

## Influencia de un suelo rocoso en el nivel de desempeño sísmico de una estructura de acero considerando el Reglamento Nacional de Construcción y la Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua

Influence of a Rocky Soil on the Seismic Performance Level of a Steel Structure Considering the National Construction Code and the Seismic Design Code for the City of Managua



Recibido: julio 2023

Aceptado: septiembre 2023

<https://doi.org/10.62407/rciya.v3i3.155>

Saúl Pérez <sup>1</sup>

Email: [seperez@uamv.edu.ni](mailto:seperez@uamv.edu.ni)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8967-6818>

Abigahil Sequeira <sup>2</sup>

Email: [absequeira@uamv.edu.ni](mailto:absequeira@uamv.edu.ni)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0667-8607>

El presente artículo es el resultado de una investigación realizada a título personal, con el apoyo de la Universidad Americana para su publicación.

### Resumen

El propósito de este estudio es determinar el nivel de desempeño sísmico de un marco de acero de dos niveles tomando en cuenta la definición de suelo rocoso que sugieren el Reglamento Nacional de Construcción y la Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua. Es utilizado el Método del Espectro de Capacidad con el fin de determinar el desempeño sísmico. Este método, el cual se basa en parámetros espectrales como desplazamiento y aceleración, superpone la curva de capacidad de la estructura y la demanda sísmica. La construcción de la curva de capacidad se hace a partir de las propiedades mecánicas de los materiales utilizados y de las secciones transversales de los elementos de la estructura. Por otro lado, la construcción de la demanda sísmica se realiza a partir del Reglamento Nacional de Construcción (RNC-07) y la Norma Sismorresistencia para la ciudad de Managua (NSCM) tomando en cuenta datos como la aceleración del terreno y el tipo de suelo. La influencia de este último es el objetivo de este estudio ya que la NSCM propone factores de ajuste espectral en función del tipo de suelo, es decir que la amplitud de la región que corresponde a aceleraciones espectrales constantes disminuye a medida que aumenta la rigidez del suelo. Este ajuste no existía en el RNC-07 y la amplitud de

dicha región se mantenía constante entre 0.1 s y 0.6 s. Finalmente, se determina el nivel de desempeño sísmico considerando los límites establecidos en el Vision 2000 A Framework for Performance Based Structural Engineering (SEAOC, 1995).

### Palabras clave:

Suelo rígido, nivel de desempeño sísmico, método del espectro de capacidad.

### Abstract

The purpose of this study is to determine the seismic performance level of a two-story steel frame, taking into account the definition of rocky soil suggested by the National Construction Code and the Seismic Design Code for the city of Managua. The Capacity Spectrum Method is used to determine seismic performance. This method, which is based on spectral parameters such as displacement and acceleration, overlays the capacity curve of the structure and the seismic demand. The construction of the capacity curve is based on the mechanical properties of the materials used and the cross-sectional areas of the structural elements. On the other hand, the seismic demand curve is constructed using the National Construction Code (RNC-07) and the Seismic Design Code for the city

<sup>1</sup> Máster en Ingeniería Estructural con mención en Sismorresistencia por la Universidad Americana. Ingeniero Civil por la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Managua, Nicaragua.

<sup>2</sup> Ingeniera civil por la Universidad Americana de Nicaragua.

of Managua (NSCM), considering data such as ground acceleration and soil type. The influence of the latter is the focus of this study, as the NSCM proposes spectral adjustment factors based on soil type, meaning that the amplitude of the region corresponding to constant spectral accelerations decreases as soil stiffness increases. This adjustment did not exist in the RNC-07, where the amplitude of this region remained constant between 0.1 s and 0.6 s. Finally, the seismic performance level is determined considering the limits established in Vision 2000: A Framework for Performance-Based Structural Engineering (SEAOC, 1995).

**Keywords:** rigid soil, seismic performance level, capacity spectrum method.

### 1. Introducción

El Reglamento de Construcción que Regirá en el Territorio Nacional (1983) fue el primer documento encargado de regir los procesos de análisis y diseño estructural en Nicaragua. Dicho documento fue elaborado por un comité técnico bajo la supervisión del Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos del Gobierno de Reconstrucción Nacional de la República de Nicaragua.

El mapa de zonificación sísmica, ilustrado en la figura 1, derivó de una propuesta realizada por un Estudio de Riesgo Sísmico para Nicaragua dirigido por el Centro de Terremotos John Blume de la Universidad de Stanford, California en 1975.

Las zonas sísmicas propuestas en el Reglamento de Construcción que Regirá en el Territorio Nacional (MVAH, 1983) están asociadas a aceleraciones que aumentan a medida que aumenta el identificador de la zona sísmica. Estos indicadores, los cuales son números del 1 al 6, caracterizan la susceptibilidad del suelo a transmitir vibraciones como las generadas por la actividad sísmica.

A pesar de que la costa del pacífico de Nicaragua es la más próxima a la zona de subducción de la placa de Cocos bajo la placa del Caribe, ilustrada en la figura 2, el mapa de zonificación sísmica presenta las mayores aceleraciones en

la ciudad de Managua y sus alrededores más próximos.

