

Microzonificación Sísmica del Norte de Quito y el Sistema de Computación MIZOSIQ

Dr. Ing. Roberto Aguiar Falconí *
Ing. Katyuska Sangurima Reinoso *

Abstract

As a contribution to the seismic safety of the buildings of the North of Quito, we have developed the computer system MIZOSIQ, that reports the elastic design spectrum, for a site of the north of the city where you are going to build a building, considering the site factors encountered in the study Quito Seismic Microzonation by ERN (2012).

The values of maximum ground acceleration, in stone, used in the computer system MIZOSIQ, were found in probabilistically study of seismic hazard for a return period of 475 years, in the project financed by the Panamerican Institute of Geography and History, IPGH in 2012, to first author of this article.

Finally, the ordinates of the elastic design spectrum are enhanced by the probable directivity effects of the waves that can be produced by an earthquake associated with the blind faults of Quito, which were also found in the project financed by the IPGH.

Palabras clave: *se escribirán no más de cinco palabras representativas del contenido general del artículo y características de la terminología usada dentro de un campo de estudio.*

* Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército Sangolquí-Ecuador. rraguiar@espe.edu.ec

* Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército Sangolquí-Ecuador. rraguiar@espe.edu.ec

Resumen

Como un aporte a la seguridad sísmica de las construcciones del Norte de Quito, se ha desarrollado el sistema de computación MIZOSIQ, que reporta el espectro de diseño elástico, para un sitio del norte de la ciudad donde se va a construir un edificio, considerando los factores de sitio encontrados en el estudio de Microzonificación Sísmica de Quito, por ERN (2012).

Los valores de la aceleración máxima del suelo, en roca, empleados en el sistema de computación MIZOSIQ, fueron hallados de un estudio de peligrosidad sísmica en forma probabilística para un período de retorno de 475 años, en el Proyecto financiado por el Instituto Panamericano de Geografía e Historia, IPGH en el 2012, al primero de los autores de este artículo.

Finalmente, las ordenadas del espectro de diseño elástico se incrementan por los probables efectos de directividad de las ondas que puede producirse por un sismo asociado a las fallas ciegas de Quito, que también fueron hallados en el Proyecto financiado por el IPGH.

Palabras clave: *espectro; microzonificación sísmica; directividad; fallas ciegas.*

1. INTRODUCCIÓN

Para diseñar un edificio en general, el Proyectista Estructural, tiene dos opciones para encontrar el espectro de diseño elástico, la primera en utilizar el espectro de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11 y la segunda realizar un estudio de Peligrosidad Sísmica en el sitio de interés considerando los efectos locales del suelo. Evidentemente la segunda opción es la más adecuada ya que el espectro del NEC-11 fue obtenido en forma macro.

Encontrar un espectro de diseño elástico para un determinado sitio, implica conocer la estratigrafía del suelo con sus respectivas velocidades de la onda de corte, V_s . De igual manera es importante conocer las propiedades dinámicas de los suelos; en este contexto, en la figura I se presenta la curva de degradación del módulo de corte a la izquierda y el factor de amortiguamiento a la derecha para tres tipos de suelo de Quito, a saber: lacustre, ceniza y coluvial. (ERN, 2012)

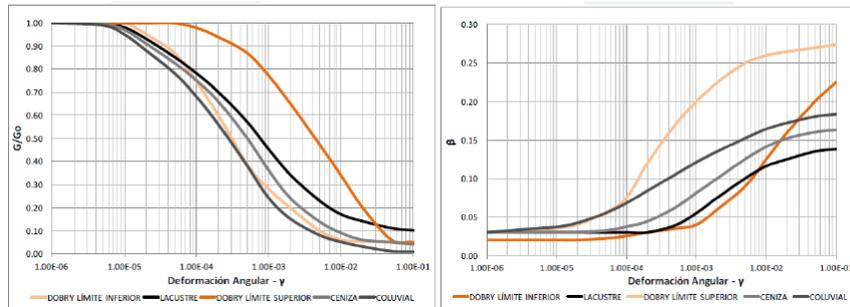


Figura I. Curvas de degradación del módulo de corte y del factor de amortiguamiento

Con las propiedades del suelo, mediante un modelo de elementos finitos, se halla los factores de amplificación aplicando un acelerograma en la roca del suelo o en el sitio que se considere que el suelo es bastante resistente y se halla las respuestas de desplazamiento, velocidad y aceleración en superficie, empleando un programa de análisis no lineal.

Un punto intermedio entre utilizar el espectro elástico del NEC-11, para una estructura situada en la ciudad de Quito, que no considera con detalle el sitio y realizar estudios de análisis no lineal en base a las propiedades del suelo para hallar el espectro, es el emplear los estudios de Microzonificación Sísmica que se han realizado en la ciudad de Quito (ERN, 2012) y los estudios de Peligrosidad Sísmica y Directividad asociado a las fallas ciegas de Quito, realizadas por Aguiar (2013) en el marco de un Proyecto de Investigación auspiciado por el Instituto Panamericano de Geografía e Historia, IPGH.

Para facilitar la obtención del espectro de diseño elástico en algún sector del Centro Norte de Quito, se ha desarrollado el programa MIZOSIQ que se indicará posteriormente pero antes es necesario conocer la forma del espectro de diseño elástico del NEC-11 ya que las investigaciones que se van a presentar están en concordancia con las ecuaciones del espectro de la mencionada normativa sísmica del Ecuador.

2. FORMA DEL ESPECTRO ELÁSTICO DEL NEC-11

Las ecuaciones del espectro de diseño elástico del NEC-11, para un factor de amortiguamiento $\xi=0.05$, son las siguientes:

$$S_a(\omega) = \eta F_a \left(1 + (\eta - 1) \frac{T}{T_0} \right) \quad T < T_0$$

$$S_a(\omega) = \eta F_a \quad T_0 < T < T_c$$

$$S_a(g) = \eta z F_a \left(\frac{T_c}{T}\right)^r \quad T > T_c \quad (1)$$

Donde S_a (g) es la aceleración del suelo como una fracción de la gravedad; z es el factor de zona sísmica indicado en el mapa de Peligrosidad Sísmica del Ecuador, para la ciudad de Quito, el factor $z=0.4$; F_a , F_d factores de sitio que dependen del tipo de suelo; F_s es el factor que toma en cuenta el comportamiento no lineal del suelo, ante sismos severos. Los períodos T_0 , T_c , indicados en la figura 2, que definen las ramas del espectro se hallan con las ecuaciones:

$$T_0 = 0.1 F_s \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_c = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a} \quad (2)$$

En la ecuación (1) para la rama descendente del espectro, aparece la variable r que depende del tipo de suelo especificado en el NEC-11 y la variable η que está asociado con la amenaza sísmica.

