

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DISEÑO POR DESEMPEÑO DE EDIFICACIONES EN  
HORMIGÓN ARMADO CON MUROS DE CORTE  
MEDIANTE LOS CÓDIGOS FEMA, UTILIZANDO EL  
PROGRAMA ETABS.**

**PREVIA A LA OBTENCIÓN DE GRADO ACADÉMICO O  
TÍTULO DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**ELABORADO POR:**

**RONALD ALEJANDRO CUEVA JIMÉNEZ**

**DANIEL XAVIER GONZALEZ CHALCUALÁN**

**SANGOLQUÍ, 3 de Enero de 2013**

## **EXTRACTO**

El estudio comprende el diseño de elementos estructurales y análisis de resultados obtenidos por el programa ETABS mediante el método por desempeño para una distribución de muros más eficiente dentro de un conjunto de distribuciones evaluadas mediante el análisis estático.

Se estudió un modelo de edificio simétrico cuyo número de pisos es 12 y se utilizaron espesores de muros constantes de acuerdo a la práctica de estructuración ecuatoriana, se establece un proceso sistemático paso a paso de cómo realizar un estudio mediante el programa ETABS para un análisis lineal y no lineal considerando los espectros obtenidos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11 y sus respectivos criterios de aceptación.

Los resultados muestran que el análisis por desempeño reporta un comportamiento aproximado de la estructura generando articulaciones plásticas en los lugares más susceptibles a fallar, correspondiendo examinar el criterio de viga débil columna fuerte.

Se presenta tablas y valores de aceptación para muros de corte los cuales son regidos por el Código FEMA 273 y ATC-40, se obtiene el punto de desempeño para la estructura por medio del espectro de capacidad y el método de los desplazamientos respectivamente. Se concluye emitiendo comentarios acerca del uso de la técnica de Pushover, el uso de muros de corte en estructuras esenciales y las ventajas o desventajas que genera este método de análisis.

## **ABSTRACT**

This trial includes the design of structural elements and analysis of results obtained by the program ETABS using the Pushover analysis for a more efficient distribution of walls inside of distributions evaluated using static analysis.

We studied a model whose number of symmetrical building is 12 floors and wall thicknesses were used according to the constant practice of structuring Ecuadorian, establishing a systematic performs step by step how to use ETABS program for linear analysis and nonlinear analysis considering the spectra obtained by Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11 and their respective acceptance criteria.

The results show that the performance analysis reports an approximate behavior of the structure generating plastic hinges in the most susceptible to failure, examine the criterion corresponding weak beam strong.

Table presents values for acceptance column and shear walls which are covered by the Code 273 and FEMA ATC-40, one proceeds to calculate the performance point to the structure is by the capacity spectrum and the method of displacement respectively. We conclude by issuing comments about using Pushover technique, the use of shear walls in essential structures and the advantages or disadvantages of this method of analysis generates.

## **1.- Introducción.**

En esta publicación se ha realizado un estudio completo del diseño por desempeño en estructuras esenciales con muros de corte capaces de resistir sismos de diseños obtenidos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11 que se pondrá en vigencia en los próximos meses, esta metodología de análisis comprende tres fases de evaluación que son: el diseño estático lineal, el diseño estático dinámico y el diseño estático no lineal o diseño por desempeño.

Para el diseño por desempeño el Código FEMA ha establecido criterios de aceptación en estructuras, incluyendo los siguientes niveles de comportamiento: Nivel Operacional, Nivel de Ocupación Inmediata, Nivel de Seguridad de Vida y Nivel de Prevención de Colapso, frente a niveles de comportamiento sísmico los cuales pueden ser sismos muy raros, raros, frecuentes y ocasionales; el sismo que norma NEC-11 establece un sismo raro es decir tiene una probabilidad de 10% de ocurrencia en un periodo de retorno de 475 años.

## **2.- Muros de corte en estructuras esenciales**

Los muros de corte consisten en elementos verticales planos que normalmente sirven para resistir cargas laterales ya sean provocadas por acciones sísmicas o de viento, entre sus principales funciones están:

- Disminuir derivas de pisos o desplazamientos laterales.
- Proporcionar mayor rigidez a la estructura.
- Absorber un gran porcentaje de las fuerzas laterales.
- Proporcionar arriostramiento a otros elementos para impedir su pandeo lateral o torsional.

