

DESEMPEÑO SISMICO DE NUEVO CENTRO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y DE POST GRADO DE LA UNIVERSIDAD DE FUERZAS ARMADAS ESPE, SIN AISLADORES

Seismic performance of the New Research and Postgraduate Center at Universidad de Fuerzas Armadas - ESPE, without isolation systems

ROBERTO AGUIAR⁽¹⁾, MARCELO MARCIAL⁽²⁾, PABLO CAIZA⁽¹⁾

⁽¹⁾Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción
Universidad de las Fuerzas Armadas. ESPE
Av. Gral. Rumiñahui, Sangolquí - Ecuador
raguiar@espe.edu.ec

⁽²⁾Consultor Estructural

RESUMEN

Una de las formas más eficientes de verificar la bondad de un cálculo estructural, es mediante el Método del Espectro de Capacidad, MEC, ya que en un solo gráfico se coloca la demanda sísmica expresada mediante un espectro y el espectro de capacidad. Con el MEC se determina el punto de demanda y en base a su ubicación se puede inferir a simple vista que tan lejos se halla ese punto del fallo de la estructura o que tan lejos se encuentra del rango elástico.

El nuevo Centro de Investigaciones Científicas y de Post Grado de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, fue diseñado inicialmente en la forma tradicional, sin aisladores sísmicos o disipadores de energía. Interesa por tanto conocer el desempeño que va a tener cada uno de los bloques estructurales ante el espectro de diseño contemplado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-2015 evaluado en el sitio del Proyecto. Este desempeño se lo realizó mediante el Método del Espectro de Capacidad, encontrando que fue muy bien diseñado ya que el punto de desempeño está bastante distante del punto de fallo por un lado y las derivas de piso son menores al 2%.

Palabras claves.- Pushover: monotónico, multimodal y cíclico. Método del Espectro de Capacidad. Conexión con capacidad a momento.

ABSTRACT

One of the most efficient ways to verify the suitability of a structural analysis is to use the capacity spectrum method CSM, since it expresses just in one graph the seismic demand and capacity of the structure. The CSM calculates the demand point on the capacity curve and, just at observing its position, it can be estimated how far it is from collapse or from the elastic range of structural behavior.

The new Research and Postgrade Center at Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, was designed initially in a traditional way, without seismic isolation or energy dissipating systems. Then, it was important to know the performance of each structural block under the design spectra used at Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-2015, for the soil conditions at the building site. This structural performance was checked using the CSM, and it was found that the buildings are well designed, since the performance point is relatively far away from the collapse point and, on the other hand, the story drifts are less than 2%.

Key words: pushover: monotonic, multimodal and cyclic. Capacity Spectrum Method. Joint with flexural capacity.

1. INTRODUCCIÓN

La gran importancia que tiene la investigación científica y los estudios de post grado en la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, motivaron a las autoridades de la institución, dirigidos por el Gral. Roque Moreira, Rector de la Universidad, a planificar la construcción de 23338 metros cuadrados, en 8 bloques estructurales, como se ilustra en la figura 1 y en la 2 se presenta una panorámica de lo que será esta obra, que es construida por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército. (Álvarez, 2015)

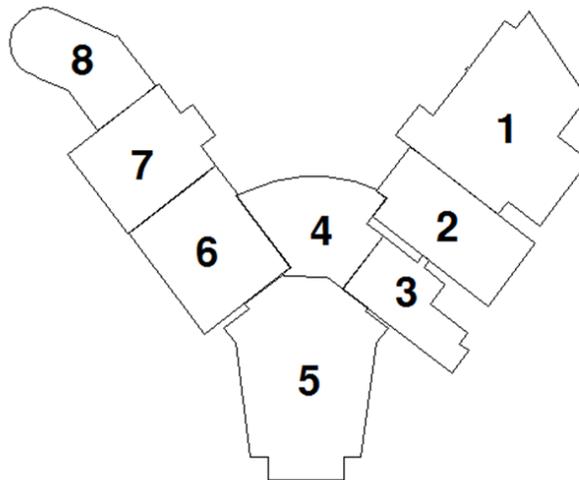


Figura 1 Bloques estructurales del nuevo Centro de Investigaciones y de Post Grado, sin aisladores sísmicos.

En el bloque estructural 1, funcionará los laboratorios y centros de investigación de los Departamentos de Ciencia de la Tierra y la Construcción, y de Mecánica. El bloque 2 está destinado para Ciencias de la Vida; en el bloque 3 es para Nanotecnología; el 4 es un bloque central de circulación; el bloque 5 es el nuevo Auditorio. El bloque estructural 6 está destinado a las investigaciones de Electrónica; en el bloque 7 funcionarán los Post grados de la institución y finalmente el 8 es un bloque administrativo que da a la Avenida interna de la Universidad en la intersección con la vía de acceso por el paseo escénico.

La obra se complementa con el área destinada a parqueaderos, obras exteriores e infraestructura general.



Figura 2 Vista panorámica del nuevo Centro de Investigaciones y Post Grados de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE. Fuente: Álvarez (2015)

2. METODOLOGÍA

Existen varias formas de evaluar la bondad de un cálculo estructural, una de ellas es mediante la Técnica del Pushover y determinar la curva de capacidad sísmica resistente que relaciona el desplazamiento lateral máximo D_t con el cortante basal V , como se aprecia en la figura 3, con línea continua; en líneas entrecortadas se indica el modelo bilineal de la curva de capacidad. Existen varios criterios para encontrar el punto de fluencia efectivo, que define el rango elástico, sin daño y el rango inelástico con daño. (Aguar 2002, 2003).

En la parte inferior de la figura 3, se ha indicado los niveles de desempeño, denominados: **Ocupacional** (sin daño); **Funcional** (con daño ligero en elementos estructurales y considerable en los elementos no estructurales); **Resguardo de Vida** (gran daño en los elementos no estructurales y un daño considerable en los estructurales; la estructura en este rango es reparable después de un sismo severo); **Cerca al Colapso** (gran daño estructural, muy probablemente la construcción luego del mega sismo tenga que ser derrocada debido a que el costo de reparación es muy alto pero la estructura no colapsó durante el sismo y se logró salvar vidas); **Colapso** (la palabra lo indica todo).

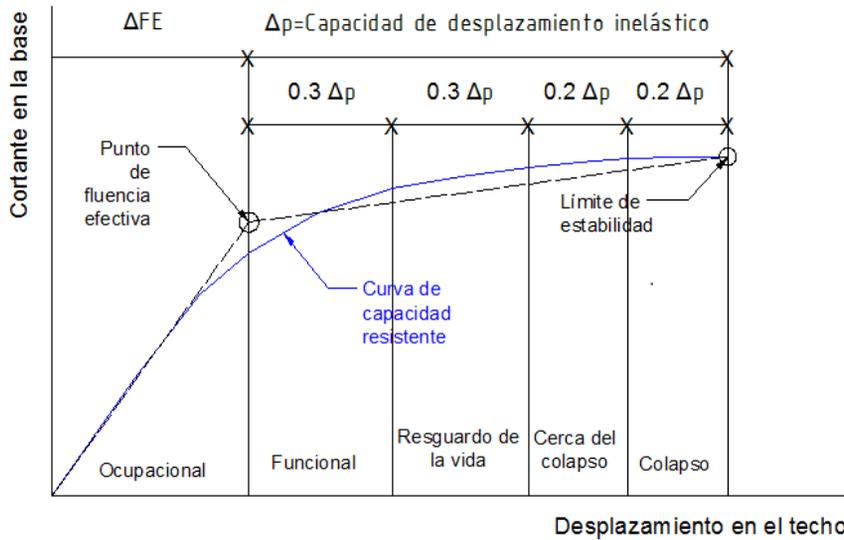


Figura 3 Curva de capacidad sísmica resistente de una estructura y modelo bilineal. Fuente: Borda y Pastor, (2007)

2.1 Pushover

Cuando se realiza un pushover se limita el límite de estabilidad, indicado en la figura 3, a un porcentaje de la altura total del edificio, mediante la deriva global γ_g que relaciona el desplazamiento lateral máximo con la altura total del edificio. Un rango de valores apropiados de γ_g , para que no llegue al colapso está entre 2 y 3% de la altura total del edificio, de esta manera se garantiza que el fallo no está asociado al colapso, sino que la estructura todavía puede permanecer de pie, salvando las vidas de sus ocupantes. (Aguiar *et al.* 2015,1; Díaz *et al.* 2015).