En el estudio de Microzonificación Sísmica realizado por ERN (2012) se obtuvieron los factores de sitio F_a , F_d , F_s ; considerando $r=1$ y $\eta=2.48$.

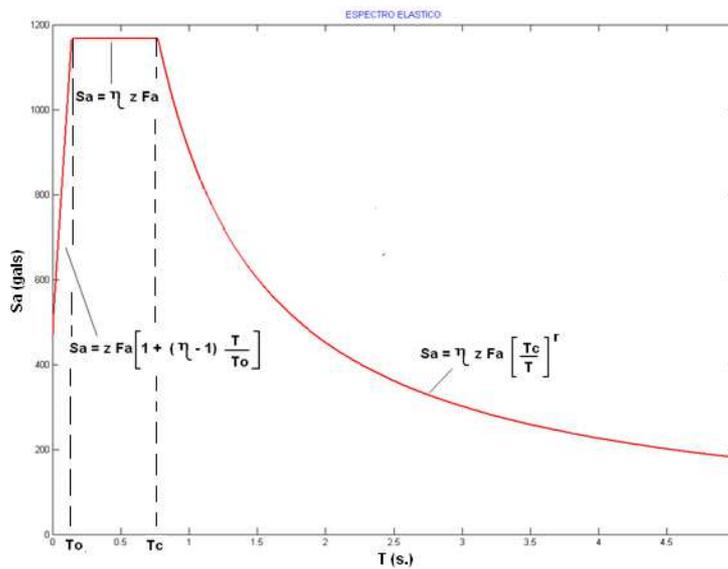


Figura II. Curvas de Espectro elástico del NEC-11.

Sea A_d la aceleración del espectro de diseño elástico y A_o la aceleración del suelo en roca, para un período de retorno de 475 años. Con esta nomenclatura las ecuaciones del espectro del NEC-11, identificadas por (1) se transforman en:

$$\begin{aligned}
 A_d &= A_o F_a \left(1 + (\eta - 1) \frac{T}{T_o} \right) & T < T_o \\
 A_d &= A_o \eta F_a & T_o < T < T_c \quad (3) \\
 A_d &= A_o \eta F_a \left(\frac{T_c}{T} \right)^r & T > T_c
 \end{aligned}$$

El valor de A_o para Quito, de acuerdo al NEC-11 es $A_o=0.4 g$. Siendo g la aceleración de la gravedad. Se destaca que tanto las ecuaciones definidas en (1) y (3), el factor de importancia I de la estructura es igual a 1. La forma más general de las ecuaciones (1) y (3) habría sido multiplicar en cada una de las ecuaciones la variable I .

3. FACTORES DE SITIO

Los factores de sitio F_a , F_b , F_s que se han incorporado al programa **MIZOSIQ** son los obtenidos por ERN (2012) pero antes de presentarlos, es importante indicar la forma como fueron obtenidos.

Primero realizaron un acopio de los estudios de suelos realizados para el Metro de Quito, los mismos que llegan a una profundidad media que está entre 40 y 50 m. De igual manera recopilaron los estudios que hace el Municipio para encontrar pozos de agua en diferentes sitios de la ciudad.

La Politécnica Nacional en 1994 y 2002 realizaron una clasificación de los suelos de Quito (EPN, 1994; Valverde *et al.* 2002) la misma que también fue utilizada por ERN (2012) al igual que una gran cantidad de estudios de suelos realizados por Proyectistas Estructurales para el diseño de sus edificios.

En base a esta gran cantidad de información, ERN (2012) selecciono 14 sitios de la ciudad, donde se consideraba que era necesario estudiarlos para tener una idea más clara de los suelos de Quito. En estos sitios se hicieron estudios geofísicos (Down Hole y Sísmica de Refracción) a una profundidad media de 30 m., y se hicieron estudios de Penetración Estándar.

Como resultado del estudio realizado se encontraron zonas de Quito, en las cuales el suelo es homogéneo, se determinaron las zonas de transición. Con los resultados de los estudios estáticos y dinámicos de los 14 sitios se procedió a encontrar la respuesta en dichos sitios ante 12 sismos asociados a fallamiento cortical y 10 sismos de subducción, registrados en Estados Unidos, México, Colombia, Italia

y Taiwan, los mismos que fueron normalizados a diferentes aceleraciones máximas del suelo.

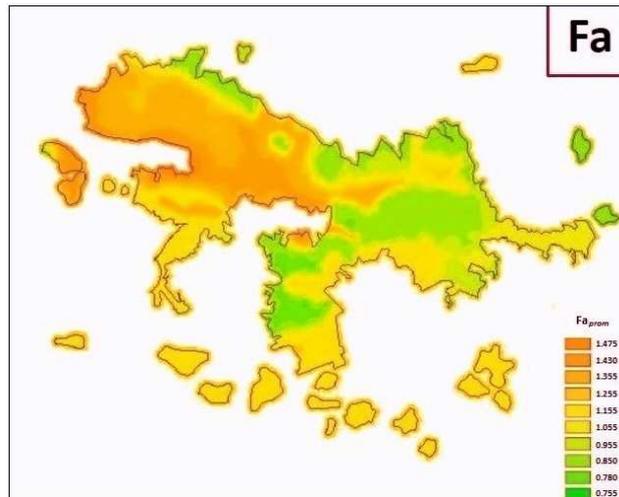


Figura III. Factor de sitio que define la plataforma de aceleración máxima del espectro.

Los factores de sitio F_a, F_d, F_s , hallados por ERN (2012) para que se utilicen con las ecuaciones del NEC-11; con un valor de $r = 1$ y con $\eta = 2.48$ se indican en las figuras III a V.