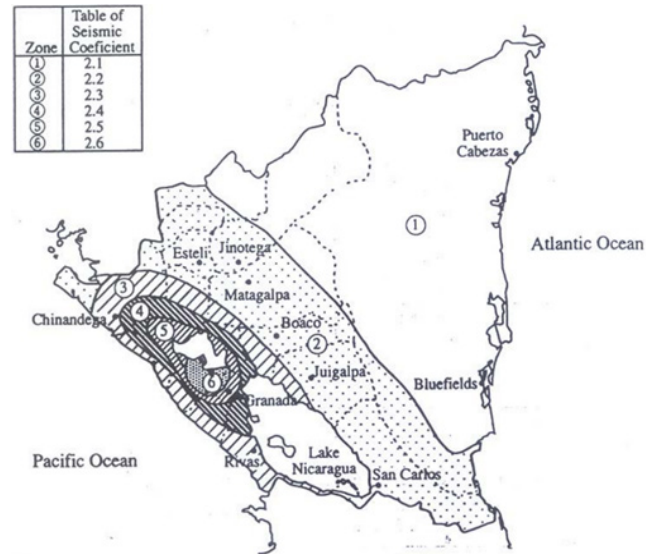


Figura 1. Mapa de zonificación sísmica, obtenido del Reglamento de Construcción que Regirá en el Territorio Nacional (MVAH, 1983)

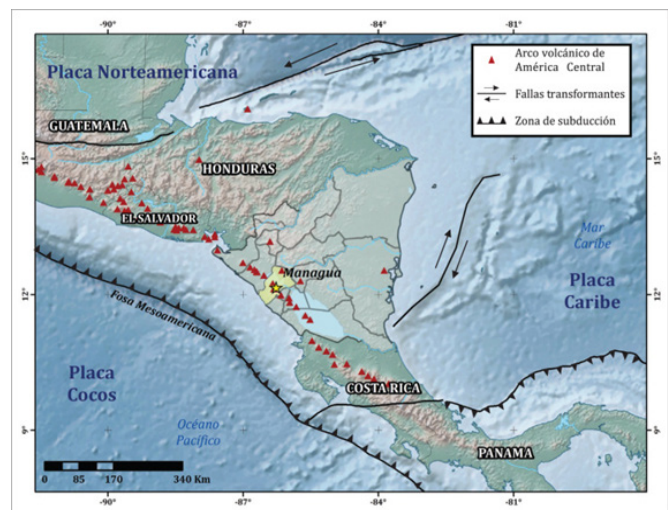


Figura 2. Zona de subducción, obtenido de Velásquez, et al. (2015)

Las aceleraciones máximas definidas en este reglamento están en el rango de 0.026 g y 0.452 g. Por otro lado, los suelos fueron clasificados en tipo duro, mediano y suave. La

descripción de cada tipo de suelo, de acuerdo con el Reglamento de Construcción que Regirá en el Territorio Nacional (MVAH, 1983), se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Descripción de tipos de suelo, adecuado del Reglamento de Construcción que Regirá en el Territorio Nacional (MVAH, 1983)

Tipo de suelo	Descripción
<b>Duro</b>	- Roca de cualquier tipo, dura y consistente o suave o meteorizada - Condición de suelo rígido o denso donde la profundidad de suelo es menor de 60 m, $N > 50$ para suelos no cohesivos y $N > 30$ para suelos cohesivos
<b>Mediano</b>	- Arena o grava de compactación mediana a alta ( $50 > N > 21$ ) - Limos y/o arcilla medianamente rígidos a rígidos ( $30 > N > 9$ )
<b>Suave</b>	- Arcillas suaves a medianamente rígidas con o sin capas intermedias de suelos no cohesivos o cohesivos ( $2 < N < 8$ ) - Suelos no cohesivos flojos a firmes ( $0 < N < 20$ )

Además del método simplificado y el método estático equivalente, el método dinámico modal espectral también estaba estipulado. La amplitud de la región con aceleración constante variaba para suelos blandos y para suelos medios y duros.

En el caso de los suelos blandos, la amplitud de la región con aceleración constante se mantenía entre 0.1 s y 0.8 s. En cambio, existía una reducción de esta amplitud, pasando a estar entre 0.1 s y 0.5 s, para los suelos medios y duros.

El Ministerio de Transporte e Infraestructura (2007) anuncia, en la Gaceta Diario Oficial No. 45 del año 2007, la entrada en vigor del Reglamento Nacional de Construcción con capacidad para regir el análisis y el diseño estructural en Nicaragua desde el momento de su publicación.

Se presenta, en la figura 3, el mapa de zonificación sísmica propuesto en el Reglamento Nacional de Construcción (RNC-07). Cabe destacar que las mayores aceleraciones se presentan en la costa pacífica, y aumentan a medida que están más próximas a la zona de subducción.

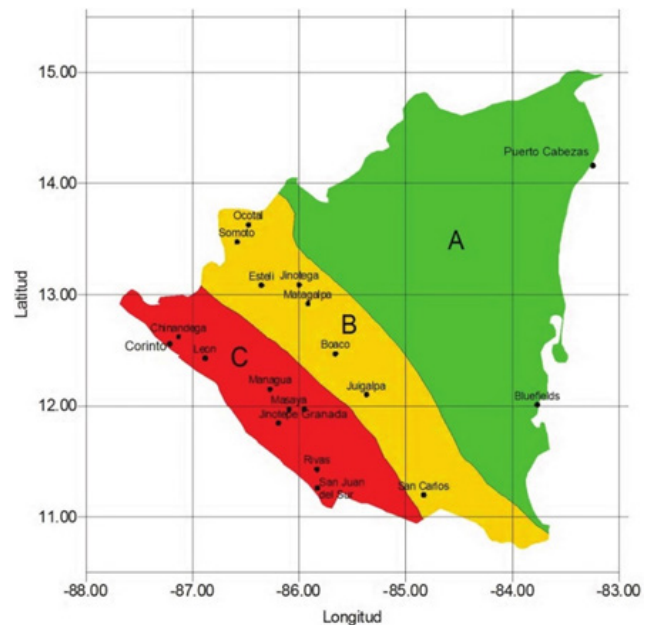


Figura 3. Mapa de zonificación sísmica, obtenido del Reglamento Nacional de Construcción (MTI, 2007)

Las aceleraciones máximas definidas en este reglamento están en el rango de 0.1 g y 0.32 g.

