de fuerzas incremental en la dirección Y – ANLE M2 YY. Ante esto, la capacidad máxima de resistencia de la estructura fue de 638.7106 tonf con un desplazamiento de 0.23496 m.

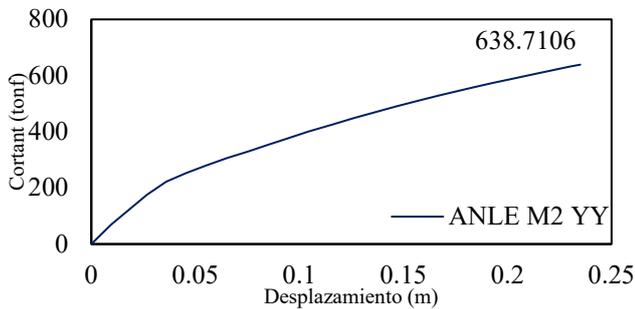


Figura 4. Curva demanda capacidad – ANLE M2 YY.

B) Estado límite de rotación de las rótulas plásticas

1. Modulo 1

En la Figura 5, se observó que existe una mayor influencia de aparición de rotulas plásticas con un estado de OI (Ocupación inmediata) con 985 unidades, seguido de un estado de LS (Seguridad de vida) con 6 unidades. Con 1

unidad existe con un estado de CP (prevención al colapso) y 0 rotulas con estado de C (Colapso).

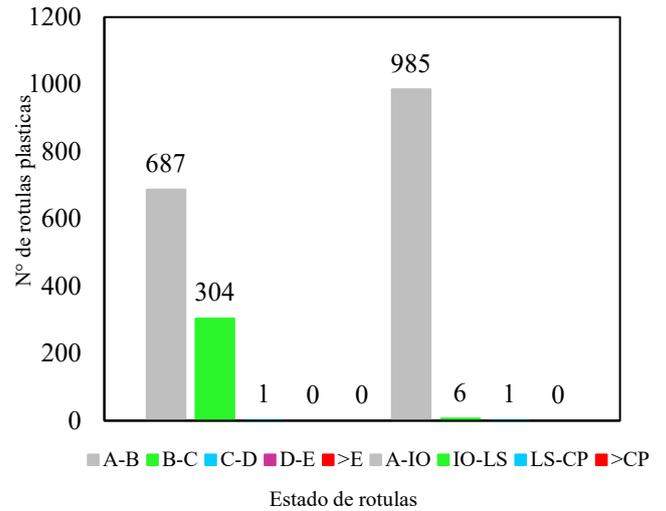


Figura 5. Registro de rotulas plásticas en el Step 16 – ANLE M1 XX

En la Figura 6, se observó que existe una mayor influencia de aparición de rotulas plásticas con un estado de OI (Ocupación inmediata) con 853 unidades, seguido de un estado de LS (Seguridad de vida) con 111 unidades. Con 27 unidades con un estado de CP (prevención al colapso) y 1 rotula con estado de C (Colapso).

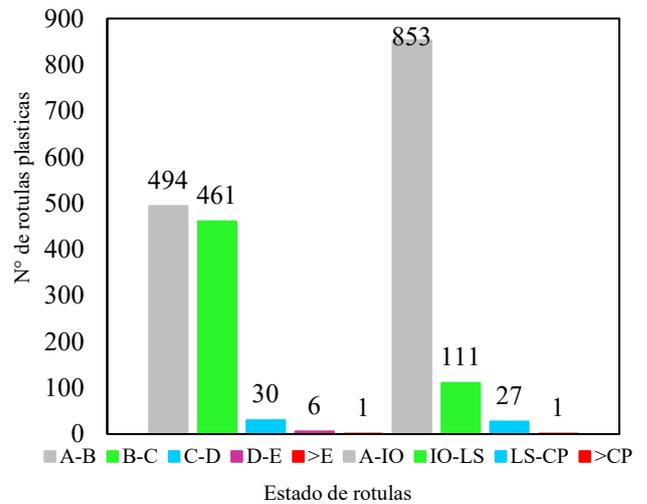


Figura 6. Registro de rotulas plásticas en Step 38 – ANLE M1 YY.

2. Modulo 2

En la Figura 7, se observó que existe una mayor influencia de aparición de rotulas plásticas con un estado de I (Ocupación inmediata) con 673 unidades, seguido de un estado de LS (Seguridad de vida) con 13 unidades. Con 1 unidad existente en estado CP (prevención al colapso) y 1 rotulas con estado de C (Colapso).

