



Peligro Sísmico de la falla geológica Aeropuerto, Margen este de la ciudad de Managua, Nicaragua

© Copyright 2019. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua)
Todos los derechos reservados

Seismic hazard on the Airport geological fault, East part of Managua city, Nicaragua

Xochilt Zambrana

Docente - Investigador

Departamento de Tecnología, Facultad de Ciencias e Ingenierías, Docente Titular

<https://orcid.org/0000-0002-2224-9742>

xza-86@hotmail.com

Fecha de recibido: 23/09/2019

Fecha de dictaminado: 01/10/2019

Resumen

La Falla Aeropuerto se localiza en la parte este de la ciudad de Managua, es una zona de falla sísmicamente activa, se orientación N-S y se extiende con una longitud aproximadamente de 16.2 km. La zona de Falla Aeropuerto representa un peligro sísmico para la Ciudad Capital, que históricamente ha sido destruida por terremotos de magnitud moderada (Ms 6-6.2) causados por la ruptura de fallas geológicas, dejando efectos devastadores en las construcciones y provocando la pérdida de vidas humanas por el colapso total de viviendas y edificaciones.

Con el fin de evaluar el riesgo sísmico de la Falla Aeropuerto se llevó a cabo una investigación para estudio del suelo donde se aplicaron métodos geofísicos de exploración sísmica, tales como; Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW), mediciones de microtemores utilizando las técnicas de SPAC y Nakamura. La combinación de estos métodos

proporciona información para la caracterización sísmica del suelo.

En el presente estudio tiene como objetivo estudiar las condiciones y características sísmicas de los suelos en el margen este de Managua específicamente en la zona de falla geológica del aeropuerto. Los resultados de estudio son de gran importancia para la prevención de desastres por terremotos, la planificación del territorio y aportan información para la reducción del riesgo sísmico en la parte este de la Ciudad Capital.

Palabras claves

Amenaza sísmica, métodos sísmicos, falla Aeropuerto, terremotos.

Abstract

The Airport seismic fault is located in the eastern part of the city of Managua; it is a seismically active fault zone, N-S orientation and extends approximately 16.2 km long. The Airport Failure zone represents a seismic danger for the Capital City, which has historically been destroyed by earthquakes of moderate magnitude (Ms 6-6.2) caused by the breakdown of geological faults, leaving devastating effects on the constructions and causing the loss of human lives by the total collapse of homes and buildings.

In order to evaluate the seismic risk of the Airport Fault, an investigation was carried out to study the soil where geophysical methods of seismic exploration were applied, such as; Multichannel Surface Wave Analysis (MASW), microtremors measurements using SPAC and Nakamura techniques. The combination of these methods provide information for the seismic characterization of the soil.

In the present study, the objective is to study the conditions and seismic characteristics of the soils in the eastern margin of Managua, specifically in the geological fault zone of the Airport. The study results are of great importance for earthquake disaster prevention and territory planning and provide information for the reduction of seismic risk in the eastern part of the Capital City.

Keywords

Seismic hazard, seismic methods, Airport fault, earthquakes.

Introducción

Los terremotos son los peligros geológicos más destructivos que a través de la historia han ocasionado daños a la infraestructura y han dejando cuantiosas pérdidas de vidas humanas afectando la economía de un país. Estos eventos geológicos se producen por la sacudida violenta del suelo producido por la liberación de energía acumulada durante un periodo de tiempo. Los terremotos más comunes y más destructivos a nivel mundial se han producido por la ruptura de fallas geológicas. También pueden ocurrir eventos sísmicos por otras causas por ejemplo, la interacción de las placas tectónicas o por actividad volcánica.

Cuando un terremoto ocurre el nivel de daños ocasionados en un área determinada no solo depende de los parámetros tales como la localización, profundidad y magnitud, también los daños pueden ocurrir en dependencia de las características del suelo que es el medio a través del cual se libera la energía del terremoto a través de las ondas sísmicas que viajan desde la fuente de ruptura hasta la superficie de la tierra.

