



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



**Evaluación Sísmica de la Vulnerabilidad Estructural de la Edificación Patrimonial
1 en la Academia de Guerra del Ejército - Fase de ensayos de campo**

Galarza Peñafiel, Krizia Nicole y Pillajo Pérez, Johanna Gabriela

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de Integración Curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Ing. Haro Báez Ana Gabriela PhD

14 de marzo del 2023

3/3/23, 16:04

CONTROL 4

Originality report

COURSE NAME
REVISION TESISSTUDENT NAME
KRIZIA NICOLE GALARZA PEÑAFIELFILE NAME
KRIZIA NICOLE GALARZA PEÑAFIEL - TESIS.Google DocsREPORT CREATED
Mar 3, 2023ANA GABRIELA BARRO
RAEZ

Summary

| | | |
|-----------------------|----|----|
| Flagged passages | 39 | 3% |
| Cited/quoted passages | 18 | 1% |

Web matches

| | | |
|--------------------------|----|------|
| scielo.org | 10 | 0.7% |
| espe.edu.ec | 8 | 0.6% |
| funvisis.gob.ve | 2 | 0.6% |
| scribd.com | 6 | 0.4% |
| ecp.ec | 4 | 0.3% |
| do-city.com | 1 | 0.3% |
| studoou.com | 3 | 0.2% |
| do-er.com.ar | 3 | 0.2% |
| ufmachala.edu.ec | 1 | 0.1% |
| slideshare.net | 2 | 0.1% |
| lasalle.edu.co | 1 | 0.1% |
| bksv.com | 2 | 0.1% |
| usac.edu.gt | 1 | 0.1% |
| uc.edu.ve | 1 | 0.1% |
| puro.edu.ec | 1 | 0.1% |
| eaft.edu.co | 1 | 0.1% |
| archive.org | 1 | 0.1% |
| academia.edu | 1 | 0.1% |
| etapa.net.ec | 1 | 0.1% |
| books.google.com | 1 | 0.1% |
| us.es | 1 | 0.1% |
| uv.mx | 1 | 0.1% |
| ucv.ve | 1 | 0% |
| arquitectogustavo.com.ar | 1 | 0% |
| scielo.sa.cr | 1 | 0% |
| facsioandes.edu.ec | 1 | 0% |

1 of 57 passages

Student passage FLAGGED

Zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z.

Top web match

Ecuador, **zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z.** Fuente: Código Ecuatoriano de la Construcción - NEC (2014). PERFIL DE SUELO.

APÉNDICE

6 <https://www.etapa.net.ec/Portals/0/Documentos/Licitacion/20publica/20planta/20quangarcucho/ANEXO%204/FASE%202/APENDICE%206/Ap/C3/A9n.docx>
ver=2021-08-04-171053-287

2 of 57 passages

Student passage FLAGGED

Se transformó el paisaje por las grietas, hundimientos y cambió el curso de los ríos

Top web match

Se modificó el paisaje por las grietas, hundimientos y cambió el curso de los ríos. Muertos contabilizados: 12.833, - 16 -



Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **“Evaluación Sísmica de la Vulnerabilidad Estructural de la Edificación Patrimonial 1 en la Academia de Guerra del Ejército - Fase de ensayos de campo”** fue realizado por las señoritas **Galarza Peñafiel, Krizia Nicole y Pillajo Pérez, Johanna Gabriela**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 14 de marzo de 2023

Firma:



Ing. Ana Gabriela Haro Báez, PhD.