El Reglamento Nacional de Construcción (MTI, 2007) clasifica los suelos como afloramiento rocoso, suelo firme, suelo moderadamente blando y suelo muy blando. Esta clasificación, descrita en la tabla 2, fue realizada a partir de



Tabla 2. Tipos de suelo según la velocidad promedio de ondas de cortante a una profundidad no menor de 10 m, adecuado del Reglamento Nacional de Construcción (MTI, 2007)

Tipo de suelo	Descripción
Afloramiento rocoso	$V_s > 750$ m/s
Suelo firme	$360$ m/s $< V_s \leq 750$ m/s
Suelo moderadamente blando	$180$ m/s $< V_s \leq 360$ m/s
Suelo muy blando	$V_s < 180$ m/s

la velocidad promedio de ondas de cortante ( $V_s$ ) calculada a una profundidad no menor de 10 m.

Además del método simplificado y el método estático equivalente, el método dinámico modal espectral está estipulado. La amplitud de la región con aceleración constante, ilustrada en la figura 4, se estipula entre 0.1 s y 0.6 s.

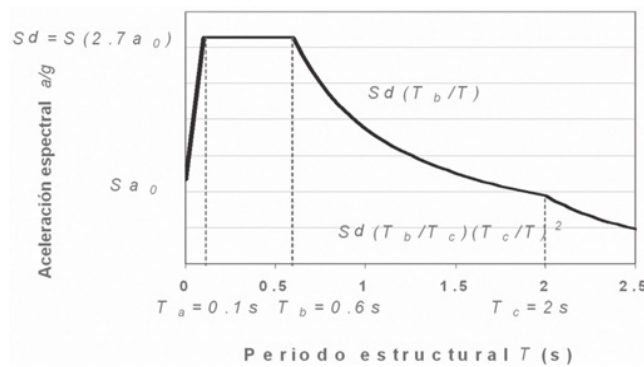


Figura 4. Definición del espectro elástico, obtenido del Reglamento Nacional de Construcción (MTI, 2007)

Tabla 3. Ecuaciones para la construcción del espectro elástico, adecuado del Reglamento Nacional de Construcción (MTI, 2007)

Rango de periodos	Descripción
$T < T_a = 0.1$ s	$a = S * [a_0 + (d - a_0) * (T/T_a)]$
$T_a = 0.1$ s $\leq T < T_b = 0.6$ s	$a = S * d$
$T_b = 0.6$ s $\leq T < T_c = 2$ s	$a = S * d * (T_b/T)$
$T > T_c = 2$ s	$a = S * d * (T_b/T_c) * (T_c/T)^2$

Las ecuaciones correspondientes para la construcción del espectro elástico se estipulan en la tabla 3.

La Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua (MTI, 2022) rige el análisis y el

diseño estructural en Managua al momento de la redacción de este estudio. A dicha Norma se hará referencia como NSCM en este estudio.

Se presenta, en la figura 5, el mapa de zonificación sísmica propuesto en la NSCM. Cabe destacar que las mayores aceleraciones se presentan en la costa pacífica, asociada con la zona sísmica 4, próxima a la zona

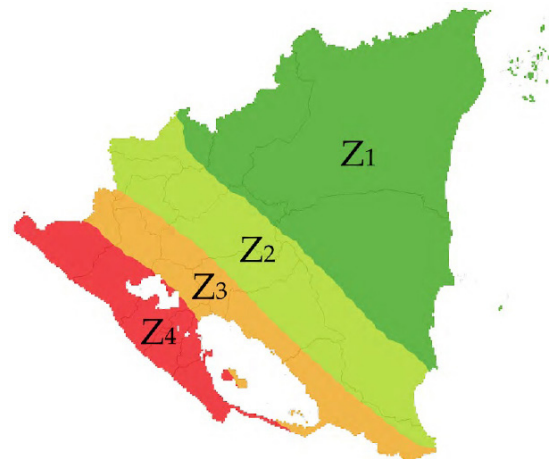


Figura 5. Mapa de zonificación sísmica, obtenido de la Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua (MTI, 2022)

Tabla 4. Descripción de tipos de suelo, adecuado de la Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua (MTI, 2022)

Tipo de suelo	Descripción
Roca rígida	$V_s > 1500$ m/s
Roca	$760$ m/s $\leq V_s \leq 1500$ m/s
Suelo muy denso y roca blanda	$360$ m/s $\leq V_s < 760$ m/s
Suelo rígido	$180$ m/s $\leq V_s < 360$ m/s
Suelo blando	$V_s < 180$ m/s

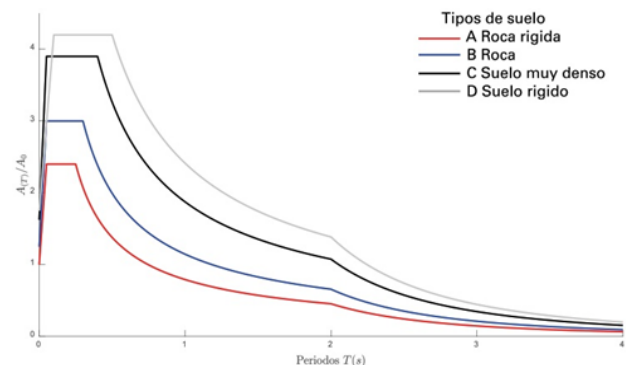


Figura 6. Espectro elástico normalizado para distintos tipos de suelo, obtenido de la Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua (MTI, 2022)(MTI, 2007)