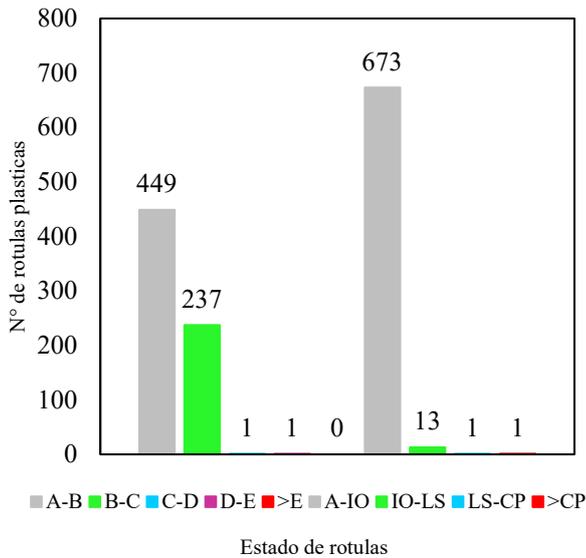


Figura 7. Registro de rotulas plásticas en el Step 26 - ANLE M2 XX.

En la Figura 8, se observó que existe una mayor influencia de aparición de rotulas plásticas con un estado de OI (Ocupación inmediata) con 670 unidades, seguido de un estado de LS (Seguridad de vida) con 16 unidades. Con 0 unidades existentes en un estado de CP (prevención al colapso) y 2 rotulas con estado de C (Colapso).

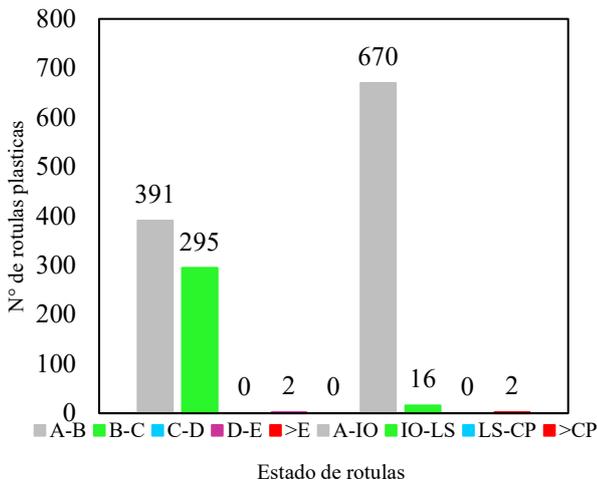


Figura 8. Registro de rotulas plásticas en Step 23 - ANLE M2 YY.

C) Estado límite de rotación de las rótulas plásticas
1. Modulo 1

En la Figura 9, se analizó la estructura en la dirección X mediante el ANLE M1 XX. Se obtuvo en la estructura un estado operacional para un sismo S43 años y S72 años. Un estado de prevención al colapso para un sismo S450 años y S975 años, mediante la delimitación del ATC 40, con la aplicación de los parámetros del ASCE 41-13.

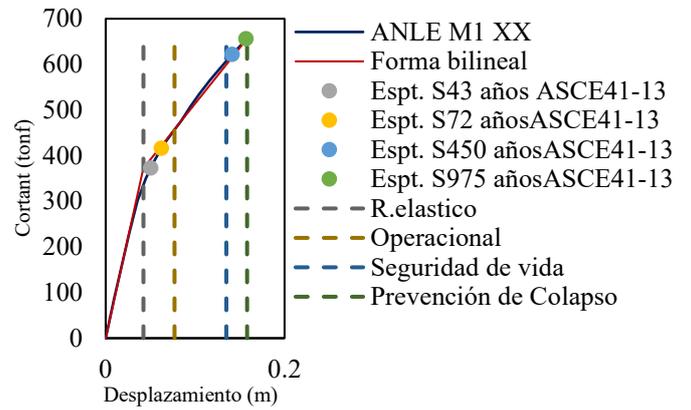


Figura 9. Puntos de comportamiento sísmico ASCE 41-13 – Sectorizado por ATC 40 – ANLE M1 XX.

En la Figura 10, se analizó la estructura en la dirección X mediante el ANLE M1 XX. Se obtuvo en la estructura un estado operacional para un sismo S43 años y S72 años. Un estado de prevención al colapso para un sismo S450 años y S975 años, mediante la delimitación del ATC 40, con la aplicación de los parámetros del FEMA 440.

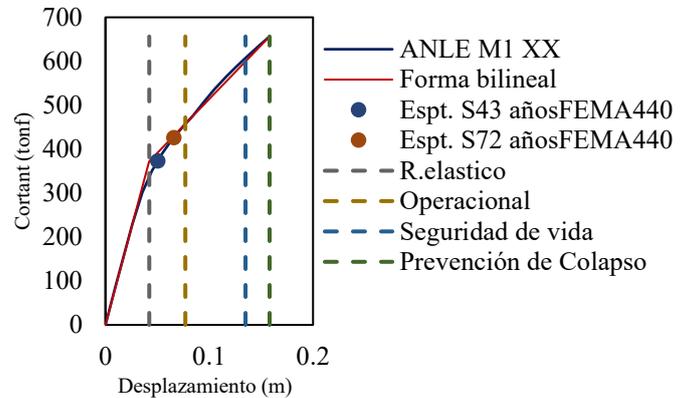


Figura 10. Puntos de comportamiento sísmico FEMA 440 – Sectorizado por ATC 40 – ANLE M1 XX.