Los muros de corte según su relación de aspecto es decir altura vs longitud, estarán regidos por diseño en flexión o flexo-compresión o estarán regidos por los requisitos de cortante.

Para el diseño por desempeño se espera que los muros no generen rótulas plásticas manteniendo el criterio de ser elementos estructurales diseñados para resistir cargas sísmicas, manteniendo la operatividad de las estructuras y sirviendo de albergue en caso de catástrofes naturales.

El Código FEMA establece ciertos de aceptación en muros de corte que se presenta a continuación:

**Tabla: Parámetros de modelado y criterios de aceptación de procedimientos no lineales para elementos controlados por flexión, Sección 6.8 código FEMA.**

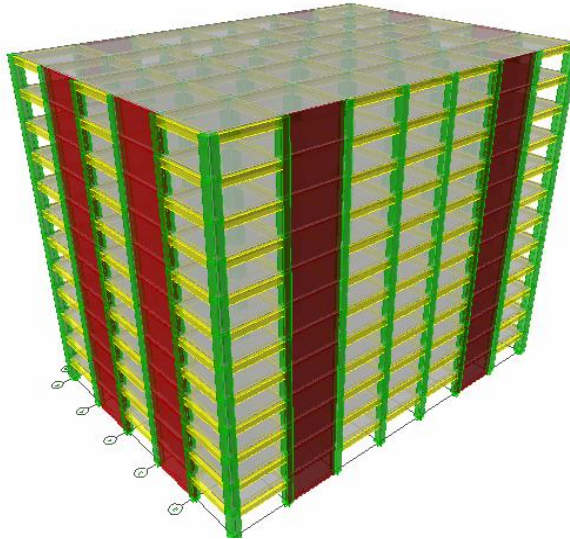
CONDICIONES			Rotación de articulación plástica (radianes)		Relación de Resistencia Residual	Rotación aceptable de la rótula plástica (radianes)						
						tipo de elemento						
								primario		secundario		
								Nivel de rendimiento				
			a	b	c	IO	LS	CP	LS	CP		
<b>i.- Muros cortantes y segmentos de muros</b>												
$\frac{(A_s - A_s')f_y + P}{t_w l_w f_c'}$	$\frac{\text{Shear}}{t_w l_w \sqrt{f_c'}}$	Confinamiento										
≤0.1	≤3	SI	0,015	0,02	0,75	0,005	0,01	0,015	0,015	0,02		
≤0.1	≥6	SI	0,01	0,015	0,4	0,004	0,008	0,01	0,01	0,015		
≥0.25	≤3	SI	0,009	0,012	0,6	0,003	0,006	0,009	0,009	0,012		
≥0.25	≥6	SI	0,005	0,01	0,3	0,001	0,003	0,005	0,005	0,01		
≤0.1	≤3	NO	0,008	0,015	0,6	0,002	0,004	0,008	0,008	0,015		
≤0.1	≥6	NO	0,006	0,01	0,3	0,002	0,004	0,006	0,006	0,01		
≥0.25	≤3	NO	0,003	0,005	0,25	0,001	0,002	0,003	0,003	0,005		
≥0.25	≥6	NO	0,002	0,004	0,2	0,001	0,001	0,002	0,002	0,004		

**Tabla: Parámetros de modelado y criterios de aceptación de procedimientos no lineales para elementos controlados por corte, Sección 6.8 código FEMA.**

CONDICIONES	Deriva (%) o acorde de Rotación (radianes)		Relación de Resistencia Residual	Deriva aceptable (%) o Rotación aceptable de acorde (radianes)					
				tipo de elemento					
				primario		secundario			
				Nivel de rendimiento					
	d	e	c	IO	LS	CP	LS	CP	
<b>i.- Muros cortantes y segmentos de muros</b>									
Todos los muros y segmentos de muro		0,75	2	0,4	0,4	0,6	0,75	0,75	1,5
<b>ii.- Muros Cortantes con vigas de Acoplamiento</b>									
Refuerzo longitudinal y transversal	$\frac{\text{Shear}}{t_w l_w \sqrt{f'_c}}$								
Refuerzo longitudinal con refuerzo transversal conformado	≤3	0,018	0,03	0,6	0,006	0,012	0,015	0,015	0,024
	≥6	0,012	0,02	0,3	0,004	0,008	0,01	0,01	0,016
Refuerzo longitudinal con refuerzo transversal no-conformado	≤3	0,012	0,025	0,4	0,006	0,008	0,01	0,01	0,02
	≥6	0,008	0,014	0,2	0,004	0,006	0,007	0,007	0,012

