

SISTEMA DE COMPUTACIÓN CEINCI: ESPECTRO DE CAPACIDAD ESPACIAL. PROGRAMA ESPACAP

Aguiar Roberto

Resumen. Se presentan aspectos teóricos fundamentales del Espectro de Capacidad de una estructura espacial modelada como un sistema de tres grados de libertad, los mismos que están complementados con el desarrollo de un ejemplo y con un programa de computación denominado ESPACAP. Se destaca que los períodos de vibración que se obtienen al resolver el problema de valores y vectores propios con las matrices de rigidez y de masa, son los mismos períodos que se hallan al obtener la pendiente de la curva del espectro de capacidad. Finalmente, se presentan los espectros de capacidad y los niveles de daño de acuerdo a lo estipulado por el Comité VISION 2000, y se indica la forma de construir estos gráficos que permiten visualizar en forma global el comportamiento de la edificación.

Palabras Claves: Análisis Espacial, Matriz de Rigidez, Espectro, Vibración.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los métodos que día a día va ganando espacio en el análisis sísmico de estructuras es, sin lugar a dudas, el Método del Espectro de Capacidad, que permite visualizar en un gráfico el probable comportamiento de la estructura⁽¹⁻⁶⁾. Para aplicar este método es necesario encontrar el espectro de capacidad de la estructura en el formato, desplazamiento aceleración y el espectro de demanda del sismo en el mismo formato.

La pendiente de la curva del espectro de capacidad reporta la frecuencia de vibración elevado al cuadrado ω_n^2 y con este valor se halla el período de la estructura T . En el rango elástico, el período de vibración es constante pero en el rango inelástico este período va cambiando de acuerdo a la degradación que sufre la estructura.

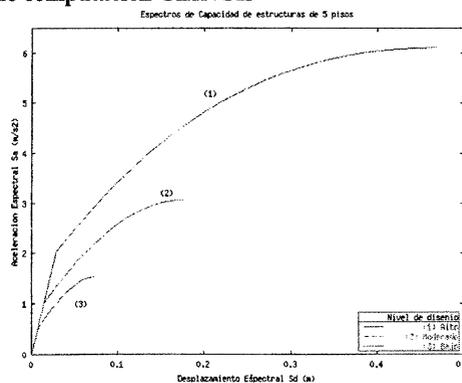
Sean K y M , las matrices de rigidez y de masa de un sistema estructural⁽⁷⁾. De la solución del problema de valores y vectores propios indicados en la ecuación (1) se hallan los valores propios λ y los vectores propios ϕ .

$$(K - \lambda M) \phi = 0 \quad (1)$$

En análisis no lineal se considera que la matriz de rigidez va a cambiar y la matriz de masas permanece constante, esto origina que los períodos de vibración cambien. Esto se lo visualiza al analizar las pendientes del espectro de capacidad.

En la Figura 1 se presentan los espectros de capacidad de tres estructuras de altura intermedia del mismo número de pisos, con igual sección transversal de sus elementos, pero con diferentes niveles de diseño. La estructura con bajo nivel de diseño, que en la figura 1 se la ha identificado como (3), tiene poca ductilidad y baja resistencia; por el contrario la de alto nivel de diseño sísmico, identificada por (1), tiene alta ductilidad y resistencia; la de nivel de diseño moderado es la (2) y se encuentra entre las dos curvas.

Figura 1
CEINCI: Espectro de Capacidad Espacial
Espectros de capacidad de tres estructuras con diferentes niveles de diseño, obtenidas con la base de datos de HAZUS 99, implementado al sistema de computación CEINCI3



Los espectros de capacidad de la figura 1 fueron obtenidos utilizando la base de datos de HAZUS 99, que tienen un carácter estadístico⁽⁸⁾, implementados en el subprograma CURVAEC del Sistema de Computación CEINCI3⁽¹⁾. HAZUS 99 define altura intermedia a edificios que pueden ser de 4, 5 o 6 pisos; en consecuencia, no se trata de una estructura

Roberto Aguilar Falconí. Dr. Trabaja en el Centro de Investigaciones Científicas CEINCI, Escuela Politécnica del Ejército(ESPE); (e-mail: raguiar@espe.edu.ec)

especifica si no que es general. Los espectros de capacidad de la figura 1 corresponden a estructuras de hormigón armado compuestas por vigas y columnas.