En la Figura 11, se analizó la estructura en la dirección X mediante el ANLE M1 XX. Se obtuvo en la estructura un estado de seguridad de vida para un sismo S43 años y S72 años. Un estado de colapso para un sismo S450 años y S975 años, mediante la delimitación de SEAOC Vision 2000, con la aplicación de los parámetros del ASCE 41-13.

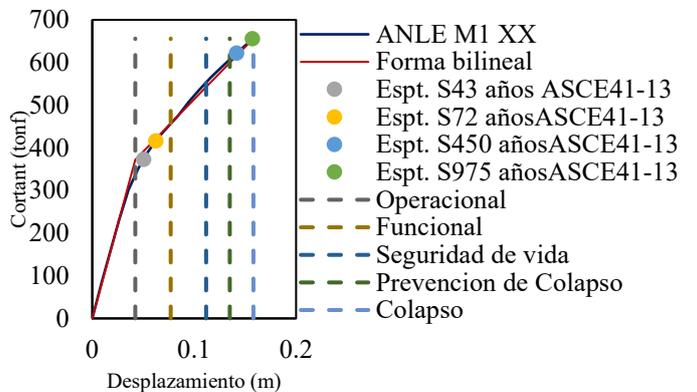


Figura 11. Puntos de comportamiento sísmico ASCE 41-13 – Sectorizado por SEAOC Vision 2000 - ANLE M1 XX.

En la Figura 12, se analizó la estructura en la dirección X mediante el ANLE M1 XX. Se obtuvo en la estructura un estado de seguridad de vida para un sismo S43 años y S72 años. Un estado de colapso para un sismo S450 años y S975 años, mediante la delimitación de SEAOC Vision 2000, con la aplicación de los parámetros del FEMA 440.

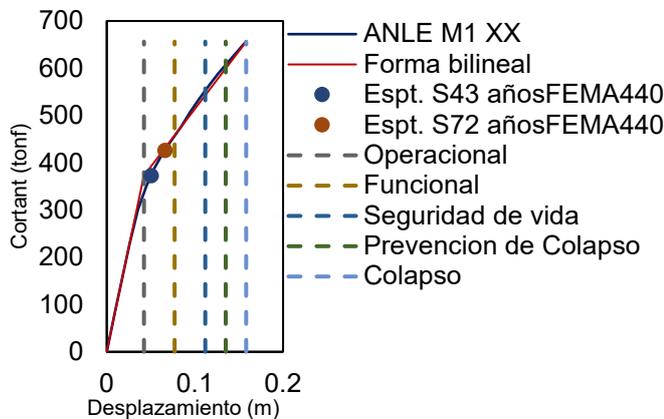


Figura 12. Puntos de comportamiento sísmico FEMA 440 – Sectorizado por SEAOC Vision 2000 – ANLE M1 XX.

En la Figura 13, se analizó la estructura en la dirección Y mediante el ANLE M1 YY. Se obtuvo en la estructura un estado operacional para un sismo S43 años, S72 años y S450 años. Un estado de seguridad de vida para un sismo S975 años, mediante la delimitación del ATC 40, con la aplicación de los parámetros del ASCE 41-13.

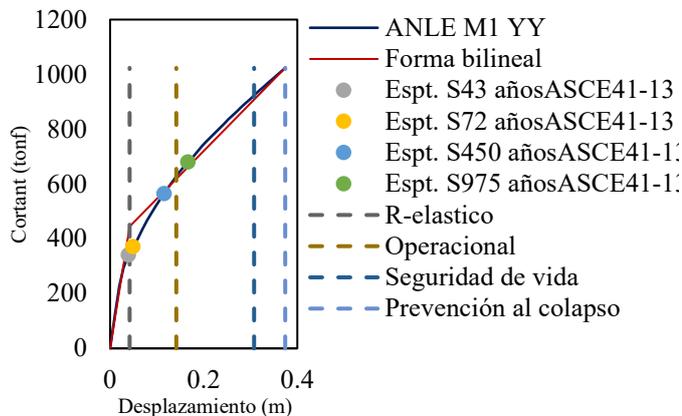


Figura 13. Puntos de comportamiento sísmico ASCE 41-13 – Sectorizado por ATC 40 – ANLE M1 YY.

En la Figura 14 se analizó la estructura en la dirección X, mediante el ANLE M1 YY. Se obtuvo en la estructura un estado operacional para un sismo S43 años y S72 años. Un estado de seguridad para un sismo S450 años y de prevención al colapso para un sismo S975 años, mediante la delimitación del ATC 40, con la aplicación de los parámetros del FEMA440.