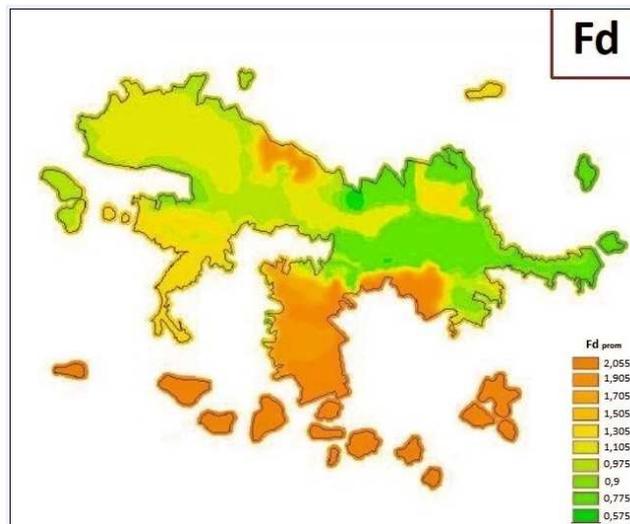


Figura IV Factor de sitio depende del tipo de suelo.

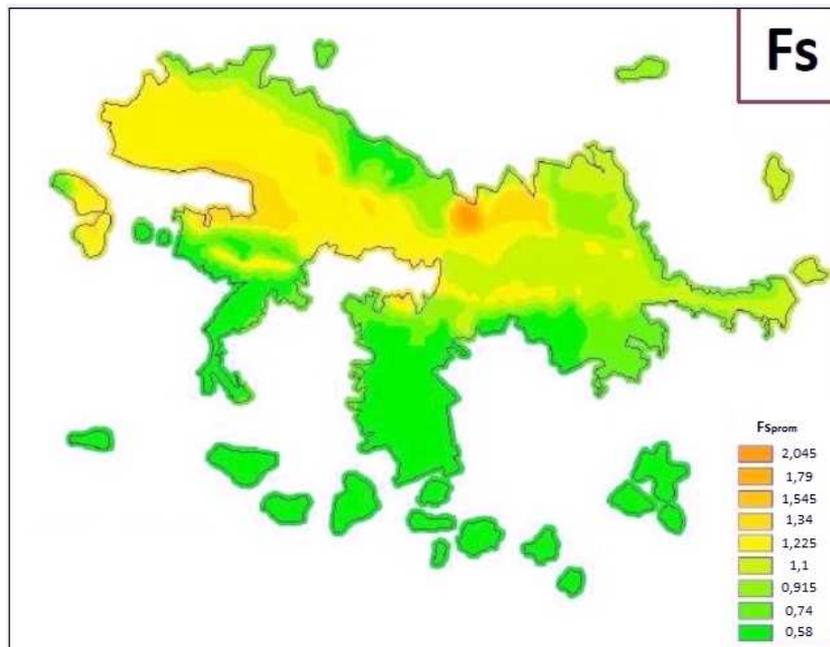


Figura V. Factor de sitio que toma en cuenta el comportamiento no lineal del suelo.

4. ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO EN ROCA

Se realizó un estudio de Peligrosidad Sísmica, para un período de retorno de 475 años, para la ciudad de Quito; para el efecto se consideraron zonas fuentes asociadas con las fallas corticales y zonas fuentes de subducción, las mismas que se indican en la figura VI.

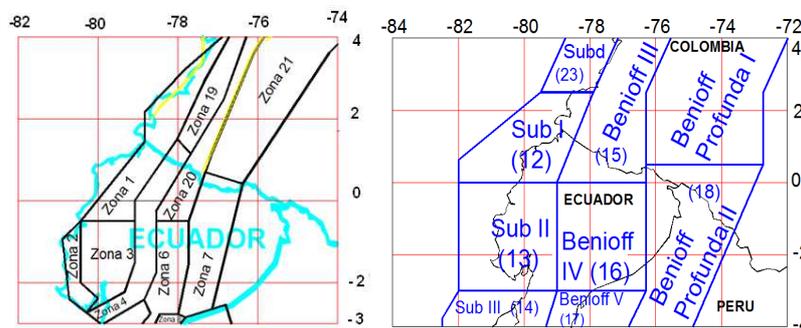


Figura VI. Zonas fuentes consideradas en el estudio. Aguiar (2012)

Para cada una de las zonas fuentes se determinó en primer lugar ventanas de tiempo, para diferentes rangos de magnitud, en los cuales el catálogo sísmico se considera completo. Aguiar *et al.* (2011,1). Stepp (1973). En cada zona fuente se determinó la tasa anual de sismos de magnitud mayor que M , utilizando la ecuación de Cornell y Vanmarcke (1969).

$$\lambda(M) = \lambda_0 \frac{e^{-\beta M} - e^{-\beta M_U}}{e^{-\beta M_0} - e^{-\beta M_U}} \quad (4)$$

Donde λ_0 es la tasa anual de sismos con magnitud mayor o igual a M_0 ; $\beta=b \ln(10)$; la magnitud máxima esperada en la fuente es M_U ; M_0 es la magnitud por encima de la cual el catalogo es completo. b es el parámetro de la ley de recurrencia de Richter (1958) definida por:

$$\log N(M) = a - b M \quad (5)$$

Donde $N(M)$ es el número de sismos con magnitud igual o mayor que M ; a , b son parámetros que se obtienen en cada área fuente aplicando regresión lineal. Aguiar *et al.* (2011,2)

Se utilizaron dos leyes de atenuación, una para los sismos de subducción y otra para los sismos asociados a fallas locales. Estas leyes, son:

- Sismo de subducción

$$\log(A_H) = -0.734 + 0.484 M_W - 0.188 * \ln(D + 10) \quad (6)$$

- Sismos de fallamiento cortical.

$$\log(A_H) = 1.074 + 0.547 M_W - 0.642 * \ln(D + 10) \quad (7)$$

Donde A_H es la aceleración del suelo en gals; M_W es el momento sísmico; D es la distancia al foco. Las leyes de atenuación fueron obtenidas a partir de información macro sísmica (curvas isosistas) de sismos fuertes registrados en el Ecuador (Egred, 2009) y en el Sur de Colombia. Aguiar *et al.* (2010). Fueron convalidadas con leyes de atenuación obtenidas en Chile por Ruiz y Saragoni (2005) a partir de registros sísmicos. En la figura VII se comparan estas leyes para un sismo de magnitud 6, la gráfica superior corresponde a Sismos Corticales y la inferior a Sismos de Subducción, se aprecia una correlación bastante buena, en los dos casos.

