

**CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DE SUELOS EN LA UNIVERSIDAD DE
NARIÑO SEDE SAN JUAN DE PASTO MEDIANTE EL MÉTODO DE
MICROTREPIDACIONES PROPUESTO POR NAKAMURA**

CARLOS FERNANDO ROSALES BURGOS

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2013**

**CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DE SUELOS EN LA UNIVERSIDAD DE
NARIÑO SEDE SAN JUAN DE PASTO MEDIANTE EL MÉTODO DE
MICROTREPIDACIONES PROPUESTO POR NAKAMURA**

CARLOS FERNANDO ROSALES BURGOS

Director

MICHEL BOLAÑOS GUERRERO I.C. Esp.

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2013**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo de grado, son responsabilidad del autor”

Artículo 1 del acuerdo N° 324 de octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación:

Firma Director

Firma del Jurado

Firma del Jurado

San Juan de Pasto, Abril 2013

AGRADECIMIENTOS

A LA UNIVERSIDAD Y SUS DEPENDENCIAS

Al departamento de Ingeniería Civil de Universidad de Nariño y docentes los cuales me permitieron realizar mi formación como profesional.

Al Grupo de investigación GRAMA y a su director en I.C Phd. Gustavo Córdoba, por acoger este proyecto y poder seguir su desarrollo.

A la Dependencia de Servicios Generales y su personal por la colaboración prestada.

A las directivas de los bloque en estudio (Bloque 2, Bloque 3, Biblioteca A.Q.G, la facultad de Educación, Idiomas y lingüística y los laboratorios de Ingeniería).

Fondo de Construcciones de la Universidad de Nariño y su director el I.C Carlos Buchelli, Por la información suministrada.

PROFESIONALES

Al I.C Phd. Hugo Coral, por brindarme el proyecto de investigación.

Al I.C Michel Bolaños por acoger este proyecto y ser el director, por su tiempo y colaboración prestada en el desarrollo de este trabajo y dar cumplimiento a este.

Al I.C Andrés Hillón, por su dirección, asesoría, colaboración y apoyo en momentos decisivos del proyecto.

AL I.C Roberto Torres, al I.C Javier Moreno, Jurados de esta investigación; por su colaboración e interés

PERSONALES

Muy especialmente le agradezco a mi padre, madre, hermanos Víctor y Luis por su apoyo durante en todo el desarrollo de esta investigación. “inolvidable, los trasnochos en las jornadas de medición”. Y demás familiares por su apoyo incondicional.

A Camilo Pazmiño, Edison Rosas, Juan Pantoja, Héctor Gomajoa, por su compañerismo y amistad.

Al único y sabio Dios, sea gloria
mediante Jesucristo para siempre.
AMÉN

A

Mis padres, Luis e Irma
Mi Abuelo, Víctor Rosales
Mis hermanos, Víctor, Luis, Tatiana
Mi sobrino, David Felipe Rosales
Mis familiares y amigos

RESUMEN

Este trabajo se realizó en la Universidad de Nariño sede Pasto; establecimiento de educación superior que influye en el departamento de Nariño, a causa del entorno sísmicamente activo en que se desarrolla, hacen que este sea propenso a sufrir pérdidas humanas y materiales ya que no cuenta con información sobre el depósito de suelo donde se encuentra emplazada.

Como principal eje de esta investigación se realizó la evaluación de la respuesta dinámica de los suelos en la Universidad de Nariño, aplicando el método de Nakamura (relación espectral H/V), propuesto por Nogoshi y Igarashi en 1971, pero extendido por Nakamura en 1989; que consiste en estimar la función de transferencia de las capas superficiales del suelo, mediante la relación de la amplitud de los espectros de Fourier de la componente horizontal (H) y vertical (V), utilizando microtrepidaciones en superficie; obteniendo la frecuencia natural del suelo y el factor de amplificación. Se estableciendo seis lugares de la Universidad de Nariño, que fueron: la Biblioteca Alberto Quijano Guerrero (AQQ), Bloque 2 Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas (FACEA), Bloque 3 Facultad de Ciencias Exacta y Naturales (FACEN), Laboratorios de Ingeniería en Torobajo. La Facultad de Educación, El Bloque de Idiomas y Lingüística en la Vicerrectoría de Investigaciones, Postgrados y Relaciones Internacionales (VIPRI), sitios de referencia para la toma de registros de microtrepidaciones.

Los resultados obtenidos mostraron que los depósitos de suelo amplifican los efectos del sismo, presentando una relación inversa de la frecuencia de vibración natural con el factor de amplificación; siendo la frecuencia natural de 0.59 Hz y el factor de amplificación de 2.31 a 2.70, con un espesor del depósito de 130 m para la VIPRI. En Torobajo se presentó una variación en las frecuencias estando entre 0.90 Hz – 8.43 Hz en tanto que el factor de amplificación esta entre 1.61 a 2.21 y el espesor del depósito varia de 10 a 90 m, asumiendo que estos resultado representan unas estimación de la respuesta dinámica del suelo en donde se emplaza la Universidad de Nariño.

ABSTRACT

This work was performed at the University of Nariño in Pasto, institution that influences the Nariño department, because of the seismically active environment in which it develops, make this prone to human and material losses because there are not information about the soil deposit where it is located.

The main focus of this research was conducted evaluating the dynamic response of the soil at the University of Nariño, applying the method of Nakamura (spectral ratio H / V), and Igarashi Nogoshi proposed in 1971, but extended by Nakamura in 1989 , involves estimating the transfer function of the surface layers of the soil, by the ratio of the amplitude of the Fourier spectra, of the horizontal component (H) and vertical (V), using surface microtremors; obtaining the natural frequency of the soil and the amplification factor. Six sites were established at the University of Nariño, which were: Alberto Quijano Library Guerrero (AQG), Block 2 Faculty of Economics and Administrative Sciences (FACEA), Block 3 Faculty of Exact and Natural Sciences (FACEN) Engineering Laboratories in Torobajo. The Faculty of Education and Languages and Linguistics block in the Vice-Rector for Research, Graduate Studies and International Relationships (VIPRI), referring sites for making records of microtremors.

The results showed that soil deposits amplify the effects of earthquake, presenting an inverse relationship to the natural vibration frequency of the amplification factor, being the natural frequency of 0.59 Hz and the amplification factor of 2.31 to 2.70 with a shell thickness of 130 m for the VIPRI. Torobajo appeared in a variation in the frequency being between 0.90 Hz - 8.43 Hz while the amplification factor is between 1.61 to 2.21 and the shell thickness varies from 10 to 90 m, assuming that these results represent a response estimate soil dynamics where is located the University of Nariño.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	25
1. ÁREA DE ESTUDIO: UNIVERSIDAD DE NARIÑO SEDE SAN JUAN DE PASTO.....	25
1.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.....	25
1.2 ENTORNO GEOLÓGICO DE LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO.....	26
1.3 BREVE RESEÑA HISTÓRICA DE LA SISMICIDAD DE LA CIUDAD DE PASTO.....	28
2. CARACTERIZACIÓN DEL MOVIMIENTO DEL SUELO.....	30
2.1. DESCRIPCIÓN DE ONDA SÍSMICA	30
2.2. FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA.....	31
2.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL MOVIMIENTO DEL SUELO.....	33
3 METODOLOGÍA APLICADA	35
3.1 MÉTODO DE NAKAMURA O RELACIÓN ESPECTRAL H/V	35
3.2 ANTECEDENTES DE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE NAKAMURA.....	37
4. ESTIMACIÓN DE LA FRECUENCIA NATURAL EN LAS ESTRUCTURAS UTILIZADO MICROTREPIDACIONES.....	41
4.1. PLANTEAMIENTO PARA DETERMINAR LA FRECUENCIA NATURAL	41
4.2. CONCEPTO E INFLUENCIA DE LA FRECUENCIA NATURAL.....	42
4.3 CONCEPTO DE SISTEMAS DINÁMICOS	42
4.3.1 Planteamiento de la ecuación de movimiento para un sistema de un grado de libertad.	43
5. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN.	45
5.1 CLASIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE LAS ZONAS DE ESTUDIO.	45
5.2. DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA DE LAS MICROTREPIDACIONES ..	46
5.3. SITIOS DE MEDICIÓN Y REGISTROS.....	47
6. PROCESAMIENTO DE LAS SEÑALES, OBTENIDAS DE LAS MICROTREPIDACIONES.....	50

6.1	RELACIÓN ESPECTRAL H/V DE NAKAMURA.....	50
6.2.	DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA NATURAL DE LAS EDIFICACIONES.....	51
7	RESULTADOS	53
7.1	RELACIÓN ESPECTRAL H/V DE NAKAMURA.....	53
7.2	FRECUENCIA NATURAL DE LAS EDIFICACIONES ESTUDIADAS.....	55
7.3	COMENTARIO DE LOS RESULTADOS	56
8	CONCLUSIONES.....	58
9	RECOMENDACIONES.....	59
	BIBLIOGRAFÍA.....	60
	ANEXOS	65

LISTA DE TABLAS

Tabla 5.1.	Velocidad de onda de corte estimada para las zonas de estudios ..	45
Tabla 5.2.	Jornadas de medición para la Biblioteca Alberto Quijano Guerrero–Universidad de Nariño sede Torobajo	47
Tabla 5.3.	Jornadas de medición para el Bloque 2 –Universidad de Nariño sede Torobajo.....	47
Tabla 5.4.	Jornadas de medición para el Bloque 3 –Universidad de Nariño sede Torobajo.....	48
Tabla 5.5.	Jornadas de medición para la Facultad de Educación – Universidad de Nariño sede VIPRI	48
Tabla 5.6.	Jornadas de medición para el Bloque de Idiomas y Lingüística - Universidad de Nariño sede VIPRI	48
Tabla 5.7.	Jornadas de medición para el Laboratorio de Ingeniería – Universidad de Nariño sede Torobajo.....	49
Tabla 7.1	Resumen de resultados obtenidos mediante la relación H/V.....	53
Tabla 7.2	Resultados estimados del espesor del depósito (H) y la velocidad de onda de corte para el basamento (V_B).....	54
Tabla 7.3	Valor de los parámetros C_t y α para el cálculo del período aproximado T_a (modificado de NSR 10).....	56
Tabla 7.4	Comparación de Frecuencias Naturales obtenidas por medio de las microtrepidaciones y la NSR 10	56
Figura 7.5	Valores estimativos de la amplificación de las ondas sísmicas: A - factor de amplificación obtenido de H/V, I - índice de trasmisión ..	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Localización geográfica de las sedes de la Universidad de Nariño.	25
Figura 1.2.	Edificaciones de estudio. 1-Biblioteca AQQ, 2-FACEA, 3-FACEN, 4-Laboratorios de Ingeniería, 5-Facultad de Educación, 6- Idiomas y Lingüística	26
Figura 1.3.	Entorno Geológico de la Universidad de Nariño; 1. Sede Torobajo, 2. Sede VIPRI (Plancha 429 INGEOMINAS)	27
Figura 1.4.	Principales rasgos estructurales que inciden en la zona de estudio (Silva, 2005, 175p)	28
Figura 2.1.	Tipo de ondas de volumen y superficiales (Tomado de Rosales, 2001).....	31
Figura 2.2	Función de Transferencia (Rosales, 2001)	31
Figura 2.3	Función de transferencia por las estructuras geológicas (modificado de Rosales, 2001).	32
Figura 3.1	Estructura geológica típica de un deposito sedimentario (Nakamura, 2000).....	35
Figura 4.1.	Esquema para estimar la frecuencia natural en edificaciones	41
Figura 4.2.	Modelos dinámicos de un grado de libertad – (Coral, 2009).....	43
Figura 5.1.	Esquema ilustrativo de la recopilación de la información y medida de las microtrepidaciones en el sitio - ejemplo Bloque 3.....	46
Figura 7.1	Frecuencia natural f_o , Amplitud A , Espesor del depósito H , velocidad de onda de corte en el basamento V_B . Sede Torobajo ...	54
Figura 7.2	Frecuencia natural f_o , Amplitud A , Espesor del depósito H , velocidad de onda de corte en el basamento V_B . Sede VIPRI	55

LISTA DE FIGURAS - ANEXOS

Figura A.1	Acelerógrafo CUSP_3C (Manual de usuario)	65
Figura A.2	Acelerógrafo EAR_1 (Rosero y Cadena, 2009)	67
Figura B.1.1.	Relación espectral y Espectros de Fourier para la Biblioteca Alberto Quijano Guerrero, Nv de placa de piso - Autor.....	68
Figura B.2.1.	Relación espectral y Espectros de Fourier para el Bloque 2 a Nv de zapata	70
Figura B.2.2.	Relación espectral y espectros de Fourier para el Bloque 2 a Nv de suelo	71
Figura B.2.3.	Relación espectral y espectros de Fourier para el Bloque 2 a Nv de Placa de piso	72
Figura B.3.1.	Relación espectral y espectros de Fourier del Bloque 3, a Nv de Placa de piso	73
Figura B.4.1.	Relación espectral y espectros de Fourier de la Facultad de Educación a Nv de Placa de piso - Autor.....	75
Figura B.5.1.	Relación espectral y espectros de Fourier del Bloque de Idiomas y Lingüística a Nv de Placa de piso.	76
Figura B.6.1.	Relación espectral y espectros de Fourier de los Laboratorios de Ingeniería a Nv de Placa de piso	78

LISTA DE TABLAS - ANEXOS

Tabla B.1.1. Resultados de H/V obtenidos para la Biblioteca A.Q.G.	68
Tabla B.1.2. Resultados para la Biblioteca AQQ, Aceleración (\ddot{x}), Velocidad (\dot{x}), Desplazamiento (x) y Frecuencia Natural (f)	69
Tabla B.2.1. Resultados de H/V obtenidos para el Bloque 2 –Nv de zapata	69
Tabla B.2.2. Resultados de H/V obtenidos para el Bloque 2 –Nv de suelo.....	70
Tabla B.2.3. Resultados de H/V obtenidos para el Bloque 2 –Nv placa de piso ..	71
Tabla B.2.4. Resultados para el Bloque 2 FACEA, Aceleración (\ddot{x}), Velocidad (\dot{x}), Desplazamiento (x) y Frecuencia Natural (f)	72
Tabla B.3.1. Resultados de H/V obtenidos para el Bloque 3	73
Tabla B.3.2. Resultados para el Bloque 3, Aceleración (\ddot{x}), Velocidad (\dot{x}), Desplazamiento (x) y Frecuencia Natural (f).....	74
Tabla B.4.1. Resultados de H/V obtenidos para la Facultad de Educación- VIPRI	74
Tabla B.4.2. Resultados de H/V obtenidos para la Facultad de Educación- VIPRI - continuación	75
Tabla B.4.3. Resultados para el Bloque Facultad de Educación –VIPRI; Aceleración (\ddot{x}), Velocidad (\dot{x}), Desplazamiento (x) y Frecuencia Natural (f).....	75
Tabla B.5.1. Resultados de H/V obtenidos para el Bloque de Idiomas y Lingüística –VIPRI.	76
Tabla B.5.2. Resultados para el Bloque Idiomas y Lingüística -VIPRI, Aceleración (\ddot{x}), Velocidad (\dot{x}), Desplazamiento (x) y Frecuencia Natural (f).....	77
Tabla B.6.1. Resultados de H/V obtenidos para el Bloque de los Laboratorios de Ingeniería.....	77
Tabla B.6.2. Resultados para el Bloque Laboratorios de ingeniería, Aceleración (\ddot{x}), Velocidad (\dot{x}), Desplazamiento (x) y Frecuencia Natural (f).....	78

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A.EQUIPOS DE MEDICIÓN.	65
A.1.1. ACELERÓGRAFO CUSP 3C.....	65
A.1.2. ACELERÓGRAFO EAR-1.....	66
ANEXO B. TABLAS Y FIGURAS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	68
B.1 BIBLIOTECA ALBERTO QUIJANO GUERRERO.....	68
B.2 BLOQUE 2 – FACEA - TOROBAJO	69
B.3. BLOQUE 3 – TOROBAJO	73
B.4 BLOQUE FACULTAD DE EDUCACIÓN – VIPRI.....	74
B.5. BLOQUE DE IDIOMAS Y LINGÜÍSTICA VIPRI.....	76
B.6. LABORATORIOS DE INGENIERÍA - TOROBAJO	77
ANEXO C. PLANOS ESTRUCTURALES Y ARQUITECTÓNICOS.....	79

INTRODUCCIÓN

La Universidad de Nariño, ubicada en la Ciudad de Pasto, se localiza entre el oriente del Volcán Galeras y el occidente del Río Pasto, es “reconocida por la contribución en la formación de seres humanos, ciudadanos y profesionales en diferentes áreas del saber y del conocimiento con fundamentos éticos y espíritu crítico para el desarrollo regional” (Estatuto General UDENAR, 2010); cuenta con una población de 8783 estudiantes, 1287 docentes y 642 administrativos (UDENAR Estadísticas poblacionales y Población docente y administrativos, 2009); que ante la ocurrencia de un sismo es posible estimar que ocurra de la suspensión de las actividades o colapso de la Universidad de Nariño, siendo la población universitaria y la región los realmente afectados.

A causa de la geología y geomorfología en la que se desarrolla la Universidad de Nariño es posible estimar que esta sea afectada por el efecto de sitio o amplificación de las ondas sísmicas.

Como objeto de esta investigación, se realiza una estimación de la respuesta dinámica de los suelos en predios de la Universidad de Nariño, aplicando el método de Nakamura (relación espectral H/V), utilizando microtrepidaciones registradas en superficie. Método que “ha sido utilizado en varios sitios con diferentes propiedades geotécnicas, comprobando los resultados obtenidos con ensayos de laboratorio, análisis de terremotos y modelación numérica, sin embargo no en todos los sitios ha sido así” (Alfaro et al, 1997a). Debido a su fácil implementación y procesamiento de datos ha sido de gran aceptación alrededor del mundo.