2. ECUACIONES DE CÁLCULO

En referencia (1) se indica el marco teórico correspondiente que conduce a las siguientes ecuaciones, con las cuales se obtiene el espectro de capacidad de una estructura:

$$m_1 = \phi^t M \phi \quad (2)$$

$$\gamma_1 = \frac{\phi^t M J}{m_1} \quad (3)$$

$$\alpha_1 = \frac{(\phi^t M J)^2}{M_T m_1} \quad (4)$$

$$Sd_j = \frac{D_{ij}}{\gamma_1} \quad (5)$$

$$Sa_j = \frac{V_j}{\alpha_1 M_T} \quad (6)$$

donde D_{ij} y V_j son el desplazamiento máximo y cortante basal, respectivamente, de la curva de capacidad resistente de la estructura, el subíndice j , corresponde a cada uno de los puntos de esta curva. En efecto, para cada punto se tiene un vector de configuración dominante ϕ que está normalizado a la unidad; como se indicó, M es la matriz de masas, M_T es la masa total del sistema, J es un vector en función del cual se escribe el vector de cargas generalizadas Q , para el análisis sísmico plano J es un vector unitario pero para el análisis sísmico espacial depende del modelo numérico de cálculo que se utilice^(1,7), como se verá posteriormente, γ_1 es el factor de participación del modo 1, α_1 es el factor de participación en el cortante del primer modo. Las ecuaciones (2) a (7) sirven para obtener el espectro de capacidad de la estructura asociada al primer modo de vibración. En consecuencia, los períodos de vibración que se obtienen del espectro de capacidad están asociados a dicho modo. Normalmente la mayor parte de edificios responden en el primer modo de vibración.

Para problemas especiales en que se conoce que la estructura no va a responder en el primer modo, se deberá encontrar el espectro de capacidad para el modo que se desee⁽⁸⁾. En este caso las ecuaciones (5) y (6) se cambian por las siguientes:

$$Sa_j = \frac{V_j}{m_i * g} \quad (7)$$

$$Sd_j = \frac{D_{ij}}{\gamma_i} \quad (8)$$

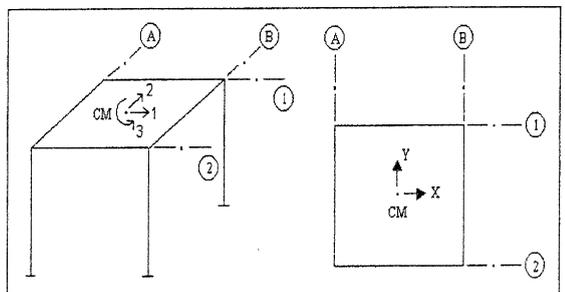
donde m_i es la masa modal i , γ_i es el factor de participación del modo i pero adicionalmente debe cumplir con la condición de que el período de vibración del espectro de capacidad para el rango elástico es igual al período de vibración del modo i que se obtiene de la solución del problema de valores y vectores propios.

A pesar de que es posible obtener espectros de capacidad para cualquier modo de vibración, lo común es trabajar con el primer modo.

3. MODELO DE ANÁLISIS ESPACIAL

En referencia (2) se presenta en detalle el modelo numérico de cálculo con el cual se ha encontrado la curva de capacidad resistente de una estructura espacial. El modelo considera que cada pórtico plano es un elemento de una estructura espacial que tiene tres grados de libertad, dos traslaciones y una rotación de piso, como se muestra a la izquierda de la figura 2. La estructura puede tener cualquier cantidad de pórticos, se han colocado solo cuatro en la figura 2 por facilidad de explicación. Se ha notado CM, al Centro de Masas de la estructura.

Figura 2
CEINCI: Espectro de Capacidad Espacial
Grados de libertad que se consideran en el modelo de análisis espacial.



La forma de la matriz de rigidez K y de masas M asociada a las coordenadas de piso indicada en la figura 2 es la siguiente:

$$K = \begin{bmatrix} k_{xx} & k_{xy} & k_{x\theta} \\ k_{yx} & k_{yy} & k_{y\theta} \\ k_{\theta x} & k_{\theta y} & k_{\theta\theta} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$M = \begin{bmatrix} M_T & 0 & 0 \\ 0 & M_T & 0 \\ 0 & 0 & J_T \end{bmatrix} \quad (10)$$

La forma de cálculo de la matriz K está detallada en referencia (2). La variable M_T ya se indicó anteriormente y corresponde a la masa total del sistema y J_T es el momento de inercia de la masa M_T .

$$J_T = \frac{M_T}{12} (a^2 + b^2) \quad (11)$$

donde a y b son las dimensiones totales de la losa en sentido X e Y.

