

ANEXO #7

**REPORTE DEL RIESGO SISMICO DE QUITO
{ VERSION COMPENDIADA }**

EVALUACION DEL PELIGRO SISMICO PARA LA CIUDAD DE QUITO

Se han realizado varios trabajos de evaluación del peligro sísmico que soporta la ciudad de Quito. El primero de ellos lo constituye el Proyecto de Manejo del Riesgo Sísmico en Quito (1), donde se determinó de una manera determinística el potencial impacto de tres sismos de diferentes características sobre la ciudad. A raíz de este primer trabajo, se realizó un segundo estudio denominado Seguridad Sísmica de las Escuelas en Quito (2), para el cual se determinó la conveniencia de realizar una evaluación probabilística de las aceleraciones potenciales en Quito basándose, en parte, en la información del peligro sísmico de carácter determinístico obtenida durante el primer estudio. Por estos motivos, se recogen los resultados más importantes de ambos estudios para su utilización en la presente investigación.

Para el cálculo del peligro sísmico en Quito de manera probabilística en el proyecto de las escuelas se utilizó la metodología desarrollada por Cornell (3), en la cual se toma en cuenta la sismicidad de la zona y los rasgos geológicos y estructurales para la definición de las fuentes *sismogénicas*; se determina el potencial *sísmico* de las fuentes que implica establecer una relación de recurrencia de magnitudes en el tiempo; se estima el efecto sísmico en el sitio mediante el uso de las leyes de atenuación correspondientes; y, se calcula el peligro mismo mediante la integración de los efectos de todos los terremotos en un rango de posibles magnitudes, en diferentes localizaciones de las distintas fuentes sísmicas y con diferentes probabilidades de ocurrencia.

Los cálculos para la cuantificación del peligro sísmico se los realizaron utilizando el programa EQRISK de McGuire (4), como es práctica común. En este estudio se ha hecho un especial énfasis en validar los resultados así obtenidos a través de una modelización de las intensidades registradas en Quito a partir de 1541. para lo cual se probaron leyes de atenuación de ambientes tectónicos similares y se reevaluaron las propias intensidades previamente asignadas en la Ciudad.

La localización del Ecuador en el borde noroccidental del continente sudamericano, implica para el país fenómenos de volcanismo y sismicidad sumamente activos, puesto que geodinámicamente se trata de una zona límite de placas en convergencia. La subducción de la Placa Nazca bajo el continente y la consecuente deformación y rompimiento de las rocas de la corteza continental constituyen los elementos más importantes para explicar los efectos *sismotectónicos* que influyen en la Ciudad de Quito.

En el contexto regional los principales rasgos estructurales continentales que responden a la compresión E-W del proceso de subducción son el sistema de fallas

TABLA 1
Aceleraciones esperadas en Quito

Periodo de Recurrencia	Probabilidad de Excedencia de la Aceleración en 50 años	Histórica	sigma=0.01	sigma=0.4
20 años	92%	I>V	0.09g (VI-VII)	0.11g (VII-)
115 años	35%	I>VII	0.13g (VII)	0.209 (VII-VIII)
475 años	10%	una intensidad VIII	0.19g (VII-VIII)	0.26-0.32g (VIII)

Las dificultades encontradas en las leyes de atenuación para reproducir las intensidades pequeñas se reflejan en los resultados obtenidos, puesto que aceleraciones del 9% de g cada 20 años no son evidentes en las intensidades históricas de la Ciudad. Su repetición está en el rango de los 45 años, es decir un poco más del doble que la anticipada. Por otro lado, las intensidades más importantes, esto es las mayores que siete si han sido satisfactoriamente reproducidas por en el cálculo del peligro sísmico de Quito.

En base a estos resultados se establecieron tres niveles de aceleración para tres condiciones de diseño de las estructuras: serviciabilidad, dañabilidad y colapso. Estos niveles son 6%, 9% y 26% de la gravedad respectivamente.

Para el diseño por serviciabilidad se considera que la estructura debe ser capaz de soportar en el rango elástico, sin ningún tipo de daño, ni estructural ni en los elementos no estructurales, las fuerzas sísmicas inducidas en la edificación. El valor de 6% de g se lo adoptó porque representa o cubre a los frecuentes sismos históricos que producen intensidades de hasta seis grados en la Ciudad y que tienen una recurrencia de 20 años. Los valores de entre 9 y 11% de g anticipados por los cálculos de peligro sísmico para este período de retorno no fueron adoptados por las dificultades experimentadas con las leyes de atenuación explicadas anteriormente.