Tabla 5. Factores de ajuste espectral, adecuado de la Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua (MTI, 2022)

Tipo de suelo	Factor de ajuste espectral $FS_{Tb}$	Factor de ajuste espectral $FS_{Tc}$
Roca rígida	1	5/6
Roca	1	1
Suelo muy denso y roca blanda	1	4/3
Suelo rígido	2	5/3

Tabla 6. Ecuaciones para la construcción del espectro elástico, adecuado de la Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua (MTI, 2022)

Rango de periodos	Descripción
$T < FS_{Tb} * T_b$	$a = A_0 * [1 + (T / FS_{Tb} * T_b)(\beta - 1)]$
$FS_{Tb} * T_b \leq T < FS_{Tc} * T_c$	$a = \beta * A_0$
$FS_{Tc} * T_c \leq T < T_d = 2 s$	$a = \beta * A_0 * (FS_{Tc} * T_c / T)^p$
$T > T_d = 2 s$	$a = \beta * A_0 * (FS_{Tc} * T_c / T)^p * (T_d / T)^q$

de subducción. Las aceleraciones máximas definidas en este reglamento están en el rango de 0.113379 g y 0.407450 g.

Los suelos fueron clasificados como roca rígida, roca, suelo muy denso y roca blanda, suelo rígido y suelo blando. Esta clasificación, extendida en la tabla 4, fue realizada a partir de la velocidad de ondas de corte ( $V_s$ ) calculada a una profundidad de 30 m.

Además del método de la fuerza lateral equivalente, el método dinámico modal espectral está estipulado. La amplitud de la región con aceleración constante, tal y como se ilustra en la figura 6, disminuye a medida que la velocidad de ondas de corte aumenta. Esto es posible gracias a los factores de ajuste espectral evidenciados en la tabla 5. Las ecuaciones correspondientes para la construcción del espectro elástico se estipulan en la tabla 6.

## 2. Diseño Metodológico

### 2.1. Tipo de Investigación

En función del objetivo de este estudio, se ha implementado una metodología de enfoque cuantitativo. Esto debido a que, según Sampieri

et al. (2010), este enfoque conlleva un esquema deductivo y lógico mediante el cuestionamiento y la validación de hipótesis.

Ya que este estudio se enfoca en la influencia de un suelo rígido en el desempeño sísmico de una estructura, es necesario utilizar la técnica observacional ya que permite ser objetivo al utilizar información cuantificable.

### 2.2. Tiempo de ejecución

El estudio presentado constó de cuatro fases de ejecución. La primera fase, en que se invirtieron tres semanas, se enfocó en el estudio del comportamiento inelástico del acero estructural.

La segunda fase, en que se invirtieron dos semanas, se enfocó en el análisis y obtención de resultados a partir de la estructura en estudio.

La tercera fase, en que se invirtieron una semana, se enfocó en la redacción final. Este proceso fue desarrollado durante el periodo comprendido entre julio y agosto del 2023.

## 2.3. Técnica y métodos de recolección de datos

### 2.3.1. Fuentes primarias

Las rótulas plásticas utilizadas fueron implementadas consultando en el Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings 41-17 (ASCE, 2017).

Los espectros elásticos utilizados fueron construidos con las ecuaciones dispuestas en el Reglamento Nacional de Construcción (MTI, 2007) y la Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua (MTI, 2022).

La determinación del nivel de desempeño sísmico fue obtenida de Vision 2000 A Framework for Performance Based Structural Engineering (SEAOC, 1995).

## 2.4 Universo

Estructuras, sometidas a cargas verticales y horizontales, ubicadas en zonas de alta peligrosidad sísmica.

## 2.5 Muestra

Marco de acero estructural de dos niveles sometido a cargas verticales y horizontales en una zona de alta peligrosidad sísmica y en la que es aplicable el Reglamento Nacional de Construcción (MTI, 2007) y la Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua (MTI, 2022).

## 3. Aspectos Teóricos

### 3.1 Análisis estático no lineal incremental

El análisis estático no lineal incremental permite identificar el comportamiento de una estructura sometida ante cargas laterales. Idealmente, se aplican fuerzas laterales incrementales a una estructura en estudio hasta que se llegue al colapso de la misma o, en caso de tratarse de un diseño, hasta que se llegue al desplazamiento objetivo. La figura 7 ilustra este proceso.

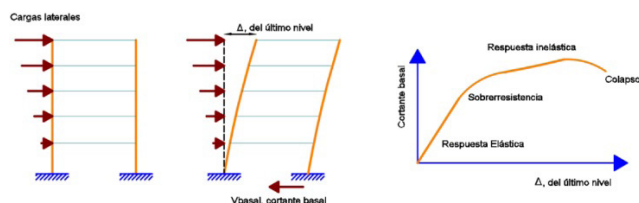


Figura 7. Proceso del análisis estático no lineal incremental, obtenido de Cagua et al. (2022)

Debido a la implementación de esta metodología, es posible identificar el proceso en que los elementos estructurales entran en cedencia, luego en agrietamiento y luego fallan. Aguevar et al. (2006) indican que el cortante de la estructura, los estados límite de servicio y colapso y el historial de deformación puede ser identificado en la curva de capacidad, la cual es el resultado de la gráfica de cortante y desplazamiento en cada paso.