Cuando se desea encontrar el Espectro de Capacidad con relación al eje X, el vector J que se mencionó en el apartado anterior, es:

$$J = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Para obtener el Espectro de Capacidad con relación al eje Y, el 1 del vector J se encuentra en la mitad.

4. EJEMPLO NUMÉRICO

Se desea encontrar el Espectro de Capacidad, en sentido X, de la estructura de cinco pisos, indicada en la figura 3, cuya curva de capacidad resistente se obtuvo en referencia (2) y se indica en la figura 4. Se considera una carga muerta $D = 500 \text{ kg/m}^2$ y una carga viva $L = 200 \text{ kg/m}^2$. Para el análisis sísmico se considera en este ejemplo el 25 % de la carga viva.

Para el rango elástico la matriz de rigidez asociada al CM es la siguiente:

$$K = \begin{bmatrix} 2284.32 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 2284.32 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 91372.80 \end{bmatrix}$$

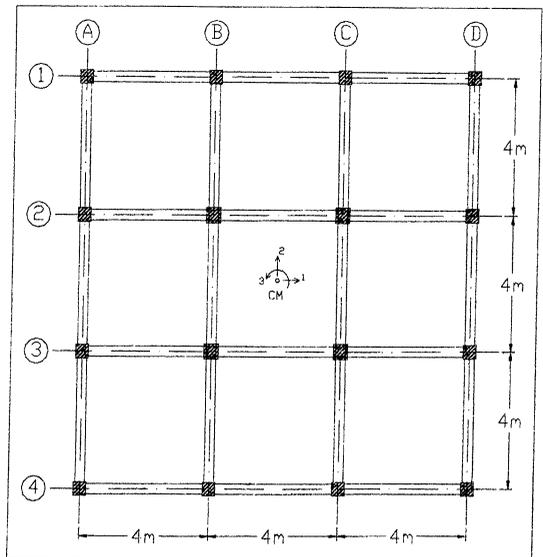
Por otra parte, la masa total M_T , el momento de inercia de la masa J_T y la matriz de masas M para el edificio de 5 pisos resultan ser:

$$M_T = \frac{(500 + 0.25 * 200) * 12 * 12}{9.8} * 5 = 40408.16 \text{ kg} \quad s^2/m = 40.41 \text{ T} \quad s^2/m.$$

$$J_T = \frac{40.41}{12} (12^2 + 12^2) = 969.84 \text{ T} \quad m \quad s^2$$

$$M = \begin{bmatrix} 40.41 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 40.41 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 969.84 \end{bmatrix}$$

Figura 3
CEINCI: Espectro de Capacidad Espacial
Distribución en planta de estructura de cinco pisos conformada por vigas y columnas.



Los valores propios que se obtienen de la solución de la ecuación (1) con las matrices de rigidez y de masas indicadas, son las siguientes:

$$\lambda_1 = \lambda_2 = 56.528 \quad \lambda_3 = 94.312$$

De la dinámica de estructuras se conoce que la frecuencia natural $\omega_n = \sqrt{\lambda}$ y que el período $T = 2\pi / \omega_n$. En consecuencia, asociado a cada valor propio se tiene un período de vibración. Para el espectro de capacidad lo que interesa es exclusivamente el período asociado al primer modo que resulta igual a 0.836 s. Este período se deberá encontrar en el espectro de capacidad.

Se ilustra el procedimiento de cálculo de un punto del Espectro de Capacidad. Para el punto cuyo cortante basal $V = 10 T$ el desplazamiento lateral $D_1 = 0.004377 m$. y el vector $\phi^t = [1 \quad 0 \quad 0]$. Al remplazar los datos indicados en las ecuaciones (2) a (6), se obtiene:

$$m_1 = 40.41 \quad \gamma_1 = 1 \quad \alpha_1 = 1$$

$$Sd_1 = 0.004377 \quad m.$$

$$Sa_1 = 0.24746 \quad m / s^2$$

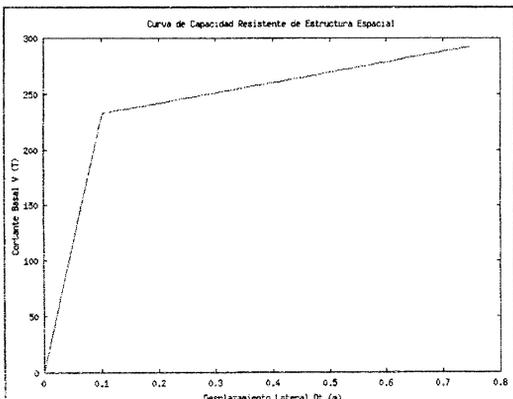
Al proceder de igual forma con los restantes puntos de la curva de capacidad resistente de la figura 4, se halla el espectro de capacidad indicado en la figura 5. Se destaca que en el ejercicio todos los pórticos tienen la misma resistencia, por ese motivo se aprecia en las figuras 4 y 5 un comportamiento bilineal. Para el rango no lineal, la matriz de rigidez es la siguiente:

$$K = \begin{bmatrix} 91.56 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 91.56 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 3662.40 \end{bmatrix}$$

Figura 4

CEINCI: Espectro de Capacidad Espacial

Curva de capacidad resistente de estructura de 5 pisos, cuya configuración en planta es la indicada en la figura 3. Todos los pórticos tienen la misma resistencia



Nuevamente de la solución del problema de valores y vectores propios se obtiene que el período de vibración asociado al primer modo sea $T = 4.1741 s$.

Tanto el período para el rango elástico como el período para el rango inelástico se obtienen a partir de las pendientes del espectro de capacidad resistente indicado en la figura 5.

5. PROGRAMA ESPACAP

Antes de usar este programa, lógicamente, se necesita haber utilizado el programa **ESPACIAL**, descrito en referencia (2) que genera varios archivos entre ellos uno en el cual se encuentran los datos con los que se obtienen la curva de capacidad resistente y otro en que están los modos de vibración para cada punto de la curva indicada. La entrada de datos para el programa **ESPACAP**, es la siguiente:

Número de pisos, formato libre

libre NPISOS = Número de pisos.

Masa total de cada piso, formato libre.

libre MASA1 = Masa total del Piso 1.
 libre MASA2 = Masa total del Piso 2.
 libre MASA3 = Masa total del Piso 3,
 hasta el último piso. Una línea de
 datos para cada masa.

Datos de la dimensiones totales en planta, formato libre

Libre a = Dimensión total de la planta
 representativa en sentido X.

Libre b = Dimensión total de la planta
 representativa en sentido Y.

Archivo de datos para ejemplo 1

5
 8.082
 8.082
 8.082
 8.082
 8.082
 12.0 12.0

Archivo de Resultados con espectro de capacidad:

SPECAP.OUT Contiene espectro de capacidad normal

SPECAMIN.OUT Contiene espectro de capacidad menos una desviación.

SPECAMAX.OUT Contiene espectro de capacidad más una desviación.

6. INCERTIDUMBRE DEL MODELO

La mayor parte de los modelos numéricos de cálculo conllevan una incertidumbre, razón por la cual es conveniente resolver los problemas en forma probabilística en lugar de hacerlo en forma determinística.

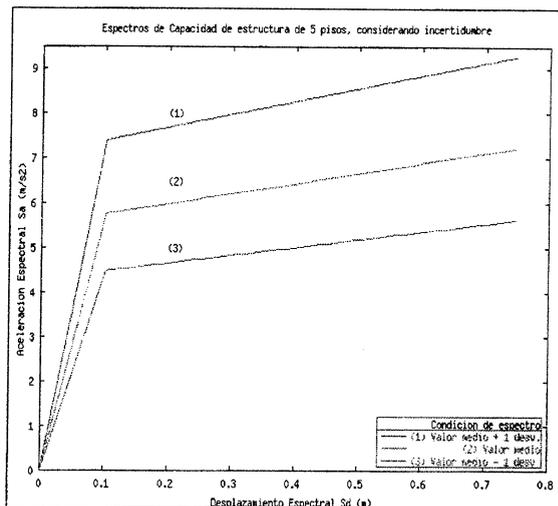
A más del modelo numérico como tal, en las estructuras, se tiene incertidumbre en los materiales utilizados, en los modelos constitutivos empleados para definir las relaciones esfuerzo deformación para el rango no lineal, todo esto ha dado origen a lo que se denomina, *Confiabilidad Estructural*^(10,11).