Para el caso de dañabilidad, que sería el estado limite en que la estructura sismoresistente no debe presentar ningún tipo de fallas, aunque se pueden aceptar algunos daños menores en los elementos no estructurales, como agrietamiento en las paredes por ejemplo, se adoptó el valor del 9% de la gravedad, que representa una probabilidad de excedencia de esta aceleración del 86% en 50 años o un período de retorno de 25 años. La aceleración del 9% de g es equivalente a una intensidad entre seis y siete, para la cual se tiene una recurrencia en Quito de 46 años, por lo que la aceleración adoptada cubre el período de retorno en la Ciudad.

Chingual-Pailatanga-Guayaquil que es esencialmente trascurrente dextral o transpresivo de acuerdo con su rumbo predominante; el sistema de fallas de empuje del frente andino oriental, de cinemática inversa, donde se incluyen las fallas que limitan al Este la Zona Subandina; y, las fallas inversas reportadas en el Callejón Interandino, con dirección N-S, pueden considerarse como el efecto de la interacción de los sistemas anteriores.

La tectónica local está controlada por un sistema complejo de tipo falla inversa, de dirección aproximada N-S, que separa la cuenca de Quito de la depresión de Los Chillos y por una falla normal secundaria, interior a la cuenca, relacionadas con un régimen compresivo que definen una cuenca de tipo "Piggy-back" para el área de Quito y el bloque levantado y elongado norte-sur de Puengasí-Santa Rosa, Ilumbisí y El Batán-La Bota. Estas fallas han controlado el depósito y distribución de los sedimentos en Quito.

Las edades medias estimadas han permitido determinar las tasas de desplazamiento en el sistema de fallas de Quito, lo que a su vez permitió el cálculo de las velocidades entre 0.25 mm/año (tomando en cuenta la base de los Sedimentos Quito) y 1.0 mm/año (considerando la base de la Cangahua). De acuerdo con estas tasas, el sistema de fallas de Quito sería capaz de producir un sismo de magnitud $M_s=7.0$ con una recurrencia de entre 800 y 7000 años.

Por otro lado se han reevaluado a profundidad 25 intensidades en la ciudad de Quito, incluida la producida por el terremoto de 1987 que sirvió como calibrador de las intensidades asignadas para los terremotos históricos, en especial aquellos de los siglos anteriores. Esta determinación de las intensidades pasadas constituye tal vez la única manera de aproximarse a los valores de aceleración del movimiento del suelo experimentados en la ciudad a través de su historia. Se han identificado al menos 22 eventos que han sido sentidos con intensidad mayores que grado cinco MSK durante los 460 años de historia escrita con que cuenta la Capital. De ellos 10 han tenido intensidades mayores que seis y 5 de siete o más. El más fuerte, el de 1859, alcanzó una intensidad de grado ocho. Del análisis acumulativo de las intensidades históricas resulta que para que en Quito se produzcan movimientos del suelo que causen un daño importante al menos en la construcción antigua o informal, esto es que produzcan intensidades mayores que siete, deben pasar un promedio de 115 años. Sismos como el de 1987, de intensidades mayores que VI como mínimo se repiten en promedio cada 46 años. Por último, sismos capaces de producir al menos cierto daño afectan a la ciudad cada 21 años en promedio.

Otro de los aspectos interesantes detectado en el estudio histórico es la diversidad de las fuentes sísmicas cuyos terremotos han producido intensidades altas en la ciudad (Fig. 1). Es claro que la mayor cantidad de sismos que producen intensidades altas en Quito tienen su origen en el sistema de

Para el diseño por colapso en cambio, en el que se aceptan deformaciones en la estructura, pero en el que se debe garantizar un comportamiento dúctil de los elementos estructurales, se adoptó el valor del 26% de g , que representa el 10% de probabilidad de excedencia de dicha aceleración en 50 años o un período de retorno de 475 años. Este valor está adecuadamente modelado en el cálculo del peligro sísmico y refleja la historia sísmica de Quito.

Se debe dejar en claro que los valores de aceleración establecidos para los diferentes períodos de retorno, al tratar de reproducir el conocimiento que se tiene de la sismicidad histórica, no están en el lado de la seguridad, puesto que la propia sismicidad histórica representa un período de 460 años que en términos del tiempo geológico en el que se mueven las fallas es realmente corto y por las subjetividades propias del trabajo con descripciones históricas cualitativas de terremotos pasados.