El autor de la figura 3, ha definido en base a la capacidad de desplazamiento inelástico Δ_p , los rangos de desempeño pero esto se lo debe tomar como referencial, con un carácter didáctico para definir los niveles de desempeño. Un criterio más aceptado es definir estos rangos en base a la deriva de piso. (Barbat *et al.* 2015, Vielma y Cando 2015).

Básicamente se tienen tres formas de cálculo, para hallar la curva de capacidad sísmica resistente y se las identifica como: Pushover Monotónico; Pushover Multimodal y Pushover Cíclico. En el primero de ellos las cargas laterales se aplican en una sola dirección y se trabaja con el primero modo de vibración. (Aguiar *et al.* 2015, 1,2; Mora y Aguiar 2015,1).

$$F_i = \frac{w_i \phi_i}{\sum w_i \phi_i} \Delta V_0 \quad (1)$$

Donde F_i es la fuerza aplicada en el piso i ; w_i es el peso del piso i ; ϕ_i es el valor del primer modo de vibración en el piso i ; ΔV_0 es el incremento de cortante que se considera en el análisis.

En el pushover multimodal las fuerzas no se aplican exclusivamente en el primer modo, sino en todos los modos de la estructura de tal manera que existirán fuerzas laterales en un solo sentido, para el primer modo y en los dos sentidos para los restantes modos. Chopra y Goel (2001, 2002); Mora y Aguiar (2015,2).

$$F i_n = \frac{\text{diag}(M)_i * \phi_n^i}{\sum_{i=1}^n \text{pisos} (\text{diag}(M)_i * \phi_n^i)} * \Gamma_n * \Delta I \quad (2)$$

$$\Gamma_n = \frac{\phi^{(n)t} \mathbf{M} \mathbf{b}}{\phi^{(n)t} \mathbf{M} \phi^{(n)}} \quad (3)$$

Donde: $F i_n$ es la fuerza lateral en el piso i , en el modo n ; $\text{diag}(M)_i$ es el valor de la diagonal de la matriz de masas que se halla en la fila i ; Γ_n es el factor de participación del modo n , con su signo; ϕ_n^i es el valor del modo de vibración n de la fila i ; ΔV_0 es el incremento de cortante; \mathbf{M} es la matriz de masas; \mathbf{b} es el vector de incidencia de las coordenadas principales con respecto al movimiento del suelo. En cada ciclo de carga se halla la respuesta en los diferentes modos de vibración y se aplica el criterio de combinación modal CQC (combinación cuadrática completa) para hallar la resultante. Chopra (2001).

En el pushover cíclico las cargas se aplican en los dos sentidos en forma creciente; se carga a la estructura en un sentido, se descarga y se vuelve a cargar en el otro sentido. Pero también se puede utilizar la teoría y programas del pushover cíclico para el caso en que las cargas se apliquen en forma monotónica en un solo sentido.

En los siguientes apartados se presentará los bloques estructurales que conforman el nuevo Centro de Investigaciones Científicas y de Post Grados, de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, pero únicamente para ilustrar las curvas de capacidad sísmica que se halla con los 3 métodos de cálculo de la capacidad sísmica resistente, en la figura 4 se presenta la geometría del pórtico 10, del bloque estructural 2. Las columnas y vigas son de acero A 572; todas las columnas son tubulares cuadradas de 400/400/25 mm.; en cambio que las vigas son tipo "I" de 550/300/25/12 mm.

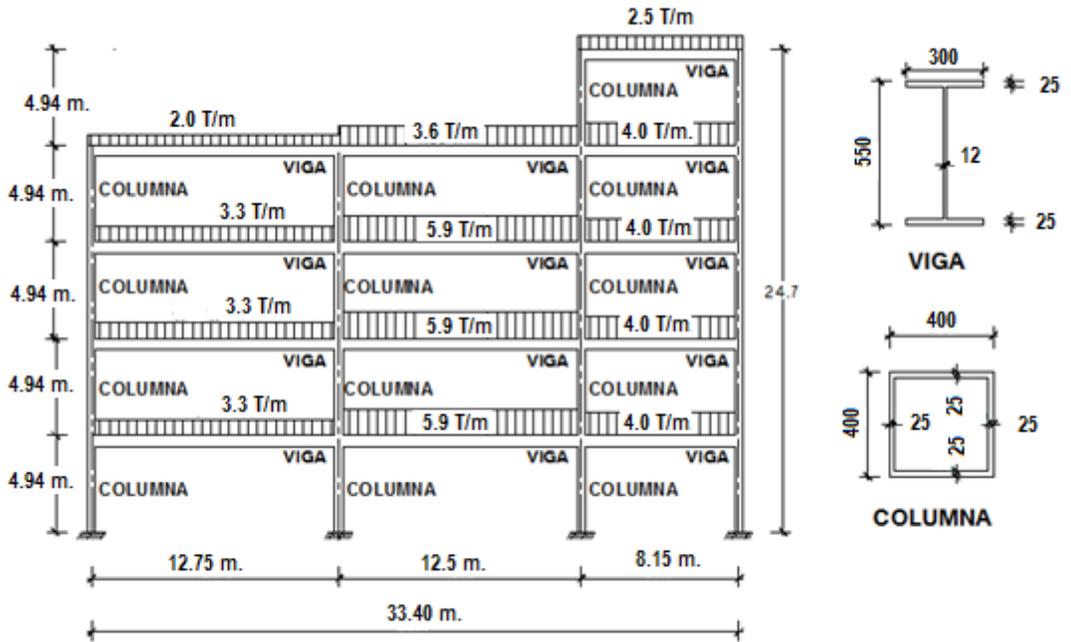


Figura 4 Geometría del Pórtico 10 del bloque estructural 2.

Los incrementos de cortante ΔV_0 se aplicaron en forma monótonica lineal como se indica en la figura 5. En el eje de las X, se tiene el ciclo de carga y en el eje de las Y, el valor del incremento de cortante.

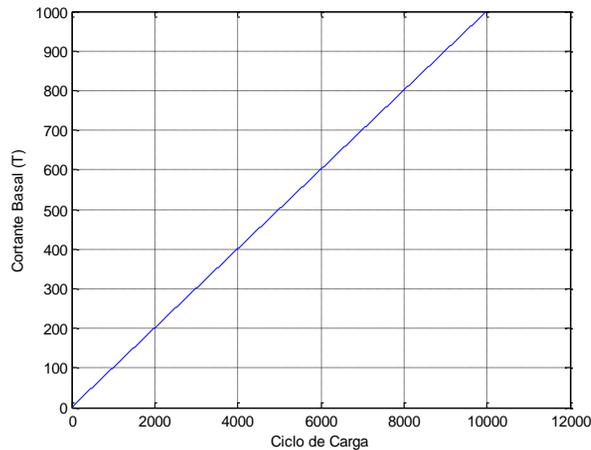


Figura 5 Variación de los incrementos de cortante en cada ciclo de carga.

