

Figura 15: Espectros de amenaza uniforme de desplazamiento para diferentes periodos de retorno en el sitio CAD

3.1 Ordenadas espectrales



Figura 16: Distribución de ordenada espectral de 0.15 seg en Bogota para periodo de retorno de 475 años,(gal).

Al realizar el anterior análisis en la totalidad de los sondeos en la ciudad y colocando las respectivas condiciones de fronteras fue posible construir mapas como los de la Figura 16 en la cual se presenta la ordenada espectral de aceleración para osciladores de 0.15 segundos de periodo estructural y 475 años de periodo de retorno.

Bajo este esquema, para encontrar el espectro en un punto de interés, basta con identificar la ordenada en cada uno de los mapas. El esquema es extrapolable a cualquier periodo de retorno e intensidad que se requiera.

3.2 Duración de la fase intensa

Durante el sismo de magnitud $M_s=8.1$ que ocurrió en las costas de México, la aceleración pico medida en un área donde se presentaron numerosos daños en edificios en México D.F. fue de 0.17 g, similar a la de 0.18 g que se presentó en Ohio debido al sismo de $M_b=5$ de 1986. Sin embargo, este último no ocasionó daños.

Las diferencias en los daños ocasionados se entienden mejor al observar más detalles de los movimientos, pues el sismo de México consistió predominantemente en movimiento de largo periodo, por más de dos minutos, y el de Ohio fue un movimiento de apenas un segundo, predominantemente de alta frecuencia

(Reiter, 1990). Por ello el sistema permite estimar la duración de la fase intensa para diversos periodos de retorno

3.3 Duración de la fase intensa

Durante el sismo de magnitud $M_s=8.1$ que ocurrió en las costas de México, la aceleración pico medida en un área donde se presentaron numerosos daños en edificios y colapso en varios de ellos en México D.F en el año de 1985 fue de 0.17 g, similar a la de 0.18 g que se presentó en Ohio debido al sismo de $M_b=5$ de 1986. A pesar de haber generado la misma aceleración pico aproximada durante este último evento no se reportaron daños de consideración.

Las diferencias en los daños ocasionados se entienden mejor al observar más detalles de los movimientos, pues el sismo de México consistió predominantemente en movimiento de largo periodo, por más de dos minutos, y el de Ohio fue un movimiento de apenas un segundo, predominantemente de alta frecuencia (Reiter, 1990). Por lo anterior la metodología propuesta ello el sistema permite también estimar la duración de la fase intensa para diversos períodos de retorno.

3.4 Energía de entrada

La insistencia de algunos investigadores (véase Bertero, Bertero y Teran-Gilmore, 1996; y Bertero y Bertero, 2000) en la importancia de considerar las demandas acumuladas de deformación plástica llevaron a afirmaciones como la siguiente: *“Deberá considerarse el daño acumulado (energía disipada) en el diseño sísmico de estructuras con elementos que presentan deterioro rápido; sismos de larga duración. Deberá incluirse implícitamente la energía (o cualquier otra caracterización de los efectos de la duración) en la determinación de deformaciones objetivo que tomen en cuenta los efectos de la acumulación de daño en la capacidad de deformación última.”* Dado lo anterior, resulta conveniente revisar y enfatizar la importancia que tienen las demandas de deformación plástica. Por lo tanto, es necesario tomar en cuenta simultáneamente los valores de *Energía de entrada*, y de la resistencia y rigidez del sistema, para evaluar la importancia de las demandas plásticas acumuladas.

4. PROGRAMA Zp

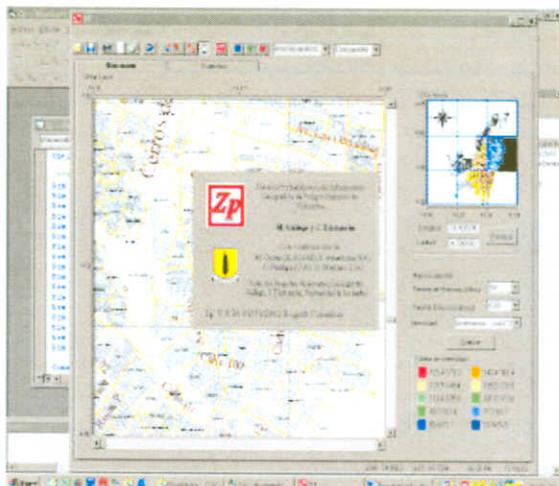


Figura 16: FrontPage del programa Zp de evaluación probabilística de Amenaza sísmica.