REFERENCIAS

1. Proyecto de Manejo del Riesgo Sísmico en Quito, 1994. Yepes, H. (Local Coordinator), Fernández, J., Vaiverde, J., Bustamante, G., Chatelain, J.L., Kaneko, F., Villacís, C., Yamada, T., Tucker, B. The Quito, Ecuador, Earthquake Risk Management Project: An Overview. Geohazards International Publication, San Francisco, 40 p.
2. Proyecto de seguridad sísmica de las Construcciones Escolares en Quito. 1995. Hoefler, J. (Director del Proyecto), Fernández, J. (Coordinador Local), Finn, W. D.L., Tucker, B., Ventura, C. Geohazards International Publication, San Francisco, 17 p.
3. Cornell, C., 1968. Engineering Seismic risk analysis, BESA 58, 1582-1606.
4. McGuire, R.K., 1976. Fortran Computer Program for Seismic Risk Analysis, Open-File Report 76-67, 92 pp.
5. Martín, A., 1990. Hacia una nueva regionalización y cálculo del Peligro Sísmico en Chile. Tesis de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.
6. Katayama, T., 1974. Statistical Analysis of Peak Accelerations of Recorded Earthquake Ground Motions, Journal of the Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Vol. 26.No. 1, pp. 18 - 20.

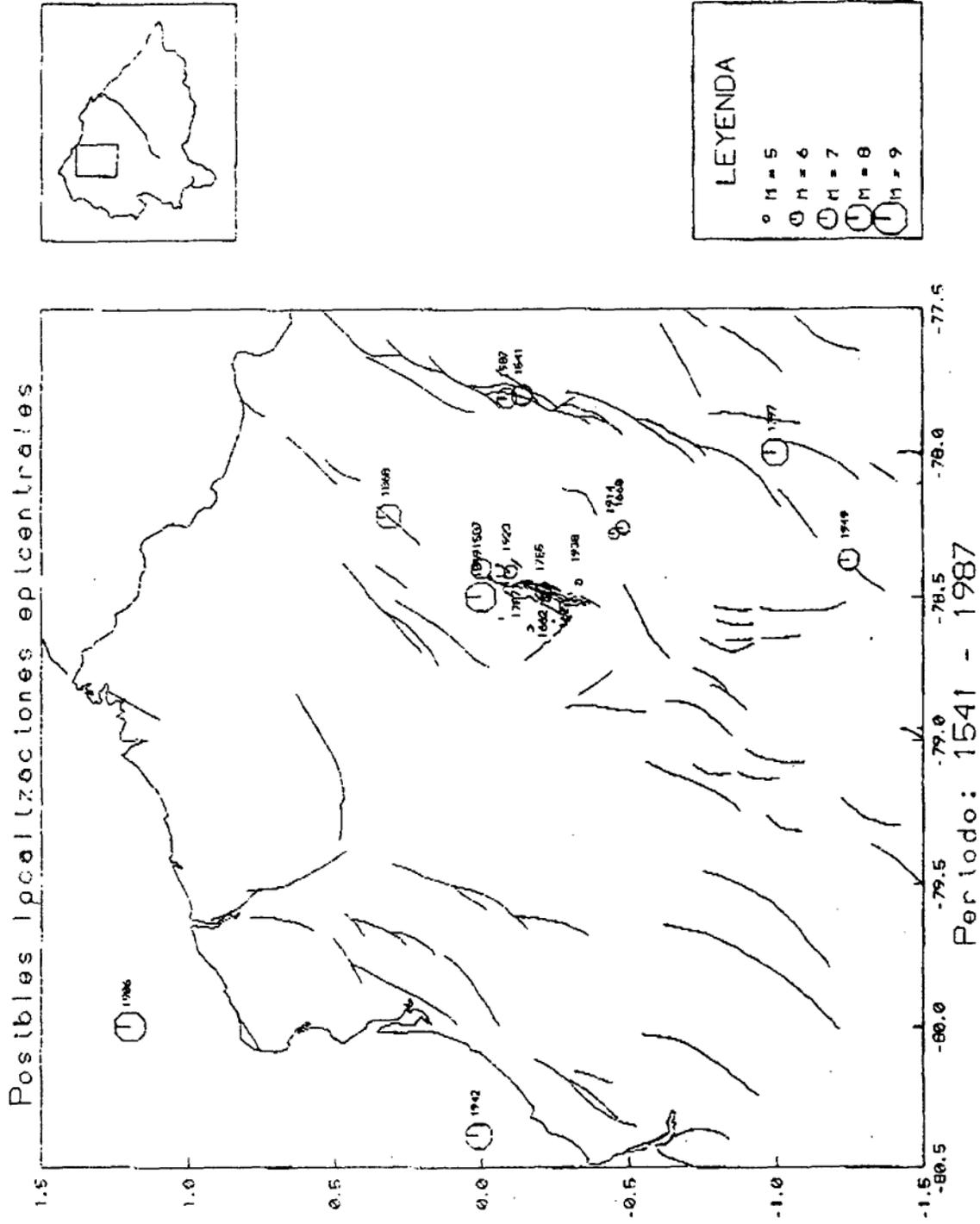
fallamiento activo que se desarrolla inmediatamente **al Este de la** ciudad y que penetra oblicuamente debajo de ella con una inclinación hacia el **Oeste**. Aunque los sismos no parecen haber sido muy grandes, esto es que **sus magnitudes no** hayan sido mayores, su cercanía a Quito hace que se produzcan daños de consideración. **Los principales eventos** de esta zona **sismogénica** son **los** ocurridos en 1755 y **1587**. De todas maneras, **hay otros terremotos** fuertes como el de 1859 ubicado a profundidades del orden de 100 km, o el de Ibarra de 1868 y el de Riobamba de 1797, devastadores en su zona **macrosísmica**, que produjeron también graves efectos en Quito. Los grandes sismos de la fosa en zona de subducción, ubicada **al menos a 200 km al Oeste de** Quito, como los de 1906 y 1942, y que aunque no han causado **mayor daño a la ciudad** antigua, podrían **ser** muy peligrosos para las estructuras **actuales**.

