

DISEÑO POR DESEMPEÑO DE ESTRUCTURA METÁLICAS DE ACERO MEDIANTE EL CODIGO F.E.M.A., UTILIZANDO ETABS

ORTIZ PALACIOS DIEGO FABIAN, PINTADO RIVADENEIRA JORGE FERNANDO

Carrera de Ciencias de la Tierra y la Construcción

ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO

RESUMEN

El análisis en Ecuador respecto a estructuras metálicas lleva a varios cuestionamientos y planteamientos, tanto en su Diseño como en su Construcción, es así que por medio de normativas realizadas por FEMA, llevamos el análisis planteado a la determinación del Punto de Desempeño.

De tal forma, que el diseño tradicional se convierte en parte del análisis para llegar a un resultado no lineal llamado PUSHOVER, esta práctica de diseño bajo desempeño implica tener claro el nivel de seguridad, ya sea por el diseñador o por el requerimiento, en caso de ser una estructura esencial.

Todo esta perspectiva de diseño lleva a evidenciar casos más específicos, como son las posibles fallas por el pre dimensionamiento tradicional, tanto en su desplazamiento y fuerza máxima para el colapso de la estructura. Lo cual nos lleva a grandes cuestionamientos de la norma ecuatoriana CEC-2001.

Gracias a este planteamiento, podemos ver cuáles son las medidas de arriostramiento en las estructuras, además es importante conocer que por medio de este análisis podemos realizar medidas de mitigación, que son los reforzamientos de las estructura cuando han pasado por una sollicitación o evento sísmico.

1. INTRODUCCION

Por lo cual llegamos a la conclusión que el Diseño Bajo Desempeño es la nueva revolución y evolución de los análisis matemáticos ya sea para acero, hormigón, madera, etc. Teniendo un camino más exacto, para brindar estructuras y modelos con mayores niveles de seguridad por la alta vulnerabilidad sísmica que posee Ecuador. Llegando a cumplir con el principal objetivo que es reguardar vidas humanas por medio de nuestro ejercicio profesional.

La recomendación se base en adoptar el Diseño Bajo Desempeño en el Código Ecuatoriano de la Construcción, para brindar mayores garantías y seguridad respecto a los modelos matemáticos analizados.

Resulta útil decir que la práctica actual del diseño sísmico se realiza con un criterio primario de desempeño; a pesar de buscar los diferentes estados de funcionalidad estructural, sólo se intenta pronosticar mediante un escenario único de diseño que resulta insuficiente.

En repetidas ocasiones, el ingeniero calculista de estructuras sismorresistentes se ve obligado a incurrir en el sobredimensionamiento de los elementos para cumplir los requisitos vigentes de diseño sísmico, ya que la deficiencia normativa provoca que nos basemos en las experiencias de países que cuentan con mayor bagaje en investigaciones sobre este tema, que muchas veces no obedecen al sistema analizado, porque nos basamos en códigos, normativas y experiencia profesional. Sin embargo, frente a estructuras metálicas sólo se pueden dar soluciones precarias, desconociéndose las condiciones frente a un sistema tan revolucionario que se ha ido enraizando en los últimos años, como es el caso de las estructuras por desempeño.



Figura1- 1: Sismo de Kobe, 1995

2. IMPLEMENTACIÓN DE UN DISEÑO BAJO DESEMPEÑO

Una vez realizado el análisis lineal de la estructura con las verificaciones, tanto por capacidad como por derivas de piso por medio del análisis tradicional, debemos llevar nuestras estructuras al campo **NO LINEAL ESTÁTICO**, que nos ayudará a determinar el diseño bajo desempeño. Así, en este capítulo veremos el punto de desempeño de nuestra estructura así como la comparación con las Tablas del **FEMA 273**.

Teniendo este antecedente, utilizamos el software ETABS, en el que observamos el análisis pushover (análisis no lineal estático) que posteriormente será visto en mayor detalle y propiamente el ingreso en el programa. Este tipo de procedimiento será realizado tanto en elementos laminados como soldados.