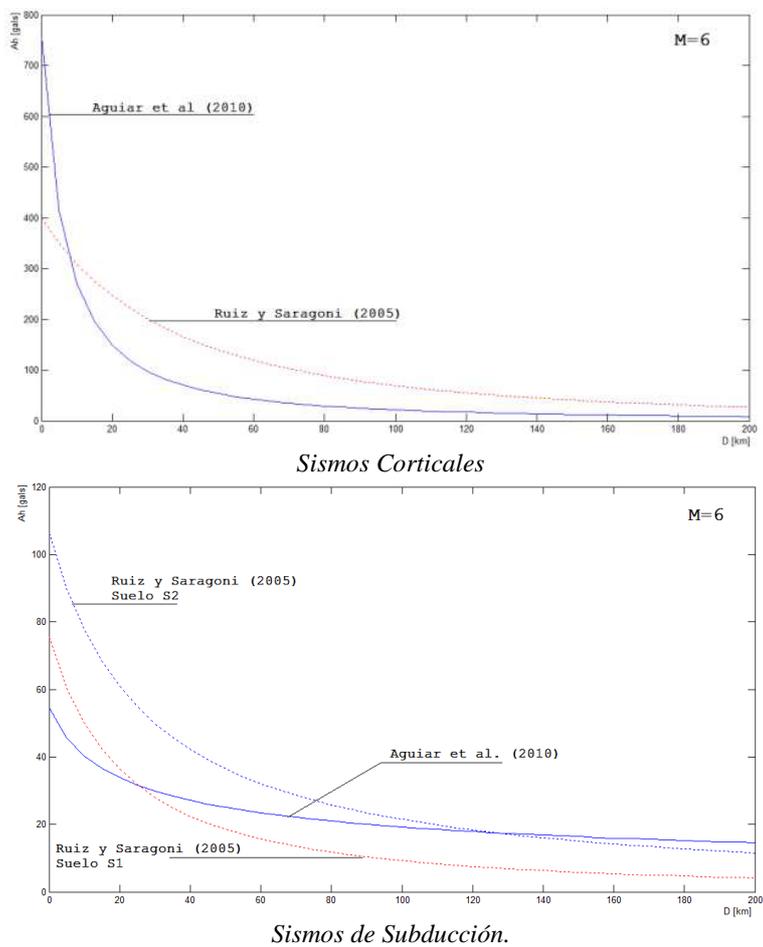


Figura VII. Comparación de leyes de atenuación de Chile y Ecuador. Aguiar et al. (2010).

Para la evaluación de la Peligrosidad Sísmica se utilizó el Programa CRISIS. Ordaz *et al.* (2007). Aguiar (2001). Los resultados que se obtuvieron para el Centro Norte de Quito se indican en la figura VIII. Estos son los valores de A_0 indicados en las ecuaciones (3).

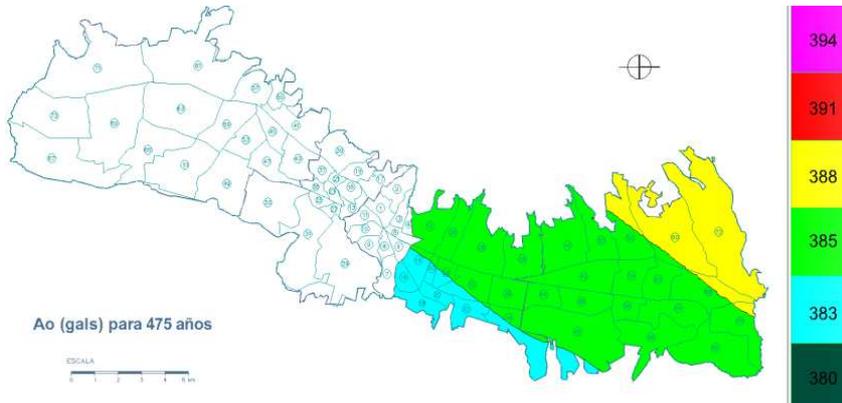


Figura VIII

Figura VIII. Aceleración máxima del suelo en roca para un período de retorno de 475 años.

Este momento ya se tienen todos los parámetros con los cuales se obtiene el espectro de respuesta elástico para los suelos del Centro Norte de Quito. Sin embargo por encontrarse a ciudad, sobre o muy próximas a las Fallas Ciegas de Quito, es importante incrementar las aceleraciones espectrales por la directividad de las ondas sísmicas que se producirían con un sismo asociado a dichas fallas, tema que se aborda en el siguiente apartado.

5. DIRECTIVIDAD DE LAS FALLAS CIEGAS DE QUITO

Se utilizó el modelo propuesto por Spudich y Chiou (2008) para encontrar en primer lugar el factor de directividad f_D , con la siguiente ecuación.

$$f_D = f_R f_M (a + b * IDP) \tag{8}$$

Donde f_R es un factor que es función de la distancia; f_M es un factor que es función de la magnitud; a, b , son coeficientes que han sido determinados por regresión lineal para diferentes modelos de atenuación del movimiento del suelo; IDP (Isochrone Directivity Predictor) es un factor de la directividad de las ondas sísmicas desde el hipocentro hasta un determinado punto de interés. La función f_R se evalúa con la siguiente ecuación.

$$f_R = \max \left[0, \left(1 - \frac{\max(0, R_{RUP} - 40)}{30} \right) \right] \tag{9}$$

Donde R_{RUP} es la menor distancia desde el sitio de interés al área de ruptura, expresada en km. Si R_{RUP} se encuentra entre 0 y 40 km., el valor de f_R vale la unidad. En cambio si el valor de $R_{RUP} > 70$ km., el valor de $f_R = 0$. Por lo tanto, si el sitio de interés se encuentra a más de 70 km., del área de ruptura no es importante el efecto de directividad y si el sitio de interés está a menos de 40 km., del área de ruptura si debe considerarse este efecto. La función de magnitud f_M se obtiene con la expresión siguiente.