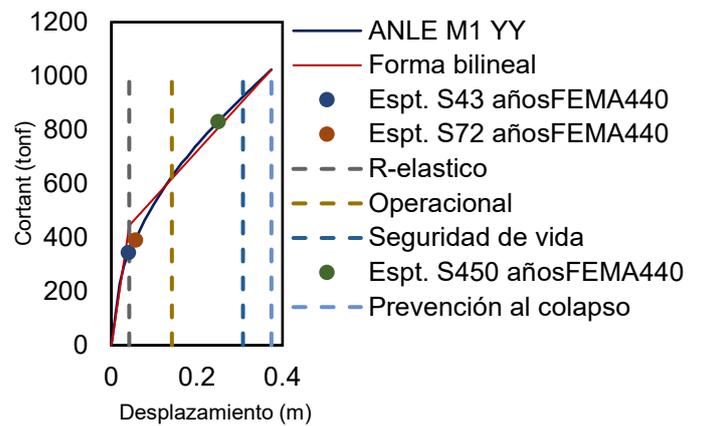


Figura 14. Puntos de comportamiento sísmico FEMA 440 – Sectorizado por ATC 40 – ANLE M1 YY.

En la Figura 15, se analizó la estructura en la dirección Y, mediante el ANLE M1 YY. Se obtuvo en la estructura un estado operacional para un sismo S43 años, un estado funcional para un sismo S72 años y 450 años. Un estado de seguridad de vida para un sismo S975 años, mediante la delimitación de SEAOC Vision 2000, con la aplicación de los parámetros del ASCE 41-13.

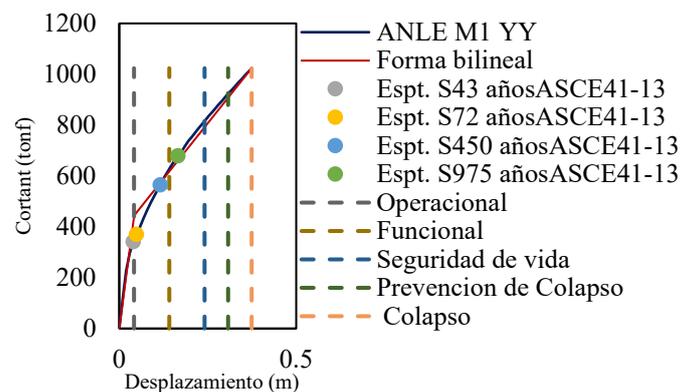


Figura 15. Puntos de comportamiento sísmico ASCE 41-13 – Sectorizado por SEAOC Vision 2000 - ANLE M1 YY.

En la Figura 16, se analizó la estructura en la dirección Y, mediante el ANLE M1 YY. Se obtuvo en la estructura un estado funcional para un sismo S43 años y S72 años. Un estado de prevención al colapso para un sismo S450 años y de colapso para un sismo S975 años, mediante la delimitación de SEAOC Vision 2000, con la aplicación de los parámetros del FEMA 440.

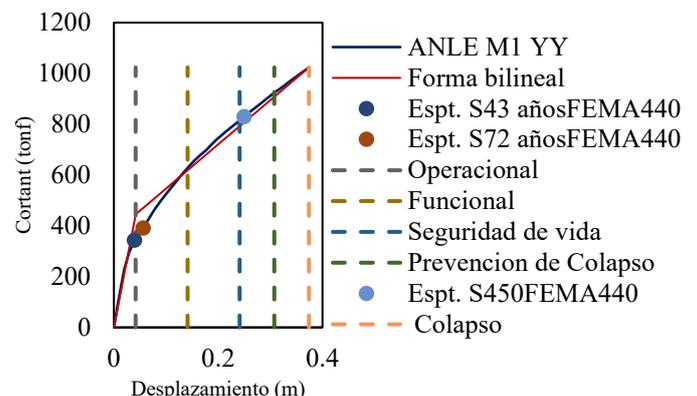


Figura 16. Puntos de comportamiento sísmico FEMA 440 – Sectorizado por SEAOC Vision 2000 – ANLE M1 YY.

2. Modulo 2

En la Figura 17, se analizó la estructura en la dirección X, mediante el ANLE M2 XX. Se obtuvo en la estructura un estado operacional para un sismo S43 años y S72 años. Un estado de seguridad de vida para un sismo S450 años y prevención de colapso para un sismo de S975 años, mediante la delimitación del ATC 40, con la aplicación de los parámetros del ASCE 41-13.