2.1 Procedimiento No Lineal Estático

Como mencionamos anteriormente, este es el procedimiento que permitirá determinar el diseño bajo desempeño de nuestras estructuras, para lo que es

necesario conocer los parámetros para un correcto diseño, los que serán presentados a continuación (FEMA 273):

- Utilizar las propiedades elásticas de los componentes.
- Utilizar la apropiada curvatura no lineal-momento y la interacción de las vigas y columnas de viga para representar la plastificación. Estos pueden ser derivados de experimentos o análisis.
- Se incluirá el comportamiento lineal y no lineal de las zonas del panel.

Es decir, podemos usar los detalles de todos los segmentos de la curva de carga-deformación para obtener una curva aproximada, generalizada, de carga-deformación de los componentes de las estructuras-momento de acero, marcos arriostrados y las paredes de la placa. Esta curva puede ser modificada suponiendo una pendiente de endurecimiento por deformación de la pendiente elástica.

Pueden utilizarse grandes pendientes de endurecimiento por deformación si se las verifica por experimento. Se recomienda que el endurecimiento por deformación sea considerado para todos los componentes. Los parámetros Q son la carga generalizada de los componentes y la resistencia generalizada esperada para el componente. Para las vigas y columnas, θ es la rotación plástica de la viga o columna y Δ es el desplazamiento.

La curva de capacidad define la rotación de cuerda para las vigas. La rotación de la cuerda puede ser estimada añadiendo la rotación de rendimiento, θ_y , a la rotación plástica. Alternativamente, la rotación de la cuerda puede ser estimada como igual a

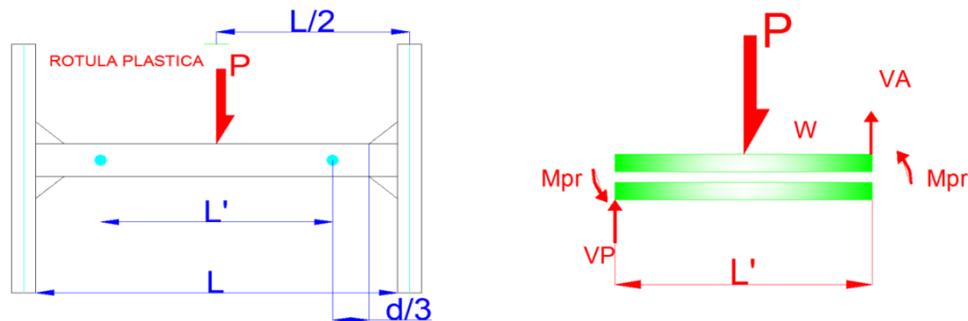
la deriva del piso. Los resultados del ensayo para los componentes de acero se dan a menudo en términos de rotación de la cuerda

Por lo que es necesario hacer una descripción tanto de su concepto como de la funcionalidad que posee el análisis **NO LINEAL ESTÁTICO**. El análisis **NO LINEAL ESTÁTICO** posee ciertos pasos para el diseño los que son:

- Determinación del modelo de la Articulación Plástica.
- Ingreso al Pushover ETABS.
- Método bilineal para la Curva de Capacidad.
- Determinación del punto de Desempeño.

2.2 Localización de la Rótula plástica:

La rótula plástica se ha demostrado por medio de ensayos que en estructuras metálicas ocurrirá la articulación plástica a una distancia igual a $1/3$ de la altura de la viga, medida a partir del borde del reforzamiento o del inicio de la reducción de la sección de la viga, tal como se muestran a continuación:



F

Figura 2- 1: Cálculo de la Fuerza Cortante en las Rótulas Plástica, según Diseño y Detallado de Miembros y conexiones en edificaciones



Figura 2- 2: Geometría de Viga de Elementos, Laminados como Soldados

Con los antecedentes presentados veremos la aplicación que poseerá tanto en elementos laminados como en soldados, utilizando el software ETABS en primera instancia veremos la articulación plástica al 1/3 de la altura de la viga, por lo tanto el ingreso de las articulaciones es de vital importancia para poder realizar tanto el pushover como el análisis **NO LINEAL ESTÁTICO** a continuación se presenta el ingreso del análisis que será genérico tanto para elementos laminados y soldados.