C. C. 1713500302



Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción
Carrera de Ingeniería Civil

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Galarza Peñafiel, Krizia Nicole y Pillajo Pérez, Johanna Gabriela**, con cédulas de ciudadanía n°1726955436, n°1727499350, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **"Evaluación Sísmica de la Vulnerabilidad Estructural de la Edificación Patrimonial 1 en la Academia de Guerra del Ejército - Fase de ensayos de campo"** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 13 de marzo del 2023

Galarza Peñafiel, Krizia Nicole

C.C.: 1726955436

Pillajo Pérez, Johanna Gabriela

C.C.: 1727499350



Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción
Carrera de Ingeniería Civil

Autorización de Publicación

Nosotros, **Galarza Peñafiel, Krizia Nicole y Pillajo Pérez, Johanna Gabriela**, con cédulas de ciudadanía n°1726955436, n°1727499350, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **“Evaluación Sísmica de la Vulnerabilidad Estructural de la Edificación Patrimonial 1 en la Academia de Guerra del Ejército - Fase de ensayos de campo”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 13 de marzo del 2023

Galarza Peñafiel, Krizia Nicole

C.C.: 1726955436

Pillajo Pérez, Johanna Gabriela

C.C.: 1727499350

Dedicatoria

Este trabajo dedico a mis padres que se han esforzado demasiado por ayudarme a cumplir mis objetivos; a mi madre que ha estado conmigo en cada momento de mi vida, siempre brindándome un consejo y su apoyo incondicional, quien me ha acompañado en cada desvelada que ha hecho posible la culminación de esta etapa y a mi padre que, aunque lejos, nunca dejó de sacar lo mejor de mí y a su alcance fue mi soporte en todo lo que requería.

A mi hija que es la mejor historia que Dios pudo escribir en mi vida, quien sigue mis pasos y por quien nunca pensé en rendirme. Esa personita que con tan solo un abrazo y un te amo mamá, me daba fuerzas para continuar a pesar de las circunstancias.

Krizia Nicole Galarza Peñafiel

A Dios por bendecirme y guiarme en todo este camino, ser mi fortaleza y apoyo para cumplir con uno de mis sueños más anhelados.

A mis padres Diego y Mayra que con un gran esfuerzo y sacrificio han llenado mi vida de oportunidades, enseñanzas y sobre todo amor para alcanzar mis sueños, me han formado para nunca rendirme ni dejar de lado lo que en verdad importa aun cuando la vida siempre ha sido muy difícil. Gracias por inculcar en mí valentía, carácter, dedicación y perseverancia, pero por encima de todo gracias por creer en mí desde el primer día, este logro también es suyo.

A mis hermanos Dana y Juan que han sido testigos de todas las noches sin dormir, mis logros y dificultades. Su cariño y apoyo incondicional han sido el principal motor de mi vida para continuar firme durante todo este proceso, espero les sirva de ejemplo de que todo es posible.

Johanna Gabriela Pillajo Pérez

Agradecimiento

Agradezco principalmente a Dios, porque sin el nada es posible.

A mis padres que me han impulsado a esforzarme cada día, que han confiado en mí desde siempre, quienes han sabido guiarme y enseñarme con su ejemplo a no rendirme, soñar y alcanzar mis metas.

A mi familia que ha estado presente en el progreso de mi vida, alentándome a cumplir cada objetivo propuesto.

A mi hija y mi esposo que son mi hogar, quienes han estado animándome siempre con sus locuras, por entender tantas veces mi falta de tiempo y así apoyarme para poder terminar mi carrera.

A mis amigos que me ha dado mi querida Universidad de las Fuerzas Armadas Espe, Denisse, Bryan, Panita, Jessica, Madelaine, Charly y Sebastián, quienes han estado para mí en todo momento y me han acompañado a culminar esta etapa.

Finalmente, agradezco a mi tutora de tesis, Dra. Ana Haro, quien supo guiar este proyecto de titulación, dándonos de su tiempo y conocimiento en el desarrollo del mismo, para poder concluir este objetivo con éxito.

Krizia Nicole Galarza Peñafiel

A Dios por la vida y las bendiciones que me han permitido haber llegado a este momento.

A mis padres Diego y Mayra, quienes con sus consejos y cariño me han impulsado a dar soluciones ante cualquier adversidad sin abandonar y cumplir mis sueños con firmeza. Esta tesis y todo lo que he logrado será gracias a la fortaleza y virtudes que han sembrado en mí.