### 3.2. Rótula plástica

Una rótula plástica puede definirse, según Choque & Luque (2019), como un dispositivo mediante el cual puede disiparse energía. Este dispositivo permite la rotación de la sección del elemento en que se aplica y mantiene constante el momento plástico. Cabe mencionar que, mediante la aplicación de rótulas plásticas, un modelo elástico de una estructura se vuelve un modelo no lineal.

Las rótulas implementadas en este trabajo son las dispuestas en el Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings 41-17 (ASCE, 2017).

### 3.3. Método del espectro de capacidad según FEMA 440

El FEMA 440 Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures (FEMA, 2005) presentó una modificación del método del espectro capacidad del ATC-40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings (ATC, 1996). Dicha modificación, nombrada como Linealización Equivalente Mejorada, tiene como objetivo determinar la respuesta máxima de desplazamiento inelástico a través de un sistema elástico equivalente.

Tres metodologías son expuestas para determinar el punto de desempeño según el FEMA 440 (FEMA, 2005). A continuación, se presenta el procedimiento de la tercera metodología: Búsqueda de posible punto de desempeño.

1. Construir un espectro elástico

- correspondiente al sitio en estudio y con un amortiguamiento inicial del 5%.
- 2. Construir, a partir del espectro elástico, un espectro en formato ADRS (acceleration displacement response spectrum) que representa la demanda inicial.
- 3. Convertir, a formato ADRS, la curva de capacidad de la estructura obtenida a partir de

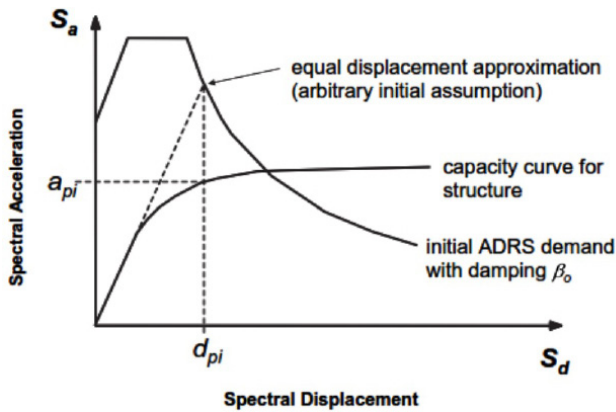


Figura 8. Espectros de capacidad y demanda en formato ADRS, obtenido del FEMA 440 (2005)

un análisis estático no lineal incremental. Este paso se ilustra en la figura 8.

- 4. Elegir un punto de desempeño inicial de prueba.
- 5. Bilinealizar el espectro de capacidad, cuyo punto final debe ser el punto de desempeño inicial de prueba.

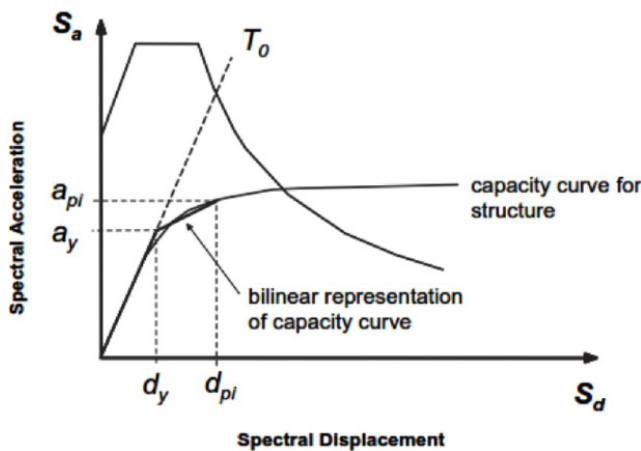


Figura 9. Bilinealización del espectro de capacidad, obtenido del FEMA 440 (2005)

- Esta representación se ilustra en la figura 9.
- 6. Calcular la ductilidad  $\mu$ , el periodo efectivo  $T_{eff}$  y el amortiguamiento efectivo  $\beta_{eff}$  del sistema.
- 7. Ajustar la demanda inicial en función del amortiguamiento efectivo.
- 8. Con el fin de crear el espectro de respuesta modificado MADRS, es necesario multiplicar los valores de aceleración de la demanda por el factor de modificación ( $M = a_{m\acute{a}x} / a_{eff}$ ).
- 9. Mediante la intersección del periodo secante  $T_{sec}$  con el espectro de respuesta modificada MADRS se determina un posible punto de desempeño.
- 10. Ya que el punto de desempeño real será el que cruce el espectro de capacidad, se debe aumentar o reducir el punto de desempeño

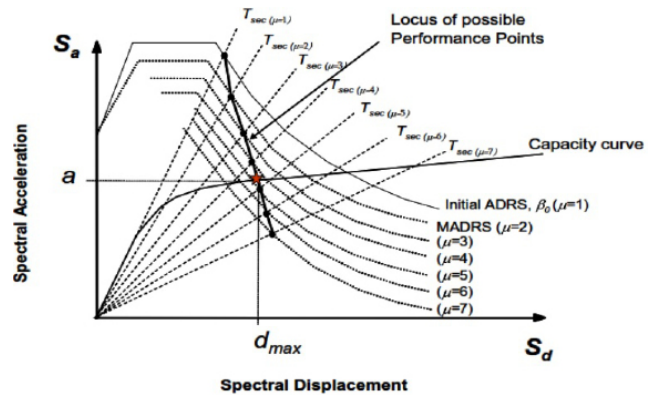


Figura 10. Serie de posibles puntos de desempeño, obtenido del FEMA 440 (2005)

inicial de prueba para generar una serie de puntos. Esto se ilustra en la figura 10.