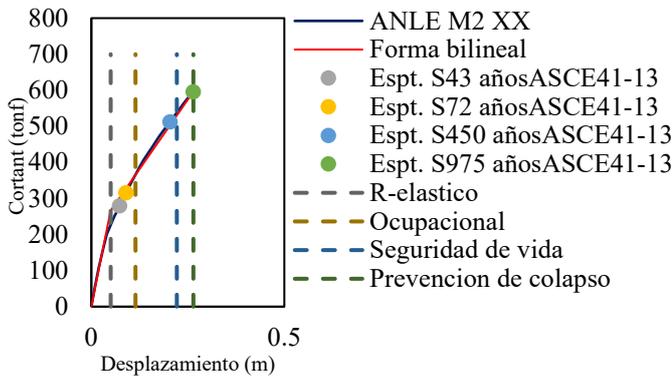


Figura 17. Puntos de comportamiento sísmico ASCE 41-13 – Sectorizado por ATC 40 – ANLE M2 XX.

En la figura 18, se analizó la estructura en la dirección X, mediante el ANLE M2 XX. Se obtuvo en la estructura un estado de Seguridad de vida para un sismo S43 años y S72 años. Un estado de colapso para un sismo S450 años y S975 años, mediante la delimitación del ATC 40, con la aplicación de los parámetros del FEMA 440.

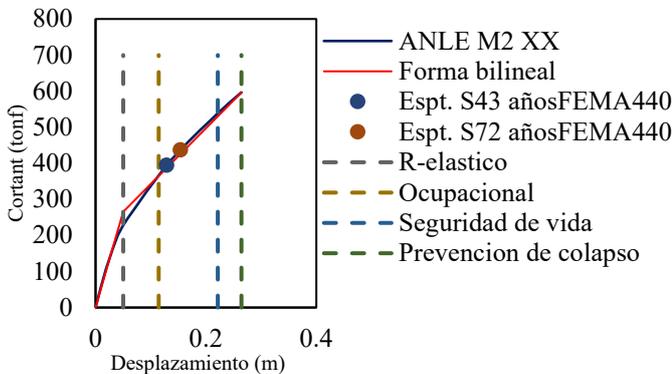


Figura 18. Puntos de comportamiento sísmico FEMA 440 – Sectorizado por ATC 40 – ANLE M2 XX.

En la figura 19, se analizó la estructura en la dirección X, mediante el ANLE M2 XX. Se obtuvo en la estructura un estado funcional para un sismo S43 años y S72 años. Un estado de prevención de colapso para un sismo S450 años y colapso para un sismo de S975 años, mediante la delimitación de SEAOC Vision 2000, con la aplicación de los parámetros del ASCE 41-13.

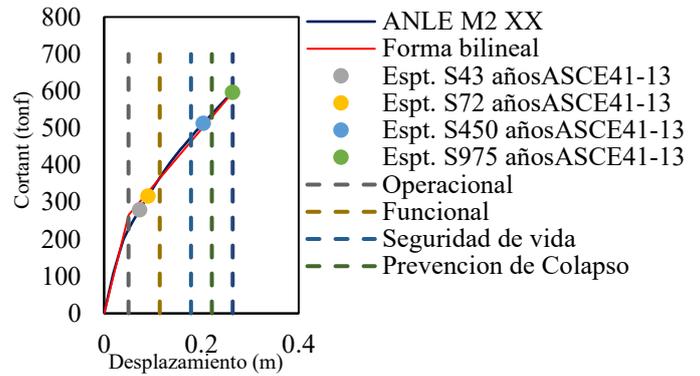


Figura 19. Puntos de comportamiento sísmico ASCE 41-13 – Sectorizado por SEAOC Vision 2000 - ANLE M2 XX.

En la figura 20, se analizó la estructura en la dirección X, mediante el ANLE M2 XX. Se obtuvo en la estructura un estado de seguridad de vida para un sismo S43 años y S72 años. Un estado de colapso para un sismo S450 años y S975 años, mediante la delimitación de SEAOC Vision 2000, con la aplicación de los parámetros del FEMA 440.

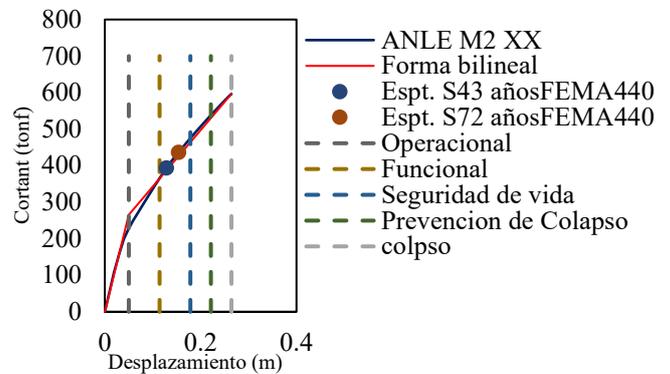


Figura 20. Puntos de comportamiento sísmico FEMA 440 – Sectorizado por SEAOC Vision 2000 – ANLE M2 XX.