Las curvas de capacidad sísmica resistente, encontradas con los métodos: monótonico, multimodal y cíclico se indican en la figura 6. Se aprecia que la curva hallada con el pushover monótonico es muy parecida a la respuesta del primer modo del pushover cíclico. Por otra parte, la curva de capacidad con el pushover

multimodal (resultante pushover) es muy parecida a la encontrada con el pushover cíclico.

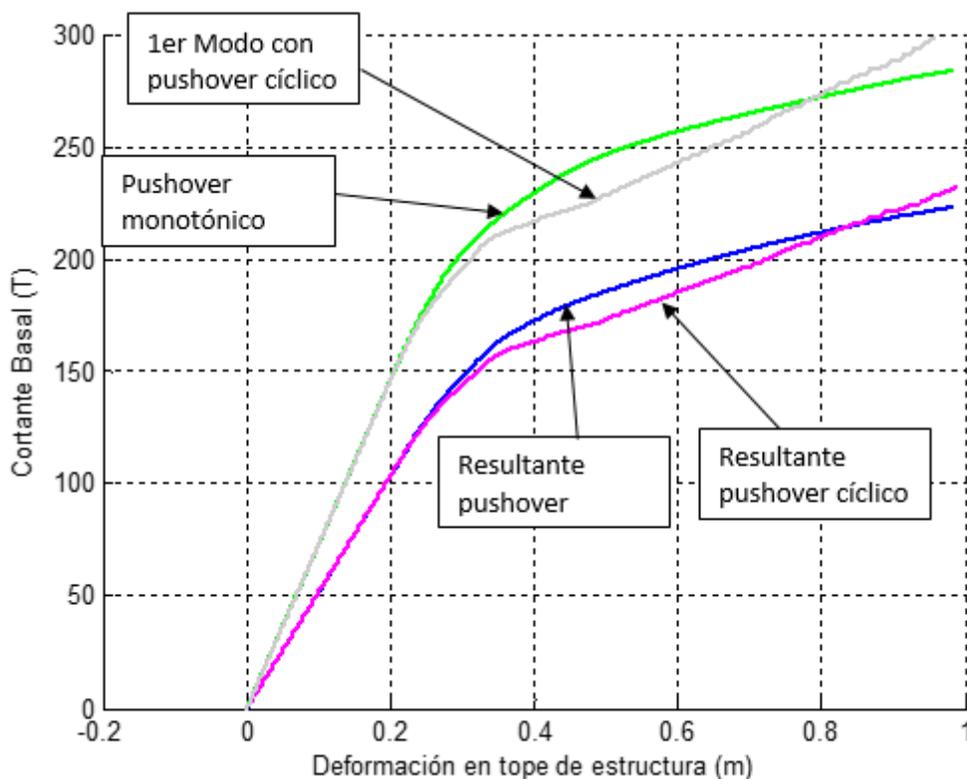


Figura 6 Curva de capacidad sísmica resistente hallada con tres métodos.

Lo importante es destacar que la curva de capacidad sísmica resistente, depende del modelo de análisis. En la evaluación del desempeño de los bloques del nuevo centro de investigaciones se trabajó con un pushover monotónico.

2.2 Método del Espectro de Capacidad

El Método del Espectro de Capacidad, permite visualizar el probable desempeño que tendrá una estructura ante un sismo dado, debido a que en un solo gráfico se coloca el espectro de demanda sísmica y el espectro de capacidad de la estructura. Al estar los dos espectros sin ningún cálculo se tiene una idea del probable desempeño. Freeman (1978).

Los dos espectros de demanda y capacidad se colocan en el formato: desplazamiento-aceleración. De tal manera que la curva de capacidad sísmica resistente, se pasa al espectro de capacidad mediante las siguientes ecuaciones.

$$S_{ai} = \frac{V_i}{\alpha_1 M_T} \quad (4)$$

$$S_{di} = \frac{D_{ti}}{\Gamma_1} \quad (5)$$

Donde D_{ti}, V_i son las coordenadas de un punto de la curva de capacidad sísmica resistente para los cuales se determina el desplazamiento y aceleración espectral S_{di}, S_{ai} ; M_T es la masa total de la estructura; α_1 es el coeficiente de masa modal del primer modo; Γ_1 es el factor de participación del primer modo.

El concepto de espectro está asociado a un sistema de un grado de libertad. Esto es muy importante tener en cuenta para cuando se aplique el Método del Espectro de Capacidad y se encuentre el Punto de Demanda, ver figura 7. El espectro de demanda superior es para un 5% de amortiguamiento, este se va reduciendo por ductilidad hasta igualar la demanda de ductilidad de la estructura con la demanda de ductilidad con lo que se halla el espectro reducido; el cálculo se hace en forma iterativa. Aguiar *et al.* (2015).

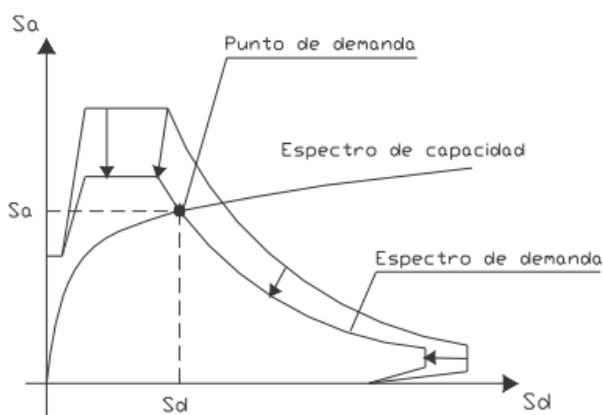


Figura 7 Descripción del Método del Espectro de Capacidad.

Una vez que se tiene el punto de desempeño (sistema de un grado de libertad) se pasa a tener el desplazamiento en el tope del edificio (múltiples grados de libertad) utilizando la propuesta de Algan (1982) y en base a la forma del primer modo en el punto de demanda se encuentran los desplazamientos en cada uno de los pisos. En Aguiar *et al.* (2015,1) se encuentra detallado el procedimiento descrito.

Se consideró el sismo propuesto por la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-2015, que tiene un período de retorno de 475 años.

3. EVALUACION DE RESULTADOS

En la figura 1 se presentan los 6 bloques estructurales que conforman el nuevo Centro de Investigaciones Científicas de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE. En este artículo se presenta el punto de demanda y las derivas

máximas de piso halladas en todos los bloques estructurales, menos en el 5, que corresponde al Auditorio.

En la tabla 1 se presenta el diagrama momento curvatura, al inicio del análisis, ya que en las columnas este va cambiando en función de la carga axial. Se consideró un modelo constitutivo bilineal para definir el comportamiento no lineal de los elementos. Se destaca que todas las secciones indicadas en la tabla 1 son las que se utilizan en todos los bloques estructurales analizados.

Tabla 1 Puntos notables del diagrama momento curvatura de los elementos de acero

Elemento	ϕ_y $\left(\frac{rad}{m}\right)$	M_y (Tm)	ϕ_u $\left(\frac{rad}{m}\right)$	M_u (Tm)	EA (T)
Viga 550/300/25/12.5	0.0068	164.78	0.0406	205.98	453600
Columna 400/400/25 mm	0.0082	151.69	0.0491	189.61	840000
Columna 300/300/20 mm	0.0131	80.71	0.0784	100.88	380100

3.1 Bloque Estructural 1

En la parte superior de la figura 8 se presenta una vista en 3 D, del bloque estructural 1, a la izquierda; a la derecha se tiene una vista en planta y ahí se señala el pórtico "E" que va a ser analizado. En la parte inferior se presenta una vista en elevación del pórtico.