A mis hermanos Dana y Juan que desde que nacieron han llenado toda mi vida de alegrías, gracias por compartir tantos momentos llenos de abrazos, risas, enojos, llantos, pero principalmente un amor profundo que me dio esperanzas y fe en mí, por acompañarme en este camino tan duro, su paciencia y comprensión me ha hecho reafirmar que son la luz de mi vida haciendo que cada día sea increíble sin importar lo que pase, por ser mis pequeños cómplices y confidentes. Me sobran las palabras y no me alcanzaría la vida para expresar el inmenso amor que les tengo.

A los amigos que me ha dejado mi preciada Universidad de las Fuerzas Armadas–Espe, Adrián, Sani, Gaby, Vane, Ángel, Carlita, Tefa y Kevin por todo lo compartido dentro y fuera de clases, cada uno de ustedes han sido parte fundamental para ayudarme a no decaer cuando todo parecía imposible y muy difícil, cuantas noches y madrugadas de estudio hemos juntado para poder llegar a este momento, sin embargo, nunca faltaron las risas y la diversión. Quiero agradecerles por su apoyo tanto académico como personal, siempre los llevaré en mi corazón.

A mi tutora de tesis, Ing. Ana Haro PhD, que más allá de ser una guía, con su paciencia y sabiduría nos orientó por el mejor camino para llevar a cabo este proyecto. Gracias por ser una de mis más grandes inspiraciones y brindarme su confianza en diversas ocasiones.

Johanna Gabriela Pillaño Pérez

Índice de contenido

| | |
|----------------------------------|----|
| Dedicatoria..... | 6 |
| Agradecimiento..... | 8 |
| Resumen..... | 24 |
| Abstract..... | 25 |
| Capítulo I..... | 26 |
| Generalidades..... | 26 |
| Introducción..... | 26 |
| Antecedentes..... | 27 |
| Planteamiento del problema..... | 27 |
| Justificación e Importancia..... | 28 |
| Objetivos..... | 29 |
| Objetivo General..... | 29 |
| Objetivos Específicos..... | 29 |
| Descripción de contenido..... | 29 |
| Capítulo 1..... | 29 |
| Capítulo 2..... | 30 |
| Capítulo 3..... | 30 |
| Capítulo 4..... | 30 |
| Capítulo II..... | 31 |
| Marco Teórico..... | 31 |

| | |
|--|----|
| Riesgo sísmico..... | 31 |
| Riesgo sísmico en Ecuador | 31 |
| Breve historia sísmica de Ecuador..... | 32 |
| Sistema de Fallas en Quito | 34 |
| Sistema de fallas en el Valle de los Chillos | 35 |
| Evolución de normativas para el diseño sismorresistente de estructuras | 36 |
| Código Nacional de Construcciones de 1951..... | 36 |
| Código Ecuatoriano de la Construcción CEC-1977..... | 37 |
| Código Ecuatoriano de la Construcción CEC-2001..... | 39 |
| Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-2015 | 41 |
| Construcciones patrimoniales..... | 43 |
| Caracterización de la edificación..... | 43 |
| Visión general de la teoría de la dinámica | 47 |
| Generalidades de la dinámica de la estructura | 48 |
| Excitaciones | 49 |
| Vibración ambiental | 50 |
| Ecuación del movimiento | 51 |
| Ecuaciones empleadas..... | 54 |
| Espectro de respuesta | 54 |
| Espectro de diseño | 55 |
| Criterio de combinación modal..... | 57 |