En la figura 21, se analizó la estructura en la dirección Y, mediante el ANLE M2 YY. Se obtuvo en la estructura un estado operacional para un sismo S43 años, S72 años. Un estado de Seguridad de vida para un sismo de S450 años y un estado de prevención de colapso para un sismo S975 años, mediante la delimitación del ATC 40, con la aplicación de los parámetros del ASCE 41-13.

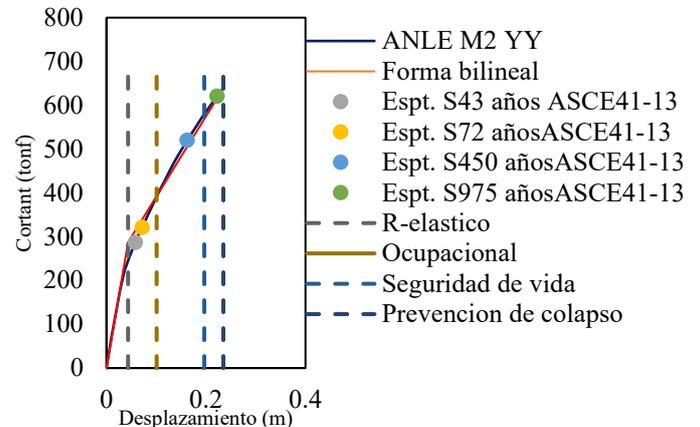


Figura 21. Puntos de comportamiento sísmico ASCE 41-13 – Sectorizado por ATC 40 – ANLE M2 YY.

En la figura 22, se analizó la estructura en la dirección Y, mediante el ANLE M2 YY. Se obtuvo en la estructura un estado operacional para un sismo S43 años. Un estado de seguridad de vida para un sismo de S72 años Y un estado de colapso para sismos de S450 años y S975 años, mediante la delimitación del ATC 40, con la aplicación de los parámetros del FEMA 440.

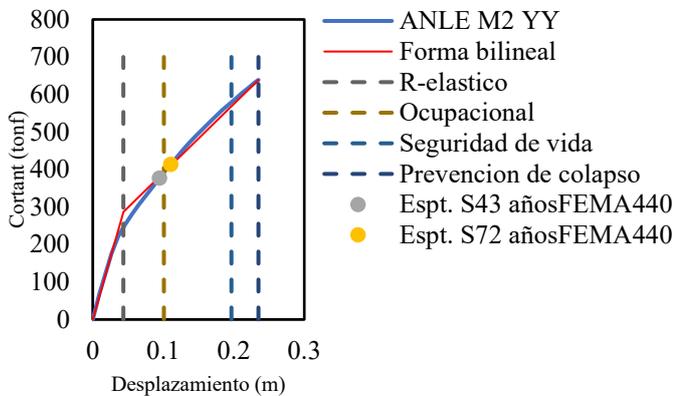


Figura 22. Puntos de comportamiento sísmico FEMA 440 – Sectorizado por ATC 40 – ANLE M2 YY.

En la figura 23, se analizó la estructura en la dirección Y, mediante el ANLE M2 YY. Se obtuvo en la estructura un estado funcional para un sismo S43 años y S72 años, se encuentra en estado de prevención al colapso para un sismo de 450 años y en estado colapso cuando el sismo es de S975 años, mediante la delimitación de SEAOC Vision 2000, con la aplicación de los parámetros del ASCE 41-13.

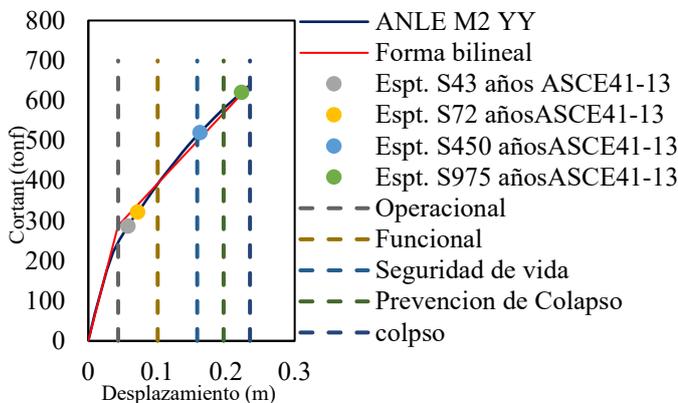


Figura 23. Puntos de comportamiento sísmico ASCE 41-13 – Sectorizado por SEAOC Vision 2000 - ANLE M2 YY.

En la figura 24, se analizó la estructura en la dirección Y, mediante el ANLE M2 YY. Se obtuvo en la estructura un estado funcional para un sismo S43 años, en seguridad de vida para un sismo de S72 años y de colapso para un sismo S450 y S975 años, mediante la delimitación de SEAOC Vision 2000, con la aplicación de los parámetros del FEMA 440.