### 3.4 Nivel de desempeño sísmico

Un nivel de desempeño sísmico corresponde a un estado de la estructura en que tiene determinados daños. Existen distintos niveles de desempeño y distintos límites. La metodología que se siguió en este estudio fue la propuesta por Vision 2000 A Framework for Performance Based Structural Engineering (SEAOC, 1995). El comité Vision 2000 describió los daños que pueden ser registrados en una estructura en función del nivel de desempeño.



Tabla 7. Niveles de desempeño, adecuado de Vision 2000 A Framework for Performance Based Structural Engineering (SEAOC, 1995)

<b>Totalmente operacional</b>	Los daños estructural y no estructural son insignificantes o no existen. Los servicios básicos continúan prestando sus servicios.	$\leq 0.2$
<b>Operacional</b>	Fisura en elementos estructurales. Existe daño entre ligero y moderado en elementos arquitectónicos. Los sistemas de seguridad y los servicios básicos funcionan con normalidad.	$\leq 0.5$
<b>Seguridad de vida</b>	Hay daños regulares en algunos elementos. Empieza la perdida de resistencia y rigidez en el sistema resistente ante fuerzas laterales. El sistema permanece en funcionamiento. Comienzan a dañarse algunos elementos no estructurales. Puede ser necesario reparar por algún tempo.	$\leq 1.5$
<b>Pre colapso</b>	Daños significativos en los elementos estructurales. Fallo de los elementos no estructurales y elementos secundarios. Puede ser necesario la demolición de la estructura.	$\leq 2.5$
<b>Colapso</b>	Colapso parcial o total de la estructura. No se puede recuperar la estructura. La demolición es inevitable.	$> 2.5$

En la tabla 7 se presenta, de forma resumida, las principales características de cada nivel de desempeño.

#### 4. Resultados y Discusión

Se modeló y analizó una estructura de dos niveles de acero estructural. Se modeló mediante elementos Frame con rótulas concentradas generadas de forma automática por el software CSI Etabs.

La estructura en estudio consta de cuatro columnas y tres vigas en cada nivel. La sección transversal de las columnas centrales corresponde a las W 30x173, las columnas exteriores son secciones W 14x193.

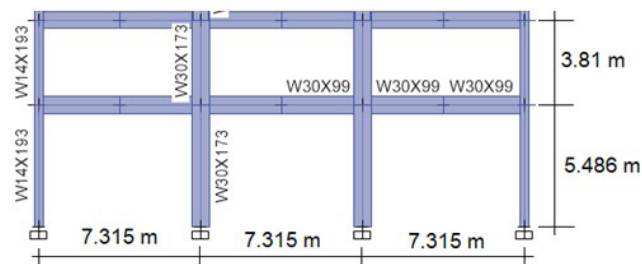


Figura 11. Disposiciones de elementos y geometría del marco en estudio, elaboración propia

Las vigas, en todos los casos, corresponden a la sección W 30x99. La disposición y longitud de los elementos se ilustra en la figura 11.

En la figura 12 se ilustra la rótula automática utilizada para los elementos Frame.

Estas rótulas plásticas fueron aplicadas a cada

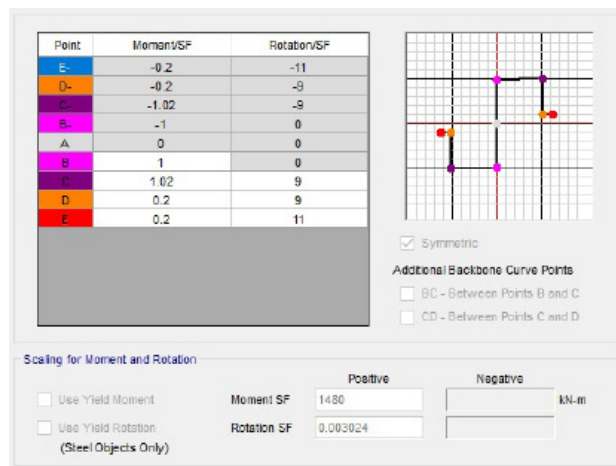


Figura 12. Definición de rótula plástica, obtenido de CSI Etabs



elemento en el modelo realizado, con el fin de poder llevar a cabo un análisis estático no lineal incremental.

El software utilizado calcula la capacidad elástica a momento tomando en cuenta las propiedades mecánicas y geométricas definidas. El punto de máxima capacidad a momento fue considerado como el 2 % de la capacidad elástica a momento. Las rótulas implementadas en este trabajo son las dispuestas en el Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings 41-17 (ASCE, 2017).

Ya que el objetivo de este estudio es el de estudiar la influencia del suelo rocoso, para la construcción del espectro elástico mediante el RNC-07 se consideró un suelo tipo I. La estructura se ubicó en Managua con una importancia normal. Por otro lado, para el espectro elástico mediante la NSCM se utilizaron los suelos tipo A y B.

Con el fin de hacer referencia de mejor forma, la estructura analizada con el RNC-07 con un suelo tipo I se nombra como RNC-SI. Por otro lado, las estructuras analizadas con la NSCM con un suelo tipo A y B se nombran como NSCM-SA y NSCM-SB.

La curva de capacidad de la estructura se presenta en la figura 13. Se observa una línea recta ascendente, asociada al comportamiento lineal del marco en estudio.