Una forma de conocer las características físicas-dinámicas del suelo es a partir de estudios sísmicos que permiten estimar el modelo y el movimiento del suelo ante un evento sísmico. Los modelos del suelo (V_s) son una de las herramientas más importantes para la estimación y predicción del movimiento sísmico y brindan información de parámetros, tales como, velocidad con la que se mueve el terreno, la geometría y los tipos de suelos presente en un área determinada, cuya información es de gran interés en el campo de la ingeniería y para la planificación urbana.

En este estudio se estimaron modelos sísmicos del suelo alrededor de la Falla Geológica Aeropuerto, Managua, Nicaragua, cuyos modelos son gran importancia para la reducción del riesgo sísmico y la prevención desastres por terremotos en áreas urbanas y con alto grado de amenaza sísmica.

Proyección social de estudio

La universidad tiene un modelo de investigación científica integrador de paradigmas universales; un mejoramiento humano y profesional desde una concepción de la educación para la vida; programas de proyección y extensión social, todo ello en un marco de cooperación genuina, equidad, compromiso y justicia social y en armonía con el medioambiente.

Las investigaciones académicas aporten información valiosa para resolver los problemas y enfrentar los desafíos de nuestro país en temáticas de los riesgos y desastres naturales que han dejado cuantiosas pérdidas económicas y de vida humana a lo largo de la historia.

El estudio de peligro sísmico en la Falla Aeropuerto es una herramienta indispensable para conocer el comportamiento de los terremotos que afectan la ciudad de Managua y con ello aplicar medidas de prevención para evitar tragedias, como la que se vivió hace 46 años, durante el sismo del 23 de diciembre de 1972. Los sismos van a seguir ocurriendo en Managua,

pero en la medida en que mejoremos el control de calidad de las construcciones y conozcamos las características de los suelos, vamos a tener una mejor percepción de la amenaza y del riesgo, además la sociedad que se apoye en la ciencia en la investigación científica, para prevenir los desastres por terremotos y proteger a la población.

Objetivo del estudio

El objetivo del estudio es caracterizar el peligro sísmico de Falla del Aeropuerto, Managua, Nicaragua y aportar información útil sobre las propiedades de los suelos del sitio de investigación. Conocer de las características sísmicas de los suelos es de gran importancia para estimar los efectos secundarios que podrían ocurrir durante un sismo originado por la falla geológica tales como la amplificación del movimiento sísmico del suelo durante el sismo, daños en las edificaciones y viviendas, pérdida de rigidez del terreno. Los métodos de investigación utilizados en este estudio son herramienta importante para la exploración del sitio y aportan información para prevenir y mitigar los desastres por terremotos y reducir el riesgo sísmico en la ciudad de Managua.

Referentes conceptuales o marco teórico

Fallas Geológicas de Managua

Managua por su contexto geológico se considera como una estructura tectónica activa y de peligro sísmico para las 937489 personas que habitan en la ciudad capital (INEDE, 2008). Esta estructura geológica está definida por las siguientes fallas principales: La Falla Punta Huete en su margen NW y la Falla Cofradía en su flanco Este y en el flanco W es delimitado por la Falla Nejapa, en la cual se localizan 25 estructuras volcánicas antiguas y el volcán Apoyeque y la Falla Mateare una de las fallas geológicas más extensas del país. En el límite sur de Managua se localiza el Complejo Volcánico de Masaya uno de los volcanes más activo de Nicaragua. La falla Aeropuerto es localizada en el margen este de Managua y amenaza latentemente a la ciudad metropolitana (Figura 1).