1. ÁREA DE ESTUDIO: UNIVERSIDAD DE NARIÑO SEDE SAN JUAN DE PASTO

1.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

La ubicación de las sedes de estudio de la Universidad de Nariño son: la sede Principal, en el barrio Torobajo; localizada a los $01^{\circ}13'55.98''$ N, $77^{\circ}17'34.08''$ W, a una altura de 2495 msnm. La VIPRI, en el barrio las Acacias; localizada a los $01^{\circ}12'47.76''$ N, $77^{\circ}17'29.92''$ W, a una altura de 2589 msnm. (Ver Figura 1.1)

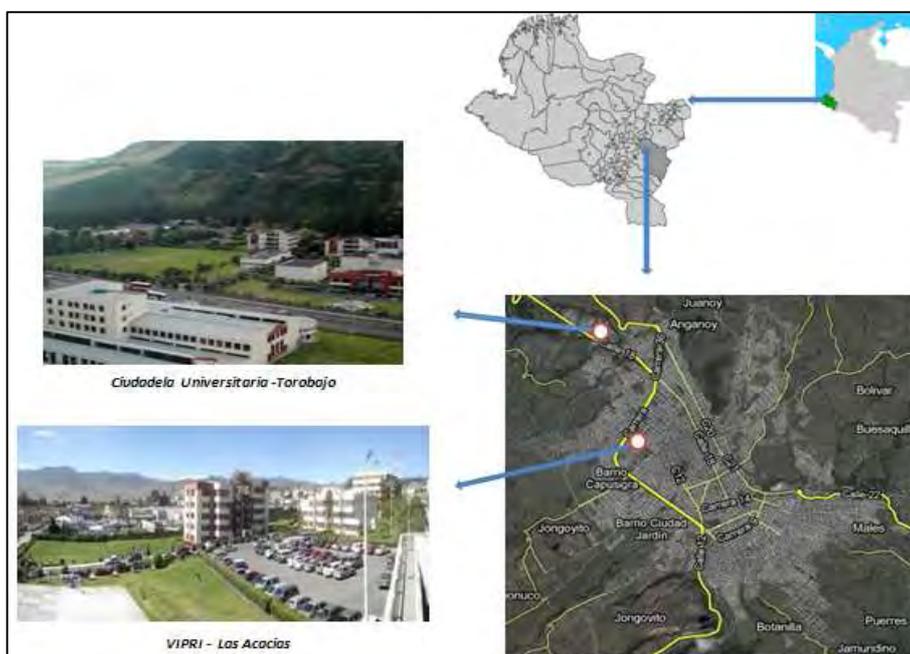


Figura 1.1 Localización geográfica de las sedes de la Universidad de Nariño.

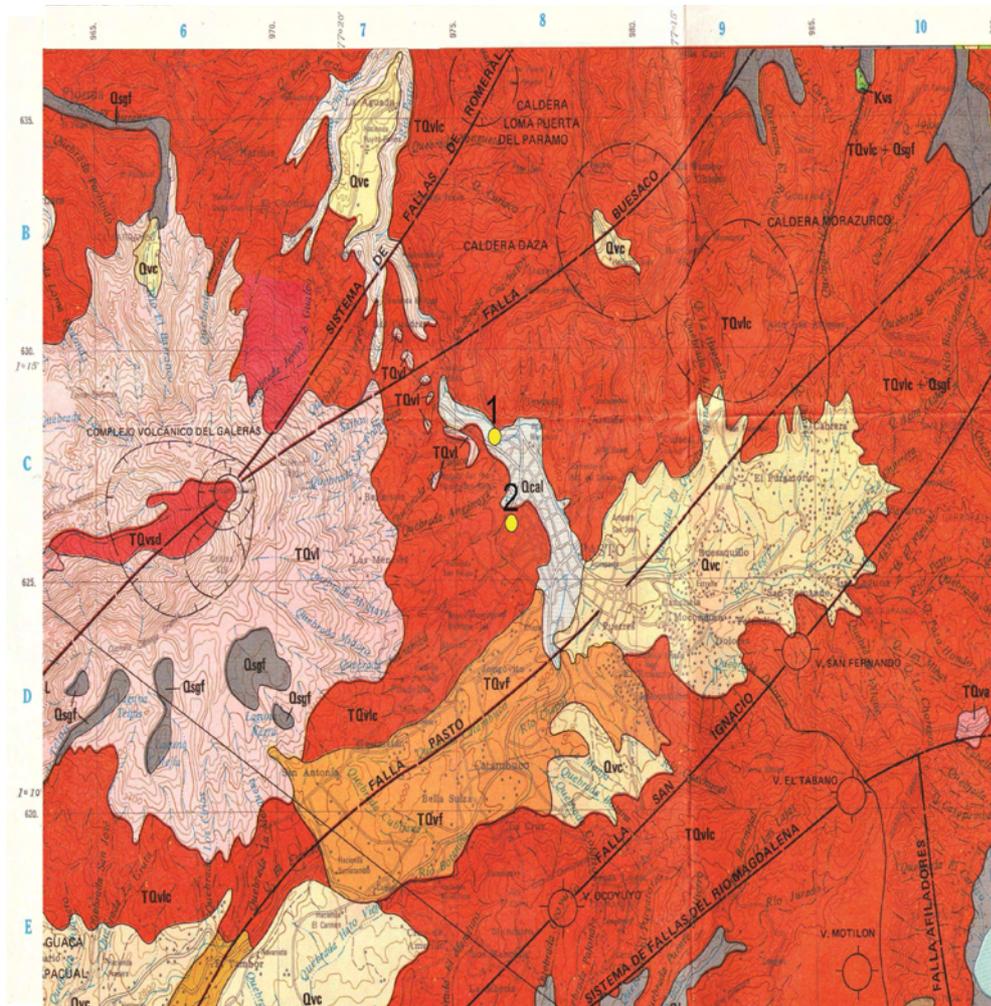
De estas dos sedes se determinaron seis puntos para la toma de registros los cuales se indican en la Figura 1.2



Figura 1.2. Edificaciones de estudio. 1-Biblioteca AQQ, 2-FACEA, 3-FACEN, 4-Laboratorios de Ingeniería, 5-Facultad de Educación, 6- Idiomas y Lingüística

1.2 ENTORNO GEOLÓGICO DE LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO.

En la Figura 1.3 se muestra el entorno geológico en el que se desarrolla la Universidad de Nariño, caracterizado por: depósitos aluviales, compuestos de gravas, arenas, limos y arcillas asociadas a los canales fluviales y valles de inundación, depósitos coluviales, que forman conos de deyección, compuesto por material no homogéneo en tamaño y en origen; estos depositos son cuaternarios y muchos de ellos están en proceso de formación (Murcia y Cepeda, 1991). Lavas y cenizas productos de la actividad volcánica generalmente del tipo “ash fall” o caída de ceniza son de origen Terciario y Cuaternario (Murcia y Cepeda, 1991).



LEYENDA

Qcal	DEPOSITOS COLUVIALES Y ALUVIALES Deposito de coluvio y aluvio, exceptuando terrazas.
Qsgr	DEPOSITOS GLACIARES Y FLUVIOGLACIARES Se pueden distinguir circos, valles, morrenas laterales y de resaca y depósitos tipo "out wash".
Qvc	LLUVIENS DE CENIZA Cenizas del tipo "ash fall" que median la topografía actual. Generalmente se presentan varios niveles separados por paleosuelos.
T0M	LAVAS Macizas, escoriáceas y en bloques. Son cuarzo-feldespatos, cuarzo-andesita, andesitas, andesitas y diectas de la serie calcálcica. Sus edades varían entre el Mioceno superior (T) y el presente.
T0Vr	FLUJOS DE CENIZA Y PUMITA Coladas sin soldar y solidadas, compuestas por fragmentos de pumita y a veces con bajas proporciones de fragmentos de lava en una matriz de ceniza. No presentan texturas eufaxíticas.
T0Vc	LAVAS Y CENIZAS Generalmente se trata de lavas cubiertas y/o intercaladas con cenizas del tipo "ash fall" y muy pocas veces del tipo "ash flow".
T0Vsd	DEPOSITOS VOLCANICOS SIN DIFERENCIAR Intercalaciones de lavas, piroclásticas, depósitos fluvio-glaciares y lahares en diferentes proporciones.
Kvs	GRUPO DIABASICO Metabasaltos y metapiroclastitas, con metamorfismo de las facies prehnita - pumpellita.

CONVENCIONES	
CONTACTOS	ESTRUCTURAS VOLCANICAS
Definido en campo	Definido en campo
Discordante en conal	Cráter
FALLAS	Caldera
Definida	Caldera en formación
Inferida e interpretada por el intérprete	Caldera enterrada
Bloques hundidos y levantados de las fallas	Caldera infundida
Cubierta	Cubierta

Figura 1.3 Entorno Geológico de Nariño. 1. Sede Torobajo. 2. Sede VPR (Plancha 429 INGEOMINAS)

Considerando la conformación de los depósitos geológicos mencionados anteriormente, se puede establecer que el peso específico de los depósitos coluviales y aluviales varían de $1100 - 1770 \text{ kg/m}^3$, mientras el depósito de ceniza presenta un peso específico en 920 kg/m^3 (NSR 10 Tabla B.3.2-1 masa de los materiales, 2010).

Como resultado del movimiento convergente de las placas Nazca y Suramericana, que afectan el occidente de Colombia se pueden identificar los siguientes rasgos estructurales (Ver Figura 1.4), siendo las de mayor influencia en la zona de estudio, el sistema de Falla Romeral, Falla Buesaco, Falla Pasto, Sistema de Fallas del Río Magdalena y Suaza, la Falla Afiladores, como se puede observar en la plancha 429 del Ingeominas (Ver Figura 1.3), principales fuentes sísmicas que inciden en la ciudad de Pasto.

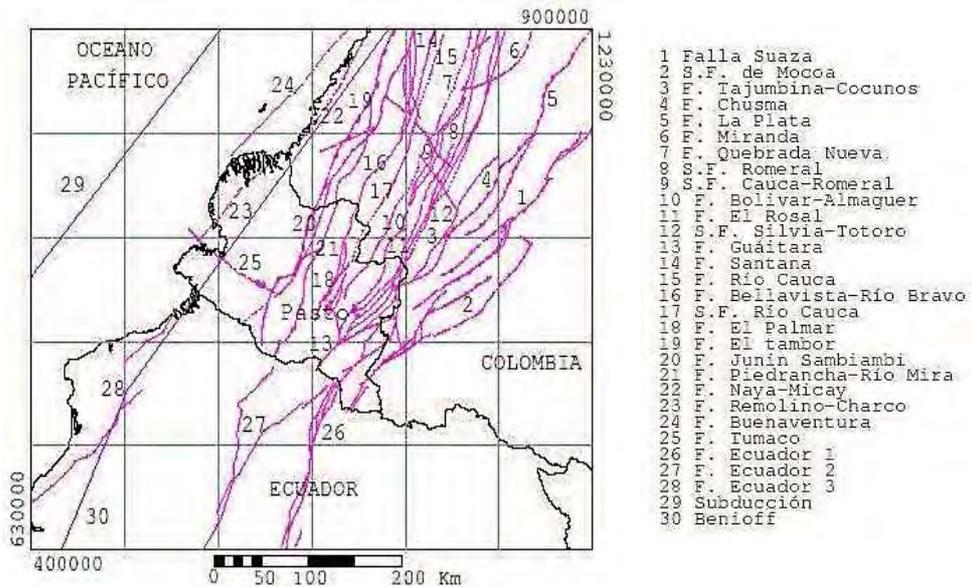


Figura 1.4. Principales rasgos estructurales que inciden en la zona de estudio (Silva, 2005, 175p)

1.3 BREVE RESEÑA HISTÓRICA DE LA SISMICIDAD DE LA CIUDAD DE PASTO.

Los movimientos a lo largo de las fallas son los responsables de la actividad sísmica en esta región, dando origen a una serie de eventos que han afectado a lo largo de la historia la ciudad de Pasto, en ocasiones presentando el colapso total.

A continuación se enuncias algunos de los sismos más destacados en la historia de Pasto.

20 de enero de 1834 a las 6:45 a.m, “se presentó un sismo muy fuerte seguido de varias réplicas, causando la destrucción de la ciudad de Pasto en Nariño, Almaguer en el Cauca y Sibundoy en el Putumayo; el epicentro fue reportado en la cordillera oriental entre Caquetá y Putumayo” (Ramírez, 1975).

1 de marzo de 1834 a las 8:02 a.m, “se presenta una sacudida muy fuerte en Pasto, terminado de arruinar lo que se había escapado al desastre del 20 de enero” (Ramírez, 1975).

El 31 de enero de 1906 a las 10:35 a.m. “se registra un terremoto catalogado como uno de los más fuertes en la historia con una magnitud de 8.9 (Mw= 9,8) en la escala de Richter, que ocurrió en el Océano Pacífico relativamente muy cercano a la región costera entre Colombia y Ecuador, acompañado de un tsunami que afectó a Tumaco; dejando alrededor de 1.000 víctimas humanas por ahogamiento, Guapi y la Bahía de Caraquez en Ecuador” (Ramírez, 1975).

Uno de las más recientes, “el 9 de febrero del 2013 a las 9:16:04 a.m. hora local (14:16:04 hora UT); con una magnitud de Mw 6.8, cuyo epicentro se localizó en el municipio de Ospina a 186 km de profundidad” (SGC, Boletín Preliminar), se reportó 9 heridos y 124 viviendas averiadas. Según reportes este evento se lo sintió el sur occidente de Colombia y Parte del Ecuador.

Desde que el Complejo Volcánico Galeras presentó nuevamente actividad en 1989, se han sentido varios remezones que han afectado la ciudad de Pasto y poblaciones aledañas a este.

Existe una compilación de la actividad sísmica de Nariño en el Servicio Geológico Colombiano ¹, Igualmente se presenta una gran información sobre este tema, en la primer Revista de Investigación Geográfica, de la Universidad de Nariño, Departamento de Geografía.(Torres, 1999).

¹ <http://seisan.ingominas.gov.co/RSNC/index.php/consultas>

2. CARACTERIZACIÓN DEL MOVIMIENTO DEL SUELO

2.1. DESCRIPCIÓN DE ONDA SÍSMICA

“Las ondas sísmicas son un tipo de ondas elásticas, que generan fuerzas y deformaciones, obedeciendo la teoría de la elasticidad, en la cual los cuerpos sólidos tienen la propiedad de resistir cambios de volumen o de forma, y de regresar a la condición no deformada cuando se eliminan las fuerzas externas” (Rosales, 2001).

Los sismos generan dos tipos de ondas elásticas que se propagan a través del medio: Las ondas de cuerpo o de volumen, y las ondas superficiales.

Ondas de volumen.

Primarias o de compresión (ondas P): “son las que se propagan a través del medio a mayor velocidad, por lo que a cualquier distancia del foco son registradas primero, de allí su nombre. Al propagarse hacen vibrar las partículas en el mismo sentido del tren de ondas, produciendo compresión y dilatación a su paso. Son conocidas también como ondas longitudinales” (Rosales, 2001).

Secundarias o de cortante (ondas S): “hacen vibrar las partículas en sentido perpendicular al de su propagación. Tienen velocidades menores que las ondas P. Si las partículas oscilan de arriba a abajo, la onda se llama SV, si las partículas oscilan en un plano horizontal se llaman SH. Son conocidas como ondas transversales” (Rosales, 2001).

Ondas superficiales.

Love (ondas L): “se propagan de forma similar que las ondas S haciendo vibrar las partículas horizontalmente en sentido perpendicular al de propagación, pero sin movimiento vertical” (Rosales, 2001).

Rayleigh (ondas R): “tienen un movimiento similar al de las ondas en la superficie del agua, haciendo vibrar las partículas sobre un plano que apunta en dirección de la trayectoria de las ondas, con movimientos elíptico y vertical simultáneamente. Las ondas L y R solo se propagan en discontinuidades de impedancia²” (Rosales, 2001).

² Es una medida de la resistencia a la propagación de las ondas. Es el producto de la densidad y velocidad. (Tomado de Hillón y Narváez, 2008).

Una gráfica descriptiva del tipo de ondas se puede observar en la Figura 2.1

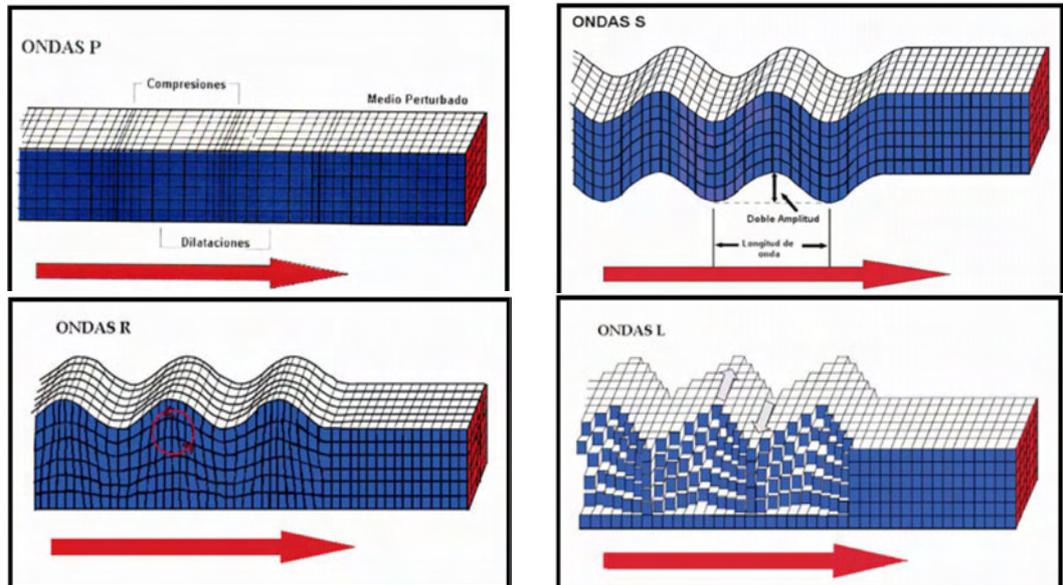


Figura 2.1. Tipo de ondas de volumen y superficiales (Tomado de Rosales, 2001)

2.2. FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA.

“En las últimas décadas se ha establecido como útil un formalismo originado en la teoría matemática de los sistemas, el concepto de función de transferencia, que define el comportamiento de un sistema transmisor, mediante un modelo o fórmula matemática. En este concepto la función de salida de un sistema se define como la operación de la función de transferencia sobre una función de entrada” (Rosales, 2001), como se ilustra en la Figura 2.2.