$$f_M = \min \left[1, \frac{\max(0, M - 5.6)}{0.4} \right] \quad (10)$$

Donde M es la magnitud. Si la magnitud es menor a 5.6, no tiene importancia el efecto de la directividad de las ondas sísmicas ya que $f_M=0$. Para magnitudes mayores a 6 si es importante este efecto y el factor $f_M = 1$. Finalmente el factor IDP se encuentra de la siguiente forma.

$$IDP = C S R_{ri} \quad (11)$$

$$C = \frac{\min(\varepsilon, 2.45) - 0.8}{(2.45 - 0.8)} \quad (12)$$

$$S = \ln[\min(75, \max(s, h))] \quad (13)$$

$$R_{ri} = \max \left[\sqrt{R_u^2 + R_t^2}, \varepsilon \right] \quad (14)$$

$$\varepsilon = \left(\frac{\beta}{V_r} - \frac{(R_{HYP} - R_{RUP})}{D} \right)^{-1} \quad (15)$$

Donde s, h son distancias que están indicadas en la figura IX; β es la velocidad de las ondas de corte; V_r es la velocidad de ruptura del área de falla; R_{HYP} es la distancia al foco desde el sitio de interés; la variable R_{RUP} ya fue indicada anteriormente; D se obtiene en función de R_{HYP} y de R_{RUP} , ver figura IX; $\varepsilon=0.2$; R_u, R_t son factores por patrones de radiación desde el hipocentro al sitio de interés, el valor de R_u se mide en la dirección paralela a la traza de la falla y R_t en dirección normal a la traza de la falla.

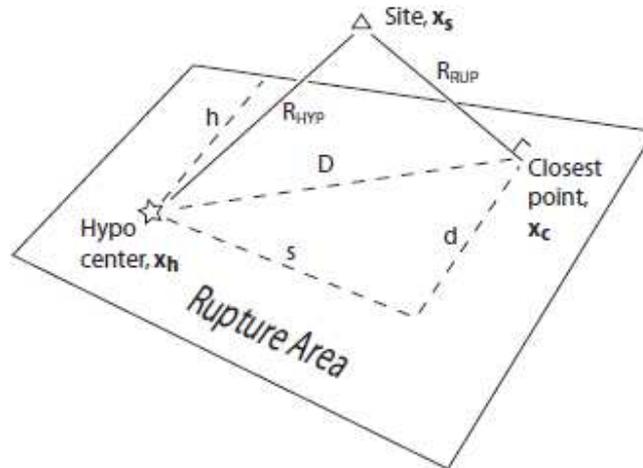


Figura IX. Sitio, hipocentro y área de ruptura.

En la figura IX se ha notado con x_s la posición del sitio de interés; x_h la posición del foco (hipocentro) lugar donde se inicia la ruptura; x_c es el punto más cercano desde el área de ruptura al sitio de interés. Se puede considerar que $h=0.8 W$, siendo W el ancho de ruptura.

Una vez que se determina el factor de directividad f_D , se encuentra el factor espectral f_E mediante la siguiente ecuación.

$$f_E = \frac{1}{e^{f_D}} \quad (16)$$

Finalmente, el espectro de diseño que se ha obtenido para un determinado sitio, en el estudio de Peligrosidad Sísmica, se debe multiplicar por el factor f_E para considerar el efecto de la directividad.

Eguez *et al.* (2003) definen dos segmentos a las Fallas Ciegas de Quito, que en este artículo se denominan segmento Sur y Norte. En la figura X se presenta el segmento Sur y con una estrella se indica un probable epicentro de un sismo que puede darse de magnitud 6.5 y con una profundidad focal de 10 km. Con un círculo se indican 7 puntos de interés en los cuales se va a determinar el factor f_E por el cual se debe modificar el espectro de diseño elástico. El sismo de magnitud 6.5, está asociado a un período de retorno de 475 años.

Los parámetros a , b , que intervienen en el cálculo del factor de directividad f_D , son los propuestos por Spudich y Chiou (2008), para el modelo de Campbell y Borzogna (2008).

El punto más cercano al epicentro, es Chimbacalle y como era de esperarse ahí se tienen los factores de modificación del espectro más altos. El más lejano es el sitio ubicado en el antiguo Quito Tennis, con los valores más bajos.

En la figura XI se indican los sitios considerados en el estudio para el segmento Norte de las Fallas Ciegas de Quito, el sitio que se encuentra más al sur es Andalucía, en la Avenida Occidental y el que se encuentra más al norte es en Bermejo, que se halla pasando San Antonio. En la parte central de la falla se consideró el epicentro de un sismo de magnitud 6.3, con hipocentro a 10 km; esta nueva magnitud es la esperada para un período de retorno de 475 años en el segmento norte de las fallas ciegas de Quito.

La modificación de las ordenadas espectrales se da para períodos superiores a 1s., para los casos analizados. Únicamente para ilustrar los valores obtenidos, en la figura XII se presentan los factores de amplificación para un período de 2 s. Aguiar (2013)

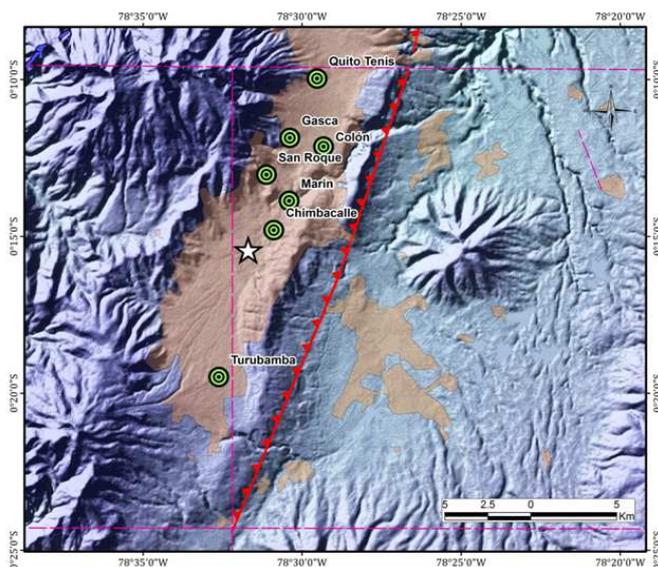


Figura X. Sitios considerados en el segmento Sur de la Fallas de Quito.