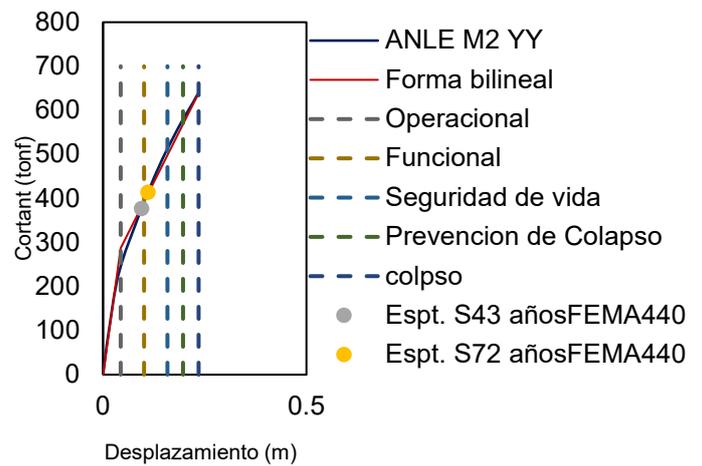


Figura 24. Puntos de comportamiento sísmico ASCE 41-13 – Sectorizado por SEAOC Vision 2000 - ANLE M2 YY.

IV. CONCLUSIONES

Mediante el análisis no lineal estático de una vivienda multifamiliar de 8 niveles, ubicado en el distrito de La Esperanza, Trujillo, se analizó que el módulo 1 y 2, se encontraron en un punto de desempeño máximo de seguridad de vida (LS) hasta un sísmico con tiempo de retorno de 72 años. Para los sismos con tiempo de retorno de 450 años y 975 años, se encontraron en colapso para la dirección X. Para la dirección Y, se analizó que el módulo 1 y 2 se encontraron en un punto de desempeño máximo funcional (F) hasta un sísmico con tiempo de retorno de 72 años. Para los sismos con tiempo de retorno de 450 años y 975 años, se encontraron en colapso.

Se determinó la curva demanda capacidad, en donde se observó que la cortante máxima de resistencia de la estructura es de 656.322 tonf con un desplazamiento de 0.1581 m en la dirección X – ANLE M1 XX. También se observó que la cortante máxima de resistencia de la estructura es de 1023.7692 tonf con un desplazamiento de 0.3741 m, en la dirección Y – ANLE M1 YY todo esto concerniente al módulo 1. Para el módulo 2, se determinó que la cortante máxima de resistencia de la estructura es de 596.312 tonf con un desplazamiento máximo de 0.2643 m, en la dirección X – ANLE M2 XX. También, se determinó que la capacidad máxima de resistencia de la estructura es de 638.7106 tonf con un desplazamiento de 0.23496 m, en la dirección Y – ANLE M2 YY.

Con el análisis de fuerzas incrementales no lineal, se determinó que la mayor cantidad de concentración de rotulas en el módulo 1 y 2, se genera en las vigas con estados que varían entre “OI”, “LS”, “CP”; siendo las columnas los elementos que tienen menor cantidad de aparición de rotulas que varían entre “OI”, “LS”, “CP” y “C”, a excepción del análisis en la dirección X del módulo 1, en la que, no existe aparición de rotulas en columnas con un estado de “C”, generándose una mayor concentración de rótulas plásticas en vigas, siendo acorde a la filosofía del ASCE41-13 y FEMA 440.

Finalmente, se calculó el punto del comportamiento de la estructura aplicando los criterios del ASCE 41-13 Y FEMA 440 en los diferentes peligros de amenaza sísmica,

sectorizadas por los parámetros del ATC 40 y SEAOC Vision 2000, en la dirección “X” y “Y” del módulo 1 y 2 se determinó que con norma ASCE41-13, los puntos de comportamiento estaban dentro de la curva capacidad , pero con el FEMA 440, algunos puntos estaban fuera de la curva capacidad, esto es debido a que la estructura no es capaz de llegar hasta su resistencia. También se debe a que con la norma anteriormente mencionada es más rigurosa con sus resultados, entonces la propuesta de diseño de concreto armada los módulos 1 y 2, de la estructura de 8 niveles cumplen con el sismo de diseño, estando en “LS”.