En los espectros de capacidad, se considera que la función de distribución de la aceleración espectral de las estructuras es Log normal⁽⁸⁾. En consecuencia, el espectro de capacidad indicado en la figura 4 tendría una probabilidad del 50%. Si se quiere incrementar esa probabilidad se tendría que establecer un rango de variación de la aceleración espectral para cada desplazamiento espectral.

El valor de la desviación $\beta(S_a)$ depende del nivel de diseño de las estructuras y, por que no decirlo, de la tipología estructural. Es un valor que amerita ser investigado para los sistemas constructivos del Ecuador. En el programa ESPACAP, se ha considerado $\beta(S_a) = 0.25$ y las ordenadas espectrales se han multiplicado por $e^{\beta(S_a)}$ para tener la curva media más una desviación; y se han multiplicado por $e^{-\beta(S_a)}$ para encontrar la curva media menos una desviación.

De tal manera que lo mejor es determinar tres espectros de capacidad para una estructura, conforme se lo ha indicado en el párrafo anterior. Al trabajar de esta manera, la probabilidad de que la aceleración indicada sea la correcta, es del 68%. En la figura 5 se indican los tres espectros de capacidad, para la estructura de 5 pisos que se está analizando.

Figura 5
CEINCI: Espectro de Capacidad Espacial
Espectros de capacidad de una estructura, considerando las incertidumbres del modelo y de los materiales empleados.



7. DISTORSIÓN GLOBAL Y DE PISO

Uno de los parámetros que se utilizan para evaluar el desempeño de una estructura ante acciones sísmicas es la distorsión de piso ψ_{oi} , el mismo que se define como el desplazamiento relativo del piso i con respecto a la altura del entrepiso.

Por otra parte, se define la distorsión global ψ_o como la relación entre el desplazamiento lateral máximo de la estructura D_t para la altura total del edificio H_t . Es importante diferenciar que a nivel de estructura se tiene un desplazamiento D_t y a nivel de espectro de capacidad, que está asociado a un sistema de un grado de libertad, el desplazamiento lateral máximo se denomina S_d ; la relación entre estos dos desplazamientos viene dado por el factor de participación modal γ . De tal forma que:

$$D_t = \gamma S_d \tag{13}$$

En consecuencia, la distorsión global ψ_o vale:

$$\psi_o = \frac{\gamma S_d}{H_t} \tag{14}$$

La relación entre la distorsión de piso ψ_{oi} y la distorsión global ψ_o viene dada por medio del factor α_i , donde el subíndice i corresponde al piso i .

$$\psi_{oi} = \alpha_i \psi_o \quad (15)$$

En referencia (1) se ilustra la forma de cálculo de α_i , para cualquier condición. Ahora, en el presente modelo de cálculo, se consideran las siguientes hipótesis en el cálculo de α_i :

La configuración del modo dominante ϕ tiene una forma triangular con un valor máximo unitario en el último piso.

La altura de los entresijos son iguales.

En base a estas hipótesis, el programa **ESPACAP** determina la deriva o distorsión de piso y genera un archivo de resultados denominado **DERIVA.OUT** en el que aparece la distorsión de piso en función del desplazamiento espectral.

El comité VISION 2000^(12,13) establece varios niveles de desempeño para las estructuras en función del uso de las mismas⁽¹⁾, niveles de desempeño denominados: Operacional, Inmediatamente Ocupacional, Seguridad de Vida, Prevención de Colapso y Colapso.

Operacional significa que después del sismo la edificación debe funcionar sin realizar ninguna reparación. En el desempeño denominado *Inmediatamente Ocupacional* se esperan ligeros daños estructurales y habrá que reparar la edificación en un tiempo no mayor a los dos meses. En *Seguridad de Vida*, el daño registrado en la estructura obliga a desocupar la edificación y proceder a reparar o reforzar la estructura en un tiempo considerable. Finalmente en *Prevención de Colapso*, el daño en la edificación es de tal magnitud que es más económico derrocar el edificio y construir uno nuevo. En ninguno de los casos la estructura colapsa.