Históricamente numerosos eventos sísmicos superficiales de magnitud moderada han ocurrido en la de Ciudad de Managua y sus alrededores en los años de 1931 y 1972, con magnitud (M_s 6-6.2), originados por

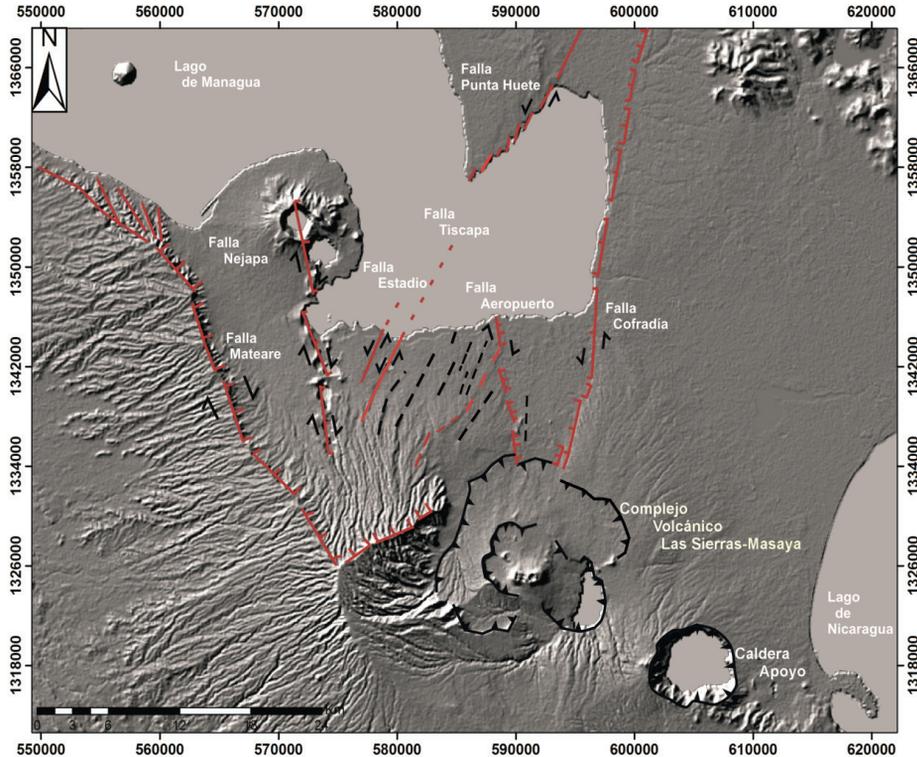


Figura 1. Mapas de Fallas geológicas de Managua (representadas por las líneas rojas) y principales estructuras volcánicas. La falla geológica del Aeropuerto se localiza en el margen de la ciudad capital.

la ruptura de fallas geológicas y han causado daños el área urbana dejando cuantiosas pérdidas económicas y de vidas humanas. Es de gran importancia realizar estudios geológicos que permitan caracterizar las fallas geológicas en Managua y reducir los impactos que pueden provocar los terremotos en la ciudad capital.

Área de estudio: Falla Geológica del Aeropuerto.

El área de investigación comprende la Falla geológica del Aeropuerto localizada en el margen este la ciudad de Managua (Figura 2). La Falla de Aeropuerto forma el límite oeste de la denominada estructura geológica conocida como Graben de Aeropuerto, una depresión tectónica activa que ha sido rellenada por sedimentos y depósitos volcánicos.

La Falla Geológica del Aeropuerto presenta una longitud de 16.2 km y una dirección promedio de N30E. Según investigaciones por Cowan et al., 2002, esta falla geológica es sísmicamente activa y su penúltimo evento sísmico se estima que ocurrió hace 2000 años.

El sitio de estudio corresponde una zona de alto riesgo sísmico por la cual se considera necesaria y pertinente esta investigación. En esta zona se está dando el crecimiento demográfico y desordenado de la población y se están desarrollando asentamientos humanos espontáneos y urbanizaciones que no cumplen con los códigos y normas de construcción, y estos se encuentran localizadas sobre una zona de falla activa, la cual pudiera ocasionar eventos sísmicos en el futuro provocando el colapso de viviendas y causando la pérdida de vida humana.