| | |
|--|----|
| Modos de vibración..... | 57 |
| Vulnerabilidad en Estructuras..... | 59 |
| Evaluación de vulnerabilidad | 59 |
| Evaluación cualitativa de la vulnerabilidad sísmica..... | 59 |
| Metodología FEMA P-154 ADAPTADO AL MIDUVI..... | 61 |
| Metodología FUNVISIS..... | 62 |
| Metodología GEM..... | 62 |
| Ensayos exploratorios-Método indirecto..... | 64 |
| Refracción sísmica..... | 64 |
| Método de Nakamura | 64 |
| Ensayos exploratorios-Método directo..... | 65 |
| Prueba de penetración estándar (Ensayo SPT)..... | 65 |
| Ensayos no destructivos..... | 66 |
| Pachómetro | 66 |
| Instrumentación sísmica..... | 66 |
| Acelerómetros..... | 66 |
| Transformada de Fourier | 68 |
| Espectros de potencia | 68 |
| Función de transferencia | 68 |
| Fase de una señal y herramienta Compass..... | 69 |
| Metodología “Peak Picking” | 69 |

| | |
|--|-----|
| Capítulo III | 70 |
| Marco Metodológico..... | 70 |
| Determinación de la zona de estudio..... | 70 |
| Metodología de inspección visual FEMA P-154 adaptado a MIDUVI..... | 70 |
| Registro de formulario Nivel 1 | 74 |
| Registro de formulario Nivel 2..... | 80 |
| Metodología de inspección visual FUNVISIS..... | 82 |
| Registro de datos..... | 85 |
| Procesamiento de datos | 97 |
| Metodología GEM | 107 |
| Ensayos exploratorios-Método indirecto | 113 |
| Refracción sísmica..... | 113 |
| Método de Nakamura | 125 |
| Ensayos exploratorios-Método directo..... | 130 |
| Prueba de penetración estándar (Ensayo SPT)..... | 130 |
| Ensayos exploratorios | 151 |
| Pachómetro | 151 |
| Instrumentación Sísmica | 153 |
| Acelerómetros..... | 153 |
| Capítulo IV | 172 |
| Resultados y Análisis..... | 172 |

| | |
|--|-----|
| Evaluación cualitativa de la vulnerabilidad sísmica..... | 172 |
| Metodología FEMA P-154 adaptado a MIDUVI..... | 172 |
| Metodología FUNVISIS..... | 173 |
| Metodología GEM..... | 176 |
| Ensayos exploratorios-Método indirecto | 179 |
| Refracción sísmica..... | 179 |
| Método de Nakamura | 182 |
| Ensayos exploratorios-Método directo..... | 184 |
| Prueba de penetración estándar (Ensayo SPT)..... | 184 |
| Ensayos no destructivos..... | 186 |
| Pachómetro | 186 |
| Instrumentación Sísmica | 188 |
| Acelerómetros..... | 188 |
| Conclusiones..... | 194 |
| Recomendaciones..... | 195 |
| Bibliografía..... | 197 |
| Apéndices..... | 205 |