$$h = 40 \text{ cm}$$

Teoría de la articulación plástica.

$$\text{articulacion plastica} = \frac{h}{3}$$

$$\text{articulacion plastica} = 13.33 \text{ cm}$$

Por las condiciones del software ETABS requiere que esta condición asignada en forma de porcentaje, por lo que es necesario convertir la distancia de la articulación plástica de 13.33 cm en distancia relativa, que estará en función a la distancia del pórtico, que es de 6.00 m.

$$600 \text{ cm} \text{ --- } 100\%$$

$$13.33 \text{ cm} \text{ --- } 2.22\%$$

Pero para efectos de una mejor apreciación de la articulación plástica adoptaremos del 2% que será el valor llamado a ser utilizado en el ETABS.

Con el procedimiento anteriormente descrito, veremos el resultado de la acción del pushover en la estructura con la interacción de la articulación plástica, que otorga como resultado la Curva de Capacidad.

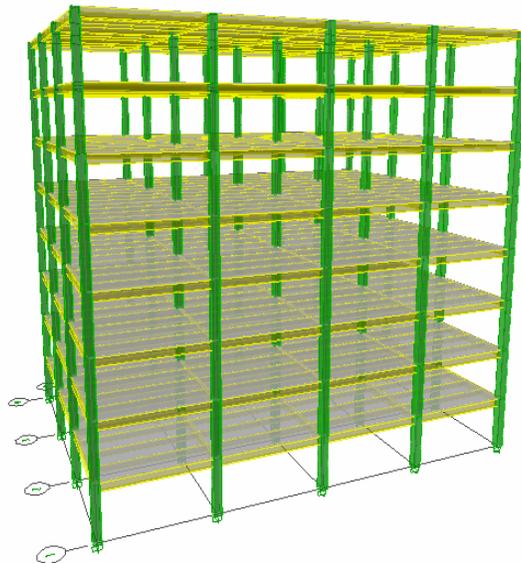


Figura 2- 3: Edificación de 8 Pisos Modelado en ETABS

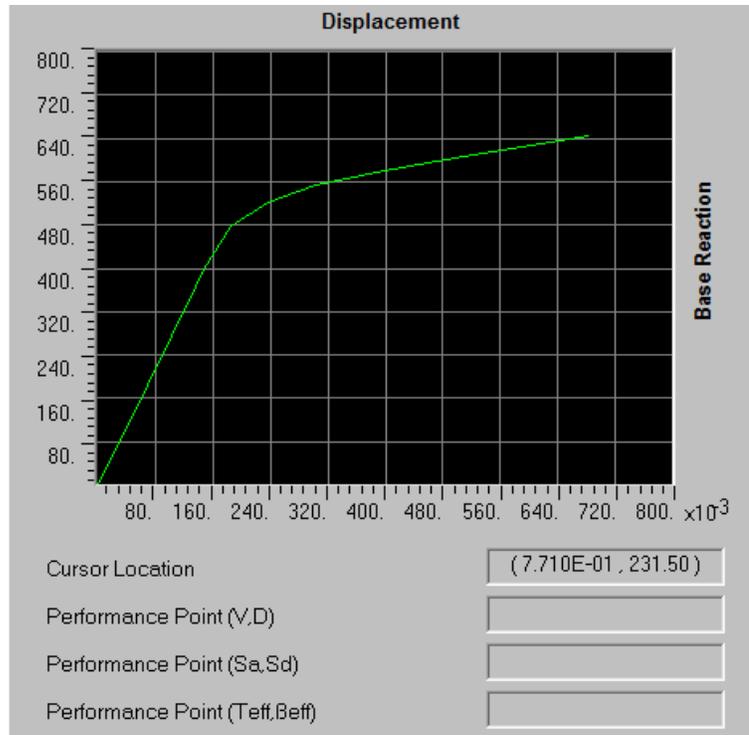


Figura 2- 3 Curva de capacidad caso pushover elementos soldados a 1/3, edificio de 6 plantas