Ahora, a la izquierda de la figura 9 se muestra el cálculo del punto de demanda, utilizando el método del espectro de capacidad y a la derecha se tienen las derivas de piso. Se aprecia que la máxima deriva de piso encontrada es menor al 1%, cantidad aceptable. Todo el análisis se realizó utilizando la librería de programas del sistema de computación **CEINCI-LAB**.

Se destaca que todas las columnas son tubulares de acero de 400/400/25 mm., rellenas de hormigón, pero en el análisis realizado en este pórtico y en los restantes que se presentan, no se consideró el hormigón que se encuentra dentro del acero; de tal manera que los desplazamientos y derivas de piso serán menores a los presentados.

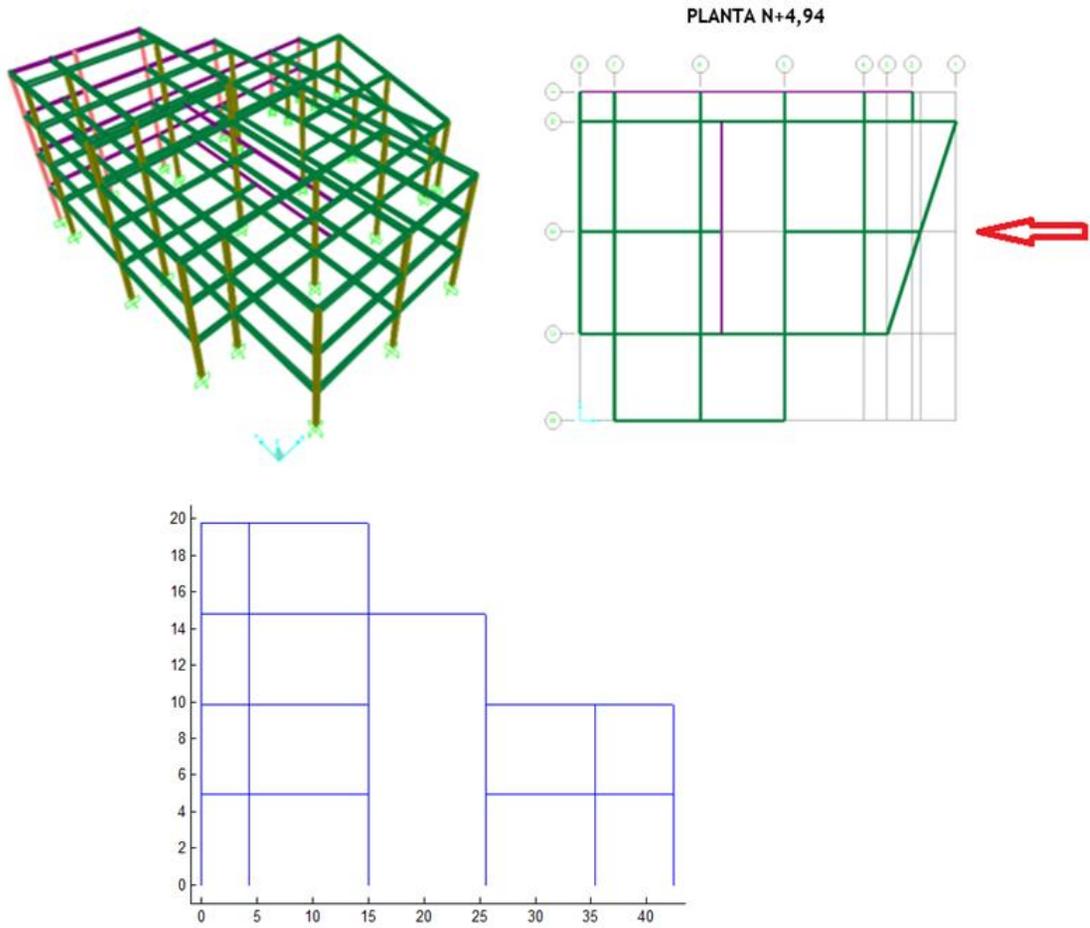


Figura 8 Bloque estructural 1 y pórtico de análisis (Eje E)

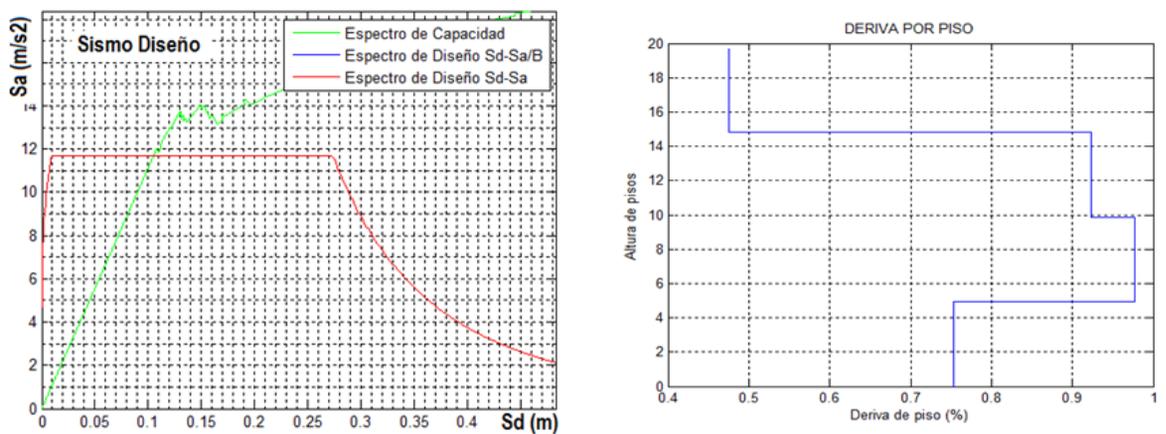


Figura 9 Punto de Demanda y derivas de piso ante espectro del NEC-15, en Pórtico "E" de Bloque Estructural 1

3.2 Bloque Estructural 2

Para el bloque estructural 2, se seleccionó el Pórtico “10”, que se muestra en la figura 10, tanto en planta como en elevación; la estructura es irregular en elevación.

El punto de demanda se presenta en la gráfica de la izquierda de la figura 11, vale la pena explicar un poco esta figura; en la parte superior se tiene el **Espectro de Diseño** $S_d - S_a$, que reporta el NEC-15 para un período de retorno de 475 años en el sitio del proyecto; este espectro es para 5% de amortiguamiento; el mismo que se reduce por un factor B que es función del amortiguamiento y este a su vez es función de la ductilidad. Al espectro reducido con el cual se encuentra el punto de demanda se denomina **Espectro de Diseño** $S_d - S_a/B$; el punto de cruce de este espectro con el espectro de capacidad reporta el punto de demanda.