Índice de Tablas

| | |
|---|-----|
| Tabla 1 <i>Terremotos más destructivos del Ecuador</i> | 33 |
| Tabla 2 <i>Niveles de sismicidad</i> | 71 |
| Tabla 3 <i>Niveles de sismicidad</i> | 72 |
| Tabla 4 <i>Tipos de sistema estructural</i> | 87 |
| Tabla 5 <i>Valores del índice de amenaza (I_A)</i> | 98 |
| Tabla 6 <i>Valores del índice de amenaza (I_A)</i> | 99 |
| Tabla 7 <i>Valores del índice de vulnerabilidad asociado a la antigüedad adaptados para Ecuador (I_1)</i> | 99 |
| Tabla 8 <i>Valores del índice de vulnerabilidad asociado al tipo estructural (I_2)</i> | 100 |
| Tabla 9 <i>Valores del índice de vulnerabilidad asociado al tipo estructural (I_3)</i> | 102 |
| Tabla 10 <i>Valores del índice de vulnerabilidad asociado a la profundidad del depósito (I_4)</i> | 103 |
| Tabla 11 <i>Valores del índice de vulnerabilidad asociado a la topografía y drenajes (I_5)</i> | 104 |
| Tabla 12 <i>Valores del índice de vulnerabilidad asociado al grado de deterioro (I_6)</i> | 105 |
| Tabla 13 <i>Cálculo del índice de vulnerabilidad (I_V)</i> | 106 |
| Tabla 14 <i>Clasificación según el uso del edificio</i> | 106 |
| Tabla 15 <i>Valores del índice de importancia (I_I)</i> | 107 |
| Tabla 16 <i>Registro de golpes en cada línea</i> | 118 |
| Tabla 17 <i>Número de golpes registrados en las perforaciones</i> | 135 |
| Tabla 18 <i>Corrección número de golpes</i> | 135 |
| Tabla 19 <i>Contenido de humedad de las muestras</i> | 138 |
| Tabla 20 <i>Numeración de tamices</i> | 138 |
| Tabla 21 <i>Pesos secos y húmedos de cada muestra</i> | 139 |
| Tabla 22 <i>Granulometría Muestra SPT1-1</i> | 142 |
| Tabla 23 <i>Porcentaje de suelo, muestra SPT1-1</i> | 143 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 24 Granulometría Muestra SPT2-1 | 143 |
| Tabla 25 Porcentaje de suelo, muestra SPT2-1..... | 144 |
| Tabla 26 Granulometría Muestra SPT2-2 | 144 |
| Tabla 27 Porcentaje de suelo, muestra SPT2-2..... | 145 |
| Tabla 28 Sistema unificado de clasificación de suelo | 147 |
| Tabla 29 Ángulo de fricción | 148 |
| Tabla 30 Cargas transmitidas de la estructura al suelo..... | 149 |
| Tabla 31 Carga admisible del suelo..... | 150 |
| Tabla 32 Asentamientos Previsibles | 151 |
| Tabla 33 Período fundamental de vibración para las dos secciones de la estructura | 171 |
| Tabla 34 Grado de vulnerabilidad..... | 172 |
| Tabla 35 Índices de Priorización y Riesgo de la edificación patrimonial 1 | 173 |
| Tabla 36 Valoración del Índice de Vulnerabilidad (I_V)..... | 173 |
| Tabla 37 Valoración del Índice de Riesgo (I_R)..... | 174 |
| Tabla 38 Valoración del Índice de Priorización (I_p)..... | 174 |
| Tabla 39 Resumen de resultados de calificaciones | 175 |
| Tabla 40 Caracterización de la estructura..... | 177 |
| Tabla 41 Tipos de Perfil de Suelo según la NEC-SE-DS- 2015 | 180 |
| Tabla 42 Correlación entre clases de suelo, T_0 y rangos de velocidades V_{s30} | 181 |
| Tabla 43 Comparación de los resultados obtenidos | 182 |
| Tabla 44 Correlación entre clases de suelo, T_0 y rangos de velocidades V_{s30} | 183 |
| Tabla 45 Resultados ensayo SPT..... | 185 |
| Tabla 46 Resultados cálculos de carga y asentamiento | 186 |
| Tabla 47 Frecuencias tomadas de la gráfica de la transformada de Fourier | 189 |
| Tabla 48 Resultados finales del ensayo de Instrumentación sísmica | 192 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 49 <i>Tabla de resumen de frecuencias obtenidas</i> | 193 |
|--|-----|