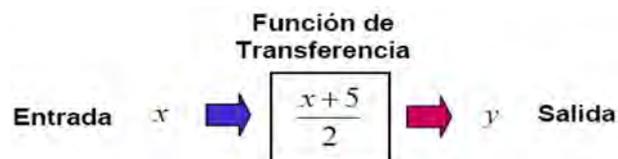


Figura 2.2 Función de Transferencia (Rosales, 2001)

“En sismología el movimiento de las vibraciones en un sitio de observación $u(t)$, puede ser expresado como la función de generación de las ondas $s(t)$ afectada por la función de transferencia debida a la propagación de las ondas a través de las estructuras geológicas $g(t)$ ” (Rosales, 2001), como se muestra en la Figura 2.3.

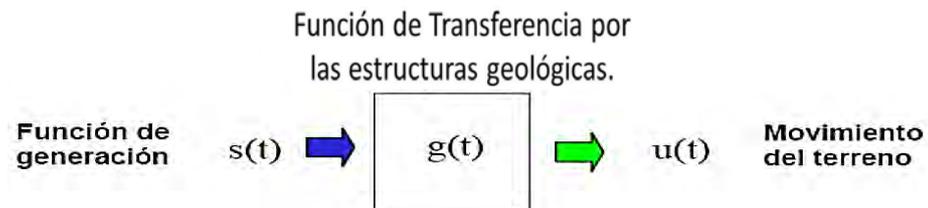


Figura 2.3 Función de transferencia por las estructuras geológicas (modificado de Rosales, 2001).

Matemáticamente, el resultado del movimiento del terreno $u(t)$, es expresado en el dominio del tiempo, como la convolución³ de la función de generación $s(t)$ y la función de transferencia de las estructuras geológicas $g(t)$ (2.1).

$$u(t) = s(t) * g(t) \quad 2.1$$

La expresión 2.1 se la puede trabajar bajo el dominio de la frecuencia aplicando la transformada de Fourier, convirtiéndose en una multiplicación (2.2).

$$U(\omega) = S(\omega)G(\omega) \quad 2.2$$

Siendo, los espectros de Fourier del movimiento del Terreno, $U(\omega)$, de la función de generación, $S(\omega)$ y de la función de transferencia de las estructuras geológicas, $G(\omega)$.

Según la expresión 2.2, se puede determinar la respuesta de las estructuras geológicas, como la relación de $U(\omega)$ y $S(\omega)$.

$$G(\omega) = \frac{U(\omega)}{S(\omega)} \quad 2.3$$

A la expresión 2.3 se le conoce como respuesta del sistema.

³ La convolución un operador matemático que transforma dos funciones $x(n)$ y $h(n)$ en una tercera función $y(n)$.

2.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL MOVIMIENTO DEL SUELO

El movimiento del suelo se presenta como el resultado de la interacción de factores como, la fuente generadora del movimiento y los efectos del suelo en el sitio.

Influencia de la fuente.

“Los eventos sísmicos de carácter tectónico, son el resultado de la acumulación de esfuerzos producidos por el movimiento diferencial entre dos partes de una fractura presente en la superficie terrestre, que se ven íntimamente ligados a las fallas geológicas presentes en una región” (Coral, 2002).

“Tras la liberación repentina de la energía acumulada, el evento sísmico involucra aspectos como la magnitud, distancia a la falla y duración del evento, aspectos que proporcionan una descripción del tipo de movimiento a ser percibido en la superficie” (Coral, 2002).

Influencia del suelo.

“El suelo bajo la estación de registro, factor que, junto con la topografía, pueden causar efectos de atenuación o amplificación de las ondas incidentes sobre la base rocosa” (Coral, 2002).

Al considerar la geología local, se distinguen dos fenómenos que normalmente dan lugar a una amplificación del movimiento y, por tanto, son agentes importantes en los daños de las obras civiles.

- Efecto por resonancia, “considera la diferencia entre la frecuencia de las ondas sísmicas y la frecuencia natural del depósito sedimentario. Denominada amplificación dinámica”. (Rodríguez, 2009)
- El efecto debido al contraste de impedancia entre dos medios en contacto, definida como amplificación geométrica. “Este efecto es mayor en materiales jóvenes y poco consolidados, provocando un mayor nivel de amplificación de las ondas sísmicas” (Rodríguez, 2009).

La influencia del denominado efecto de sitio requiere considerar tres aspectos fundamentales:

- a) Composición y espesor de los estratos situados sobre la base rocosa, bajo el lugar de estudio, que configuran las condiciones locales del suelo.
- b) Variaciones laterales de la estructura geológica donde se asienta el emplazamiento, lo que constituye su topografía.

- c)** Características de la radiación incidente, que depende del modelo de fuente y de su situación relativa respecto al punto cuyo movimiento se evalúa.

Estos tres factores son determinantes en la respuesta del sitio ante un cierto movimiento en su base, si bien en ocasiones, la geometría del problema permite asumir simplificaciones que llevan a prescindir de algunos de ellos.

3 METODOLOGÍA APLICADA

3.1 MÉTODO DE NAKAMURA O RELACIÓN ESPECTRAL H/V

El método de Nakamura (1989), propone estimar la frecuencia fundamental y factor de amplificación de los depósitos de suelo, utilizando microtrepidaciones. “Estas últimas definidas como vibraciones de baja amplitud del terreno conformadas por ondas sísmicas internas y externas, pueden ser de alta y baja frecuencia. Las de baja frecuencia (menor a 1 Hz), compuestas por ondas superficiales Rayleigh y Love, generadas por fuentes naturales como el oleaje viento, presión de aire entre otros; las segundas de alta frecuencia (mayor a 1 Hz), son producidas por fuentes antrópicas” (Bermúdez, 2002).

El método se basa en los siguientes fundamentos.

- “Que en depósitos de suelo blando, el movimiento horizontal es mayor que el movimiento vertical” (Nakamura, 1989).
- “En depósitos de suelo rígidos o en el basamento rocoso, los movimientos horizontales y verticales son similares entre sí tanto en el valor máximo y la forma de onda” (Nakamura, 1989).
- “El ruido antrópico se propaga como ondas Rayleigh” (Nakamura, 1989)
- “Que las microtrepidaciones horizontales se amplifican por la multi-reflexión de las ondas P, en tanto que las verticales lo hacen por la multi-reflexión de las ondas S” (Nakamura, 1989).

En la figura 3.1, se indica una estructura geológica típica de un depósito sedimentario, estableciendo los factores que influyen en el movimiento horizontal y vertical del terreno.

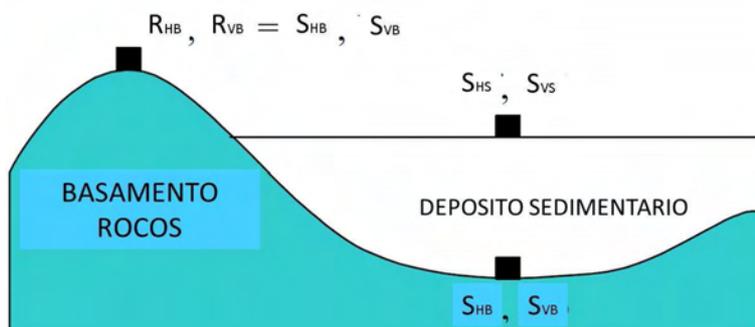


Figura 3.1 Estructura geológica típica de un depósito sedimentario (Nakamura, 2000)

Usualmente la función de transferencia S_T de los depósitos superficiales se ha definido así:

$$S_T = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad 3.1$$

“Siendo, S_{HS} y S_{HB} la amplitud de los espectros de Fourier de las componentes horizontales del movimiento en la superficie y en la base del estrato del suelo” (Alfaro et al, 1997a).

“Como las ondas de las microtrepidaciones se propagan principalmente como ondas Rayleigh, S_{HS} podría estar afectado por este tipo de ondas” (Alfaro et al, 1997a). De tal manera que el efecto de las ondas Rayleigh debería ser incluido en la componente vertical de las microtrepidaciones en superficie, S_{VS} , pero no en la componente vertical en basamento S_{VB} .

“Nakamura asume que el movimiento vertical no se amplifica por las capas superficiales, estableciendo como E_S , la función de transferencia, que representaría el efecto de las ondas Rayleigh en la componente vertical, así” (Alfaro et al, 1997a).

$$E_S = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad 3.2$$

Estableciendo a S_{TT} como la nueva función de transferencia tenemos que.

$$S_{TT} = \frac{S_T}{E_S} = \frac{R_S}{R_B} \quad 3.3$$

Donde;

$$R_S = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \quad 3.4$$

$$R_B = \frac{S_{HB}}{S_{VB}} \quad 3.5$$

Siendo R_S y R_B , la relación los espectros horizontales y verticales para microtrepidaciones en la superficie y basamento. “Según mediciones realizadas por Nakamura en basamento, la expresión, 3.5, es aproximadamente 1 para un amplio rango de frecuencias en sitios donde existe un substrato firme. Concluyendo que” (Rosales, 2001):

$$S_{TT} \approx R_S \quad 3.6$$

“Lo anterior significa que la función de transferencia asociada a la propagación vertical de ondas de corte de un depósito de suelo, puede ser estimada simplemente a partir de microtrepidaciones registradas en superficie” (Verdugo et al, 2005).

R_B debe estar libre del efecto de ondas Rayleigh y tener características relativas al sitio, por lo que una estimación más confiable de la relación S_{TT} se produciría al multiplicarla por $1/R_B$ como término de compensación si existe información de las microtrepidaciones en basamento.

3.2 ANTECEDENTES DE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE NAKAMURA

Nakamura (1989), realizó mediciones continuas de las microtrepidaciones por más de 30 horas. Los sitios de registro estaban ubicados en subestaciones del tren Kanomomiya y Tabata. Para entender las características dinámicas de la estructura del suelo se hicieron mediciones en superficie y en el fondo de la estructura del suelo. Se utilizó un sensor de velocidad de periodo de un (1) seg.

Los resultados de comparación en los dos sitios, entre S_{TT} y R_S mostraron que:

1. En Kamonomiya S_{TT} y R_S coinciden tanto en el pico predominante como en la forma entera de las relaciones espectrales.
2. En Tabata S_{TT} y R_S mostraron ser casi similares.
3. La función de transferencia R_S no es afectada por las vibraciones inducidas por la operación de los trenes.
4. La amplificación máxima de la velocidad puede ser estimada de manera aproximada usando la máxima amplitud de R_S .

Adicionalmente, se aplicó la relación R_S a registros de sismos fuertes en roca y en suelos en la Ciudad de México (Nakamura, 1989), encontrando que R_S también puede ser aplicada usando señales de los sismos.

Según Nakamura (1989), ratificado en Nakamura (2000), la relación espectral H/V de las microtrepidaciones está controlada por las ondas S_H y no incluye los efectos de las ondas Rayleigh presentes en las microtrepidaciones.

A continuación se presentan, una selección y síntesis de diversas investigaciones con base en el método Nakamura (Tomado de Rosales, 2001).

Lermo & Chávez-García (1994), comparó resultados de tres (3) técnicas, dos con una sola estación y la otra utiliza con una estación adicional de referencia. Las técnicas son: (1) interpretación directa de la amplitud del espectro de Fourier; (2) cálculo de relaciones espectrales en suelo respecto a una

estación en roca; (3) técnica de Nakamura, concluyendo que *hay una correlación significativa entre los resultados de la técnica de Nakamura y la función de transferencia teórica en una dimensión (1D)*, lo cual explica que diferentes investigadores han podido caracterizar exitosamente en 1D los efectos de sitios sin importar que fueran consideradas como ondas superficiales o de cuerpo y que los resultados teóricos soportan la idea que la técnica de Nakamura no es afectada por el tipo de fuente.

Lachet & Bard (1994), realizaron simulaciones numéricas para investigar la influencia de diversos parámetros en la relación espectral de Nakamura, y se compararon los resultados calculados a partir de modelos teóricos con aquéllos de mediciones de campo. Concluyeron que la relación espectral H/V obtenida a partir de la simulación del ruido muestra un pico cuya posición es independiente de la función de excitación de la fuente; que las relaciones espectrales H/V obtenidas de ondas S_V muestran muchos picos cuya posición es independiente del ángulo de incidencia, y que frecuencia fundamental corresponde a la máxima amplitud, de H/V; que la forma de la relación H/V está fuertemente controlada por las ondas Rayleigh y que hay una gran correlación entre la posición del pico H/V, derivada de la simulación del ruido con los obtenidos de las ondas verticales S_V en campo. Esto indica que la relación espectral H/V es una estimación confiable de la frecuencia de resonancia de una estructura de capas horizontales. Finalmente anotaron que es importante considerar los límites de la aplicación del método de H/V en el caso de frecuencias de resonancias muy bajas que corresponden a estructuras sedimentarias muy gruesas ($f_0 < 0.5$ Hz), por lo cual plantearon la siguiente pregunta: ¿Son las fuentes superficiales como el ruido, capaces de excitar la estructura a bajas frecuencias?

Wakamatsu y Yasui (1995), usaron modelos de estructura simples, encontrando que en las microtrepidaciones simuladas predominan las ondas Rayleigh y Love, y que la función de transferencia tiene una buena correlación con la función de transferencia unidimensional de las ondas.

Field & Jacob (1995), compararon los resultados de la clásica relación entre respuesta en roca y en sedimentos con tres técnicas de estimación de respuesta de sitio que no requieren estación de referencia. Los métodos de comparación fueron: (1) inversión de efectos por fuente y trayectoria, (2) relación espectral H/V con registros de sismos y (3) relación de Nakamura con registros de microtrepidaciones. Las tres técnicas evaluadas, que no dependen de un sitio de referencia, revelaron información útil para la estimación de la respuesta de sitio en diferentes partes de East Bay (California), concluyendo que Nakamura fue exitosa para identificar la frecuencia fundamental de resonancia del suelo.

Alva *et al* (1996) y Huamán (1991), compararon los periodos predominantes obtenidos de mediciones de microtrepidaciones en superficie y el periodo predominante calculado a partir de análisis de amplificación dinámica a deformaciones pequeñas, encontrando una buena correspondencia entre dichos valores.

Konno (1996), identificó inconsistencias en las suposiciones de Nakamura, consideró que las microtrepidaciones consisten principalmente de ondas superficiales y que el pico fundamental de las relaciones H/V está correlacionado con el modo fundamental de las ondas Rayleigh.

Ohmachi y Umezono (1998), propusieron introducir en la relación espectral H/V el uso de un coeficiente que represente la proporción de ondas R presentes en las microtrepidaciones medidas

Giraldo *et al* (1999), como parte de los estudios de microzonificación de Barcelona, encontraron que las mediciones y resultados son independientes de la hora del día en que se realicen. Destacaron la importancia de la influencia del tratamiento de los registros en los resultados obtenidos: al comparar los mismos datos por el método de Nakamura (1989) y por el de Konno y Ohmachi (1998), se encontró que entre 0 y 0,5 segundos existe correlación mientras que para periodos mayores a 1,0 no la hay.

Finalmente, se puede ver que múltiples investigadores han aplicado la metodología de Nakamura con resultados satisfactorios compartiendo la idea general que es una metodología con grandes capacidades para la estimación de periodos naturales de vibración (Field y Jacob, 1993; Ohmachi *et al*, 1994; Lermo y Chávez-García, 1994; Konno y Ohmachi, 1995; Field y Jacob, 1990; Hough *et al*, 1991; Lermo *et al*, 1992, 1994; Goula *et al*, 1997; Zaslavsky y Shapira, 1997; Triantafyllidis y Hatzidimitriou, 1997; LeBrun *et al*, 1997; Giraldo *et al*, 1999;), y otros no han tenido éxito (Pitilakis, 1997; Ingeominas, 1997; Jaramillo, 2000).

Otras aplicaciones de la relación H/V.

En principio la relación espectral H/V propuesta por Nakamura (1989), ha sido utilizada para la determinación del periodo de vibración natural de los suelos y el factor de amplificación asociado, pero se han desarrollado otras aplicaciones de dicha relación espectral, las cuales se listan a continuación.

1. Determinación de la profundidad a basamento (Nakamura, 2000) (Ibs-von Sat & Wohlenberg, 1996).
2. Determinación del potencial de licuación (Nakamura *et al*,

- 1994).
3. Verificación de comportamiento de sitio por eventos sísmicos destructivos (Toshinawa *et al*, 1997).
 4. Determinación de los periodos de vibración de edificios (Muccarelli, 2000).

“En relación con los parámetros que proporciona la relación espectral H/V, el consenso mínimo entre las diversas experiencias exitosas (ya sea numérica o experimentalmente) muestra los siguientes alcances, limitaciones y rango de validez” (Hillón y Narváez, 2008):

1. Específicamente sirve para determinar los periodos fundamentales de vibración de los suelos.
2. No sirve para identificar otros periodos de vibración (de segundo, tercero o cuarto orden).
3. Funciona muy bien en suelos cuya columna estratigráfica puede estudiarse por el modelo de una sola capa.
4. Modelos de más de una capa, o estructuras geológicas subsuperficiales, afectan los periodos estimados con Nakamura, de tal manera que no se puede predecir el periodo principal de vibración.
5. Los resultados de las mediciones son independientes de la hora del día y no afectan los periodos de vibración estimados.

“Con respecto a la explicación de la técnica de Nakamura, existen dos tendencias en la actualidad, la primera argumenta que la relación está controlada por las ondas S_H , mientras que la segunda muestra que está controlada por las ondas Rayleigh. Pero ambas tendencias han demostrado que los periodos calculados del pico de la relación H/V coinciden con los periodos calculados a partir de las ondas S presentes en los registros de movimiento fuerte” (Hillón y Narváez, 2008).