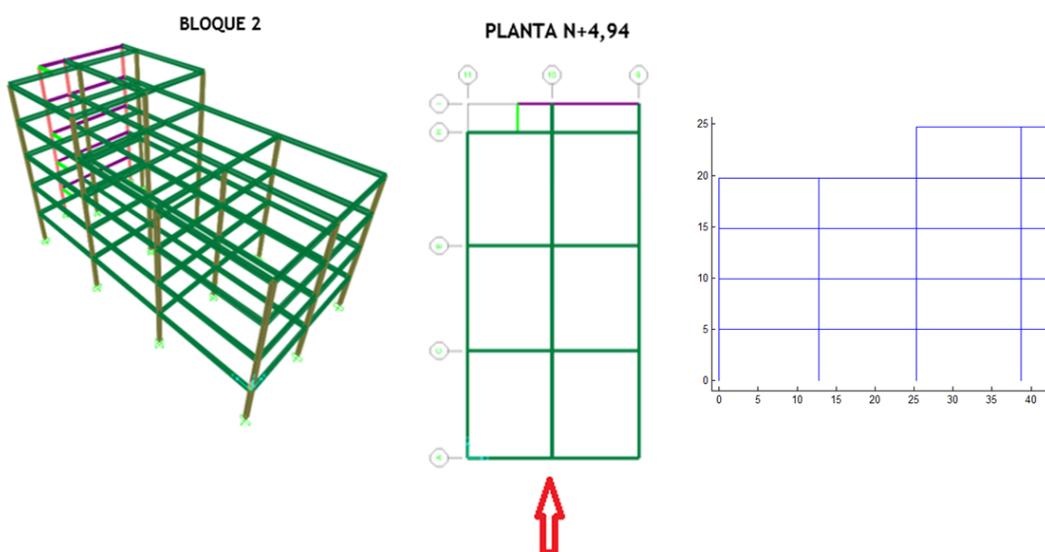


Figura 10 Bloque Estructural 2 y Pórtico de análisis “10”

En la figura 11 se aprecia que el punto de demanda se encuentra bastante distante del punto de fallo de la estructura, de tal manera que la incursión en el rango no lineal de este marco de acero es relativamente pequeña. Luego tiene un comportamiento satisfactorio. A la derecha de la figura 11 se indican las derivas de piso, se observa que la mayor deriva de piso es menor al 2%, que es adecuado de acuerdo al NEC-15.

En el bloque estructural 1, el desempeño es mejor que el del bloque 2 ya que la incursión en el rango no lineal es más pequeña.

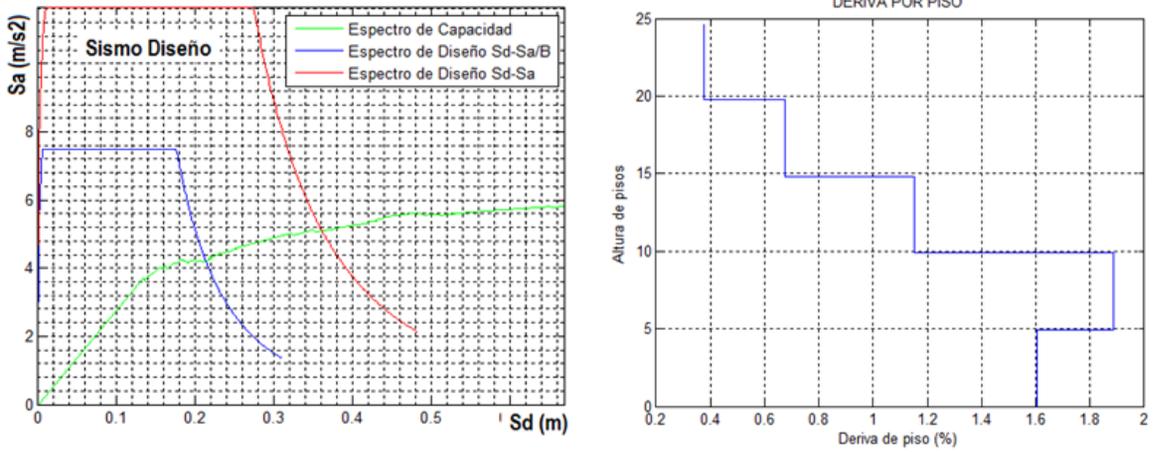


Figura 11 Punto de Demanda y derivas de piso ante espectro del NEC-15, en Pórtico “10” de Bloque Estructural 2.

3.3 Bloque Estructural 3

Para el Bloque Estructural 3 se seleccionó el pórtico “13”, el mismo que se indica en la figura 12. Se resalta que la altura de todos los pisos y de todos los bloques estructurales es igual a 4.94 m. De igual manera las vigas son las misas y es el perfil tipo “I” de 550/300/25/12.5 mm. En la mayor parte de los pórticos las columnas son de 400/400/25 mm.

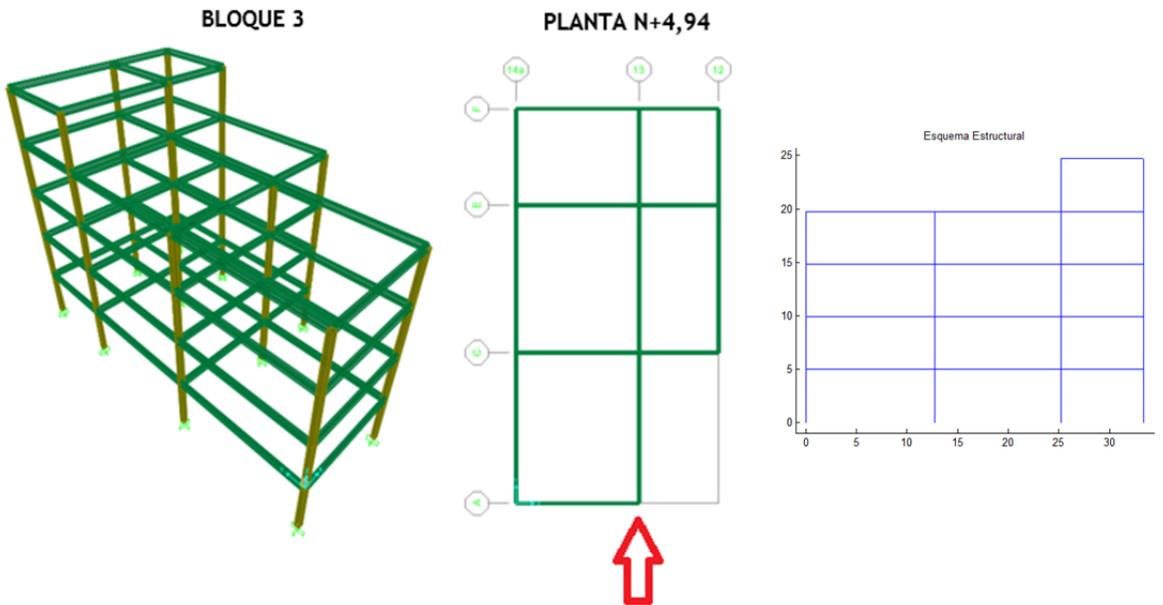


Figura 12 Bloque estructural 3 y Pórtico de análisis “13” de Bloque Estructural 3.

En la figura 13 se aprecia, a la izquierda el punto de desempeño y a la derecha las derivas de vista; la mayor deriva es menor a 1.7%, cumple con lo recomendado por el NEC-15 pero es un valor alto.