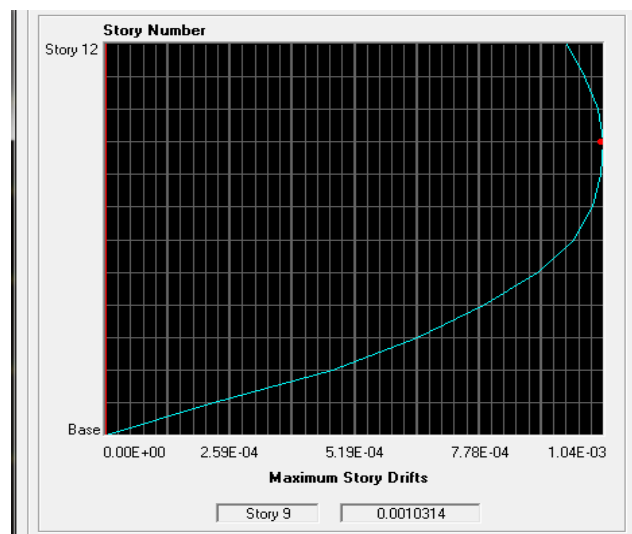
### 3.- Análisis lineal estático y lineal dinámico.

Para proceder al análisis lineal se selecciona una estructura en la cual los muros converjan su centro de masas con el centro de rigidez de la edificación, para el caso de análisis se prefirió trabajar con la distribución que mejores resultados se obtuvieron de un total de seis distribuciones de muros, el edificio analizado se lo presenta a continuación:



**Figura: Edificio analizado para análisis lineal y no lineal.**

Del análisis lineal se obtuvieron los siguientes resultados:



Modo	Periodo	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	0.60	67.48	0.00	0.00	67.48	0.00	0.00	0.00	98.38	0.00	0.00	98.38	0.00
2	0.59	0.00	67.99	0.00	67.48	67.99	0.00	98.54	0.00	0.00	98.54	98.38	0.00
3	0.40	0.00	0.00	0.00	67.48	67.99	0.00	0.00	0.00	67.20	98.54	98.38	67.20
4	0.15	19.01	0.00	0.00	86.49	67.99	0.00	0.00	1.35	0.00	98.54	99.73	67.20
5	0.14	0.00	18.57	0.00	86.49	86.56	0.00	1.19	0.00	0.00	99.73	99.73	67.20

Para el cálculo de la deriva máxima permitida NEC-11 establece la siguiente fórmula:

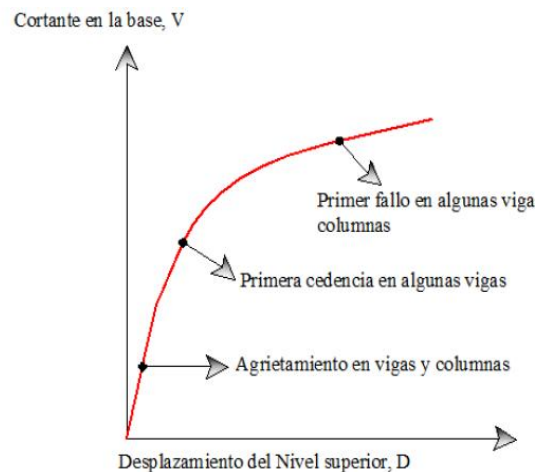
$$\Delta M = 0.75 * R * \delta i \leq 2\%$$

De los resultados mostrados se obtiene un 0.54%, valor que se encuentra dentro de los parámetros, se adquiere la masa participante de la estructura tiende a generar movimientos traslacionales factor deseable para el diseño sísmico mas no movimiento rotacionales, se verifica que no haya puntos de inflexión en la estructura y se procede al diseño de la misma, con armadura en todos sus elementos estructurales.

#### 4.- Análisis por desempeño (Pushover)

El análisis por desempeño es un proceso sucesivo de análisis estáticos incrementales, que toman en cuenta la variación de la rigidez de los elementos, se efectúa incrementando la carga lateral hasta que la estructura alcanza ciertos límites de desplazamiento o se vuelva inestable. La técnica Pushover es apropiada para:

- Obtener la curva de capacidad lateral más allá del rango elástico.
- Obtener la formación secuencial de mecanismos y fallas en los elementos.