Posterior a esto, la estructura experimenta

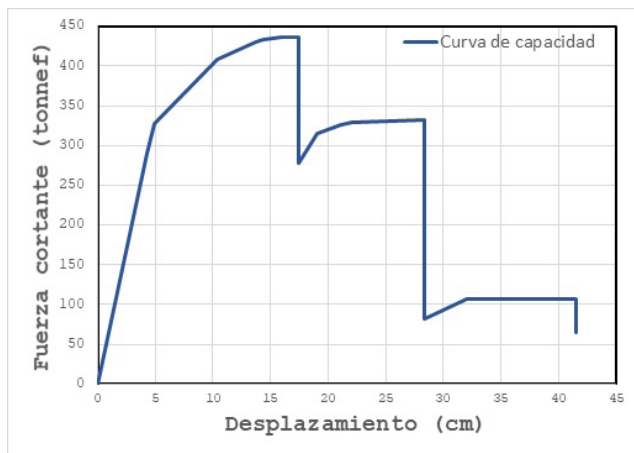


Figura 13. Curva de capacidad de la estructura en estudio, adecuado de CSI Etabs

una sobrerresistencia que la hace llegar a su capacidad máxima a cortante. Finalmente, la capacidad para resistir dicha fuerza disminuye drásticamente, experimentando desplazamientos elevados.

La figura 14 ilustra una superposición de los tres espectros elásticos utilizados para

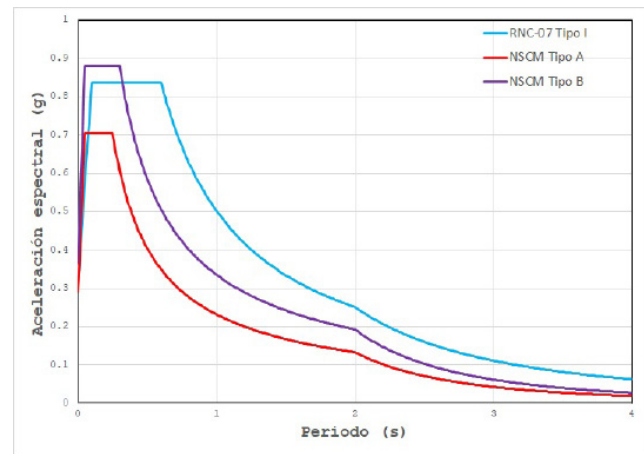


Figura 14. Espectros elásticos utilizados, elaboración propia

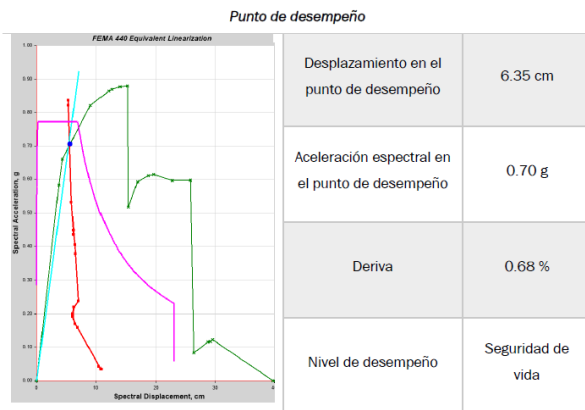
la determinación del desempeño sísmico. Considerando el periodo  $T = 0.515$  s del marco en estudio, se espera que el espectro elástico elaborado con el RNC-07 sea el que genere la mayor demanda.

La meseta de los espectros elásticos construidos con la Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua presenta aceleraciones máximas para un rango pequeño de períodos cuando el suelo es Tipo A. Dicho rango aumenta a medida que el suelo presenta una menor velocidad promedio de ondas de cortante. Por otro lado, la meseta del espectro construido con el Reglamento Nacional de Construcción presenta un rango fijo, independientemente del tipo de suelo. Una vez obtenida la curva de capacidad, y aplicando la metodología MADRS, es posible estimar el punto de desempeño del mismo. Por consiguiente, y tomando de referencia la tabla 7 de este estudio, se determina el nivel de desempeño sísmico de las estructuras RNC-SI,

NSCM-SA y NSCM-SB.

En las tablas 8 a 10 se presenta la información acerca del nivel de desempeño de cada estructura. Tal y como se comentó anteriormente en este trabajo, la estructura RNC-SI es la que está expuesta a un nivel de demanda mayor. Este nivel de demanda se asocia a desplazamientos, aceleraciones y

Tabla 8. Punto de desempeño de la estructura RNC-SI, obtenido de CSi Etabs



derivadas mayores.

En la figura 8 se ilustra que la estructura RNC-SI incursiona en el rango inelástico. Debido a esto, es entendible que su desempeño llegue a ser el de una estructura que asegura la vida de sus ocupantes. El desplazamiento obtenido en el punto de desempeño es de 6.35 cm, asociado