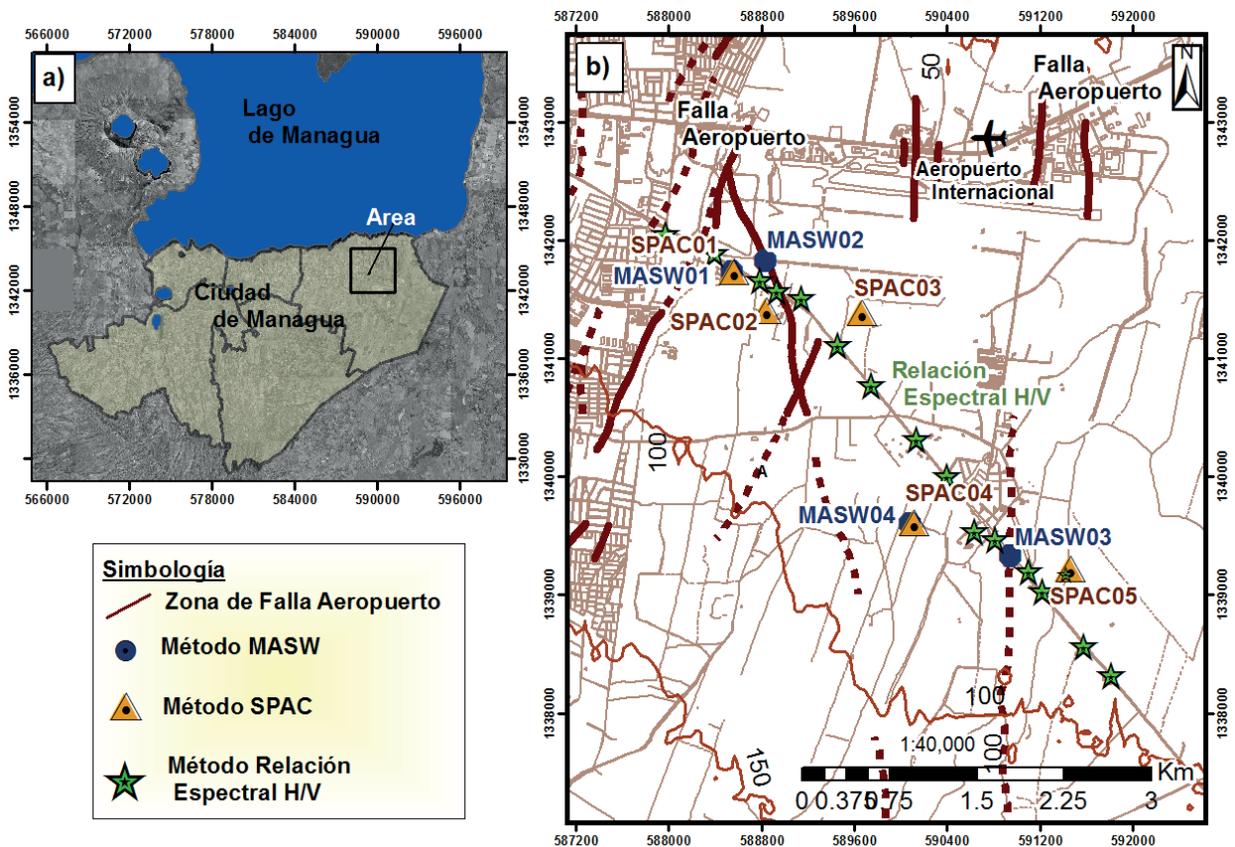


Figura 2. Mapa de localización del área de estudio: a) Ciudad de Managua, Capital de Nicaragua, b) Mediciones de campo en la zona de falla Aeropuerto (representadas por los puntos, estrellas y triángulos).