Índice de figuras

| | | |
|------------------|---|----|
| Figura 1 | <i>Zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z</i> | 32 |
| Figura 2 | <i>Formación del sistema de fallas de Quito QFS y Guayllabamba GFS</i> | 34 |
| Figura 3 | <i>Fallas geológicas en el Valles de los Chillos</i> | 35 |
| Figura 4 | <i>Portada del Código de Construcción 1951</i> | 37 |
| Figura 5 | <i>Portada de Códigos de Construcción 1976 y 1978</i> | 39 |
| Figura 6 | <i>Mapa de zonificación sísmica del CEC 2001</i> | 41 |
| Figura 7 | <i>Cumbrero de madera</i> | 45 |
| Figura 8 | <i>Madera no estructural</i> | 46 |
| Figura 9 | <i>Detalle de cimentación corrida de piedra, típica</i> | 47 |
| Figura 10 | <i>Excitación y respuesta de un sistema 1gdI</i> | 48 |
| Figura 11 | <i>Vibración libre</i> | 49 |
| Figura 12 | <i>Equilibrio dinámico en un sistema de 1 gdI</i> | 51 |
| Figura 13 | <i>Sistema discretizado con una masa concentrada, péndulo invertido</i> | 52 |
| Figura 14 | <i>Movimiento Armónico Simple (M.A.S)</i> | 53 |
| Figura 15 | <i>Esquema para la determinación de espectros de respuesta</i> | 55 |
| Figura 16 | <i>Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño</i> | 55 |
| Figura 17 | <i>Modos de vibración de pórticos planos</i> | 58 |
| Figura 18 | <i>Edificación Patrimonial 1 (Academia de Guerra del Ejército Ecuatoriano)</i> | 60 |
| Figura 19 | <i>Curva de peligro sísmico, Quito</i> | 72 |
| Figura 20 | <i>Análisis visual de la estructura</i> | 74 |
| Figura 21 | <i>Paso 1. Plantilla del formulario 1 de FEMA P-154</i> | 75 |
| Figura 22 | <i>Paso 2. Plantilla del formulario 1 de FEMA P-154</i> | 76 |
| Figura 23 | <i>Parapetos de mampostería no reforzada</i> | 76 |
| Figura 24 | <i>Chimeneas sin arriostramiento</i> | 77 |

| | |
|---|-----|
| Figura 25 Paso 3. Plantilla del formulario 1 de FEMA P-154 | 77 |
| Figura 26 Paso 4. Plantilla del formulario 1 de FEMA P-154 | 78 |
| Figura 27 Paso 5. Plantilla del formulario 1 de FEMA P-154 | 79 |
| Figura 28 Otros riesgos interiores | 80 |
| Figura 29 Paso 1. Plantilla del formulario 2 de FEMA P-154 | 80 |
| Figura 30 Paso 2. Plantilla del formulario 2 de FEMA P-154 | 81 |
| Figura 31 Paso 3. Plantilla del formulario 2 de FEMA P-154 | 82 |
| Figura 32 Plantilla de inspección de edificaciones según la metodología FUNVISIS..... | 83 |
| Figura 33 Paso 1. Plantilla del formulario de la FUNVISIS | 85 |
| Figura 34 Paso 2. Plantilla del formulario de la FUNVISIS | 86 |
| Figura 35 Vista en planta de la Edificación Patrimonial 1 | 88 |
| Figura 36 Paso 3. Plantilla del formulario de la FUNVISIS | 89 |
| Figura 37 Fisuras en columnas | 89 |
| Figura 38 Vigas de madera que forman el techo de la estructura y conectan la sección de 1 piso con la sección de 2 pisos..... | 90 |
| Figura 39 Múltiples fisuras en el exterior de la instalación que dan paso a conocer de que material se compone..... | 90 |
| Figura 40 Vista de fachadas de la edificación patrimonial 1 | 91 |
| Figura 41 Paso 4. Plantilla del formulario de la FUNVISIS | 93 |
| Figura 42 Croquis de ubicación de la edificación..... | 94 |
| Figura 43 Vista en planta en AutoCad | 95 |
| Figura 44 Fachadas en AutoCad..... | 96 |
| Figura 45 Construcciones considerando vulnerabilidad asociada a la topografía (I5)..... | 104 |
| Figura 46 Paso 1. Plataforma OPENQUAKE | 108 |
| Figura 47 Paso 2. Plataforma OPENQUAKE | 109 |