“Por otro lado, la falta de aceptación de la metodología de Nakamura para evaluar el factor de amplificación espectral, podría estar relacionado con que capta indistintamente energías generadas sobre el suelo y energías que inciden desde la base. El factor de amplificación depende del cociente de la impedancia (suelo-roca)” (Rosales, 2001).

4. ESTIMACIÓN DE LA FRECUENCIA NATURAL EN LAS ESTRUCTURAS UTILIZADO MICROTREPIDACIONES.

4.1. PLANTEAMIENTO PARA DETERMINAR LA FRECUENCIA NATURAL

Esta propuesta tiene como objeto estimar la frecuencia natural de las siguientes edificaciones de la Universidad de Nariño: la Biblioteca Alberto Quijano Guerrero (AQG), Bloque 2 FACEA, Bloque 3, Laboratorios de Ingeniería en Torobajo. La Facultad de Educación, el Bloque de Idiomas y Lingüística en la VIPRI; utilizando microtrepidaciones; edificaciones que son importantes a la comunidad universitaria.

Teniendo como alcance el estimar la frecuencia natural de las edificaciones a partir de las microtrepidaciones aplicando la Transformada Rápida de Fourier (FFT) y limitaciones, la medida de las microtrepidaciones tomadas en el centro de masa de la edificaciones bajo el contexto de un modelo dinámico simple .

En la Figura 4.1, se presenta un esquema del desarrollo de esta propuesta.



Figura 4.1. Esquema para estimar la frecuencia natural en edificaciones

4.2. CONCEPTO E INFLUENCIA DE LA FRECUENCIA NATURAL.

Todo cuerpo, por más complejo que sea, tiene lo que se llama una frecuencia natural con la que vibra. La frecuencia natural de un cuerpo depende de las características geométricas y del material del cuerpo, principalmente del momento de inercia, es decir de la masa y la forma en que esta se distribuye alrededor del centro de gravedad del cuerpo.

En base a la expresión para determinar la frecuencia natural de un sistema, 4.1

$$\omega = 2\pi f = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad 4.1$$

Donde;

ω = Frecuencia natural angular (rad/s)

f = Frecuencia natural (Hz), esta frecuencia es la que se determina con FFT.

m = masa del sistema

k = Rigidez del sistema

De la expresión 4.1, se puede determinar que la frecuencia natural es una propiedad inherente de un elemento que presente masa y rigidez, aspecto que depende de la forma y resistencia del elemento.

En 4.1 se observa que existe una relación la directa de la rigidez con la frecuencia, en otras palabras a mayor rigidez mayor frecuencia (menor periodo) y viceversa.

La frecuencia natural es un parámetro esencial para el diseño de cualquier obra civil o edificación, siendo posible controlar el efecto de resonancia⁴.

4.3 CONCEPTO DE SISTEMAS DINÁMICOS

Las ecuaciones de movimiento son las expresiones matemáticas que gobiernan la respuesta dinámica de las estructuras. Pueden obtenerse a partir de cualquiera de los principios de la mecánica clásica:

Principio de Hamilton

Principio de Trabajos Virtuales

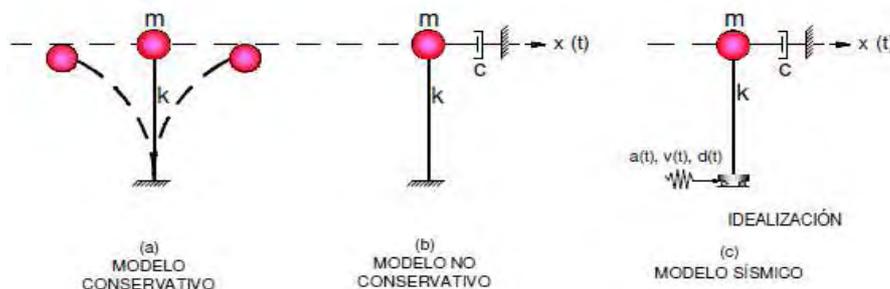
Principio de D'Alambert

⁴ Es un fenómeno que se produce cuando un cuerpo capaz de vibrar, es sometido a la acción de una fuerza periódica, cuyo periodo de vibración se acerca a el periodo de vibración característico de dicho cuerpo (Wikipedia enciclopedia libre).

De las anteriores, el Principio de D’Alambert es el más directo el cual establece. “un sistema dinámico está en equilibrio cuando todas las fuerzas que actúan en el mismo, incluidas las de inercia y disipativas, cumplen las ecuaciones de equilibrio estático en cada instante de tiempo”.

4.3.1 Planteamiento de la Ecuación de Movimiento para un sistema de un Grado de Libertad.

En la Figura 4.2, se indican los modelos dinámicos de un grado de libertad planteados en dinámica estructural (Coral, 2009).



Donde;

$x(t)$ = dirección del movimiento en función del tiempo

m = masa del sistema

k = rigidez

c = coeficiente de amortiguamiento

$a(t)$, $v(t)$, $d(t)$ = aceleración, velocidad, desplazamiento en función del tiempo de un evento sísmico.

Figura 4.2. Modelos dinámicos de un grado de libertad – (Coral, 2009)

Teniendo en cuenta el modelo sísmico de un grado de libertad y el principio de D’Alambert. Se plantea la ecuación del movimiento. 4.2.

$$F_i(t) - F_e(t) - F_a(t) = 0 \quad 4.2$$

Siendo;

$F_i(t)$ = Fuerza de Inercia = $-m(\ddot{x}(t)+a(t))$

$F_e(t)$ = Fuerza elástica = $kx(t)$

$F_a(t)$ = Fuerza de amortiguamiento = $c\dot{x}(t)$

Sustituyendo los valores anteriores en 4.2 y realizando los procesos correspondientes se obtiene la ecuación de movimiento para un modelo sísmico de un grado de libertad, 4.3.

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = -ma(t) \quad 4.3$$

Donde;

$\ddot{x}(t)$ = Aceleración de la masa en cualquier instante de tiempo

m = Masa del sistema

$\dot{x}(t)$ = Velocidad de la masa en cualquier instante de tiempo

c = coeficiente de amortiguamiento

$x(t)$ = desplazamiento de la masa en cualquier instante de tiempo

k = rigidez del sistema

$a(t)$ = Aceleración sísmica

De la expresión, 4.3, se particularizan algunos casos que son.

Vibraciones libres sin amortiguamiento. En el cual la fuerza sísmica y la fuerza producto del amortiguamiento (disipativa) son nulas.

$$m\ddot{x}(t) + kx(t) = 0 \quad 4.4$$

Vibraciones libres amortiguadas. Donde la fuerza sísmica no actúa, es nula

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = 0 \quad 4.5$$

5. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN.

Para determinar los sitios de estudios se tomó como base las investigaciones realizadas por Escobar, Hillón y Narváez en 2008, información disponible sobre las edificaciones, su incidencia en la comunidad y clasificación según el Título A.2.5 de NSR 10 y aspectos económicos del autor.

Teniendo en cuenta lo anterior, los sitios de estudios fueron: La Biblioteca AQQ, Bloque 2 FACEA, Bloque 3 y Laboratorios de Ingeniería en la sede Torobajo. La Facultad de Educación, Bloque de Idioma y lingüística en la sede V.I.P.R.I.

5.1 CLASIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE LAS ZONAS DE ESTUDIO.

De acuerdo con los datos obtenidos de Escobar (2008), Hillón y Narváez (2008):

El suelo en la sede Torobajo, se caracteriza por tener limos muy plásticos, poco plásticos, arenas limosas y arcillosas, con presencia de gravas, que varían según la profundidad de las exploraciones, las cuales oscilaron 2.5 – 4.0 metros,

En la VIPRI, se encontró limos de poca y alta plasticidad, variando según la profundidad de la exploración, como máximo de 5 metros.

En la tabla 5.1 se muestra la velocidad de onda de corte y el sitio en donde se las realizó.

Sede	Lugar de referencia	Fuente	Vs (m/s)	Vs prom
Torobajo	UDENAR Bloque 2 FACEA	E	336.3	327.17
	UDENAR Fac ingeniería-Zona verde	A	290.7	
	Barrio Pandiaco	A	354.5	
VIPRI	Ed. San Blas	E	299.7	306.38
	Nuevo Javeriano - Cubierta	E	301.0	
	Lote Nuevo Javeriano	A	358.7	
	Javeriano Primaria	A	266.1	

A – Hillón y Narváez, 2008
E – Escobar, 2008

Vs – Velocidad de onda de corte

Tabla 5.1. Velocidad de onda de corte estimada para las zonas de estudios

5.2. DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA DE LAS MICROTREPIDACIONES

Para poder llevar a cabo esta medida se requiere principalmente de dos elementos los cuales son: el sitio en el cual se va a realizar la medición y el instrumento de medición, que para este caso fueron dos acelerógrafos tri-axiales de banda ancha que fueron: EAR-1 (Rosero y Cadena, 2009) y Cusp-3C, de la empresa Canterbury Seismic Instrumen Ltd, en propiedad de la Universidad de Nariño. En el Anexo A, se presentan las características de estos equipos.

Para la toma de registros en las edificaciones se determinó ubicar los sensores en el centro de masa (CM), obedeciendo al modelo dinámico simple establecido en el capítulo 4.

El CM fue determinado mediante el software RAM elements de la empresa Bentley, en una versión estudiantil.

La figura 5.1, presenta un esquema ilustrativo de la realización de la toma de muestras.



Figura 5.1. Esquema ilustrativo de la recopilación de la información y medida de las microtrepidaciones en el sitio - ejemplo Bloque 3

5.3. SITIOS DE MEDICIÓN Y REGISTROS

Biblioteca Alberto Quijano Guerreo:

Sitio de medición	Jornada	Fecha	Duración	Hora del día
Nv Placa	1 Nv1	09/11/2011	1 hora aprox	nocturna
	1 Nv2	09/11/2011	1 hora aprox	nocturna
Nv 1	1	09/11/2011	1 hora aprox	nocturna
Nv 2	1	09/11/2011	1 hora aprox	nocturna

Tabla 5.2. Jornadas de medición para la Biblioteca Alberto Quijano Guerrero– Universidad de Nariño sede Torobajo

Bloque 2-Universidad de Nariño Sede Torobajo:

Sitio de medición	Jornada	Fecha	Duración	Hora del día
Nv Zapata	1	05/10/2011	1 hora aprox	nocturna
	4	17/10/2011	1 hora aprox	tarde
	4	17/10/2011	1 hora aprox	nocturna
Nv Suelo	1	05/10/2011	1 hora aprox	nocturna
	4	17/10/2011	1 hora aprox	tarde
	4	17/10/2011	1 hora aprox	nocturna
Nv Placa	1	05/10/2011	1 hora aprox	nocturna
	2	06/10/2011	1 hora aprox	nocturna
Nv 1.705	2	06/10/2011	1 hora aprox	nocturna
Nv 3.225	3	07/10/2011	1 hora aprox	nocturna
Nv 4.755	3	07/10/2011	1 hora aprox	nocturna
Nv 6.2.75	5	18/10/2011	1 hora aprox	nocturna
Nv 7.805	5	18/10/2011	1 hora aprox	nocturna
Nv 9.325	3	07/10/2011	1 hora aprox	nocturna
Nv 10.855	3	07/10/2011	1 hora aprox	nocturna

Tabla 5.3. Jornadas de medición para el Bloque 2 –Universidad de Nariño sede Torobajo

Bloque 3-Universidad de Nariño Sede Torobajo

Sitio de medición	Jornada	Fecha	Duración	Hora del día
Nv Placa	1	06/11/2011	1 hora aprox	nocturna
	2	07/11/2011	1 hora aprox	nocturna
Nv 1.705	1	06/11/2011	1 hora aprox	nocturna
	2	07/11/2011	1 hora aprox	nocturna
Nv 3.225	2	07/11/2011	1 hora aprox	nocturna
Nv 4.755	2	07/11/2011	1 hora aprox	nocturna
Nv 6.2.75	2	07/11/2011	1 hora aprox	nocturna
Nv 7.805	2	07/11/2011	1 hora aprox	nocturna
Nv 9.325	2	07/11/2011	1 hora aprox	nocturna
Nv 10.855	2	07/11/2011	1 hora aprox	nocturna

Tabla 5.4. Jornadas de medición para el Bloque 3 –Universidad de Nariño sede Torobajo.

Facultad de Educación

Sitio de medición	Jornada	Fecha	Duración	hora del día
Nv Placa	1 Nv2.6	10/11/2011	1 hora aprox	nocturna
	1 Nv5.4	10/11/2011	1 hora aprox	nocturna
Nv 2.6	1	10/11/2011	1 hora aprox	nocturna
Nv 5.4	1	10/11/2011	1 hora aprox	nocturna

Tabla 5.5. Jornadas de medición para la Facultad de Educación –Universidad de Nariño sede VIPRI

Bloque de Idiomas y Lingüística:

Sitio de medición	Jornada	Fecha	Duración	Hora del día
Nv Placa	1 Nv2.6	11/11/2011	1 hora aprox	nocturna
	1 Nv5.4	11/11/2011	1 hora aprox	nocturna
Nv 2.6	1	11/11/2011	1 hora aprox	nocturna
Nv 5.4	1	11/11/2011	1 hora aprox	nocturna

Tabla 5.6. Jornadas de medición para el Bloque de Idiomas y Lingüística - Universidad de Nariño sede VIPRI

Laboratorios de Ingeniería:

Sitio de medición	Jornada	Fecha	Duración	Hora del día
Nv Placa	1	08/11/2011	1 hora aprox	nocturna
	1	09/11/2011	1 hora aprox	nocturna
Nv 2.95	1	08/11/2011	1 hora aprox	nocturna
	1	09/11/2011	1 hora aprox	nocturna

Tabla 5.7. Jornadas de medición para el Laboratorio de Ingeniería – Universidad de Nariño sede Torobajo

6. PROCESAMIENTO DE LAS SEÑALES, OBTENIDAS DE LAS MICROTREPIDACIONES

En este capítulo se presenta el procesamiento de las señales desarrollado para realizar cada uno de los planteamientos establecidos para esta investigación los cuales son:

- Relación espectral H/V de Nakamura
- Determinación de la Frecuencia Natural de las Edificaciones

6.1 RELACIÓN ESPECTRAL H/V DE NAKAMURA.

A continuación se enuncia el procedimiento para realizar la relación espectral H/V, bajo la ejecución del software J_SESAME (University of Bergen, Department of Earth Science, 2004).

1. Insertar una señal
2. Seleccionar los parámetros para el ventaneo de forma automática; tamaño de la ventana, parámetros para el filtro anti tigger.
3. Seleccionar los parámetros para el desarrollo de los espectros (rango de frecuencias, tapering, suavizado, corrección línea base, unión de los espectros, salida de ventanas individual.).
4. Seleccionar que tipo de filtro se ha de utilizar (Pasa Altas, Pasa bajas, Pasabandas).
5. Ejecutar la opción para la selección de ventanas automática para este caso, con filtro.
6. Ejecutar el comando (H/V spectral ratio) para obtener el resultado.
7. Ir la comando visualizar los resultados (View Output) para verificar y analizar los resultados obtenidos. Por el cual se abre otra ventana con los resultados
8. En la venta que muestra Resultados individuales, se realiza una selección de ventanas visual, teniendo en cuenta ciertos parámetros como la amplitud de H/V sea superior a 1.5, que el Pico que muestra la relación H/V sea el mayor de los posibles picos que se presentan en la ventana y que en los espectros de las componentes no se presente un igual comportamiento ya que esto indica que el movimiento es antrópico y muy superficial.

Valores por defecto del software J-SESAME

freq_spacing:fft	Función de frecuencia
offset_rem:r_mean:all	Corrección línea base
taper:cos:5	Corregir el efecto truncado
smooth:konno-ohmachi:40	Suavizado de los espectros
merge_type:quadratic	Unión de los espectros
single_win_out:no	Salida individual de ventanas
average_spectra_out:no	Promedio de los espectros

Valores utilizados para procesamiento de las señales

Los siguientes valores fueron los seleccionados para el procesamiento de las señales de microtrepidaciones registradas. Ventanas manuales y automáticas de 10 segundos con un traslapo de 5 %. El filtro pasabanda puede variar en el rango establecido.

freq_spacing: 0.1:20:1024	Función de Frecuencia
offset_rem:r_mean:all	Corrección línea base
taper:cos:5	Corregir el efecto truncado
smooth:konno-ohmachi:40	Suavizado de los espectros
merge_type:quadratic	Unión de los espectros
single_win_out:yes	Salida individual de ventanas
average_spectra_out:no	Promedio de los espectros
Filtro pasa-banda 0.1 – 20 Hz	Rango de filtro a utilizar

6.2. DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA NATURAL DE LAS EDIFICACIONES.

Este proceso se realizó bajo la ejecución del Software **Seismosignal** en versión estudiantil, a continuación se enuncia este procedimiento.

1. Ingresar la señal.
2. Definir el número de muestras - 32600 muestras-
3. Realizar corrección línea base del tipo cuadrática.
4. Realizar un filtro pasabanda de 0.1 – 20 Hz
5. Ejecutar el comando “*refresh*” para determinar los registros de aceleración, velocidad y desplazamiento.
6. Los numerales 1-5 se los realiza para cada archivo de cada componente Norte-Sur (NS), Este-Oeste (EW) y vertical (V), de cada centro de masa de terminado en las edificaciones.

7. Ya obtenidos los registros de Aceleración, velocidad y desplazamiento, de cada centro de masa, se organiza dentro de un rango las frecuencias que más inciden en la edificación.
8. Adicional al numeral anterior se determina en un rango la aceleración, velocidad y desplazamiento registrados.

7 RESULTADOS

En el Anexo B se presentan todas las tablas y figuras resultado del procesamiento de la información para cada sitio.