Para este proceso es necesario como primicia conocer las dimensiones y el refuerzo de las secciones vigas, columnas y muros de corte y definir las propiedades no lineales de fuerza en las secciones.

Los principales objetivos con los que cuenta este método son:

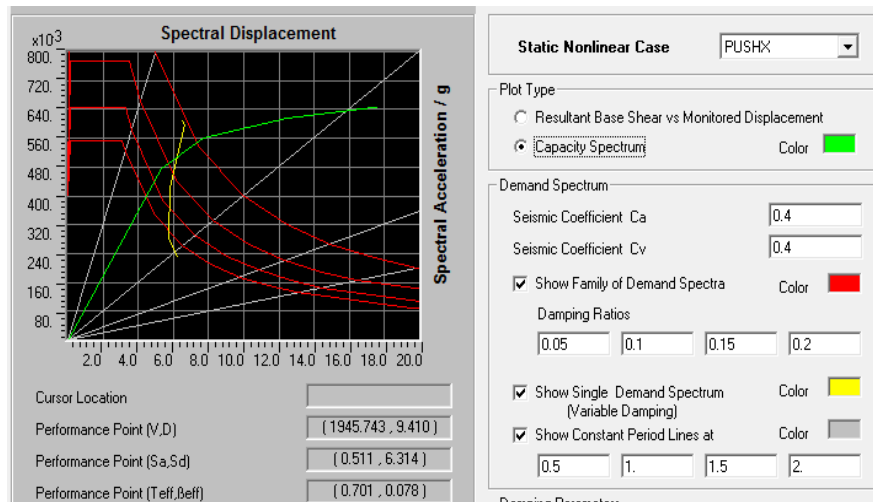
- Determinar la capacidad lateral de la estructura.
- Cuales elementos serán más susceptibles a fallar primero.
- Determinar la ductilidad de la estructura.
- Verificar el concepto de vigas débiles y columnas fuertes.
- Verificar la degradación global de la resistencia.
- Verificar los desplazamientos relativos inelásticos.
- Verificar los criterios de aceptación a nivel local de cada elemento.

Para proceder con el diseño por desempeño se estima que el máximo desplazamiento se lo obtiene por medio de la intersección entre curva de capacidad y el espectro de demanda reducido, estimando el mecanismo de falla de los elementos estructurales.

Espectro de capacidad provee una representación gráfica de la curva de capacidad, la cual se compara con el espectro de demanda sísmica.

**Punto de desempeño.-** El desplazamiento en el espectro de demanda sobre el espectro de capacidad ocurre en un punto sobre el espectro llamado punto de desempeño, representa la condición de que la capacidad sísmica de la estructura sea igual a la demanda sobre la estructura debido al movimiento del suelo.

De la estructura analizada anteriormente se obtiene el punto de desempeño como se muestra a continuación:

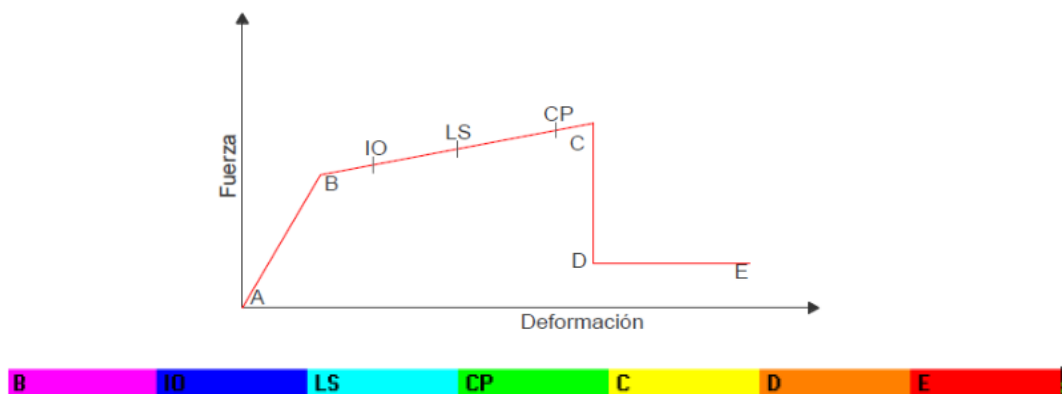


El punto de desempeño de la estructura tiene las siguientes coordenadas:

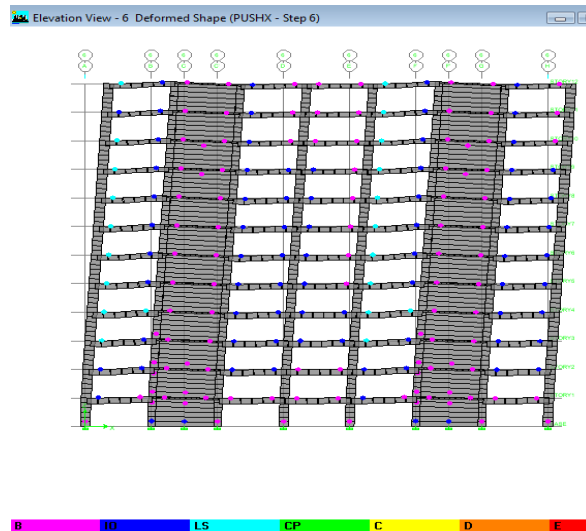
$$Sa = 0.511 \text{ m/seg}^2 \text{ y } Sd = 6.314 \text{ cm}$$

Estas coordenadas muestran el desplazamiento esperado que debe tener la estructura para conocer el Nivel de Rendimiento esperado para un sismo raro de diseño, y la aceleración que va a tener la estructura para tomar en cuenta el peligro que puede suscitarse en los elementos no estructurales y poder mantener un ritmo de operación continua en la edificación.

La evolución de formación de rótulas plásticas se almacena en la memoria de ETABS para diferentes acciones de fuerzas, mostrando el nivel de rendimiento esperado comparando los resultados con los criterios que muestra el Código FEMA.



Se muestra a continuación la secuencia de formas de rótulas en la estructura para el último paso de carga, en el cual la estructura empieza a ceder y comportarse en el rango no lineal, generándose articulaciones en elementos vigas y verificando el concepto columna fuerte viga débil, manteniéndose en un Nivel de Seguridad de Vida.



## 5.- Conclusiones.

- La incorporación de muros de corte es de gran ayuda para la estructura disminuyendo de manera significativa el periodo de vibración que en consecuencia reduce las posibilidades de la estructura de entrar en zona de amplificación dinámica.
- Aunque la predicción de la demanda sísmica del análisis Pushover encontró desplazamientos máximos de techo para patrones de carga lateral, las demandas máximas de desplazamiento inelástico fueron predichos a través del desplazamiento objetivo, por medio del espectro de capacidad en todos los pasos de deformación de la estructura para un movimiento de tierra.

- Para el edificio de 12 pisos se obtuvo un nivel de Seguridad de Vida, como se observó en las vigas se generó un daño parcial al generarse rótulas plásticas, la estructura se mantiene en funcionamiento pero deben rehabilitarse los elementos estructurales que fallaron, en cuanto a los elementos no estructurales como instalaciones sanitarias, ventanas y mampostería, sufren daños menores que no implican riesgos a la seguridad de los ocupantes.
- FEMA proporciona ciertas recomendaciones en las cuales la estructura debe ser analizada principalmente en relaciones de demanda/capacidad los cuales deberían ser comparados y analizados por el ingeniero calculista.
- El Análisis No Lineal Estático Pushover, sirve para ver la magnitud del daño, mediante el monitoreo de la deformación de desempeño (giro o desplazamiento) de los elementos y poder calificarlos como daños aceptables o no aceptables, mediante los límites de otorgados por las tablas del código FEMA.

## **6.- Recomendaciones.**

- Recomendar que el análisis Pushover no genere el diseño de una estructura, las edificaciones deberán ser diseñadas empleando procedimientos predeterminados para posterior a esto obtener soluciones a elementos estructurales que se comporten de manera inadecuada en el análisis no lineal.
- Por otro lado, es difícil para los ocupantes (consumidor) entender el desempeño de una edificación, lo que trae consigo la confusión en cuanto a la perspectiva de daño ante un evento sísmico.
- El diseño por desempeño de una edificación no es empleado para tomar decisiones, como se observa en nuestro medio el balance entre costos,

ganancias y desempeño son las principales causas que rigen un proceso constructivo en una edificación.