La microsismicidad detectada por las redes instrumentales de sismógrafos determina también la presencia de estructuras **geológicas** activas capaces de generar sismos fuertes a futuro. La **distribución de los** hipocentros permite observar al menos **dos alineaciones** importantes en las inmediaciones de Quito (Fig. 2). La primera se localiza al SW de **la Ciudad**, **sobre la población de Lloa**, tiene una longitud aproximada de 12 km y una dirección NW-SE, se relaciona con la **falla** Río Cinto-Guayacáin y una **reactivación tectónica** de todo el segmento de 12 km sería **capaz de** generar un sismo de una magnitud de entre 6.5 y 7.0. **La segunda** se da hacia el NE de Quito, tiene una **longitud** aproximada de 15 km y una dirección NNW-SSE. Esta alineación se ha venido conformando a raíz del **sismo de Pomasquí de 1990** ($m_b=5.0$) y **sus réplicas**, y del sismo de enero de 1995 ($m_b=4.6$) y **sus réplicas** y tiene un **potencial de generación de un sismo de magnitud** también entre 6.5 y 7.0.

Dado que las fuentes **sismogénicas en el Ecuador** se pueden agrupar en fuentes de subducción y en fuentes de fallamiento **continental**, se buscaron **al menos dos leyes de** atenuación, una para cada ambiente **sismotectónico**. Se analizaron **dos leyes** desarrolladas **para el proceso de subducción y ocho para las fuentes sismotectónicas de fallamiento continental**, incluyendo las obtenidas para el Ecuador **durante la** realización del Proyecto de **Manejo del Riesgo Sísmico** en Quito (1). Finalmente se trabajó con una **combinación de curvas** de atenuación de **Martín (5)** y **Katayama (6)**. Con **ellas se reprodujeron** satisfactoriamente los niveles altos de **aceleración reportados** para Quito, pero se encontró que para los niveles bajos, es decir aquellos menores que 100 gals, las curvas sobreestimaban las aceleraciones históricas.

Para el cálculo del peligro sísmico se utilizó **una malla** de 6 km por lado y se **interpolaron los** valores para obtener líneas de **isoaceleración** con períodos de retorno de 20, 115 y 475 años que **corresponden respectivamente al 92, 35 y 10 por ciento de probabilidad de excedencia en 60 años de las aceleraciones** obtenidas. En la **Tabla 1** se sintetizan los estos resultados.

SISMICIDAD HISTORICA DE LA CIUDAD DE QUITO



SISMICIDAD DE LA CIUDAD DE QUITO