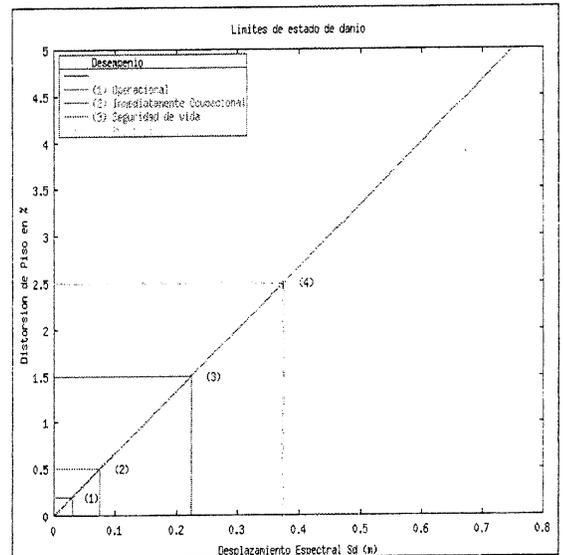
En función de la distorsión de piso, VISION 2000 establece en forma aproximada el límite de cada uno de estos desempeños, como se especifica en la tabla 1.

Tabla 1
CEINCI: Espectro de Capacidad Espacial
Distorsiones de Piso máximas, recomendadas por el Comité VISION 2000

OPERACIONAL	INMEDIATAMENTE OCUPACIONAL	SEGURIDAD DE VIDA	PREVENCIÓN DEL COLAPSO	COLAPSO
< 0.2% +/-	< 0.5% +/-	< 1.5% +/-	< 2.5% +/-	> 2.5% +/-

En la figura 6 se indica la distorsión de piso en porcentaje en función del desplazamiento espectral S_d , de la estructura de cinco pisos que ha servido de ejemplo, se muestran además los desplazamientos asociados a cada límite de daño, el (1) corresponde al límite para el desempeño denominado Operacional, el (2) para el Inmediatamente Ocupacional, el (3) para Seguridad de Vida y el (4) para Prevención del Colapso.

Figura 6
CEINCI: Espectro de Capacidad Espacial
Límites de los estados de desempeño de acuerdo a VISION 2000.



8. ESPECTRO DE CAPACIDAD CON LÍMITES DE DAÑO

Con los desplazamientos espectrales S_d , encontrados para cada nivel de desempeño, se grafican en el espectro de capacidad los rangos en los cuales se espera un determinado desempeño que en lengua inglesa se denomina performance.

Al nivel de desempeño denominado *Operacional* se le puede llamar *Sin Daño*; por otra parte, al desempeño *Inmediatamente Ocupacional* se le denomina *Leve*. Parece más

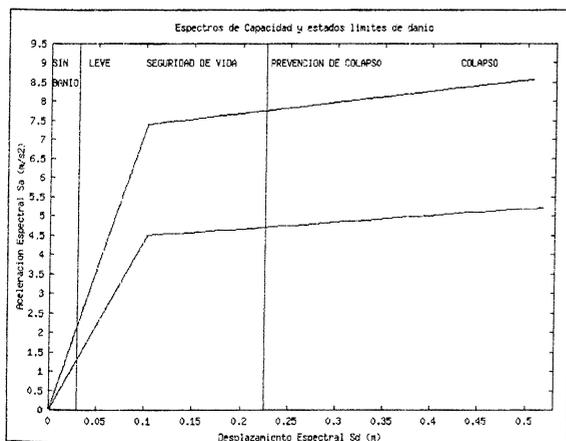
explicativo denominarles de esta forma a los dos primeros niveles de desempeño.

En la figura 7 se indican los tres espectros de capacidad de la estructura de 5 pisos que ha servido de ejemplo y en ella se muestran los límites de daño. Espectros de capacidad con límites de daño deben ser construidos por los proyectistas ya que permiten visualizar el probable comportamiento que va a tener la estructura y, sobre todo, el desempeño esperado de la misma.

Es importante destacar que una distorsión de piso límite para el desempeño operacional o sin daño de 0.2% es un valor muy severo, pero algunos códigos lo contemplan, como el del Distrito Federal de Ciudad de México⁽¹⁴⁾. Para sismos de baja intensidad, las estructuras no van a tener daño estructural y no estructural, esto se cumple si la distorsión máxima de piso es menor a 0.2% para esos sismos. Los elementos estructurales deberán tener suficiente resistencia para asegurar respuesta elástica ante sismos menores.

El Código Ecuatoriano de la Construcción CEC-2000⁽¹⁵⁾, únicamente establece un límite para la distorsión de piso asociada al nivel de diseño denominada Seguridad de Vida, éste límite es del 2%, cantidad superior al 1.5% estipulado por VISION 2000. Todo esto es para estructuras de hormigón armado.

Figura 7
CEINCI: Espectro de Capacidad Espacial
Espectros de capacidad y estados límites de daño de acuerdo a VISION 2000.