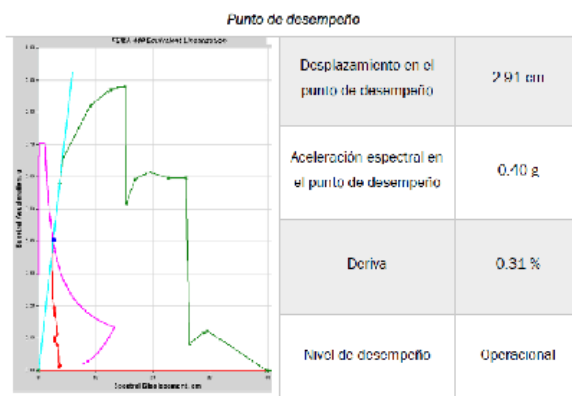
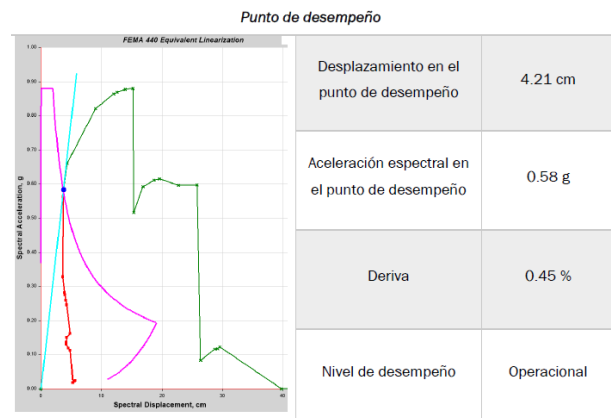


Tabla 9. Punto de desempeño de la estructura NSCM-SA, obtenido de CSi Etabs

a una aceleración de 0.70 g.

En la figura 9 se ilustra que la estructura NSCM-SA tiene un comportamiento elástico. Debido a esto, es entendible que su desempeño llegue a ser el de una estructura operacional. El desplazamiento obtenido en el punto de desempeño es de 2.91 cm, asociado a una

Tabla 10. Punto de desempeño de la estructura NSCM-SB obtenido de CSi Etabs



aceleración de 0.40 g.

En la figura 10 se ilustra que la estructura NSCM-SB tiene un comportamiento elástico. Debido a esto, es entendible que su desempeño llegue a ser el de una estructura operacional. El desplazamiento obtenido en el punto de desempeño es de 4.21 cm, asociado a una aceleración de 0.58 g.

### 5. Conclusiones

Tanto el análisis estático no lineal incremental como la determinación del nivel de desempeño fueron llevados a cabo de forma exitosa. Por ende, fue posible obtener la curva de capacidad de la estructura y la familia de puntos de desempeño mediante la metodología MADRS. El rango de periodos en que la aceleración del espectro construido a partir del Reglamento Nacional de Construcción (MTI, 2007) es constante, esto hace que un suelo con una alta velocidad de onda de corte no modifique mucho la respuesta de la estructura. Incluso, podría estar sobrestimando la respuesta estructural. El hecho de que el rango de periodos en que la

aceleración es constante disminuye a medida que la rigidez del suelo aumentas, hace que la propuesta de la Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua (MTI, 2022) sea más realista. Esto se debe a que, si se considera el suelo rígido, las vibraciones que pudieran llegar a la estructura son menores.

Debido a la sobrestimación del espectro del Reglamento Nacional de Construcción (MTI, 2007), el desplazamiento lateral fue de 6.35 cm. Esto, en términos de nivel de desempeño, corresponde a Seguridad de Vida. Tal y como se ilustra en la figura 14, existió una incursión en el rango inelástico por parte de la estructura.

Por otro lado, el desplazamiento lateral considerando suelos tipo A y B de la Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua (MTI, 2022) corresponde a un nivel de desempeño operacional. En las figuras 15 y 16 se observa que el comportamiento de las estructuras NSCM-SA y NSCM-SB se mantuvo completamente elástico. Los autores toman a bien la modificación de la Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua (MTI, 2022) en cuanto a los factores de ajuste espectral ya que generan espectros que representan el sitio en estudio de mejor manera.

## 6. Bibliografía

- Aguevar, N., Osorio, S., & Arturo, A. (2006). Evaluación de la capacidad estructural del edificio de la biblioteca de las ingenierías y arquitectura utilizando análisis estático no lineal (pushover). Universidad de El Salvador.
- American Society of Civil Engineers. (2017). Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings. <https://doi.org/10.1061/9780784414859>
- Applied Technology Council [ATC]. (1996). ATC-40: Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings (Vol. 1). Seismic Safety Commission, State of California. <https://www.atcouncil.org/pdfs/atc40toc.pdf>
- Cagua, B., Aguiar, R., Pilatasig, J., & Mora, D. (2020). Coupling Opensees with Ceinci-Lab to Perform Non-Linear Static Analysis. First Part: Seismic Reinforcement with Steel Braces. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 25(3). <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/riie/article/download/1691/1300>
- Choque, J., & Luque, E. (2019). Análisis estático no lineal y evaluación del desempeño sísmico de un edificio de 8 niveles diseñado con la norma E.030. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8866>
- Applied Technology Council. (2005). FEMA 440: Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures. Department of Homeland Security, Federal Emergency Management Agency. <https://mitigation.eeri.org/wp-content/uploads/fema-440.pdf>
- Ministerio de Transporte e Infraestructura [MTI] (2007). Reglamento Nacional de Construcción RNC-07 <https://sjnavarro.wordpress.com/wp-content/uploads/2008/08/rnc-2007.pdf>
- Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2022). Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua. <https://ingenieriosestructuralesnicaragua.wordpress.com/tesis/>
- Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos. (1983). Reglamento de Construcción que Regirá en el Territorio Nacional. [Publicado en la Gaceta Diario Oficial NO.183] <https://sajurin.enriquebolanos.org/docs/G-1983-08-12.pdf>
- Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). Metodología de la investigación (5ta ed.). McGrawHill Educación. <https://www.icmujeres.gob.mx/wpcontent/uploads/2020/05/Sampieri.Met.Inv.pdf>
- Structural Engineers Association of California. (1995). Vision 2000 A Framework for Performance Based Structural Engineering.