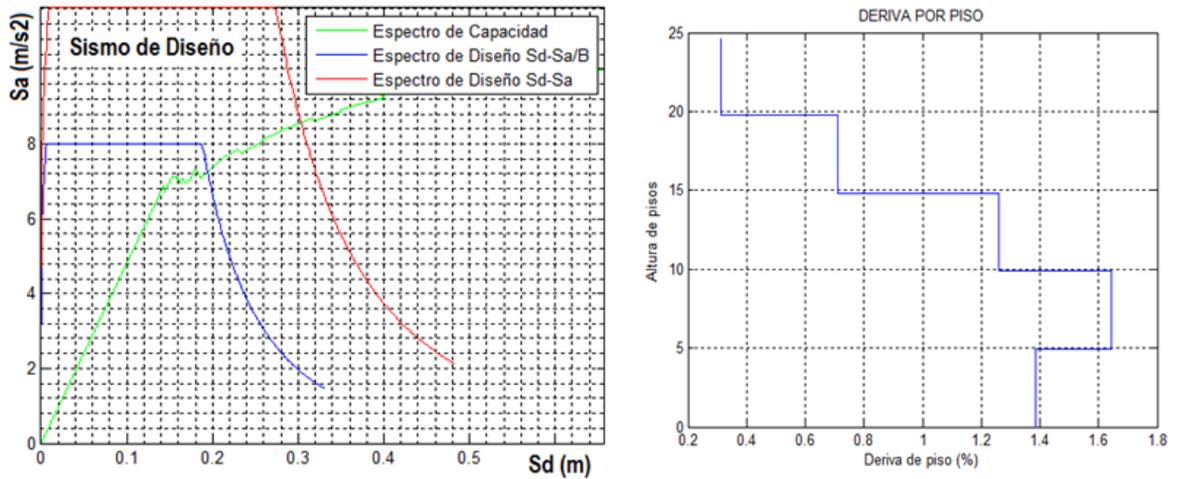


Figura 13 Punto de Demanda y derivas de piso ante espectro del NEC-15, en Pórtico "13" de Bloque Estructural 3

3.4 Bloque Estructural 4

El bloque estructural 4 es de circulación, figura 14, tiene una gran abertura en el centro, y se ha seleccionado el Pórtico "17" para el análisis sísmico con el Método del Espectro de Capacidad. Los resultados de este pórtico se indican en la figura 15, se aprecia que la deriva máxima de piso es menor al 1.1%. De tal manera que tiene un comportamiento muy satisfactorio

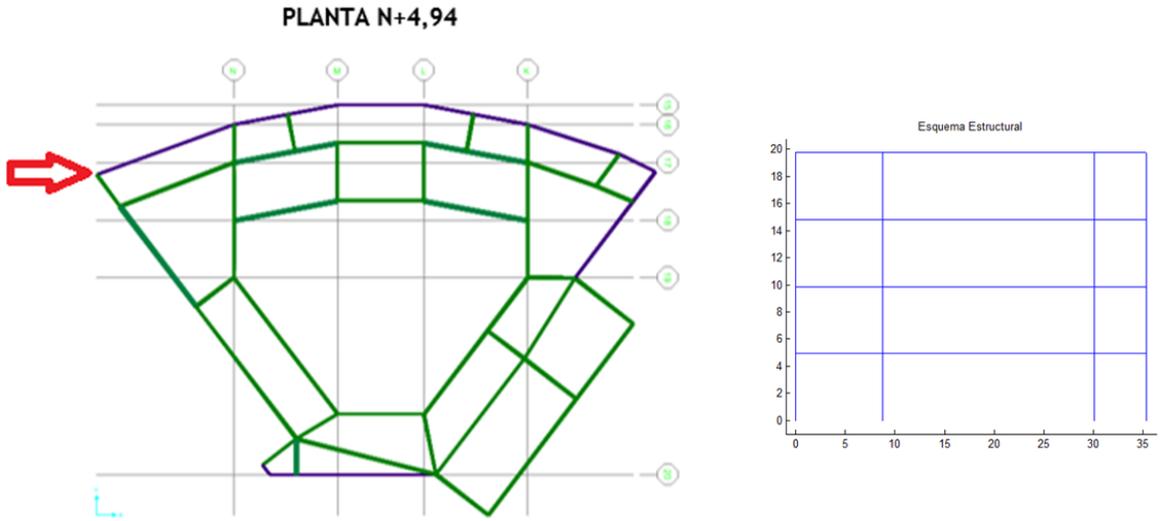


Figura 14 Bloque Estructural 4 de circulación y Pórtico “17”

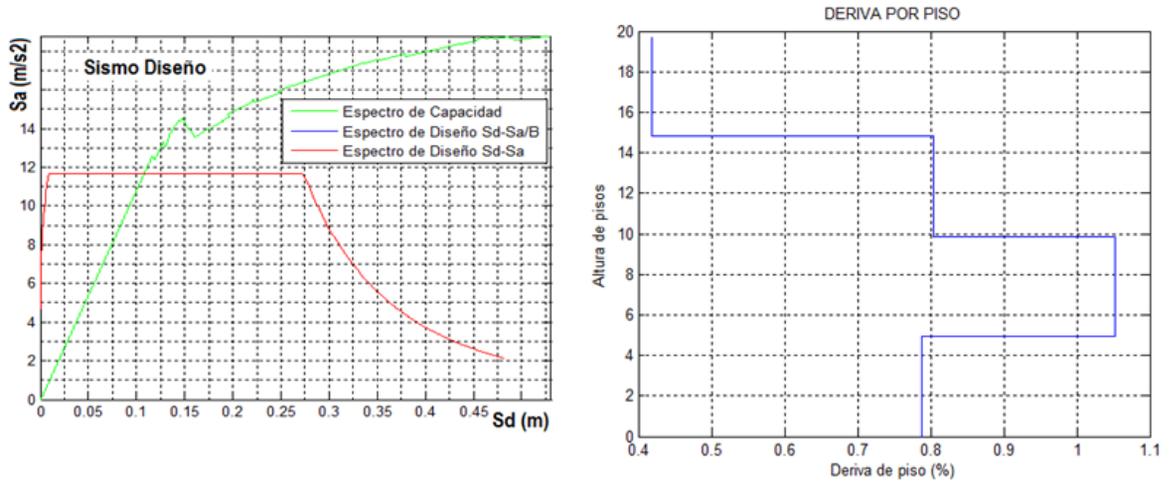


Figura 15 Punto de Demanda y derivas de piso ante espectro del NEC-15, en Pórtico “17” de Bloque Estructural 4

3.5 Bloque Estructural 6

En la figura 16 se presenta, a la izquierda el Bloque estructural 6, que tiene 6 pisos, al centro una vista en planta, en la primera losa N +4.94 y a la

derecha una vista en elevación del Pórtico 33 que se ha seleccionado para el estudio.

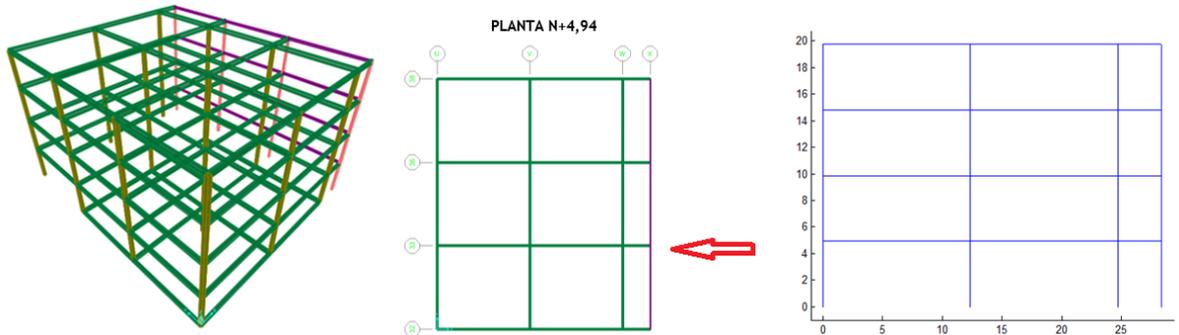


Figura 16 Bloque Estructural 6 y Pórtico "33"

El punto de desempeño del pórtico "33" ante el espectro del NEC-15 se presenta a la izquierda de la figura 17, se aprecia una incursión en el rango no lineal pero todavía está bastante lejos del punto de fallo. A la derecha de esta figura se indica las derivas de piso y se aprecia que la mayor supera el valor de 2.4%. De tal manera que no cumple con la deriva máxima del NEC-15, sin embargo se considera satisfactorio ya que en el análisis no se consideró el hormigón que tiene dentro los perfiles tubulares de las columnas.