Material y método

La investigación fue realizada mediante la aplicación de tres tipos método utilizados para la caracterización del suelo; 1) Método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales MASW, 2) Método SPAC y 3) Método de Relación Espectral H/V. La combinación de estas técnicas proporciona mejor información de las características sísmicas del sitio.

Método Sísmico de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW).

Es una técnica de exploración sísmica introducida por Park et al. (1999), la cual se basa en el estudio de la propagación de ondas sísmicas en el suelo producidas por una fuente artificial. Este método requiere de una fuente que genere ondas superficiales, como el golpe de un martillo o la caída libre de un peso. El objetivo es generar un pulso de onda que será detectado en superficie por un arreglo lineal de sensores que transmitirán la señal eléctrica generada por las vibraciones del subsuelo hasta un equipo de grabación, donde esta será digitalizada para su análisis e interpretación (Figura 3. a). A partir de este método de exploración sísmica se estima en un modelo de velocidad del subsuelo en 2-D, lo cual permite determinar y estimar espesores de estratos rígidos y blandos hasta una profundidad < 30 m.

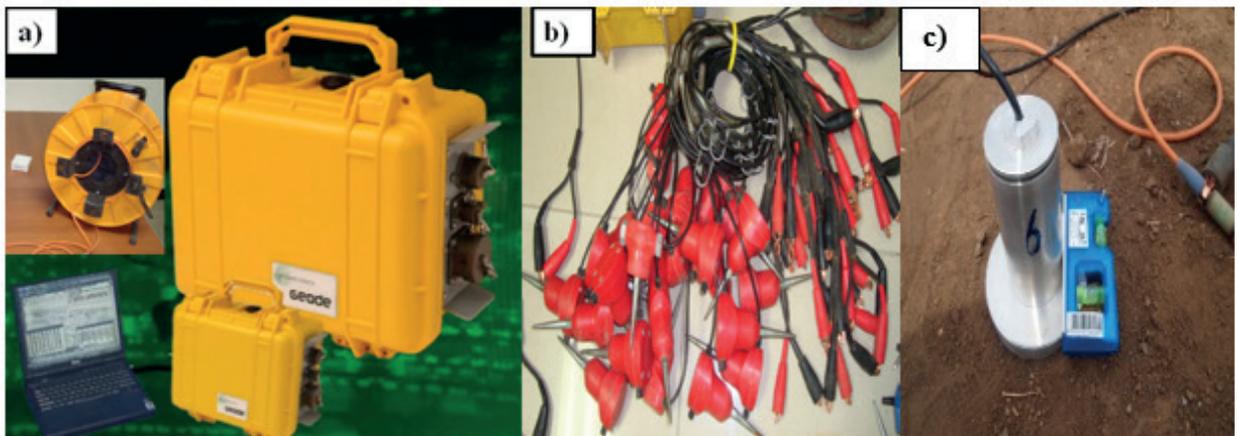


Figura 3. Instrumentación utilizada en los métodos MASW y SPAC a) Sismógrafo, b) y c) geófonos o sensores sísmicos para el registro del movimiento del suelo.

Microtremores

La superficie terrestre vibra constantemente, con amplitudes muy pequeñas del orden de micrómetros. Estas constantes vibraciones de la superficie terrestre son denominadas vibraciones ambientales o microtremores.

Los microtremores son producidos por fuentes artificiales o naturales. Las fuentes artificiales son generadas por las actividades humanas por ejemplo el tránsito vehicular o el ruido de la maquinas, en cambio las fuentes naturales están relacionados con los fenómenos naturales como el viento, mareas de los océanos y las variaciones en la presión atmosférica.

Con el estudio de microtremores podemos adquirir información del movimiento sísmico fuerte o débil, evaluarla las condiciones geológicas del sitio y estimar la estructura del subsuelo, factores claves para prevenir o mitigar desastres por terremotos. Para el estudio de microtremores se utilizan los métodos SPAC y de Relación Espectral H/V.