Como se ha mencionado en la actualidad se requieren muchas variables en diversos escenarios y condiciones. Lo anterior plantea la necesidad de tener acceso a ellas de una manera fácil y eficiente. La necesidad de contar con diversos parámetros de intensidades de varios periodos de retorno, con influencia de varios tipos de suelo y además, varias relaciones de amortiguamiento al crítico conllevaría una cantidad de información imposible de visualizar de manera física, Por ejemplo mediante mapas de la ciudad

Por lo anterior se ha desarrollado un sistema probabilístico de información geográfica de amenaza o peligro sísmico para Colombia llamado Zp, en el cual es posible llevar a cabo consultas de la información disponible en términos de un numero apreciable de variables, escenarios y condiciones.

El programa Zp permite obtener para cualquier periodo de retorno la información sobre aceleraciones, velocidades, desplazamiento, duración de fase intensa y energía de

entrada espectrales y máximas del suelo para condiciones de suelo firme en todo Colombia. Además Zp tiene módulos especiales con las mismas variables pero considerando los efectos del suelo para ciudades con microzonificaciones específicas como Bogotá y Manizales. Zp cuenta con un modo visualizador que muestra la distribución geográfica de una variable típica de interés y todas las consultas pueden descargarse mediante simples archivos ASCII para su uso en actividades cotidianas de diseño.

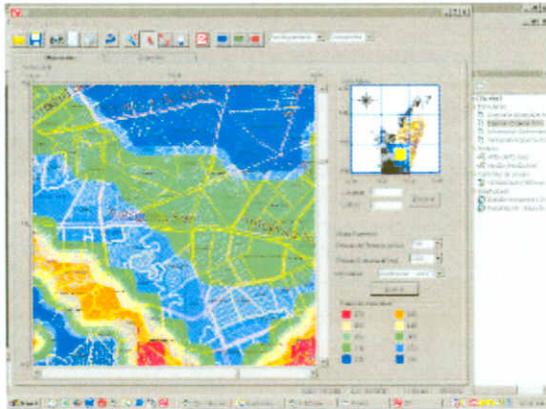


Figura 17: Distribución de Intensidades del sistema Zp.

Zp es un programa desarrollado en lenguaje orientado a objetos de Internet por medio de Visual Net®. Está dividido en dos módulos principales. El primer módulo es el encargado de manejar la parte gráfica del programa, la visualización de planos de ubicación. El segundo módulo es el encargado de manejar la parte de administración de base de datos y cálculo. Debido a que la finalidad del Zp es trabajar desde Internet la velocidad de procesamiento es una de sus ventajas, por lo que para la realización de los cálculos, Zp dispone de bases de datos actualizadas, donde se encuentran almacenados los cálculos de intensidades realizados con software especiales. Para las diferentes consultas a realizar Zp desarrolla una selección mediante filtros dinámicos sobre bases de datos especiales para

ubicar los puntos más próximos, y con ello una interpolación bidimensional bayesiana., Además mediante métodos de minimización busca, con la información disponible, la aproximación de menor desviación y nulo sesgo.

El usuario dispone de un plano de ubicación del país, la ciudad o zona a estudiar, y es posible utilizar herramientas de visualización comunes como ampliaciones en ventanas y movimiento del plano en forma dinámica. Una vez ubicada la zona o predio de interés es posible desplegar un plano de colores donde se indica el mapa de intensidades requerida como se ve para una zona de Bogotá en la Figura 17 para aceleración máxima del suelo y un periodo de retorno de 500 años. La selección de un sitio se puede hacer mediante ayudas de departamentos y municipios a nivel nacional o de Localidades y direcciones en una ciudad particular, como se muestra en la Figura 18.

Los resultados y gráficos obtenidos pueden exportarse fácilmente a un procesador de texto o libro de calculo. Zp también puede generar un reporte de los cálculos realizados, para imprimirlo o exportarlo y todo mediante Internet, sin necesidad de instalar ningún tipo de programas.