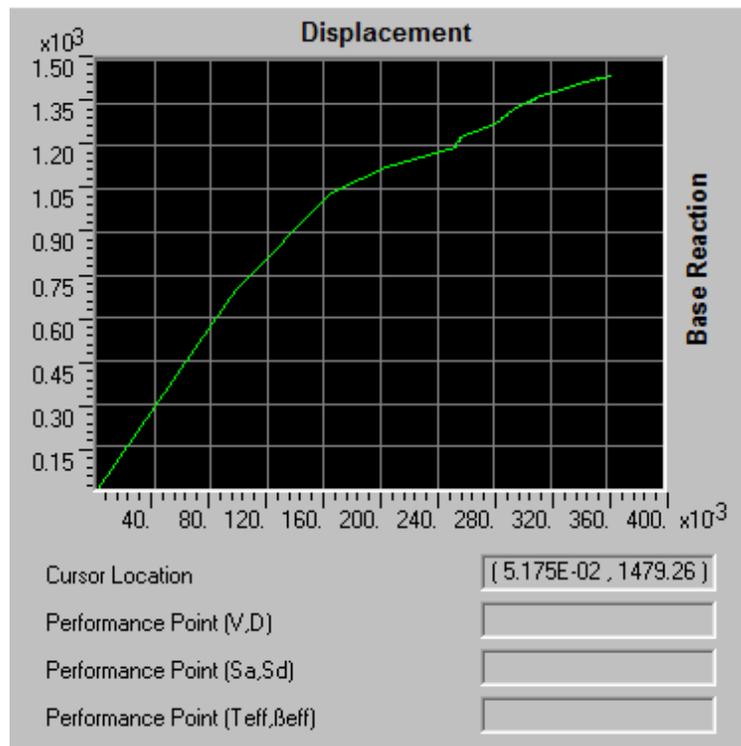


Figura 2- 4: Curva de capacidad caso pushover elementos laminados a 1/3, edificio de 6 plantas

En la figura 2- 4 y figura 2- 5 se observa el comportamiento de la estructura. Tanto los elementos laminados como soldados tienen una acción esperada en su curva de capacidad, sin poseer problemas tanto en el rango elástico, fluencia y rotura. Así, el desplazamiento máximo en las estructuras es:

ARTICULACIÓN PLÁSTICA	SOLDADOS	LAMINADOS
L/3	6.60 cm	3.80 cm

Una vez definidos todos los coeficientes, se encuentra el valor de D_t , y se realizan las correspondientes comparaciones con lo estipulado en el FEMA-273.

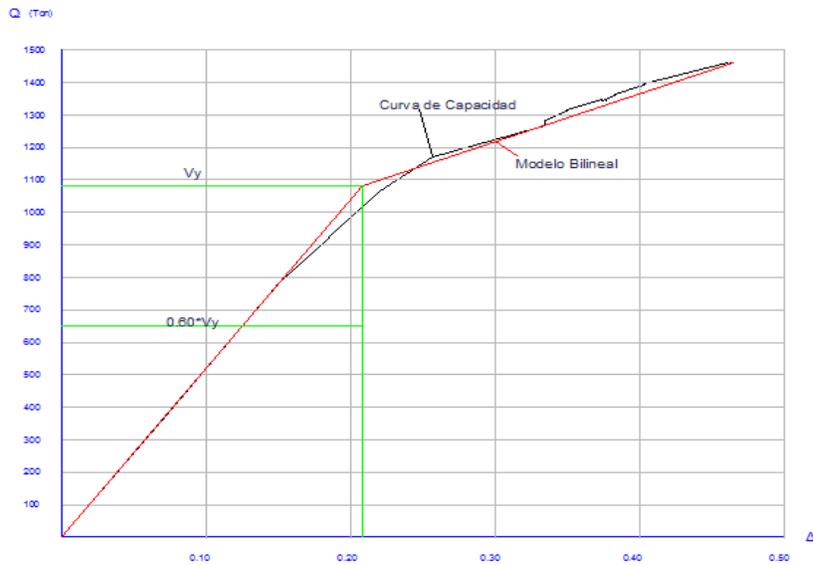


Figura 2- 6: Modelo Bilineal y Curva de Capacidad Elementos Laminados, edificio de 6 plantas