Método SPAC

Fue introducido en el contexto de análisis de microtremores y está basado en la teoría desarrollada por Aki (1957). El método SPAC (por su nombre en inglés Spatial Autocorrelation Method) es un método con fundamentos físicos y matemáticos que permite estimar el modelo de velocidades del subsuelo, por

el cual se identifican suelos blandos y roca firme. A partir del modelo del suelo se pueden determinar si el movimiento del suelo se intensifica ante un evento sísmico por las características del mismo y que puede provocar daños en las construcciones.

Método de la Relación Espectral H/V

Este método fue propuesto por Nakamura (1989) para el estudio de microtemores y ha tenido bastante aceptación debido a su fácil implementación en el trabajo de campo como en el procesamiento de datos. La instrumentación consiste en un acelerómetro (Figura 4) con el cual se registran microtemores en la superficie, su procesamiento es simple, consistiendo en la aplicación de métodos matemáticos para determinar la amplificación del movimiento sísmico del terreno. Esta técnica es utilizada para estimar vibraciones del suelo, así mismo, es aplicada para obtener más información del terreno a bastante profundidad en comparación de otras técnicas hasta más de 50 metros bajo la superficie.

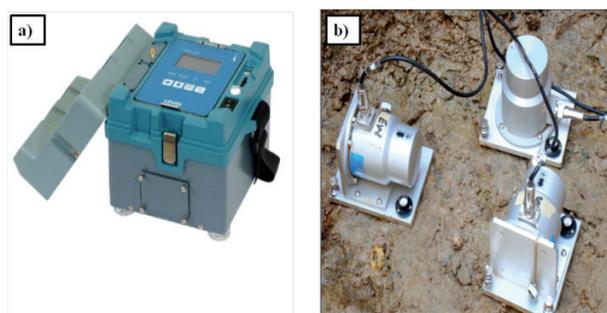


Figura 4. a) Equipo de medición acelerómetro McSIES-MT NEO y b) sensores sísmicos empleado para registros de vibraciones en el suelo.

Análisis y discusión de los resultados

En este estudio se ejecutaron estudios geológicos y sísmicos en la zona de Falla Geológica Aeropuerto, mediante la aplicación de tres métodos; MASW, SPAC y Relación Espectral H/V, con el propósito de generar información útil para la predicción del movimiento del suelo ante un evento sísmico.

Mediante la aplicación del método MASW se estimaron modelos superficiales de subsuelo en dos dimensiones (2D), localizados en cuatros sitios del área de estudio. La figura 5.a) muestra la curva de dispersión o fase de velocidad de la onda sísmica Rayleigh presentando velocidades entre los 180 a 340 m/s y rangos de frecuencias entre los 20 - 45 Hz y la Figura 5.b) es el modelo de velocidad del subsuelo en 2D obtenido a partir de esta curva de dispersión, donde se estiman velocidades entre los 172-250 m/s. Estos valores de velocidad nos indican la presencia de sedimentos blandos en el área de estudio. Los sedimentos blandos tienen la característica de intensificar o amplificar el movimiento del suelo cuando se produce un evento sísmico de gran magnitud y ser responsable del daño extenso en aéreas construidas sobre este tipo de suelo.

Usando el método SPAC se logró obtener modelos en una dimensión (1D) de la estructura profunda del subsuelo del área de investigación. Los resultados indican rangos de velocidades entre los 350 -770 m/s y se infiere sedimentos más compactos o consolidados debajo de los 14 metros de profundidad. Utilizando información obtenida de los métodos MASW, SPAC y Relación Espectral H/V, se construyó un modelo