REFERENCIAS

- [1] A. Geyer, «"Así es el Taal, uno de los volcanes más curiosos y amenazadores del cinturón de fuego",» 13 1 2020. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/10261/224492> ; <https://www.lavanguardia.com/natural/20200113/47287618384/7/taal-uno-de-los-volcanes-mas-curiosos-y-amenazadores-del-cinturon-de-fuego.html>. [Último acceso: 20 04 2023].
- [2] (. Instituto Nacional de Defensa Civil, «¿Qué hacer en caso de sismo?», gob.pe, 16 03 2023. [En línea]. Available: <https://www.gob.pe/1053-que-hacer-en-caso-de-sismo>. [Último acceso: 20 04 2023].
- [3] Centro de Operaciones de Emergencia Nacional, «Sismos ocurridos al oeste y suroeste de Trujillo (La Libertad) fueron ocasionados por interacción de placas Nazca y Continental,» gob.pe, 02 10 2020. [En línea]. Available: <https://www.gob.pe/institucion/indeci/noticias/305662-sismos-ocurridos-al-oeste-y-suroeste-de-trujillo-la-libertad-fueron-ocasionados-por-interaccion-de-placas-nazca-y-continental>. [Último acceso: 20 04 2023].
- [4] A. Muñoz, «Comentarios de la Norma Peruana E.30 Diseño Sismoresistencia,» SENCICO, 07 2020. [En línea]. Available: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1129512/COMENTARIOS_A_LA_NORMA_PERUANA_E.030_DISE%C3%91O_SISMORRESISTENTE.pdf. [Último acceso: 19 04 2023].
- [5] C. y. S. Ministerio de Vivienda, NTE. 030 Diseño Sismoresistente, Lima, 2018.
- [6] NIST, Nonlinear Structural Analysis For Seismic Design, San Francisco, California: NEHRP Consultants Joint Venture for the National Institute of , 2010.
- [7] A. Lloclle, «Evaluación de desempeño estructural utilizando Análisis Estático no lineal (Pushover) del bloque del nivel secundario del colegio Emblemático Ladislao Espinar ubicado en la ciudad de Espinar – Cusco,» Cusco, 2021.
- [8] T. Cosgun, A. E. Akan, O. Uzdil, A. Er, H. T. Örmecioglu y B. Sayin, «Post-restoration seismic performance assessment of a historic hypostyle mosque in Anatolia (13th century AD),» vol. 18, 2023.
- [9] P. Condori, «"Evaluación estructural y determinación de la vulnerabilidad sísmica, mediante el análisis no lineal pushover del templo Santa María Magdalena, Ayacucho – 2022",» Ayacucho, 2022.
- [10] D. Chuquicahua, «ANÁLISIS NO LINEAL ESTÁTICO Y DINÁMICO DE UN EDIFICIO DE CONCRETO ARMADO CON DISIPADORES DE ENERGÍA SLB EN LA CIUDAD DE CHICLAYO,» Chiclayo, 2020.
- [11] W. Cisneros de la Cruz y D. Gonzales, «Análisis Estático no Lineal y Desempeño Sísmico de los Módulos v y vi de la I.E Hermanos Blancos-Trujillo 2021,» Trujillo, 2021.
- [12] S. Tocto, «Desempeño sísmico de una estructura de concreto armado con aisladores sísmicos LRB para uso esencial en la ciudad de Trujillo, región La Libertad, 2018,» Trujillo, 2018.
- [13] E. Paredes, «Evaluación del desempeño sísmico de un edificio de muros estructurales de 14 niveles mediante análisis estático no lineal "pushover", Trujillo 2020,» Trujillo, 2020.
- [14] J. Porras, «Estabilidad sísmica de una edificación de 8 pisos con Sistema Dual aplicando diseño por desempeño, San Martín de Porres 2019,» San Martín de Porres, 2019.
- [15] R. Saldaña, «NIVEL DE DESEMPEÑO SÍSMICO DE LAS VIVIENDAS PROYECTADAS PARA EL AÑO 2017 -2018 EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA,» Cajamarca, 2020.
- [16] A. Tinipuella, «Evaluación del diseño sismorresistente aplicando un análisis sísmico no lineal de un edificio multifamiliar, San Juan de Lurigancho, 2020,» Lima, 2020.
- [17] E. Cabrera y F. Borja, «Importancia del análisis por desempeño en el proceso de diseño de un edificio de hormigón armado para uso educativo, ubicado en la ciudad de Cuenca-Ecuador,» 2020.
- [18] J. Ramírez, «Evaluación del comportamiento sísmico del edificio Torre Bosh mediante análisis no lineales estático y cronológicos,» Bogotá, 2022.
- [19] C. Reyes, «Estudio comparativo del modelo de rotulas plásticas por el método de las fibras y el modelo de tablas del ASCE 41-13, aplicado al análisis no lineal del bloque A de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica,» Ambato, 2020.
- [20] OECD, «Manual de Frascati 2015: Guía para la recopilación y presentación de información sobre la investigación y el desarrollo experimental,» Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, FECYT,, 2018.
- [21] F. Arias, «El proyecto de investigación,» Caracas, Editorial Episteme, 2012.
- [22] L. Agudelo y J. Aigner, «DISEÑOS DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL Y NO-EXPERIMENTAL,» Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Sociales y Humanas, 2008.