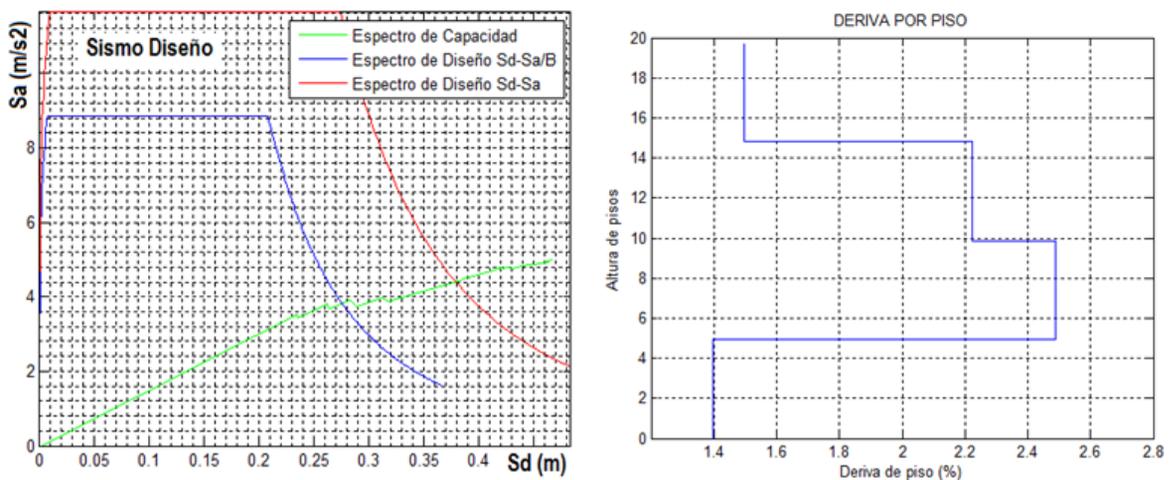


Figura 17 Punto de Demanda y derivas de piso ante espectro del NEC-15, en Pórtico "33" de Bloque Estructural 6

3.6 Bloque Estructural 7

En la figura 18 se aprecia que el bloque estructural 7 tiene 3 pisos, y se ha seleccionado al pórtico "V" para encontrar el punto de demanda, a la derecha de esta figura se muestra el pórtico en elevación.

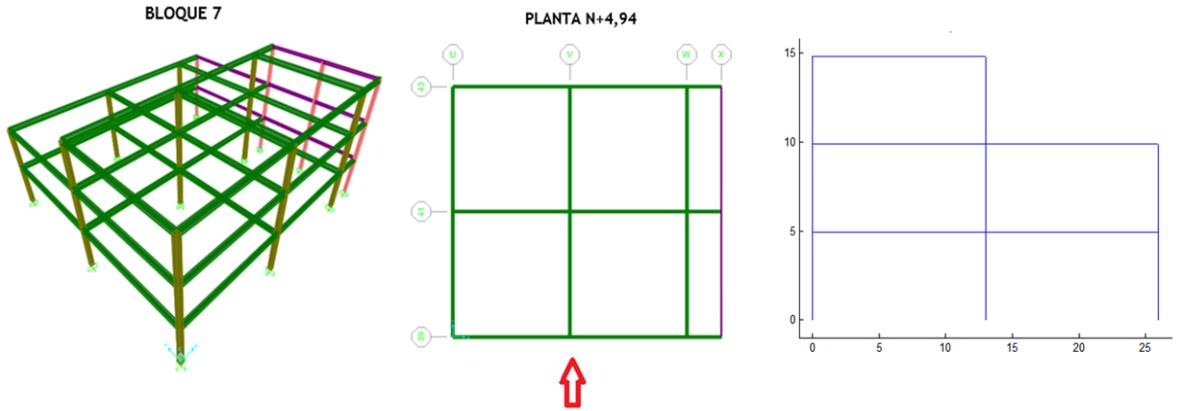


Figura 18 Bloque Estructural 7 y Pórtico "V"

El punto de demanda se indica a la izquierda de la figura 19 y a la derecha se presenta las derivas de piso. El máximo valor es del 2% que se encuentra dentro del valor límite permitido por el NEC-15.

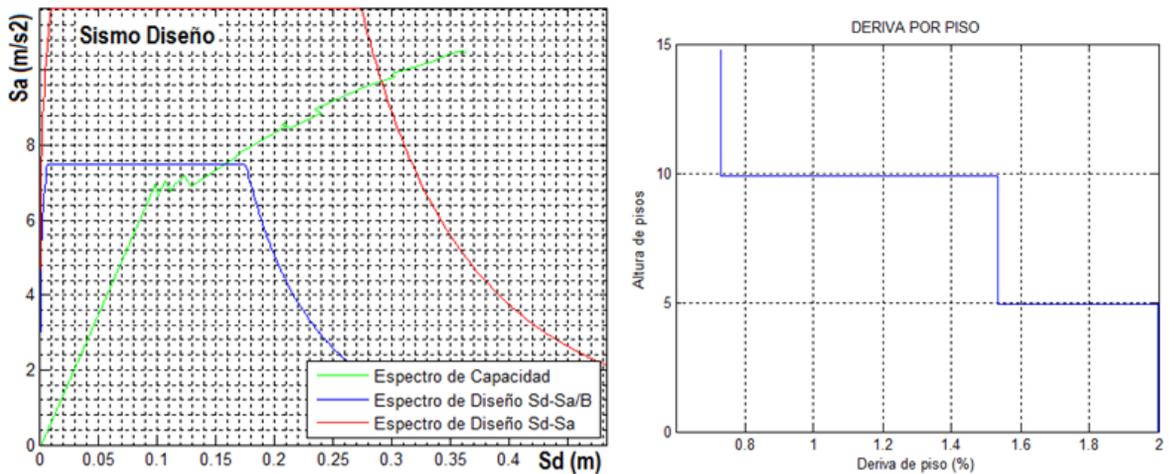


Figura 19 Punto de Demanda y derivas de piso ante espectro del NEC-15, en Pórtico "V" de Bloque Estructural 7

3.7 Bloque Estructural 8

El bloque estructural 8 es de dos pisos, irregular en planta y se presenta en la figura 20, a la derecha se indica el pórtico seleccionado para encontrar el desempeño sísmico ante el espectro estipulado en el NEC-15.