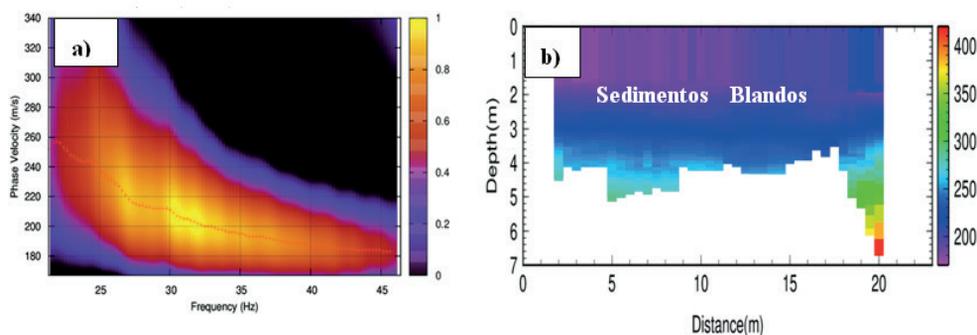


Figura 5. a) Curva de dispersión o fase de velocidad. b) Modelo de velocidad del sub-suelo obtenido por el Método MASW (MASW02).

inicial del subsuelo tomando en cuenta parámetros tales como densidad, velocidad de las ondas sísmicas P y S y espesores del suelo y mediante la aplicación de métodos matemáticos se obtuvo el perfil de velocidad compuesto de cinco capas, el cual este modelo nos indica la estructura del subsuelo y las diferentes capas que lo componen con sus valores de velocidad (figura 6) La primera capa del modelo tiene un espesor de 2.9 m y una velocidad alrededor de los 260 m/s y puede ser interpretada como sedimentos aluviales. La segunda capa presenta valores de velocidad alrededor de los 537 m/s y un espesor de 12.8 m y es interpretada como el basamento ingenieril localizado entre los 3-6 metros de profundidad, lo que significa que a estas profundidades se pueden colocar las bases o cimientos de obras civiles. La tercera capa tiene un espesor aproximado de 9 metros y su velocidad es de 560 m/s y es considerada como sedimentos volcánicos con pequeña consolidación. La cuarta capa del modelo es localizada a 25 m de profundidad y presenta un valor de velocidad de 600 m/s. La capa más profunda es localizada a los 39 metros de profundidad y presenta una velocidad de 890 m/s y se interpreta como sedimentos volcánicos muy consolidados.

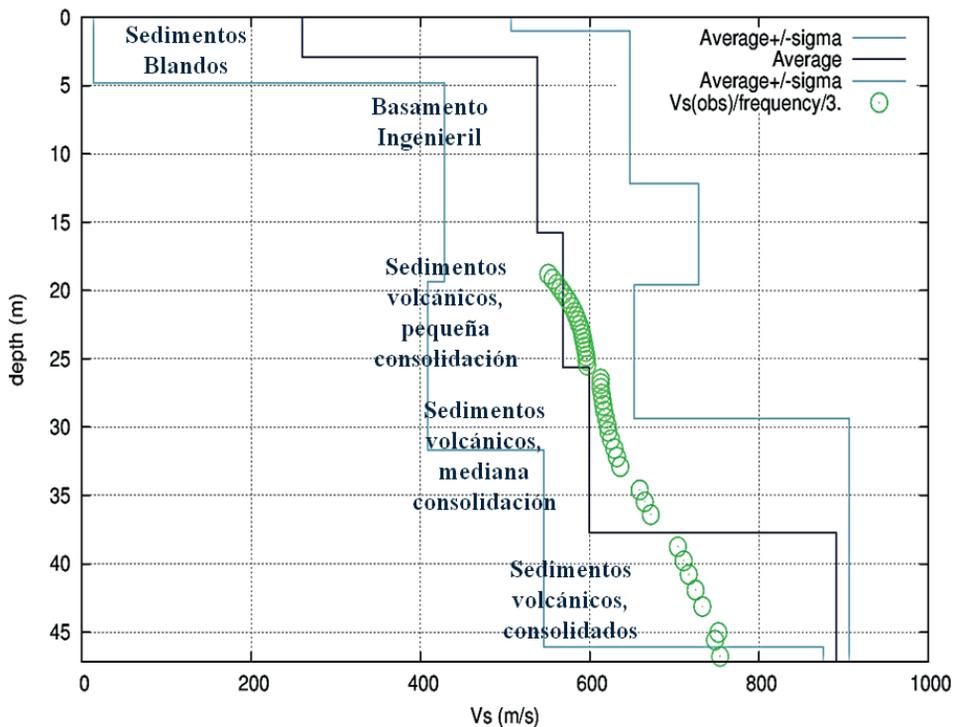


Figura 6. Modelo del subsuelo en la zona de falla geológica del Aeropuerto.