$$D_t = C_0 * C_1 * C_2 * C_3 * S_a * \frac{T_e^2}{4\pi^2}$$

$$D_t = 1.42 * 1.00 * 1.00 * 1.35 * 1.7 * \frac{0.673^2}{4\pi^2}$$

$$D_t = 0.0426 \text{ m}$$

Dada la determinación del punto de desempeño de las estructuras en elementos soldados y laminados, es importante realizar la comparación de los resultados obtenidos, por lo que, se presenta en primera instancia los resultados de los puntos de desempeño en elementos soldados y laminados.

6 PISOS		
	E. LAMINADOS	E. SOLDADOS
	(m)	(m)
Dt	0.0426	0.0407

No existe mucha diferencia entre los puntos de desempeño, ya que por las condiciones geométricas y ciertos parámetros de diseño tienen cierta homologación. Se debe tomar en cuenta que al momento de diseñar las diferentes estructuras se cuenta con los escenarios más favorables al momento de su construcción, es decir, el cumplimiento al 100% de las normas constructivas. Esta acotación se la hace con mayor énfasis en los elementos soldados, ya que al momento de las uniones con la solda se puede afectar drásticamente al diseño como a los puntos de desempeño de las estructuras analizadas.

Entonces, se puede argumentar que bajo un buen análisis e implementación tanto las estructuras en elementos soldados y laminados pueden ser implementados con un buen análisis y proceso constructivo, pero es necesario ver frente a un parámetro de comparación para constatar si las estructuras presentadas cumplen con lo propuesto, que es Seguridad de Vida (FEMA 273), lo que se presenta a continuación

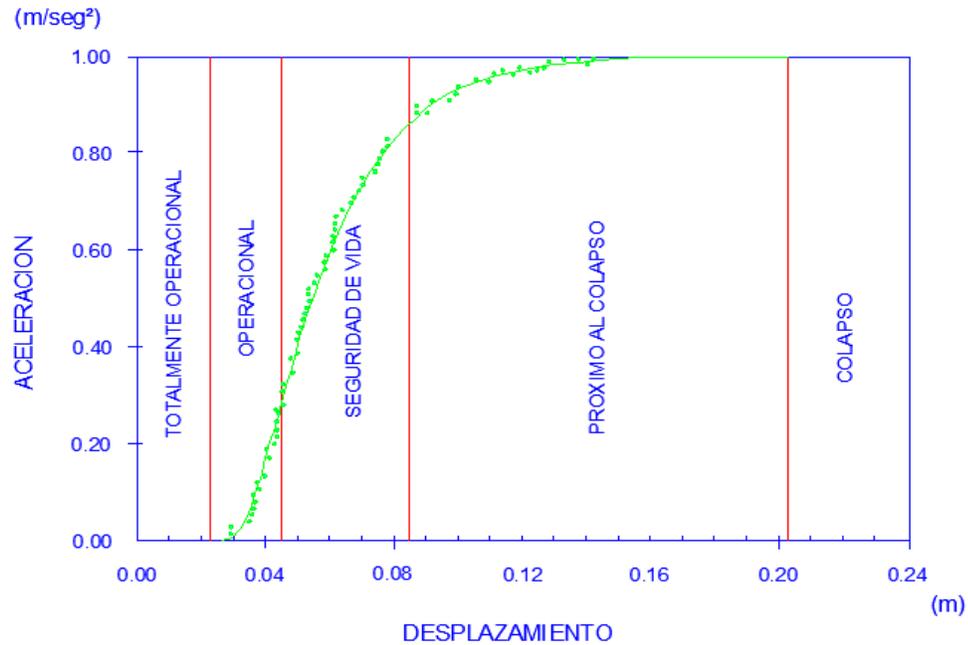


Figura 2- 7: Gráfica Determinación de Rangos de Desempeño por medio de un Acelerograma

Si bien es cierto que las estructuras en elementos laminados y soldados están cerca del límite superior, llegando a ser operacional. Esto se produce por lo estricto de las normas y las secciones utilizadas para el diseño de las estructuras (soldados y laminados). Así, entre más rígida sea la estructura tendremos mejor desempeño y comportamiento al presentarse un sismo, con lo que se verifica el cumplimiento del fundamento inicial planteado, que es Seguridad de Vida.