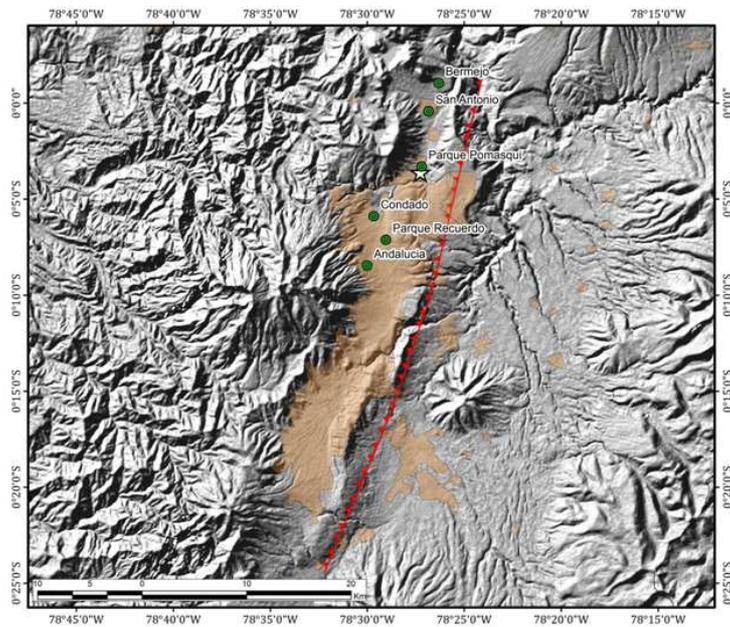


Figura XI. Sitios considerados en el segmento Norte de la Fallas de Quito.

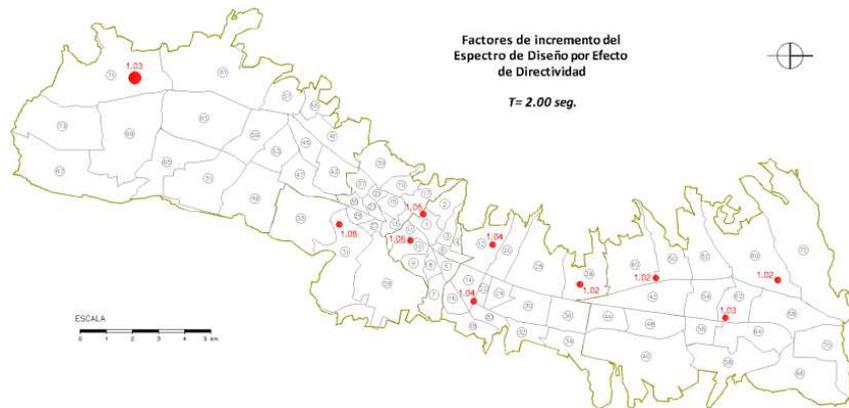


Figura XII. Factores de amplificación de ordenadas espectrales para un Período de 2.0 s.

Los factores de amplificación por directividad dependen fundamentalmente de la distancia del punto de interés al epicentro y como el sitio puede darse en cualquier lugar de la falla se consideró los valores más altos hallados en el estudio, en el programa *MIZOSIQ*.

6. PROGRAMA MIZOSIQ

Para ilustrar el funcionamiento del programa MIZOSIQ, se realizará el análisis del barrio COLEGIO MILITAR (Parcayacu), sector 72 en el NORTE de Quito.



Figura XIII. Sector de análisis: Parcayacu, zona 72.

Al ingresar al programa MIZOSIQ, en la primera pantalla desplegada se presiona el botón INICIO para dar comienzo al análisis.



Figura XIV. Venta Inicial del programa MIZOSIQ

A continuación, se selecciona la zona del Distrito Metropolitano de Quito (parroquias urbanas), del cual se desea obtener los espectros elásticos, en este caso, ZONA NORTE.



Figura XV. División de las parroquias urbanas del DMQ en las zonas: Norte, Centro Norte, Centro, Centro Sur y Sur.

En la nueva ventana desplegada para el análisis de la zona seleccionada, se aprecian los sectores correspondientes a dicho zona (imagen superior izquierda de la ventana), diversas listas desplegables que permitirán la visualización de los sectores y barrios de la zona, el cuadro en el que se desplegará la ampliación del sector seleccionado, y finalmente, en la parte inferior izquierda del programa, el espacio para la gráfica de los espectros elásticos del NEC-11 y un espectro afectado por factores de directividad.

Para ello abrimos la primera lista desplegable “*Selección*”, y señalamos el sector de interés:

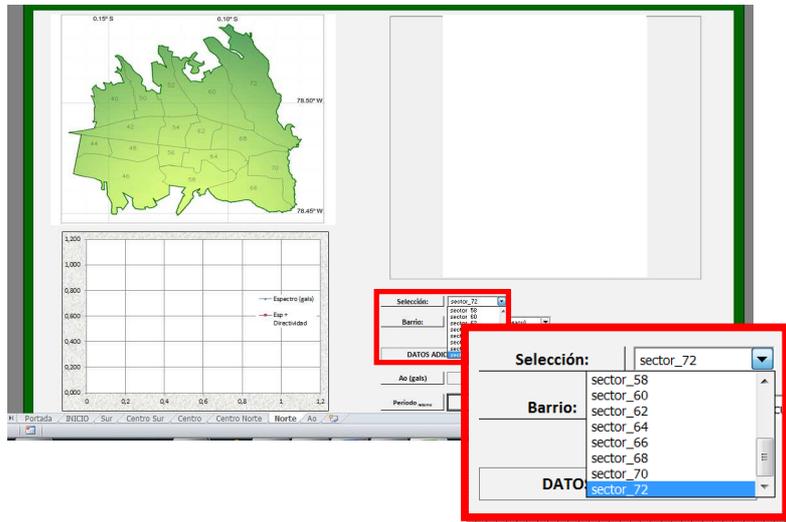


Figura XVI. Ampliación de la lista que contiene los sectores de la zona NORTE .