Además existe la posibilidad de generar los diagramas de intensidades, espectros y variables máximas para un punto en particular, si este se selecciona previamente. Los datos con las que Zp genera las figuras y reportes de resultados también pueden ser descargados para análisis que requieran datos precisos. De esta manera se puede llegar a contar con la información confiable.

La principal ventaja de Zp es su ambiente gráfico amigable y su fundamentación en bases de datos, lo que permite que sea fácilmente actualizable, sin necesidad de modificar el código del programa.

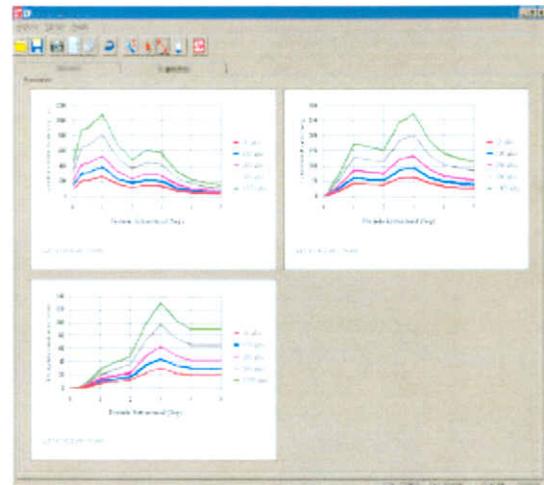


Figura 18: Cuadro de resultados del sistema Zp para un sitio de Bogotá.

5. CONCLUSIONES.

El diseño sísmico actual es una medida racional que se ideó la humanidad para que las estructuras, enfrenten los sismos fuertes con seguridad y confiabilidad, considerando a la vez la necesidad de mantener los costos en niveles aceptables. Esta simple idea siempre ha sido difícil de implementar debido a que tanto la capacidad como la demanda mantienen incertidumbres en su estimación asociadas a una gran cantidad de variables. Un objetivo a largo plazo de la investigación en ingeniería sísmica es obtener un conocimiento detallado de la amenaza y de la capacidad o los parámetros que la controlan para los procesos de diseño. El trabajo desarrollado representa avances recientes logrados a este respecto

6. REFERENCIAS

Aki, K. (1967). Scaling law of seismic spectrum, J. Geophys. Res. 72, 1217-1231.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Comité AIS 300 (1996), Estudio general de Amenaza Sísmica de Colombia, Santa Fé de Bogotá.

Cartwright, D. E. y M. S. Longuet Higuins (1956). The statistical distribution of the maxima of a random function, Proc. Roy. Soc. London, Ser. 76, 5002.

Esteva L. (1970), Regionalización sísmica para fines de ingeniería; serie azul, Instituto de Ingeniería, UNAM

Gallego, M.(2000) Estimación de movimientos fuertes en Colombia, tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de maestro en Ingeniería.

Thomson-Haskell N A (1953) "The dispersion of surface waves on multilayered media", Bull Seism Soc Am, vol 43, pp 17-34.

Hermann, R B (1985), An extension of random vibration theory estimates of strong ground motion to large distances, Bull. Seism. Soc. Am. 73, 157-171.

Ingeominas y UniAndes (1997) Microzonificación sísmica de Santa Fé de Bogotá; publicaciones Ingeominas; Santa Fé de Bogota; Ministerio de Minas y Energía (MZSB,1997)

Ordaz, S., Mario G. (1992), Estimación de movimientos fuertes ante temblores Mexicanos de subducción, tesis

Reinoso, E, Ordaz, M. Guerrero, R. (2000) "Influence of strong motion duration in seismic design of structures" Proceedings of 12th WCEE, Auckland, New Zealand.

Udwadia, F. E. and M. D. Trifunac, (1974), Characterization of response spectra through statistics of oscillators response, Bull. Seism. Soc. Am

Vanmarcke, E.H. (1976). "Structural Response to Earthquakes", in Seismic Risk and Engineering Decisions, Lomnitz Rosenblueth, editors, Elsevier Publishing Co. Amsterdam.