7.1 RELACIÓN ESPECTRAL H/V DE NAKAMURA.

Sede de estudio	Lugar de medición	referencia sitio	Relación espectral H/V	
			fo (Hz)	Factor de amplificación
Torobajo	Biblioteca AQQ	Nv placa de piso	0.90	2.21
	Bloque 2 FACEA	Nv zapata	8.43	1.69
		Nv suelo-capa vegeta	8.05	1.52
		Nv placa de piso	8.38	1.51
	Bloque 3	Nv placa de piso	8.26	1.61
Lab de Ingeniería	Nv placa de piso	3.91	1.80	
VIRRI	Fac de educación	Nv placa de piso	0.59	2.70
	Bloque de Idiomas y Lingüística	Nv placa de piso	0.59	2.31

Tabla 7.1 Resumen de resultados obtenidos mediante la relación H/V

Considerando lo expuesto por Nakamura (2000), sobre la relación que existe entre la profundidad del basamento rocoso y la técnica H/V, la frecuencia fundamental de sitio puede ser determinada mediante la expresión.

$$f_o = \frac{V_s}{4H} \quad 7.1$$

Donde;

f_o = frecuencia fundamental

V_s = Velocidad de onda de corte; para este caso será igual a la velocidad promedio obtenida de la base de datos V_s prom

H = espesor del depósito.

Adicional a lo anterior, Nakamura (2000) expone que el factor de amplificación A , es la relación de la velocidad de onda de corte en el basamento V_B y la superficie V_s , considerando un estrato de igual densidad.

$$A = \frac{V_B}{V_s} \quad 7.2$$

En base a las expresiones 7.1 y 7.2 se estima el espesor del depósito y la velocidad de onda de corte en el basamento (Ver Tabla 7.2). En las Figuras 7.1 y 7.2, se localizan los resultados obtenidos para cada sitio de estudio.

Sede de estudio	Lugar de medición	Vs (m/s)	Relación espectral H/V		H (m)	V _B (m/s)
			fo (Hz)	A		
Torobajo	Biblioteca AQG	327.17	0.90	2.21	91	723.05
	Bloque 2 FACEA		8.43	1.69	10	552.92
	Bloque 3		8.26	1.61	10	526.74
	Lab de Ingeniería		3.91	1.80	21	588.91
VIRRI	Fac de Educación	306.38	0.59	2.70	130	827.23
	Bloque de Idiomas y Lingüística		0.59	2.31	130	707.74

Tabla 7.2 Resultados estimados del espesor del depósito (H) y la velocidad de onda de corte para el basamento (V_B).

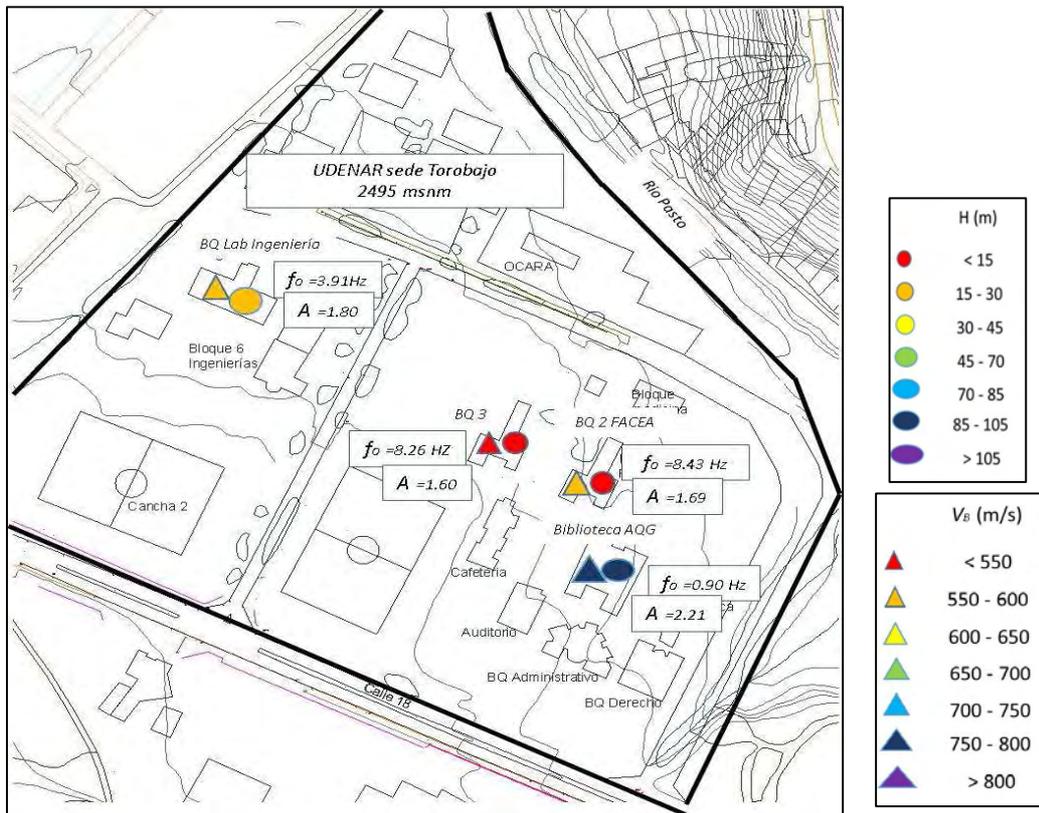


Figura 7.1 Frecuencia natural f_o , Amplitud A, Espesor del depósito H, velocidad de onda de corte en el basamento V_B . Sede Torobajo

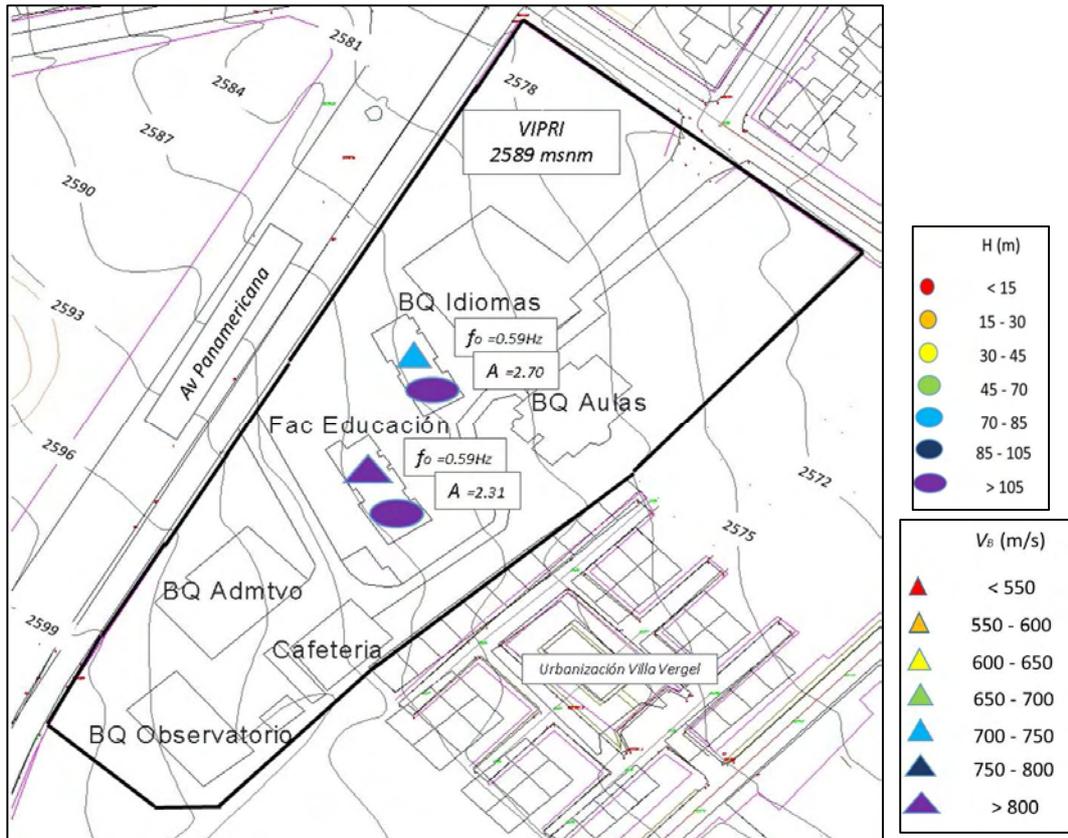


Figura 7.2 Frecuencia natural f_o , Amplitud A , Espesor del depósito H , velocidad de onda de corte en el basamento V_B . Sede VIPRI

7.2 FRECUENCIA NATURAL DE LAS EDIFICACIONES ESTUDIADAS.

La frecuencia natural de la edificación se la determinó como, el valor medio del rango de frecuencias, que más incidencia tuvo en los resultados obtenidos.

Se tomó la expresión A.4.2-3 de la NSR 10, que propone una forma alternativa para calcular el periodo fundamental de las estructuras. Para comparar los valores obtenidos con las microtrepidaciones

$$T_a = C_t h^\alpha \quad 7.3$$

Siendo; T_a el Periodo fundamental de la estructura, C_t y α son valores que se determinan en la tabla 7.3, h altura de la edificación

Sistema estructural de resistencia sísmica	C_t	α
Pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.047	0.9
Pórticos resistentes a momentos de acero estructural que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.072	0.8
Pórticos arriostrados de acero estructural con diagonales excéntricas restringidas a pandeo.	0.073	0.75
Todos los otros sistemas estructurales basados en muros de rigidez similar o mayor a la de muros de concreto o mampostería	0.049	0.75

Tabla 7.3 Valor de los parámetros C_t y α para el cálculo del período aproximado T_a (modificado de NSR 10)

Estableciendo como valores de C_t y α , 0.47 y 0.9, respectivamente.

Sede de estudio	Edificación	h (m)	Microtrepidaciones						NSR 10	
			EW		NS		V		fa (Hz)	Ta (s)
			fo (Hz)	To (s)	fo (Hz)	To (s)	fo (Hz)	To (s)		
Torobajo	Biblioteca AQG	9.30	0.64	1.56	1.41	0.71	0.35	2.86	2.86	0.35
	Bloque 2 FACEA	10.86	0.93	1.08	1.37	0.73	0.82	1.22	2.49	0.40
	Bloque 3	10.86	1.99	0.50	1.06	0.94	0.83	1.20	2.49	0.40
	Lab de Ingeniería	2.95	0.67	1.49	1.00	1.00	0.37	2.70	8.04	0.12
VIRRI	Fac de Educación	5.40	0.65	1.54	1.03	0.97	0.45	2.22	4.66	0.21
	Bloque de Idiomas y Lingüística	5.40	1.00	1.00	1.35	0.74	0.45	2.22	4.66	0.21

Tabla 7.4 Comparación de Frecuencias Naturales obtenidas por medio de las microtrepidaciones y la NSR 10

7.3 COMENTARIO DE LOS RESULTADOS

A partir de lo expuesto por Nakamura (2000), asumiendo que la amplificación de las onda es producto del contraste de impedancia y lo descrito en el entorno geológico de la Universidad de Nariño, se estima que a altas frecuencias los valores de amplificación (A-Nakamura, I-Índice de Transmisión) presentan una buena correlación, en tanto que a bajas frecuencias A es aproximadamente un 40% mayor que I, siendo posible asumir que el depósito de la VIPRI es poco consolidado (Ver Tabla 8.5).

Por otra parte y referenciando las frecuencias f_0 de las edificaciones y f_0 del suelo obtenidas en cada sitio de estudio se puede estimar que la biblioteca AQG, la Facultad de Educación y el Bloque de Idiomas y Lingüística; entren en resonancia frente a un evento sísmico que este predominado por las bajas frecuencias.

Sede	Deposito	Punto de medicion	f_0 (Hz)	A	ρ_s (kg/m ³)	ρ_B (kg/m ³)	V_s (m/s)	V_B (m/s)	I
Torobajo	Coluvial y aluvial	Biblioteca AQQ	0,9	2,21	1435	2700	327,17	723,05	1,61
		Bloque 2 FACEA	8,43	1,69					
		Bloque 3	8,26	1,61					
		Lab de Ingeniería	3,91	1,80					
VIRRI	Lavas y cenizas del tipo Ash fall	Fac de Educación	0,59	2,70	920	2700	306,38	827,23	1,78
		Bloque de Idiomas y Lingüística	0,59	2,31					

f_0 = Frecuencia Natural de vibración del suelo – Obtenida de H/V

A = Factor de Amplificación sísmica – obtenido de H/V

ρ_s y ρ_B = pesos específico del deposito superficial y del basamento rocoso

V_s y V_B = Velocidad de Cizalla del del deposito superficial y del basamento rocoso

I = Índice de transmisión

$$I = \frac{2\rho_B V_B}{\rho_B V_B + \rho_s V_s}$$

Tabla 7.5 Valores estimativos de la amplificación de las ondas sísmicas: A - factor de amplificación obtenido de H/V, I - índice de transmisión

8 CONCLUSIONES

Como resultado de la aplicación del método experimental de Nakamura se puede concluir que los depósitos de suelos donde se emplaza la Universidad de Nariño amplifican los efectos sísmicos locales. La frecuencia de vibración natural obtenida representa una aproximación de la respuesta dinámica de estos suelos, siendo necesario complementar estos resultados con estudios geotécnicos propios de los suelos estudiados.

El suelo se caracteriza por una velocidad de ondas de corte V_s de 327,17 m/s en la sede Torobajo, estimando profundidades del depósito entre 10 a 90 metros donde aparece el substrato rocoso, con velocidad de ondas de corte estimada V_B entre 520 - 725 m/s.

En la VIPRI, el suelo presenta la siguiente características: una velocidad de onda de corte en la de 306.38 m/s, considerando un espesor del depósito de 130 metros, con una velocidad de onda de cizalla estimada en el basamento rocoso de 707 a 827 m/s

Por otra parte, debido a la diferencia presentada en los resultados obtenidos para la estimación de la frecuencia natural en las edificaciones, se determina que este método no es característico para evaluar esta propiedad.

9 RECOMENDACIONES

Realizar una campaña de estudios geotécnicos, para determinar las propiedades mecánicas de los suelos dentro de la infra estructura de la Universidad para que esta cuente con algo propio y poder tener una mejor base, a fin de promover nuevos estudios y/o profundizar mejor los planteamientos sobre la dinámica de suelos.

Realizar estudios tomando como base otras metodologías, con el fin de establecer un criterio más amplio sobre el comportamiento dinámico de suelos.

Realizar una campaña de levantamiento arquitectónico y estructural de las edificaciones, estudiadas con el fin de conocer parámetros como resistencia de materiales y diseño sismo resistente, para conocer el estado actual de estas estructuras, basados en los actuales planteamientos de la NSR 10.

BIBLIOGRAFÍA

- ALFARO A., M. Navarro., J. Sánchez., L. Pujades. Microzonificación sísmica de Barcelona utilizando el método de Nakamura. Ventajas y limitaciones. Proc. Primer Congreso Nacional de Ingeniería sísmica. Murcia. España, 1997a.
- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SISMICA / AIS. Normas Colombianas de diseño y construcción sismorresistente, NSR-10
- BERMUDEZ, María., FRANCO, Luis., MARTINEZ, Samuel., OJEDA, Aníbal. Uso de las microtrepidaciones para la evaluación de la respuesta dinámica de los suelos. En: SIMPOSIO COLOMBIANO DE SISMOLOGÍA "Avances de la sismología en los últimos veinte años". (1º: 2002: Santa Fe de Bogotá). Memorias del primer simposio colombiano de sismología. Bogotá, Universidad Nacional, Ingeominas, 2002, 2p.
- BOROSCHEK, Rubén., RETAMALES, Rodrigo. Guía para la reducción de la vulnerabilidad en el diseño de nuevos establecimientos de salud. Centro colaborador OPS/OMS Mitigación de Desastres en Establecimientos de Salud, Universidad de Chile. Washington, 2004, 107p.
- CADENA, María José., ROSERO, Brenda. Diseño e Implementación de un Sistema portátil de Registro de Señales Microsísmicas. 2009. Trabajo de grado. Universidad de Nariño.
- CALPA, Carlos., PANTOJA, Julio., ALFARO, Andrés., HISSENHOVEN, Rene., INSTITUTO GEOFISICO UNIVERSIDAD JAVERIANA. (2001). Aportes a la microzonificación sísmica de Pasto. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Instituto Geofísico. Bogotá.
- CORAL MONCAYO, Hugo. Utilización de métodos experimentales y de simulación numérica para la microzonificación sísmica de áreas urbanizadas en Andorra. Barcelona, 2002, 189p. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, España. E.T.S Ingenieros de caminos, C. y P. Departamento de Ingeniería del terreno y Cartografía.
- CORAL MONCAYO, Hugo. Ingeniería sismológica, Universidad de Nariño, 2009
- ESCOBAR, Luis., SOLARTE, Luis. Actualización de la zonificación geotécnica en la ciudad de San Juan de Pasto, 2008. Trabajo de grado. Universidad de Nariño, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Civil.
- FIELD, E. H & K. H. JACOB. Using microtremors to assess potential site response: a case study in Glushing Meadows, New York City. En: Bull. Seism. Soc. Am. Vol. 89 No. 6. (1990); p.1456-1480.