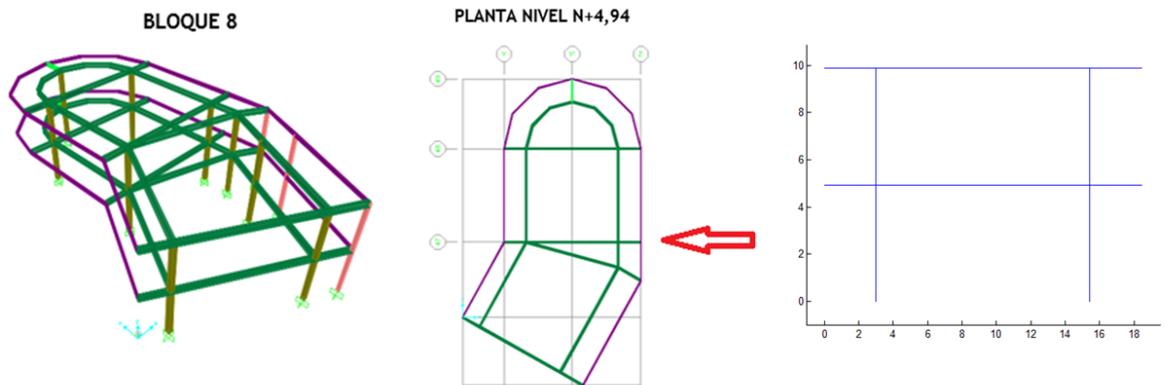


Figura 20 Bloque Estructural 8 y Pórtico "47"

A la izquierda de la figura 21 se indica el punto de desempeño hallado con el Método del Espectro de Capacidad y a la derecha las derivas de piso encontradas, se aprecia que la mayor deriva es mayor a 1.2 %, que es un valor relativamente bajo,

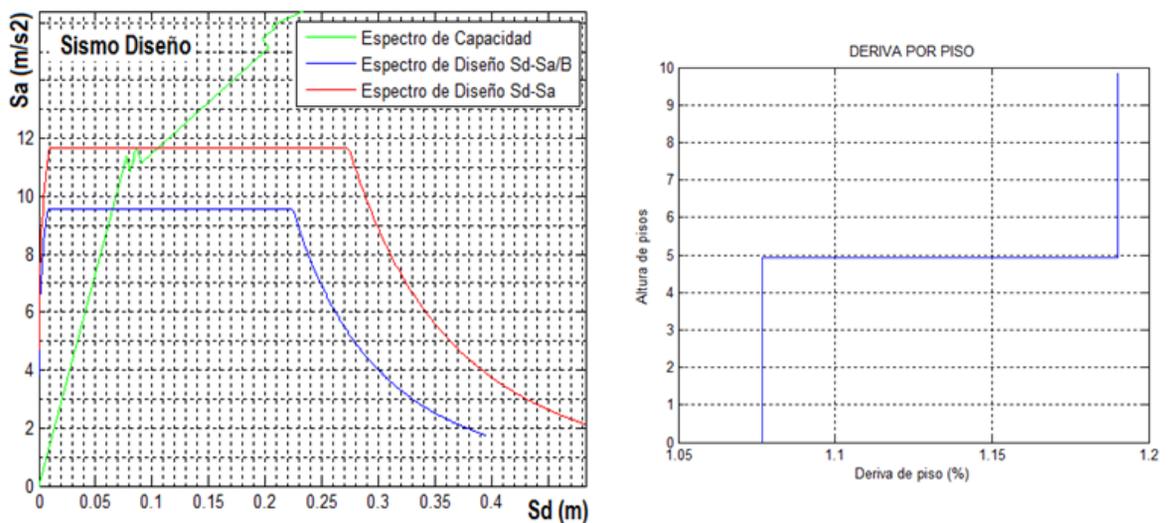


Figura 21 Punto de Demanda y derivas de piso ante espectro del NEC-15, en Pórtico "47" de Bloque Estructural 8

3.8 Resumen de derivas de piso encontradas

En la tabla 1, se hace un acopio de las derivas de piso encontradas, en los bloques estructurales analizados y se observa que la única deriva que sobrepasa el 2% se tiene en el pórtico 33 del bloque estructural 6. Para los restantes casos la deriva de piso ante el espectro de diseño del NEC-15 es menor al 2%.

Tabla 1 Derivas de piso encontradas ante el espectro del NEC-15

Bloque Estructural	Pórtico	Deriva de Piso
1	E	< 1 %
2	10	< 1.9 %
3	13	< 1.7 %
4	17	< 1.1 %
6	33	< 2.5 %
7	V	2 %
8	47	< 1.2 %

5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Se ha verificado el desempeño sísmico de 7 de los 8 bloques estructurales de acero, mediante el Método del Espectro de Capacidad, del nuevo Centro de Investigaciones y de Post Grados de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, encontrando que las derivas de piso son satisfactorias de acuerdo a lo estipulado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15. **De tal forma que el cálculo inicial realizado está bien ejecutado.**

Ahora, acorde con la función que va a tener este nuevo Centro de Investigaciones y para limitar mucho más las derivas de piso, para garantizar los contenidos (equipos de laboratorio y de computación) se colocarán aisladores sísmicos; eso conlleva a separar más las juntas para que los aisladores tengan libertad de movimiento, este incremento de las juntas conlleva a una reducción de las luces y por ende a un rediseño arquitectónico y de instalaciones, tema que está siendo desarrollado por la compañía consultora, encargada de los estudios.

6. REFERENCIAS

1. Aguiar R., Mora D., Morales E., (2015,1), "Peligrosidad sísmica de Quito y el método del espectro de capacidad", *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, **20 (1)**, 1-39.
2. Aguiar R., Mora D., Rodríguez M., (2015,2), "Diagrama momento-curvatura y momento-rotación para elementos de hormigón armado y acero con ASCE/SEI 41 y sistema de computación **CEINCI-LAB**", *Revista Ciencia*, **17 (2)**, 191-224.
3. Álvarez, (2015) "Reunión de trabajo realizada el 7 de agosto de 2015", *Grupo militar de trabajo ESPE*.

4. Algan B., (1982), *Drift and damage considerations in earthquake resistant design of reinforced concrete buildings*, Ph.D thesis, University of Illinois, Urbana, Illinois.
5. Barbat A., Vargas Y., Pujades L., Hurtado J., (2015), "Evaluación probabilística del riesgo sísmico de estructuras con base en la degradación de rigidez", *Revista Internacional de Métodos Numéricos para cálculo y diseño en Ingeniería*, **31 (4)**, 24 p.
6. Borda L., y Pastor A., (2007), *Desempeño sísmico de un edificio aporticado peruano de seis piso*, Tesis para obtener título de Ingeniero Civil. Universidad Católica, Lima, Perú.
7. Freeman S.A. (1978), "Prediction of response of concrete buildings to severe earthquake motion", American Concrete Institute, **SP-55**, 585-605, Detroit.
8. Vielma J. C., Cando M., (2015), *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de estructuras de acero residenciales del Ecuador*, Centro Internacional de Métodos Numéricos CIMNE, **IS-70**, 213 p., Barcelona, España.
9. Chopra A. K. (2001), *Dynamic of structures: Theory and aplicaciones to earthquake engineering*, 2nd edn. Prentice Hall: Saddle River New York.
10. Chopra, A. K. y R. K. Goel (2001), "A modal pushover analysis procedure to estimate seismic demands for buildings: Theory and preliminary evaluation", *Reporte No. PEER 2001-03*, Pacific Earthquake Engineering Research Center.
11. Chopra, A. K. y R. K. Goel (2002), "A modal pushover analysis for estimating seismic demands of buildings", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 31, pp. 561-582.
12. Díaz L., Moscoso M., Campbell J., Durán M., Aguiar Ro., (2015), "Estudio experimental de pórticos de hormigón armado solicitados a cargas laterales crecientes", *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, **20 (1)**, 101-113.
13. Mora D., Aguiar R., (2015,1), "Modelación de diagrama momento-curvatura y momento-rotación en secciones de acero estructural", *Revista Ciencia*, **17 (1)**, 99-124.
14. Mora D., Aguiar R., (2015,2), "Pushover multimodal en estructuras con disipadores de energía ADAS o TADAS" *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, **20 (2)**, 157-197.
15. NEC-15 (2015), *Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-DS*, Ministerio de la Vivienda MIDUVI.