Paso seguido, en la lista desplegable “*Barrios*”, cambia conforme al sector señalado, desplegando los barrios correspondientes a dicho sector:

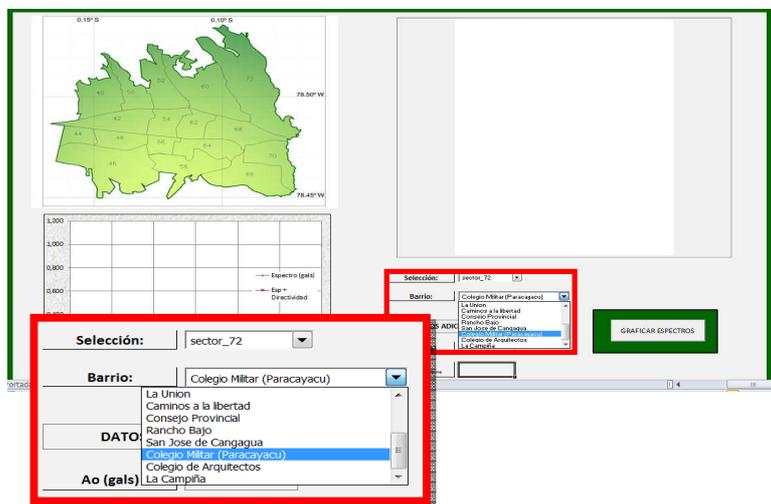


Figura XVII. Lista de los barrios del sector 72

Una vez realizada la selección, el cuadro superior derecho muestra la ampliación del sector seleccionado, con ello, el programa está listo para ejecutarse.

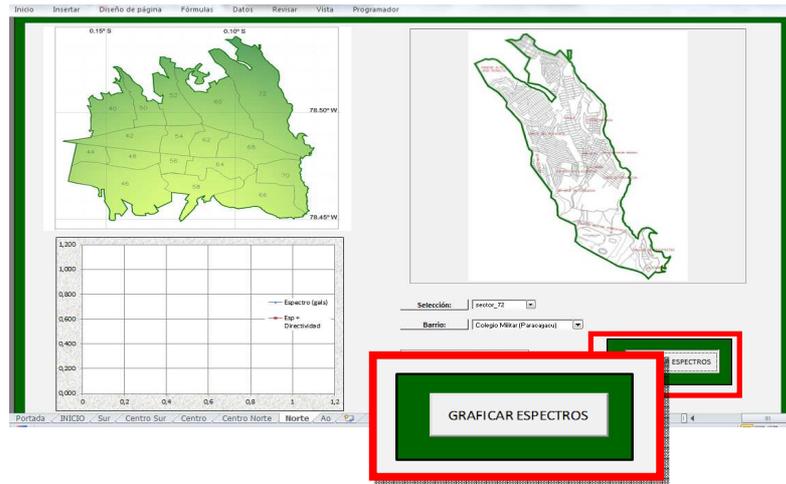


Figura XVIII. Botón de ejecución del programa .

Al dar click en el botón señalado, el programa carga los datos correspondientes al barrio y sector seleccionados anteriormente, con lo que muestra los siguientes resultados:

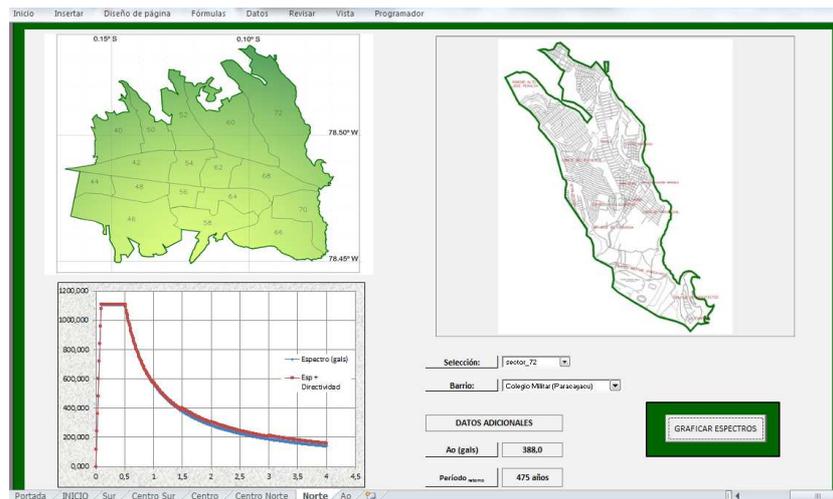


Figura XIX. Pantalla final del programa.

Ampliando la ventana de gráficas, observamos claramente los espectros correspondientes:

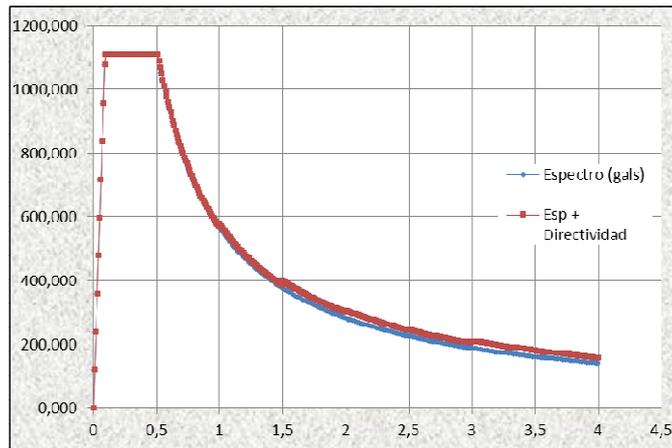


Figura XX. Gráfica ampliada de los espectros analizados

En caso de ser necesario, el usuario puede apreciar los valores con los cuales se elaboró dichos espectros, al recorrer hacia la derecha de la ventana principal del programa.