- FIELD, E. H & K. H. JACOB. A comparison and test of various site response estimation techniques, including three that are not reference site dependant. En: Bull. Seism. Soc. Am. Vol. 85. (1995); p. 1127-1143.
- GIRALDO, V., A. ALFARO, L.G. PUJADES, J.A. Canas. Estimación de efectos locales con movimientos sísmicos y microtemblores. Monografías de Ingeniería Sísmica. A.H. Barbat, Editor. Monografía CIMNE IS-36, Barcelona. 1999. 77p.
- GOULA, X., T. SUSAGNA, S. FIGUERAS, P. FARRES, X. Cid, A. ALFARO & A. BARCHIESI. Analysis of site effects of city of barcelona (Spain). Resumen en el Libro Resumen En: XIX GENERAL ASSEMBLY OF THE IASPEI. Thessaloliniki. IASPEI, 1997. p. 324.
- HILLÓN, Andrés., NARVÁEZ, Edith. Caracterización dinámica preliminar de suelos en sectores de la ciudad de San Juan de Pasto mediante el método de microtrepidaciones propuesto por Nakamura. Pasto, 2008, 206p. Trabajo de grado. Universidad de Nariño, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Civil.
- HOUGH, S. E., E. H. FIELD, K. H. JACOB. Using microtremors to assess sitespecific earthquake hazard. En : PROC. OF THE FOURTH INT. CONF. ON SEIS. ZONATION. Stanford Univ. California. Aug.25-29, Vol. III. (1991); p. 585-592
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES GEOLÓGICO MINERAS / INGEOMINAS Y UNIVERSIDAD DEL LOS ANDES. Microzonificación sísmica de Santa Fé de Bogotá. Convenio interadministrativo 01- 92. Reporte final. Ingeominas: Bogotá. 1997. 130 p. il. mapas.
- JARAMILLO, J. D. Comunicación personal. Profesor Universidad EAFIT, Investigador Microzonificación sísmica de Medellín. Noviembre del 2000. Medellín.
- KONNO, K. & T. OHMACHI. A smothing function suitable for estimation of amplification factor of the surface ground from microtremor and its pplication. J. JSCE. 525m I – 33, (1995); p. 247 – 259. (en japonés). Citado en: KONNO, K. Amplification factor estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor. Paper 1247 En: ELEVENTH WORLD CONFERENCE OF EARTHQUAKE ENGINEERING. Acapulco. (1996).
- LACHET C. & P-Y BARD. Numerical and theoritical investigations on thepos sibilities and limitations of Nakamura´s technique. En: J. Phys. Earth, Vol. 42. (1994); p. 377-397.
- Le BRUN. B., P-Y. BARD, & D. HATZFELD. Evidence for large, low frequency site effects in large alpine Valley: the example of Grenoble, France. En: Libro resumen de la XIX GENERAL ASSEMBLY OF THE IASPEI, Thessaloliniki. (1997); p. 382.

- LERMO, J. & F. CHÁVEZ-GARCÍA. Are microtremors useful in site response evaluation. En: Bull. Seism. Soc. Am. Vol. 84, No. 5. (oct. 1994); p. 1350-1364.
- LERMO, J., S, Francisco, & J. CHAVEZ-GARCIA. Site effect evaluation using microtremors: a review. Resumen en: EOS Vol. 73. (1992); p. 352.
- MUÑOZ QUIJANO, Ingrid. Estudio geológico detallado del área urbana y suburbana del municipio de Pasto. Manizales. 1998. 96 p. Tesis (Geóloga). Universidad de Caldas. Facultad de ciencias exactas y naturales.
- NAKAMURA, Y. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *RTRI*, Vol. 30. No. 1. 1989. pp 25-33.
- NAKAMURA, Y. Clear identification of fundamental idea on Nakamura's technique and its applications. Paper No. 2656 En: *Proc. of 12TH WORLD CONFERENCE IN EARTHQUAKE ENGINEERING*. Nueva Zelanda. (2000). 8p.
- OHMACHI, T & T. UMEZONO. Rate of Rayleigh waves in microtremors. En: The effects of surface geology in seismic motion. En: 2ND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ESG. Vol. 2. Rotterdam. (1998); p. 587 – 592.202
- OHMACHI, T., K. KONNO, T. ENDOH & T. TOSHINAWA. Refinement and application of an estimation procedure for site natural periods using microtremor. Resumén en Japonés. JSCE, 489, 1-27. (1994); p. 251-260. Citado por: TOSHINAWA, T., J. B. BERRIL & R. O. DAVIS. Ground motion characteristics of Christchurch, New Zealand, obtained by microtremor measurements. En: Proc. 9TH. INT. CONF. JAPAN. EARTHQUAKE ENG. SYMP. Vol. 2. (1994); p. 79 – 84.
- PARRALES, Rainer., PICADO Mauricio. Análisis de espectros de respuesta en el área de la ciudad de Managua. Managua, 2001, 198p. Monografía. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de tecnología de la construcción.
- PITILAKIS, K. Evaluation of site response estimation method based on Euroseitest data. Resumen En: Libro resumen de la XIX GENERAL ASSEMBLY OF THE IASPEI, Thessaloliniki. (1997); p. 318.
- RAMÍREZ, Jesús Emilio, S.J. Historia de los Terremotos en Colombia. Instituto Geofísico Agustín Codazzi. 1975.
- RAMÍREZ, Jesús Emilio, S.J. y GOBERNA, José Rafael. Terremotos Colombianos Noviembre 23 y Diciembre 12 de 1979. Instituto Geofísico de los Andes Colombianos. Universidad Javeriana. Serie A: Sismología No. 45. Bogotá, 1980.
- RODRÍGUEZ SEGURADO, MONTSE. Caracterización de la Respuesta Sísmica de los Suelos. Aplicación a la ciudad de Barcelona, 2009.

- ROSALES CLIMENT, Cristina. Sobre el comportamiento sísmico de los depósitos de suelos del área de Cañaveralejo, Cali, Colombia. Cali, 2001, 275p. Trabajo de grado. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil y Geomática.
- SEISMOSOFT, www.seismosoft.com.
- TRIANTAFYLLIDIS, P. & P. M. HATZIDIMITRIOU. Site effects in the city of Thessaloliniki (Greece) using acceleration data. Resumen en Libro Resumen de la XIX GENERAL ASSEMBLY OF THE IASPE., Thessaloliniki. (1997); p. 319.
- TORRES, Roberto. Teoría Geográfica – Espacio Urbano, Ordenamiento Territorial, Planificación Regional y Ambiental, Geografía de los conflictos, Geografía y Pedagogía. Revista de investigación Geografica No 1, 1999.
- WIKIPEDIA, Enciclopedia Libre. es.wikipedia.org
- UNIVERSIDAD DE NARIÑO. Estatuto general, actualización, 2010.
- UNIVERSIDAD DE NARIÑO, Estadísticas Poblacionales, 2009
- UNIVERSIDAD DE NARIÑO, Población Docente y Administrativa, 2010
- VERDUGO. R, PASTÉN. C, CAMPOS. J y BONILLA. F. USO DE LA RAZÓN ESPECTRAL H/V EN SUPERFICIE PARA LA CARACTERIZACIÓN SÍSMICA DE SANTIAGO, Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica IX Jornadas, 16-19 de Noviembre de 2005, Concepción-Chile.
- ZASLAVSKY, Y & A. SHAPIRA. Earthquake zonation map for Eilat (Israel) – Predictions and observations. Resumen en el Libro Resumen En: XIX GENERAL ASSEMBLY OF THE IASPEI. Thessaloliniki. (1997); p. 322.

ANEXOS

ANEXO A. EQUIPOS DE MEDICIÓN.

A.1.1. Acelerógrafo CUSP 3C

Modelo:	3C de la empresa Canterbury Seismic Instruments
Sensor:	Triaxial low-noise MEMs silicon accelerometers
Rango de entrada:	+ - 3 g
Frecuencia de muestreo:	400 Hz para conversión A/C
Conversión o resolución:	24-bit sigma-delta data conversión
Taza de muestreo:	100 – 200 muestras por segundo
Rango dinámico de medición:	120 Db (50-80 Hz BW)
Ancho de Banda:	40-80 Hz
Procesador:	Bajo poder basado en x86
OS:	Multi-tarea en tiempo real basado en Linux
Conectividad:	SSL-HTTP servidor Web, FTP, Telnet, SSH, SFTP, RSYNC Email/FTP/SFTP, LAN, Modem, Wireless
Protocolo:	TCP-IP

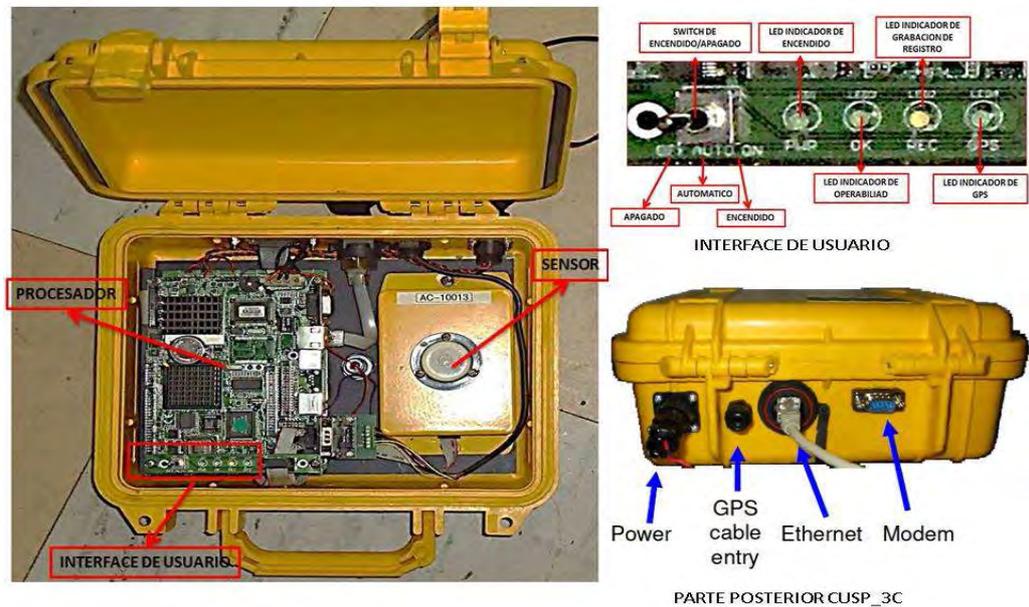


Figura A.1 Acelerógrafo CUSP_3C (Manual de



Figura A.2 Acelerógrafo EAR_1 (Rosero y Cadena, 2009)

Este acelerógrafo genera datos los cuales son almacenados parcialmente en su tarjeta de adquisición de datos por medio de cual y conjuntamente con todo el dispositivo instalado en el ordenador genera un archivo de con extensión “.txt” directamente en el ordenador donde el orden en el que guarda las componentes es, NS, EW V. A continuación se muestra un ejemplo del archivo generado:

```

Universidad de Nariño
Facultad de Ingeniería
Adquisición y Registro de Microtrepidaciones
Proyecto: Caracterización Dinámica de Suelos
Operador: CFRB
Sitio: Universidad de Nariño
Separador: Doble espacio
Fecha: jueves, 06 de octubre de 2011
Hora Inicio: 23:20:01
Lapso de tiempo (s):
1200
Canales:
3
Frecuencia de muestreo (Hz):
200
***** Fin Encabezado *****
1 4.04796383218101 4.06264333335079 4.89864153207816
2 5.35278171574825 5.37257007966537 6.46939745459103
.....

```

} Encabezado

} Serie de datos

ANEXO B. TABLAS Y FIGURAS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

B.1 BIBLIOTECA ALBERTO QUIJANO GUERRERO

B.1a Resultados del Método Nakamura

SITIO *BIBLIOTECA ALBERTO QUIJANO GUERRERO-TOROBAJO* TAMAÑO DE LA VENTANA 10 sg
 N 01°13'53.88"
 FECHA DEL REGISTRO 09 Y 10 DE NOVIEMBRE DE 2011
 COORDENADAS W 77°17'32.76"
 2492 msnm **LUGAR** *NIVEL DE PLACA DE PISO*

No. DE MUESTRAS	HORA DEL REGISTRO	No. DE MUESTRAS	DURACIÓN (sg)	No. VENT SELEC	Fo (Hz)	AMPLITUD H/V	RANGO DE FRECUENCIAS	T (sg)	OBSERVACIONES
1	22:40:00 p.m.	65536	327.68	14	1.19	1.93	0.90-1.21	0.84	
	22:46:00 p.m.	65536	327.68	10	0.90	2.56		1.11	
	22:52:00 p.m.	65536	327.68	11	1.21	1.70		0.82	
	22:58:00 p.m.	32768	163.84	7	0.98	1.95		1.02	
2	23:00:00 p.m.	65536	327.68	8	0.89	1.83	0.90-1.12	1.13	
	23:06:00 p.m.	65536	327.68	10	1.09	2.37		0.92	
	23:12:00 p.m.	65536	327.68	4	0.90	2.34		1.11	
	23:18:00 p.m.	32768	163.84	4	1.12	2.44		0.89	
3	23:20:00 p.m.	65536	327.68	9	0.90	2.93	0.70-1.37	1.11	
	23:26:00 p.m.	65536	327.68	6	1.11	2.72		0.90	
	23:32:00 p.m.	65536	327.68	4	0.70	5.18		1.43	
	23:38:00 p.m.	32768	163.84	4	1.37	3.12		0.73	
4	12:10:00 a.m.	65536	327.68	5	1.20	2.63	0.70-1.95	0.83	
	12:16:00 a.m.	65536	327.68	3	1.95	2.00		0.51	
	12:22:00 a.m.	65536	327.68	8	0.70	6.68		1.43	
	12:28:00 a.m.	32768	163.84	-	0.99	1.65		1.01	CON INTERFERENCIA
5	12:30:00 a.m.	65536	327.68	8	0.90	2.49	0.59-1.99	1.11	
	12:36:00 a.m.	65536	327.68	-	8.50	1.56		0.12	CON INTERFERENCIA
	12:42:00 a.m.	65536	327.68	8	0.59	2.37		1.70	
	12:48:00 a.m.	32768	163.84	4	1.99	2.80		0.50	
6	12:50:00 a.m.	65536	327.68	2	1.38	2.37	0.59-1.38	0.72	
	12:56:00 a.m.	65536	327.68	6	0.59	5.00		1.70	
	01:02:00 a.m.	65536	327.68	7	0.70	3.74		1.43	
	01:08:00 a.m.	32768	163.84	4	0.70	3.31		1.43	

Tabla B.1.1. Resultados de H/V obtenidos para la Biblioteca A.Q.G.

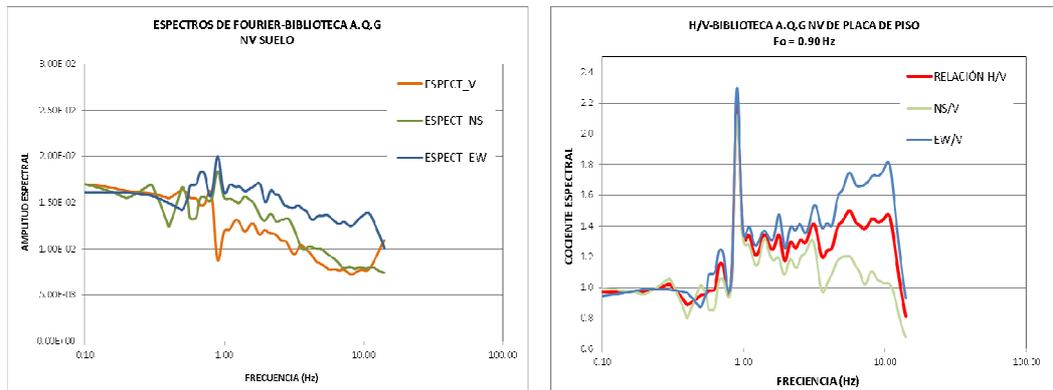


Figura B.1.1. Relación espectral y Espectros de Fourier para la Biblioteca Alberto Quijano Guerrero, Nv de placa de piso - Autor

B.1c Resultados Frecuencia Natural

	EW				NS				VERT			
	\ddot{x} mg	\dot{x} mm/s	x mm	f Hz	\ddot{x} mg	\dot{x} mm/s	x mm	f Hz	\ddot{x} mg	\dot{x} mm/s	x mm	f Hz
Nv 2	0.10 -0.10	0.21 -0.21	0.21 -0.18	0.51 - 0.77	0.13 -0.14	0.26 -0.23	0.24 -0.27	1.25 - 2.22	0.11 -0.12	0.22 -0.27	0.24 -0.22	0.60 - 1.01
Nv 1	0.11 -0.1	0.207 -0.19	0.2 -0.18	0.84 - 1.31	0.124 -0.14	0.241 -0.26	0.222 -0.21	1.01 - 1.80	0.092 -0.1	0.216 -0.24	0.236 -0.21	0.12-0.58

Tabla B.1.2. Resultados para la Biblioteca AQQ, Aceleración (\ddot{x}), Velocidad (\dot{x}), Desplazamiento (x) y Frecuencia Natural (f)

B.2 BLOQUE 2 – FACEA - TOROBAJO

B.2a Resultados Método Nakamura.