9. CONCLUSIONES

Se ha presentado la teoría que permite calcular el Espectro de Capacidad para cualquier estructura. En el presente artículo se lo ha aplicado al análisis sísmico espacial, considerando un modelo de tres grados de libertad. Por otra parte, se ha desarrollado un programa de computación que permite encontrar el espectro de capacidad de estructuras espaciales. Las incertidumbres del modelo y de los materiales han sido cubiertas con la presentación de tres espectros de capacidad para una misma estructura, de tal forma que para un determinado desplazamiento espectral se tiene un rango de variación de la aceleración espectral. Finalmente, en base al modelo espacial de tres grados de libertad se ha presentado una forma de cálculo de la distorsión de piso y se han incorporado los límites de daño al espectro de capacidad. Del estudio realizado se desprenden las siguientes conclusiones:

1. Normalmente se obtiene el espectro de capacidad para el primer modo de vibración, pero se puede encontrar dicho espectro para cualquier modo.
2. La pendiente del espectro de capacidad representa el período de vibración de la estructura para el modo para el cual se ha obtenido el espectro.
3. Por la incertidumbre que se tiene en los modelos de análisis no se puede definir un solo espectro de capacidad sino que se deben definir tres espectros, uno de valor medio y dos de valor medio \pm una desviación.
4. La forma de cálculo de la distorsión de piso que incorpora el programa **ESPACAP** es válida para una estructura con altura de entrepiso igual en todos los pisos y que el modo de vibración tenga una variación lineal.
5. Es muy útil la incorporación en el espectro de capacidad de los límites de niveles de daño.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **AGUIAR, R.** (2002). "Sistema de Computación CEINCI3 para evaluar daño sísmico en los Países Bolivarianos", Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 302 p.
2. **AGUIAR, R.** (2003). "Sistema de computación CEINCI4: Capacidad Sísmica Espacial de las Estructuras. Programa ESPACIAL", Revista Ciencia. Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 6 (1), 1-14.
3. **AGUIAR, R.** (2002). "Estado del arte de los métodos de análisis sísmico y desempeño estructural", XV Jornadas Nacionales y Primeras Binacionales de Ingeniería Estructural, 69-101, Loja.
4. **CHOPRA & GOEL R.,** (2000). "Evaluation of NSP Estimate Seismic Deformation SDF Systems", Journal of Structural Engineering, 126 (4), 482-490.
5. **FAJFAR, P.** (1999). "Capacity Spectrum Method based on Inelastic Demand Spectra", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 28, 979-993.
6. **CHOPRA & GOEL, R.** (1999). "Capacity-demand-diagram methods for estimating deformation of inelastic structures: SDF systems", Pacific Earthquake Engineering Research Center, Rep. No PEER-1999/02, University of California, Berkeley, California.
7. **AGUIAR, R.** (1989). "Análisis Dinámico Espacial", Escuela Politécnica del Ejército, 270 p, Quito.
8. **HAZUS 99.** (1999). "Earthquake Loss Estimation Methodology", Federal Emergency Management Agency FEMA and National Institute of Building Sciences NIBS, Vol 5, Chapter 5, Washington DC.
9. **BONETT, R. PENNA, A. LAGOMARSINO, S. BARBAT, A. PUJADES, L. & MORENO, R.** (2003). "Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de un edificio típico del Eixample de Barcelona, España", Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras, 8 (2), 85-115.
10. **MONTIEL, M. PALACIOS, J. APARICIO, J. RUIZ, S. GRANADOS, R.** (2002). "Evaluación de la Confiabilidad Sísmica de Marcos", XIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, 190, 671-682, Puebla, México.
11. **MONTIEL, M. RUIZ, S. CHAN, S.** (2002). "Evaluación de la Confiabilidad Sísmica de Construcciones usando un método simplificado", Octavas Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, 10 p, Valparaíso, Chile.
12. **SEAOC.** (1995). "Visión 2000 Report on performance based seismic engineering of buildings", Structural Engineers Association of California, Volume I, Sacramento.
13. **ATC 33-03.** (1995) "Guidelines for Seismic Rehabilitation of Buildings", 75% Submittal, Third Draft, 3 Vol, Redwood City.
14. **REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL.** (1997). México D.F.
15. **CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN.** (2000). XIII Jornadas Nacionales de Ingeniería Estructural. Universidad Católica del Ecuador, 325-350, Quito.