Conclusiones y recomendaciones

Las características sísmicas de los suelos presente en la zona de Falla Aeropuerto pueden generar efectos inducidos por sismos como el fenómeno de la licuefacción, así también hundimientos y levantamientos del terreno, debido a la presencia de sedimentos no consolidados y el nivel del agua subterránea muy somero en sitio.

El fenómeno de licuefacción es un efecto secundario cuando se origina un sismo y se describe como el comportamiento del suelo sujeto a fuerzas sísmicas

cambiando su estado de solido a un liquido debido a la pérdida de su rigidez e induce daños severos en las estructuras, edificios y líneas vitales (infraestructuras de transporte de personas, y telecomunicaciones).

La Falla Aeropuerto representa una zona de alto riesgo sísmico y amenaza latentemente con la alta probabilidad de generar un terremoto destructivo que afectarían la ciudad de Managua provocando daños severos en las construcciones que no cumplan con un adecuado diseño para soportar las fuerzas de un sismo de gran magnitud.

Con este estudio se determinaron las características dinámicas (velocidades, periodos, amplificaciones) de los suelos en la zona de Falla Aeropuerto, parámetros que deben de tomarse en cuenta en la planificación de obras civiles y el diseño antisísmico.

Se recomienda a las autoridades municipales tomen encuesta este tipo de estudio, en los futuros proyectos de construcción para el diseño sísmico de las edificaciones ya que se brinda información valiosa para la reducción del riesgo sísmico y desastres por terremotos en la zona de investigación.

Agradecimientos

Esta investigación fue llevada a cabo como parte de la colaboración entre la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua y el Instituto Internacional de Sismología e Ingeniería de Terremotos de Japón, con el apoyo financiero de la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA). Este artículo es producto de la investigación de tesis de maestría con de beca de JICA. Mis agradecimiento a los tutores del trabajo Dr. Toshiaki YoKoi y Dr. Takumi Hayashida del International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Building Research Institute, Japan.

También al Msc. Marlon Díaz, Decano de la facultad de Ciencias e Ingenierías por su apoyo brindado en mi labor y formación Docente. Al Instituto de Geología y Geofísica por disposición de equipos en el desarrollo de la investigación.

Referencias bibliográficas

1. Aki, K., 1957, Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors, Bulletin of the Earthquake Research Institute, 35, 415-456.
2. Cowan, C.P., Daniela Pantosti, and Paolo de Martini. and Wilfried Strauch, 2002, Late Holocene Earthquakes on the Aeropuerto Fault, Managua, Nicaragua, Seismological Society of America, 92, 1694-1707.
3. Nakamura, Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, Q. Rep. Railw. Tech. Res. Inst. 30, no. 1, 25 - 33.
4. Park, C.B., Miller, R.D., and Xia, J., 1999, Multichannel analysis of surface waves (MASW), Geophysics, 64, 800-808.
5. Página web: Instituto Nacional de Información de Desarrollo, <http://www.inide.gob.ni/>
6. Zambrana, X., 2014. Estimation of shear wave velocity structure using surface waves on the Aeropuerto Fault, Managua, Nicaragua. Master Thesis. National Graduate Institute for policy studies (GRIPS), Tokyo Japan and International Institute of Seismology and Earthquake Engineering (IISEE), Building Research Institute (BRI), Tsukuba, Japan. 1-64.