Resultados a Nivel de Zapata

SITIO	BLOQUE 2 FACEA-TOROBAJO	TAMAÑO DE LA VENTANA	10 sg
	N 01°13'55.68"	FECHA DEL REGISTRO	17 Y 18 DE OCTUBRE DE 2011
COORDENADAS	W 77°17'33.06"	LUGAR	NIVEL DE ZAPATA
	2492 msnm		

No. DE MUESTRAS	HORA DEL REGISTRO	No. DE MUESTRAS	DURACIÓN (sg)	No. VENT SELEC	Fo (Hz)	AMPLITUD H/V	RANGO DE FRECUENCIAS	T (sg)	OBSERVACIONES
1	05:00:00 p.m.	65536	327.68	5	8.43	1.85	7.33-9.48	0.12	
	05:06:00 p.m.	65536	327.68	6	8.90	1.67		0.11	
	05:12:00 p.m.	65536	327.68	6	9.39	1.83		0.11	
	05:18:00 p.m.	32768	163.84	3	9.48	1.54		0.11	
2	05:20:00 p.m.	65536	327.68	7	8.86	1.57	8.20-8.71	0.11	
	05:26:00 p.m.	65536	327.68	4	8.71	1.69		0.11	
	05:32:00 p.m.	65536	327.68	8	8.20	1.69		0.12	
	05:38:00 p.m.	32768	163.84	7	6.09	1.59		0.16	
3	05:40:00 p.m.	65536	327.68	13	8.31	1.58	8.69-10.22	0.12	
	05:46:00 p.m.	65536	327.68	10	8.69	1.52		0.12	
	05:52:00 p.m.	65536	327.68	9	10.22	1.46		0.10	
	05:58:00 p.m.	32768	163.84	6	8.84	1.49		0.11	
4	11:30:00 p.m.	65536	327.68	5	8.08	1.78	8.08-9.87	0.12	
	11:36:00 p.m.	65536	327.68	9	9.57	1.62		0.10	
	11:42:00 p.m.	65536	327.68	4	9.87	1.63		0.10	
	11:48:00 p.m.	32768	163.84	12	9.25	1.44		0.11	CON INTERFERENCIA
5	11:50:00 p.m.	65536	327.68	7	8.63	1.61	9.36-10.51	0.12	
	11:56:00 p.m.	65536	327.68	8	8.33	1.56		0.12	
	12:02:00 a.m.	65536	327.68	8	8.59	1.58		0.12	
	12:08:00 a.m.	32768	163.84	8	9.41	1.50		0.11	
6	12:10:00 a.m.	65536	327.68	6	7.80	1.63	7.18-8.43	0.13	
	12:16:00 a.m.	65536	327.68	9	7.60	1.59		0.13	
	12:22:00 a.m.	65536	327.68	9	8.43	1.63		0.12	
	12:28:00 a.m.	32768	163.84	5	8.51	1.58		0.12	

Tabla B.2.1. Resultados de H/V obtenidos para el Bloque 2 –Nv de zapata

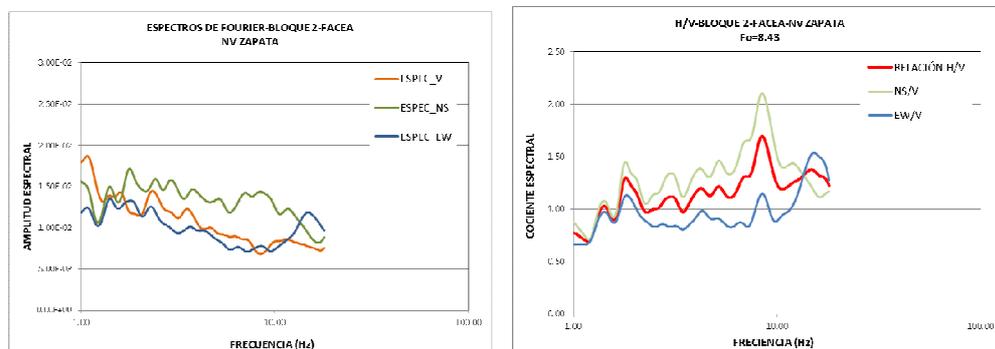


Figura B.2.1. Relación espectral y Espectros de Fourier para el Bloque 2 a Nv de zapata

Resultados a Nivel de Suelo o capa Vegetal.

SITIO BLOQUE 2 FACEA TAMAÑO DE LA VENTANA 10 sg
 N 01°13'55.68" FECHA DEL REGISTRO 17 Y 18 DE OCTUBRE DE 2011
 COORDENADAS W 77°17'33.06" LUGAR NIVEL DE SUELO
 2492 msnm

No. DE MUESTRAS	HORA DEL REGISTRO	No. DE MUESTRAS	DURACIÓN (sg)	No. VENT SELEC	Fo (Hz)	AMPLITUD H/V	RANGO DE FRECUENCIAS	T (sg)	OBSERVACIONES
1	05:00:00 p.m.	65536	327.68	10	8.05	1.77	8.05-8.21	0.12	
	05:06:00 p.m.	65536	327.68	5	8.03	2.00		0.12	
	05:12:00 p.m.	65536	327.68	5	8.21	1.85		0.12	
	05:18:00 p.m.	32768	163.84	11	2.51	1.59		0.40	CON INTERFERENCIA
2	05:20:00 p.m.	65536	327.68	9	8.26	1.84	7.80-8.53	0.12	
	05:26:00 p.m.	65536	327.68	11	8.06	1.59		0.12	
	05:32:00 p.m.	65536	327.68	8	7.80	1.90		0.13	
	05:38:00 p.m.	32768	163.84	4	8.53	1.80		0.12	
3	05:40:00 p.m.	65536	327.68	6	7.56	1.87	6.07-8.79	0.13	
	05:46:00 p.m.	65536	327.68	7	8.79	1.82		0.11	
	05:52:00 p.m.	65536	327.68	12	6.07	1.80		0.16	CON INTERFERENCIA
	05:58:00 p.m.	32768	163.84	4	7.25	1.90		0.14	
4	11:30:00 p.m.	65536	327.68	7	8.05	1.72	7.07-8.10	0.12	
	11:36:00 p.m.	65536	327.68	5	8.10	1.93		0.12	
	11:42:00 p.m.	65536	327.68	7	7.07	2.08		0.14	
	11:48:00 p.m.	32768	163.84	5	7.91	1.71		0.13	
5	11:50:00 p.m.	65536	327.68	13	7.33	1.75	7.33-9.38	0.14	
	11:56:00 p.m.	65536	327.68	7	9.38	1.82		0.11	
	12:02:00 a.m.	65536	327.68	5	9.13	1.77		0.11	
	12:08:00 a.m.	32768	163.84	5	8.44	1.78		0.12	
6	12:10:00 a.m.	65536	327.68	9	6.78	1.53	8.76	0.15	CON INTERFERENCIA
	12:16:00 a.m.	65536	327.68	4	8.76	1.66		0.11	
	12:22:00 a.m.	65536	327.68	10	8.35	1.48		0.12	
	12:28:00 a.m.	32768	163.84	10	1.22	1.85		0.82	CON INTERFERENCIA

Tabla B.2.2. Resultados de H/V obtenidos para el Bloque 2 –Nv de suelo

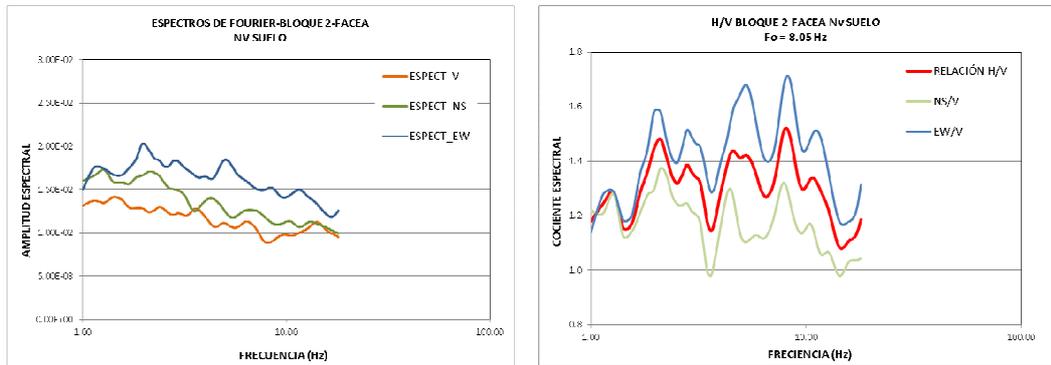


Figura B.2.2. Relación espectral y espectros de Fourier para el Bloque 2 a Nv de suelo

Resultados a nivel de placa de piso

SITIO BLOQUE 2 FACEA TAMAÑO DE LA VENTANA 10 sg
 N 01°13'55.68" FECHA DEL REGISTRO 6 Y 7 DE OCTUBRE DE 2011
COORDENADAS W 77°17'33.06" LUGAR NIVEL DE PLACA DE PISO
 2492 msnm

No. DE MUESTRAS	HORA DEL REGISTRO	No. DE MUESTRAS	DURACIÓN (sg)	No. VENT SELEC	Fo (Hz)	AMPLITUD H/V	RANGO DE FRECUENCIAS	T (sg)	OBSERVACIONES
1	11:20:00 p.m.	65536	327.68	8	7.95	1.55	6.80-7.93	0.13	
	11:26:00 p.m.	65536	327.68	4	7.93	1.90		0.13	
	11:32:00 p.m.	65536	327.68	7	7.07	1.58		0.14	
	11:38:00 p.m.	32768	163.84	4	6.80	1.59		0.15	CON INTERFERENCIA
2	11:40:00 p.m.	65536	327.68	8	7.81	1.58	7.81-10.34	0.13	
	11:46:00 p.m.	65536	327.68	8	8.30	1.61		0.12	
	11:52:00 p.m.	65536	327.68	12	8.38	1.51		0.12	
	11:58:00 p.m.	32768	163.84	8	10.34	1.69		0.10	
3	12:00:00 a.m.	65536	327.68	7	8.26	1.60	6.09-8.94	0.12	
	12:06:00 a.m.	65536	327.68	4	8.94	1.65		0.11	
	12:12:00 a.m.	65536	327.68	7	7.80	1.57		0.13	
	12:18:00 a.m.	32768	163.84	3	8.33	1.66		0.12	

Tabla B.2.3. Resultados de H/V obtenidos para el Bloque 2 –Nv placa de piso

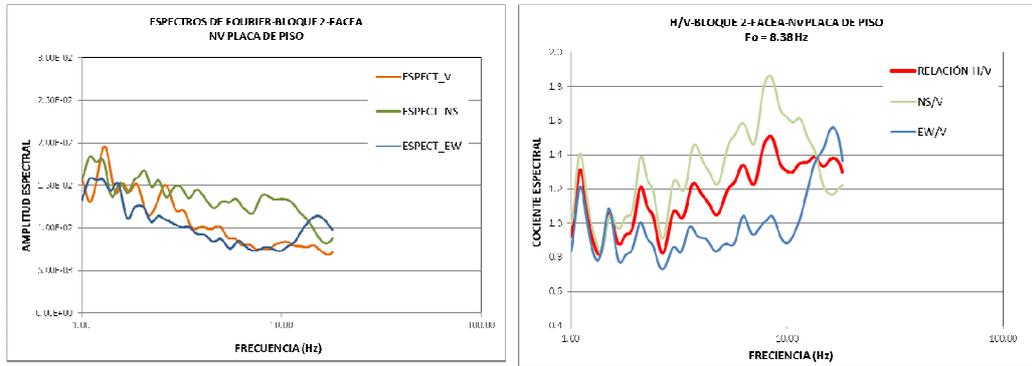


Figura B.2.3. Relación espectral y espectros de Fourier para el Bloque 2 a Nv de Placa de piso

B.4.2c. Resultados Frecuencia Natural

	EW				NS				VERT			
	\ddot{x} mg	\dot{x} mm/s	x mm	f Hz	\ddot{x} mg	\dot{x} mm/s	x mm	f Hz	\ddot{x} mg	\dot{x} mm/s	x mm	f Hz
Nv 10.855	0.12 -0.11	0.24 -0.16	0.25 -0.15	1.05 - 1.80	0.09 -0.08	0.25 -0.18	0.23 -0.15	0.57 - 0.96	0.11 -0.08	0.22 -0.16	0.21 -0.11	0.16 - 0.55
Nv 9.325	0.12 -0.09	0.18 -0.12	0.16 -0.11	0.63 - 1.08	0.13 -0.11	0.22 -0.17	0.23 -0.15	0.62 - 1.00	0.11 -0.08	0.21 -0.17	0.21 -0.14	0.14 - 0.53
Nv 7.805	0.14 -0.10	0.25 -0.17	0.25 -0.15	2.29 - 3.1	0.10 -0.08	0.24 -0.17	0.24 -0.15	0.64 - 1.03	0.12 -0.08	0.19 -0.14	0.20 -0.10	0.26 - 0.72
Nv 6.275	0.11 -0.08	0.20 -0.13	0.18 -0.13	0.58 - 1.27	0.13 -0.10	0.23 -0.17	0.23 -0.14	0.92 - 1.82	0.11 -0.08	0.24 -0.16	0.21 -0.15	0.20 - 0.87
Nv 4.755	0.15 -0.10	0.26 -0.19	0.25 -0.13	1.27 - 2.87	0.10 -0.08	0.25 -0.16	0.22 -0.15	0.95 - 1.27	0.10 -0.08	0.19 -0.15	0.22 -0.10	0.19 - 0.34
Nv 3.225	0.12 -0.08	0.20 -0.15	0.19 -0.13	0.43 - 1.01	0.15 -0.11	0.25 -0.18	0.25 -0.14	0.67 - 1.12	0.09 -0.08	0.24 -0.16	0.21 -0.15	0.27 - 0.68
Nv 1.705	0.13 -0.14	0.23 -0.26	0.25 -0.20	0.91 - 1.96	0.09 -0.10	0.22 -0.26	0.14 -0.15	0.97-1.55	0.11 -0.11	-0.21 -0.19	0.19 -0.18	0.36 - 1.25

Tabla B.2.4. Resultados para el Bloque 2 FACEA, Aceleración (\ddot{x}), Velocidad (\dot{x}), Desplazamiento (x) y Frecuencia Natural (f)

B.3. BLOQUE 3 – TOROBAJO

B.3a. Resultados Método Nakamura

SITIO BLOQUE 3 - TOROBAJO TAMAÑO DE LA VENTANA 10 sg
 N 01°13'55.74" FECHA DEL REGISTRO 6 Y 7 DE NOVIEMBRE DE 2011
 COORDENADAS W 77°17'34.86" 2496 msnm
LUGAR NIVEL DE PLACA DE PISO

No. DE MUESTRAS	HORA DEL REGISTRO	No. DE MUESTRAS	DURACIÓN (sg)	No. VENT SELEC	Fo (Hz)	AMPLITUD H/V	RANGO DE FRECUENCIAS	T (sg)	OBSERVACIONES
1	11:10:00 p.m.	65536	327.68	9	8.03	1.58	8.03-9.14	0.12	
	11:16:00 p.m.	65536	327.68	4	8.86	1.93		0.11	
	11:22:00 p.m.	65536	327.68	7	9.14	1.58		0.11	
	11:28:00 p.m.	32768	163.84	5	8.61	1.54		0.12	
2	11:30:00 p.m.	65536	327.68	8	7.51	1.70	7.38-8.66	0.13	
	11:36:00 p.m.	65536	327.68	8	7.85	1.47		0.13	
	11:42:00 p.m.	65536	327.68	8	8.66	1.54		0.12	
	11:48:00 p.m.	32768	163.84	5	7.38	1.52		0.14	
3	11:50:00 p.m.	65536	327.68	10	6.83	1.63	7.95-8.26	0.15	CON INTERFERENCIA
	11:56:00 p.m.	65536	327.68	7	7.95	1.59		0.13	
	12:02:00 a.m.	65536	327.68	7	8.26	1.61		0.12	
	12:08:00 a.m.	32768	163.84	4	8.25	1.71		0.12	
4	10:30:00 p.m.	65536	327.68	5	9.29	1.76	7.70-9.29	0.11	
	10:36:00 p.m.	65536	327.68	7	8.36	1.59		0.12	
	10:42:00 p.m.	65536	327.68	9	7.70	1.67		0.13	
	10:48:00 p.m.	32768	163.84	5	6.55	1.60		0.15	CON INTERFERENCIA
5	10:50:00 p.m.	65536	327.68	13	8.61	1.55	8.33-9.21	0.12	
	10:56:00 p.m.	65536	327.68	-	-	-		-	IMPOSIBLE PROCESAR
	11:00:00 p.m.	65536	327.68	8	9.21	1.56		0.11	
6	11:06:00 p.m.	32768	163.84	8	8.26	1.78	8.15-8.78	0.12	
	11:10:00 p.m.	65536	327.68	6	8.78	1.60		0.11	
	11:16:00 p.m.	65536	327.68	7	8.15	1.49		0.12	
	11:22:00 p.m.	65536	327.68	12	8.26	1.54		0.12	
	11:28:00 p.m.	32768	163.84	6	8.20	1.62		0.12	

Tabla B.3.1. Resultados de H/V obtenidos para el Bloque 3

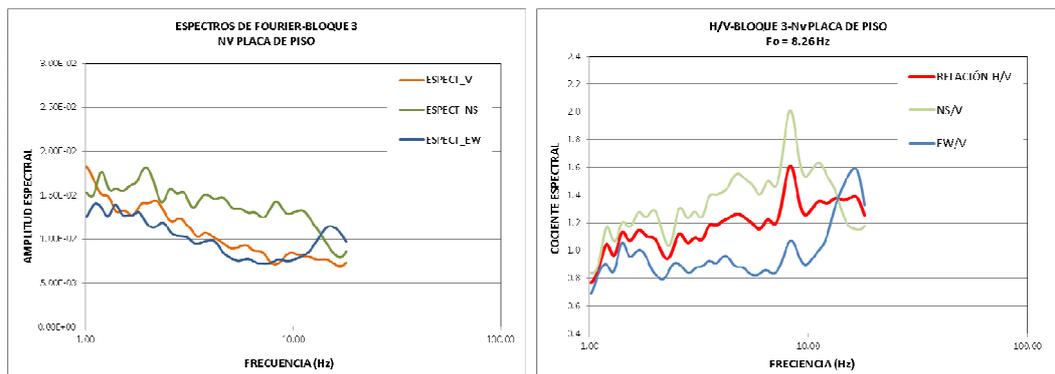


Figura B.3.1. Relación espectral y espectros de Fourier del Bloque 3, a Nv de Placa de piso