DATOS PARA GRÁFICAS			
Sector	sector_72		
Barrio	Colegio Militar (Paracayacu)		
Fa:	1,155		
Fd:	0,975		
Fs:	1,1		
Tc=	0,511		
To=	0,093		
Tl=	2,34		
Ao (475)	388		
Ao (970)	471		

T	Espectro (gals)	Espec'Directividad (gals)	F_directividad
0	0,000	0,000	
0,01	119,688	119,688	1
0,02	239,376	239,376	1
0,03	359,064	359,064	1
0,04	478,751	478,751	1
0,05	598,439	598,439	1
0,06	718,127	718,127	1
0,07	837,815	837,815	1
0,08	957,503	957,503	1
0,09	1077,191	1077,191	1
0,1	1111,387	1111,387	1
0,11	1111,387	1111,387	1
0,12	1111,387	1111,387	1
0,13	1111,387	1111,387	1
0,14	1111,387	1111,387	1
0,15	1111,387	1111,387	1
0,16	1111,387	1111,387	1
0,17	1111,387	1111,387	1
0,18	1111,387	1111,387	1
0,19	1111,387	1111,387	1
0,2	1111,387	1111,387	1
0,21	1111,387	1111,387	1
0,22	1111,387	1111,387	1
0,23	1111,387	1111,387	1
0,24	1111,387	1111,387	1
0,25	1111,387	1111,387	1
0,26	1111,387	1111,387	1
0,27	1111,387	1111,387	1
0,28	1111,387	1111,387	1
0,29	1111,387	1111,387	1

Figura XXI. Ventana de datos

7. CONCLUSIONES

Se ha presentado en forma rápida los principales resultados del Estudio de Microzonificación Sísmica realizados por el ERN (2012), y los obtenidos por el primero de los autores de este artículo en el proyecto de investigación científica auspiciado por el IPGH (2012).

Con esta información se ha desarrollado el programa MIZOSIQ que permite encontrar espectros de diseño elástico para un lugar del Centro y Norte de Quito en forma bastante amigable. A más de ello, proporciona importante información como el periodo de vibración del suelo y la velocidad de la onda en los primeros treinta metros.

Con el desarrollo del programa MIZOSIQ se aspira haber aportado a la seguridad sísmica de las nuevas estructuras que se construyan en Quito y al reforzamiento de las existentes, ya que este programa considera las condiciones locales de suelo y los efectos de directividad de las fallas ciegas de Quito

Referencias

Aguiar R. (2013), *Adaptación de la experiencia Argentina para encontrar espectros sísmicos en el Centro Norte de Quito*, Proyecto de Investigación auspiciado por el Instituto Panamericano de Geografía e Historia, IPGH y por la Politécnica del Ejército, ESPE, 40 p., Quito.

Aguiar R., Quishpe D., Quishpe M., (2011,1), “Completes de la información para estudios de Peligrosidad Sísmica”, *VI Congreso de Ciencia y Tecnología. Escuela Politécnica del Ejército*, 14 p., Quito.

Aguiar R., Quispe M., Quishpe D., (2011,2), “Relaciones de recurrencia, aplicaciones a la Peligrosidad Sísmica del Ecuador”, *Revista Ciencia. Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército*, **14 (2)**, 199-212, Quito.

Aguiar R., García E., Villamarín J., (2010), “Leyes de atenuación para Sismos Corticales y de Subducción para el Ecuador”, *Revista Ciencia. Escuela Politécnica del Ejército*, **13 (1)**, 1-18, Quito.

Aguiar A., (2001), *CRISIS99.1 Sistema de computo para el cálculo del peligro sísmico*, Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, 96 p., México.

Aguinaga G., (1996), *Estimación del período de vibración de los suelos de Quito en función de las condiciones locales del suelo*”, Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil. Escuela Politécnica Nacional, Quito.

Campbell K., Bozorgnia Y., (2008), “NGA Ground Motion Model for the Geometric Mean Horizontal Component of PGA, PGV, PGD and 5% Damped linear elastic response spectra for periods ranking from 0.01 to 10 s.”, *Earthquake Spectra, EERI*, **24** (1), 139-171.

Cornell C., Vanmarcke E., (1969), “The mayor influence on seismic risk”, *Proc., 4 WCEE, Vol I, A-1*, 69-83, Santiago de Chile.

Egred J., (2009), *Terremotos del Ecuador*, dos volúmenes, Escuela Politécnica Nacional. Instituto Geofísico, Reporte Interno.

Eguez A., Alvarado A., Yepes H., Machette M., Costa C., Dart R., (2003), *Database and map of Quaternary faults and Folds of Ecuador and its offshore regions*, U.S. Geological Survey, Open-File Report **03-289**, 77 p.

Escuela Politécnica Nacional, Geohazards International, Ilustre Municipio de Quito, Orstom, Oyo Corporation, (1994), “The Quito-Ecuador, Earthquake Risk Management Project”, *Geohazards International Publication*, Quito.

ERN (2012), *Microzonificación Sísmica del Distrito Metropolitano de Quito: Estudio de la amenaza sísmica a nivel local*, Evaluación de Riesgos Naturales ERN, América Latina. Yamin L., Cardona O., Ordaz M., Barbat A., Aguiar R., y otros. Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad del Distrito Metropolitano de Quito.

Lecaro M., León F., Moyano C., (1987) *Zonificación de los suelos de Quito y correlación de los ensayos de penetración estándar con parámetros dinámicos*” Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil. Escuela Politécnica Nacional, Quito.

NEC-2011, *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Cámara de la Construcción de Quito.

Spudich, P., B. S.-J. Chiou (2008). Directivity in NGA earthquake ground motions: analysis using isochrone theory. *Earthquake Spectra*, Vol. **24**, N° 1, pag. 279-298.

Stepp J.C., (1973), *Analysis of complétense of the Earthquake Sample in the Puget Sound Area, in contributions to seismic Sonic*, NOAA Tech. Report, **ERL 267-ESL30**, Washington, D.C.

Richter C., (1958), *Elementary Seismology*, Freeman, San Francisco.

Ruiz S., Saragoni R., (2005), “Fórmulas de atenuación para la subducción de Chile considerando los dos mecanismos de sismo génesis y los efectos de suelo”, *IX Jornadas, ACHISINA 2005. Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica. Universidad de Concepción*, 15 p., Concepción, Chile.

Valverde J., Fernández J., Jiménez E., Vaca T., Alarcón F., (2002), *Microzonificación sísmica de los suelos del Distrito Metropolitano de la Ciudad de Quito*, Escuela Politécnica Nacional. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 146 p. más Anexos, Quito.