3. CONCLUSIONES

- Las estructuras metálicas poseen varios beneficios, tanto en la construcción como en el diseño de las estructuras, pero tienen varios problemas en cuanto a la ductibilidad propia del material, por lo que es importante el reforzamiento de los elementos estructurales que conforman la estructura.
- El punto de desempeño de los elementos soldados y laminados tienen un gran comportamiento, ya que al momento de la comparación con FEMA 273 las

estructuras planteadas no presentaron dificultades. Además, se puede notar que los puntos de desempeño son similares, por poseer características semejantes en su conformación estructural y cargas de operación.

4. REFERENCIAS

- FEMA, (Federal Emergency Management Agency).1997. FEMA PUBLICATION 273; NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Washington D.C., Federal Emergency Management Agency.
- Federal Emergency Management Agency (2000), “FEMA 356, Prestandard and Commentary for the seismic rehabilitation of buildings”.
- Aguiar R., (2003), Análisis sísmico por desempeño, Centro de Investigaciones Científicas.Escuela Politécnica del Ejército, 340 p., Quito.
- CEC-2000, Capítulo 1: Peligro sísmico, espectro de diseño y requisitos de cálculo para diseñosismo resistente, XIII Jornadas Nacionales de Ingeniería Estructural. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 325-350, Quito.
- Criterios de Diseño por Desempeño para la Norma Peruana de Diseño sismorresistente.
- Chopra A K (1995), “Dynamics of structures, theory and applications to earthquake engineering”, Segunda Edición, Prentice Hall.
- Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de Estructuras Utilizando un Diseño por Desempeño
- Guerra A, M; Chacón S, D. 2010. Manual para el Diseño Sismorressistente de Edificios utilizando el Programa ETABS, Quito, EC, 402 p.
- Computers & Structures, Inc, 2010, Support (en línea). Consultado 10 nov.2010.
http://www.csiberkeley.com/support_technical_papers.html

- BREINS, Building Research Institute (P) Ltd, 2009, Jacketing of Structural Members, Consultado 01 ene 2011.
<http://buildingresearch.com.np/services/sr/sr3.php#jacketing>
- The Constructor, 2010, STRENGTHENING OF R.C. COLUMNS (en línea), Consultado 10 nov 2010 <http://theconstructor.org/structural-engg/strengthening-of-r-c-walls/1938/>
- The Constructor, 2010, STRENGTHENING OF R.C. COLUMNS (en línea), Consultado 10 nov 2010. <http://theconstructor.org/structural-engg/strengthening-of-r-c-beams/1930/http://theconstructor.org/structural-engg/strengthening-of-r-c-beams/1930/>
- Vector Service, 2010, VECTOR SERVICE (en línea), Consultado 05 mar 2011.
<http://www.vector-corrosion.com/systemsservices/galvanic/galvanode-das/>
- Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de Estructuras Utilizando un Diseño por Desempeño
- Verificación de las Curvas de Capacidad de Hazus para Puerto Rico
- Diseño y Detallado de Miembros y Conexiones en Edificaciones
- Diseño de Estructuras de Acero Método LRFD 2da Edición Mc Cormac
- Curso de Diseño Basado en Desplazamientos de Sistemas Tolerantes a Daño
Escuela Politécnica Nacional
- Diseño por Desempeño: Antecedentes, Conceptos Generales y Perspectivas Amador Terán Gilmore
- Innovaciones en el diseño sísmico de estructuras de acero. Por Juan Felipe Beltrán, Ph.D.1 y Ricardo Herrera M., Ph.D.2

- Diseño Sísmico por Desempeño en Colombia Mauricio Gallego1
 - Desempeño sísmico de pórticos planos de acero con el sistema knee-bracing
- 5.**