B.3c Resultados Frecuencia Natural

	EW				NS				VERT			
	\ddot{x} mg	\dot{x} mm/s	x mm	f Hz	\ddot{x} mg	\dot{x} mm/s	x mm	f Hz	\ddot{x} mg	\dot{x} mm/s	x mm	f Hz
Nv 10.855	0.13 -0.10	0.24 -0.17	0.26 -0.16	1.25 - 2.31	0.09 -0.08	0.24 -0.15	0.21 -0.14	0.64 - 1.32	0.10 -0.08	0.19 -0.15	0.21 -0.12	0.62 - 1.43
Nv 9.325	0.11 -0.08	0.21 -0.14	0.20 -0.13	0.54 - 0.84	0.13 -0.11	0.23 -0.19	0.22 -0.14	0.50 - 1.14	0.09 -0.08	0.21 -0.16	0.23 -0.14	0.14 - 0.60
Nv 7.805	0.12 -0.11	0.23 -0.16	0.23 -0.17	1.01 - 1.88	0.09 -0.08	0.24 -0.18	0.23 -0.12	0.98 - 1.31	0.10 -0.08	0.18 -0.15	0.20 -0.13	0.14 - 0.84
Nv 6.275	0.13 -0.08	0.23 -0.13	0.21 -0.12	0.57 - 1.04	0.13 -0.11	0.26 -0.16	0.22 -0.16	1.01 - 1.69	0.10 -0.08	0.22 -0.17	0.24 -0.17	0.32 - 0.77
Nv 4.755	0.15 -0.09	0.25 -0.17	0.25 -0.17	1.14 - 2.84	0.10 -0.08	0.22 -0.17	0.23 -0.14	0.55 - 1.56	0.10 -0.08	0.20 -0.13	0.17 -0.12	0.58 - 1.17
Nv 3.225	0.10 -0.08	0.21 -0.16	0.20 -0.14	0.25 - 0.84	0.12 -0.10	0.21 -0.19	0.20 -0.14	0.88 - 0.96	0.09 -0.08	0.21 -0.16	0.21 -0.14	0.27 - 1.02
Nv 1.705	0.15 -0.10	0.26 -0.17	0.25 -0.16	0.94 - 1.83	0.09 -0.08	0.23 -0.15	0.25 -0.16	0.40 - 0.76	0.10 -0.08	0.21 -0.14	0.19 -0.10	0.34 - 1.32

Tabla B.3.2. Resultados para el Bloque 3, Aceleración (\ddot{x}), Velocidad (\dot{x}), Desplazamiento (x) y Frecuencia Natural (f)

B.4 BLOQUE FACULTAD DE EDUCACIÓN – VIPRI

B.4a Resultados Metodo Nakamura

SITIO **BLOQUE FACULTAD DE EDUCACION - V.I.P.R.I** TAMAÑO DE LA VENTANA 10sg
 N 01°12'47.22" FECHA DEL REGISTRO 10 Y 11 DE NOVIEMBRE DE 2011
 COORDENADAS W 77°17'28.44" LUGAR **NIVEL DE PLACA DE PISO**
 2587 msnm

No. DE MUESTRAS	HORA DEL REGISTRO	No. DE MUESTRAS	DURACIÓN N (sg)	No. VENT SELEC	Fo (Hz)	AMPLITUD H/V	RANGO DE FRECUENCIAS	T (sg)	OBSERVACIONES
1	11:00:00 p.m.	65536	327.68	6	0.59	3.61	0.59-1.33	1.70	
	11:06:00 p.m.	65536	327.68	6	1.33	2.01		0.75	
	11:12:00 p.m.	65536	327.68	6	0.59	1.99		1.69	
	11:18:00 p.m.	32768	163.84	-	2.47	-		0.40	CON INTERFERENCIA
2	11:20:00 p.m.	65536	327.68	5	0.59	3.34	0.59-1.01	1.69	
	11:26:00 p.m.	65536	327.68	-	1.01	-		0.99	CON INTERFERENCIA
	11:32:00 p.m.	65536	327.68	5	0.59	5.54		1.69	
	11:38:00 p.m.	32768	163.84	6	0.59	4.43		1.69	
3	11:40:00 p.m.	65536	327.68	7	0.59	2.96	0.59-1.16	1.69	
	11:46:00 p.m.	65536	327.68	8	0.59	2.68		1.69	
	11:52:00 p.m.	65536	327.68	5	1.16	2.21		0.86	
	11:58:00 p.m.	32768	163.84	2	0.59	5.13		1.69	

Tabla B.4.1. Resultados de H/V obtenidos para la Facultad de Educación-VIPRI

4	12:10:00 a.m.	65536	327.68	5	1.40	3.30	0.59-1.40	0.71	CON INTERFERENCIA
	12:16:00 a.m.	65536	327.68	-	0.90	-		1.11	
	12:22:00 a.m.	65536	327.68	7	0.59	3.46		1.69	
	12:28:00 a.m.	32768	163.84	2	0.59	3.35		1.69	
5	12:30:00 a.m.	65536	327.68	10	0.59	3.43	0.59-0.70	1.69	
	12:36:00 a.m.	65536	327.68	4	0.59	4.93		1.69	
	12:42:00 a.m.	65536	327.68	4	0.70	2.12		1.44	
	12:48:00 a.m.	32768	163.84	6	0.59	4.97		1.69	
6	12:50:00 a.m.	65536	327.68	6	0.59	3.67	0.40-0.70	1.69	
	12:56:00 a.m.	65536	327.68	5	0.70	3.11		1.44	
	01:02:00 a.m.	65536	327.68	5	0.40	1.61		2.49	
	01:08:00 a.m.	32768	163.84	3	0.59	2.18		1.69	

Tabla B.4.2. Resultados de H/V obtenidos para la Facultad de Educación-VIPRI - continuación

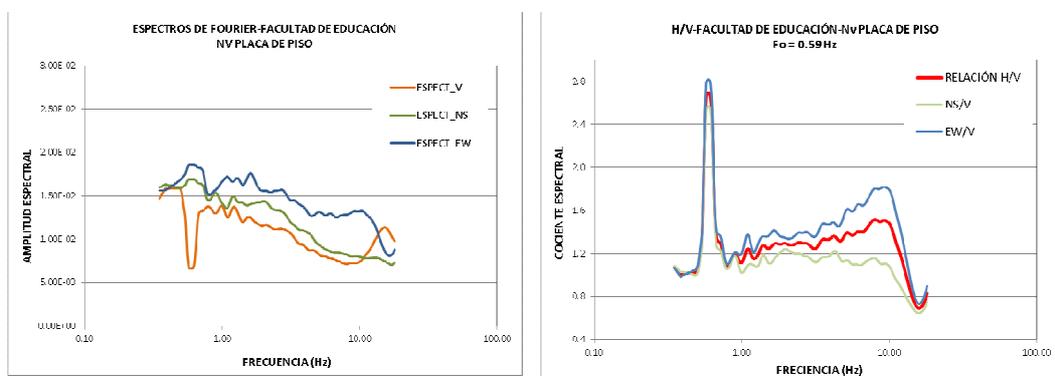


Figura B.4.1. Relación espectral y espectros de Fourier de la Facultad de Educación a Nv de Placa de piso - Autor

B.4c Resultados Frecuencia Natural

	EW				NS				VERT			
	\ddot{x} mg	\dot{x} mm/s	x mm	f Hz	\ddot{x} mg	\dot{x} mm/s	x mm	f Hz	\ddot{x} mg	\dot{x} mm/s	x mm	f Hz
Nv 5.40	0.101	0.181	0.2	0.52 - 0.77	0.152	0.298	0.272	0.74 - 1.32	0.096	0.223	0.223	0.14 - 0.75
	-0.08	-0.14	-0.13		-0.11	-0.17	-0.15		-0.09	-0.17	-0.16	
Nv 2.60	0.093	0.229	0.177	0.42 - 0.75	0.143	0.235	0.228	0.61 - 0.97	0.1	0.235	0.2	0.16 - 0.64
	-0.08	-0.14	-0.13		-0.11	-0.2	-0.15		-0.08	-0.15	-0.16	

Tabla B.4.3. Resultados para el Bloque Facultad de Educación -VIPRI; Aceleración (\ddot{x}), Velocidad (\dot{x}), Desplazamiento (x) y Frecuencia Natural (f)

B.5. BLOQUE DE IDIOMAS Y LINGÜÍSTICA VIPRI

B.5a. Resultados Método Nakamura

SITIO **BLOQUE IDIOMAS - V.I.P.R.I** TAMAÑO DE LA VENTANA 10 sg
 N 01°12'48.66" FECHA DEL REGISTRO 11 Y 12 DE NOVIEMBRE DE 2011
 COORDENADAS W 77°17'27.37" 2584 msnm LUGAR **NIVEL DE PLACA DE PISO**

No. DE MUESTRAS	HORA DEL REGISTRO	No. DE MUESTRAS	DURACIÓN (sg)	No. VENT SELEC	Fo (Hz)	AMPLITUD H/V	RANGO DE FRECUENCIAS	T (sg)	OBSERVACIONES
1	10:45:00 p.m.	65536	327.68	4	0.59	7.07	0.59-0.80	1.69	
	10:51:00 p.m.	65536	327.68	4	0.59	2.82		1.69	
	10:57:00 p.m.	65536	327.68	6	0.80	4.53		1.25	
	11:03:00 p.m.	32768	163.84	4	0.59	4.53		1.69	
2	11:05:00 p.m.	65536	327.68	4	1.16	3.11	0.58-1.116	0.86	
	11:11:00 p.m.	65536	327.68	6	0.89	3.18		1.12	
	11:17:00 p.m.	65536	327.68	6	0.58	2.54		1.71	
	11:23:00 p.m.	32768	163.84	4	0.79	1.93		1.27	
3	11:25:00 p.m.	65536	327.68	4	0.70	6.90	0.59-1.09	1.44	
	11:31:00 p.m.	65536	327.68	28	0.59	1.57		1.69	
	11:37:00 p.m.	65536	327.68	3	1.09	2.54		0.92	
	11:43:00 p.m.	32768	163.84	2	0.59	4.43		1.69	
4	11:55:00 p.m.	65536	327.68	6	0.59	2.90	0.59	1.69	
	12:01:00 a.m.	65536	327.68	7	0.59	4.72		1.69	
	12:07:00 a.m.	65536	327.68	7	0.59	4.27		1.69	
	12:13:00 a.m.	32768	163.84	-	8.82	-		0.11	CON INTERFERENCIA
5	12:15:00 a.m.	65536	327.68	6	0.59	4.64	0.59	1.69	
	12:21:00 a.m.	65536	327.68	6	0.59	4.57		1.69	
	12:47:00 a.m.	65536	327.68	7	0.59	3.17		1.69	
	12:53:00 a.m.	32768	163.84	4	0.59	5.91		1.69	
6	12:55:00 a.m.	65536	327.68	6	0.59	4.74	0.59-1.23	1.69	
	01:01:00 a.m.	65536	327.68	9	0.70	2.68		1.44	
	01:07:00 a.m.	65536	327.68	5	1.23	2.95		0.81	
	01:13:00 a.m.	32768	163.84	3	0.59	4.39		1.69	

Tabla B.5.1. Resultados de H/V obtenidos para el Bloque de Idiomas y Lingüística –VIPRI.

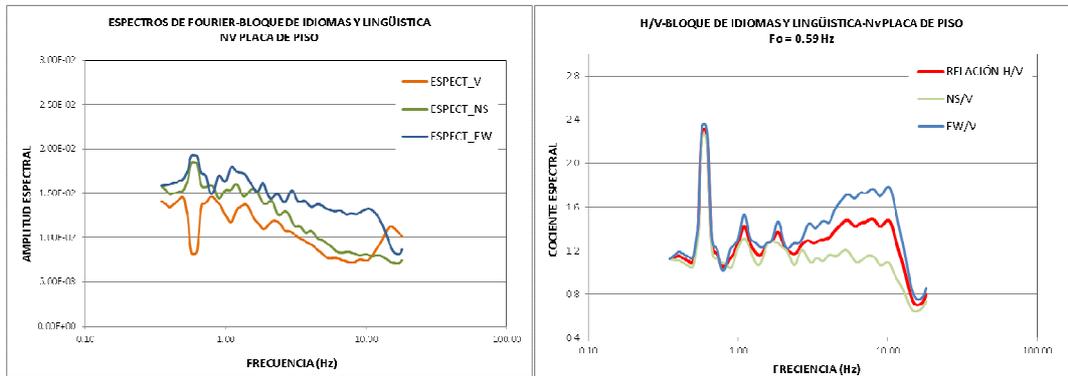


Figura B.5.1. Relación espectral y espectros de Fourier del Bloque de Idiomas y Lingüística a Nv de Placa de piso.

B.5b. Resultados Frecuencia Natural

	EW				NS				VERT			
	\ddot{x} mg	\dot{x} mm/s	x mm	f Hz	\ddot{x} mg	\dot{x} mm/s	x mm	f Hz	\ddot{x} mg	\dot{x} mm/s	x mm	f Hz
Nv 5.40	0.11 -0.08	0.20 -0.13	0.21 -0.12	0.67 - 1.33	0.13 -0.11	0.26 -0.16	0.22 -0.16	1.01 - 1.69	0.10 -0.08	0.22 -0.17	0.24 -0.17	0.12 - 0.77
Nv 2.60	0.10 -0.09	0.19 -0.14	0.18 -0.13	0.68 - 1.31	0.13 -0.10	0.23 -0.17	0.24 -0.14	0.78 - 1.53	0.09 -0.08	0.20 -0.16	0.21 -0.15	0.14 - 0.72

Tabla B.5.2. Resultados para el Bloque Idiomas y Lingüística -VIPRI, Aceleración (\ddot{x}), Velocidad (\dot{x}), Desplazamiento (x) y Frecuencia Natural (f)

B.6. LABORATORIOS DE INGENIERÍA - TOROBAJO

B.6a. Resultados Método Nakamura

SITIO **LABORATORIOS DE INGENIERIA - TOROBAJO**
 N 01°13'58.92"
 COORDENADAS W 77°17'38.58"
 2495 msnm
 8 Y 9 DE NOVIEMBRE DE 2011

No. DE MUESTRAS	HORA DEL REGISTRO	No. DE MUESTRAS	DURACIÓ N (sg)	No. VENT SELEC	Fo (Hz)	AMPLITUD H/V	RANGO DE FRECUENCIAS	T (sg)	OBSERVACIONES
1	11:05:00 p.m.	65536	327.68	9	4.29	1.76	2.89 - 4.58	0.23	
	11:11:00 p.m.	65536	327.68	8	4.58	1.89		0.22	
	11:17:00 p.m.	65536	327.68	5	4.04	1.93		0.25	
	11:23:00 p.m.	32768	163.84	6	2.89	2.17		0.35	
2	11:25:00 p.m.	65536	327.68	8	4.24	1.94	3.92 - 4.30	0.24	
	11:31:00 p.m.	65536	327.68	8	4.30	1.70		0.23	
	11:37:00 p.m.	65536	327.68	-	0.90	-		1.11	CON INTERFERENCIA
	11:43:00 p.m.	32768	163.84	3	3.92	1.91		0.25	
3	11:45:00 p.m.	65536	327.68	8	3.48	1.81	3.48 - 4.11	0.29	
	11:51:00 p.m.	65536	327.68	6	4.11	1.93		0.24	
	11:57:00 p.m.	65536	327.68	7	3.80	1.72		0.26	
	12:03:00 a.m.	32768	163.84	4	4.06	1.68		0.25	
4	12:20:00 a.m.	65536	327.68	8	4.46	1.83	3.86 - 4.46	0.22	
	12:26:00 a.m.	65536	327.68	5	4.06	1.85		0.25	
	12:32:00 a.m.	65536	327.68	7	3.91	1.86		0.26	
	12:38:00 a.m.	32768	163.84	8	3.82	1.92		0.26	
5	12:40:00 a.m.	65536	327.68	9	3.78	1.88	2.68 - 4.08	0.26	
	12:46:00 a.m.	65536	327.68	3	3.88	1.92		0.26	
	12:52:00 a.m.	65536	327.68	8	2.68	2.04		0.37	
	12:58:00 a.m.	32768	163.84	5	4.08	1.55		0.25	
6	01:00:00 a.m.	65536	327.68	5	4.15	2.02	3.73 - 4.18	0.24	
	01:06:00 a.m.	65536	327.68	7	4.18	1.95		0.24	
	01:12:00 a.m.	65536	327.68	6	3.73	1.80		0.27	
	01:18:00 a.m.	32768	163.84	9	3.91	1.79		0.26	

Tabla B.6.1. Resultados de H/V obtenidos para el Bloque de los Laboratorios de Ingeniería

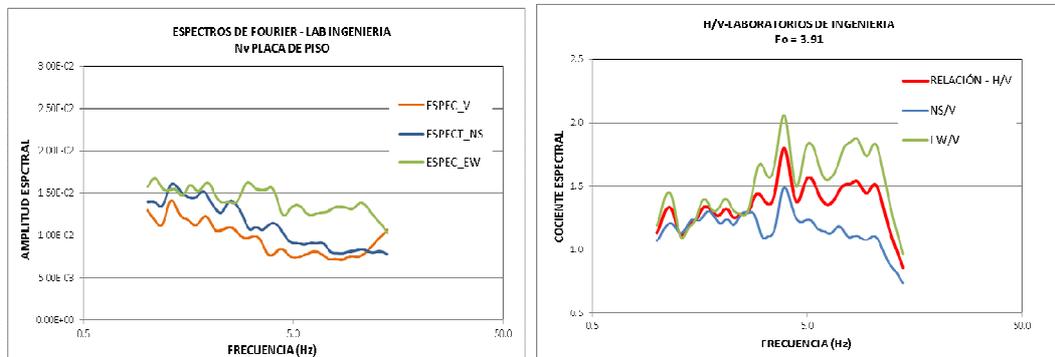


Figura B.6.1. Relación espectral y espectros de Fourier de los Laboratorios de Ingeniería a Nv de Placa de piso

B.6c Resultados Frecuencia Natural de la estructura

	EW				NS				VERT			
	\ddot{x} mg	\dot{x} mm/s	x mm	f Hz	\ddot{x} mg	\dot{x} mm/s	x mm	f Hz	\ddot{x} mg	\dot{x} mm/s	x mm	f Hz
Nv 2.95	0.096	0.214	0.2	0.25 - 1.06	0.129	0.223	0.204	0.61 - 1.40	0.094	0.216	0.235	0.14 - 0.60
	-0.08	-0.14	-0.12		-0.11	-0.18	-0.15		-0.08	-0.17	-0.14	

Tabla B.6.2. Resultados para el Bloque Laboratorios de ingeniería, Aceleración (\ddot{x}), Velocidad (\dot{x}), Desplazamiento (x) y Frecuencia Natural (f)

ANEXO C. PLANOS ESTRUCTURALES Y ARQUITECTÓNICOS

Los planos se los entregara adjunto al documento