| | |
|--|-----|
| Figura 48 <i>Posicionamiento de la estructura en la zona</i> | 110 |
| Figura 49 <i>Diferencia de nivel entre piso 1 y 2</i> | 110 |
| Figura 50 <i>Paso 3. Plataforma OPENQUAKE</i> | 111 |
| Figura 51 <i>Material del techo de la estructura</i> | 112 |
| Figura 52 <i>Paso 4. Plataforma OPENQUAKE</i> | 112 |
| Figura 53 <i>Herramientas usadas en el ensayo de refracción sísmica</i> | 114 |
| Figura 54 <i>Alineación de geófonos para realizar ensayo</i> | 115 |
| Figura 55 <i>Equipo conectado para realizar el ensayo</i> | 116 |
| Figura 56 <i>Refracción sísmica: Método activo</i> | 117 |
| Figura 57 <i>Refracción sísmica: Método pasivo</i> | 117 |
| Figura 58 <i>Geometría de la línea de refracción</i> | 119 |
| Figura 59 <i>Curva de Frecuencia (Hz) vs Velocidad de fase (m/s)</i> | 119 |
| Figura 60 <i>Diagrama de Velocidad de ondas de corte (m/s) vs Profundidad (m)</i> | 120 |
| Figura 61 <i>Estratigrafía del área de estudio</i> | 121 |
| Figura 62 <i>Curva de dispersión</i> | 122 |
| Figura 63 <i>Curva de Frecuencia (Hz) vs Velocidad de fase (m/s)</i> | 122 |
| Figura 64 <i>Diagrama de Velocidad de ondas de corte (m/s) vs Profundidad (m)</i> | 123 |
| Figura 65 <i>Curva de Frecuencia (Hz) vs Velocidad de fase (m/s)</i> | 124 |
| Figura 66 <i>Diagrama de Velocidad de ondas de corte (m/s) vs Profundidad (m)</i> | 124 |
| Figura 67 <i>Velocímetro triaxial amplificado SARA</i> | 125 |
| Figura 68 <i>Calibración del equipo</i> | 126 |
| Figura 69 <i>Registro de Señales Software SEISMOWIN</i> | 127 |
| Figura 70 <i>Curva HVSR Punto de mayor energía</i> | 128 |
| Figura 71 <i>Promedio del espectro de señal</i> | 128 |
| Figura 72 <i>Curva de frecuencia</i> | 129 |

| | |
|---|-----|
| Figura 73 <i>Curva de frecuencia 1 ensayo 1</i> | 130 |
| Figura 74 <i>Curva de frecuencia 2 ensayo 1</i> | 130 |
| Figura 75 <i>Sacamuestra partido</i> | 131 |
| Figura 76 <i>Equipo de perforación</i> | 132 |
| Figura 77 <i>Puntos de perforación, ensayo de penetración estandar</i> | 132 |
| Figura 78 <i>Colocación de la masa e instalación del cabezote</i> | 133 |
| Figura 79 <i>Muestra primer y segundo sondeo respectivamente</i> | 134 |
| Figura 80 <i>Peso muestras húmedas</i> | 136 |
| Figura 81 <i>Horno, secado de muestras</i> | 136 |
| Figura 82 <i>Peso muestras secas</i> | 137 |
| Figura 83 <i>Peso muestras secas</i> | 139 |
| Figura 84 <i>Muestras secadas al horno</i> | 140 |
| Figura 85 <i>Tamices</i> | 140 |
| Figura 86 <i>Fracciones de muestra SPT1-1 en cada tamiz</i> | 141 |
| Figura 87 <i>Curva Granulométrica muestra SPT1-1</i> | 142 |
| Figura 88 <i>Curva Granulométrica muestra SPT2-1</i> | 143 |
| Figura 89 <i>Curva Granulométrica muestra SPT2-2</i> | 144 |
| Figura 90 <i>Límites de Atterberg</i> | 145 |
| Figura 91 <i>Ubicación de pilares</i> | 151 |
| Figura 92 <i>Pachómetro marca BOSCH</i> | 152 |
| Figura 93 <i>Flexómetro y lápiz</i> | 152 |
| Figura 94 <i>Ensayo realizado en los pilares de la fachada indicada</i> | 153 |
| Figura 95 <i>Dispositivo de adquisición de datos (DAQ) y Módulo de 4 canales</i> | 154 |
| Figura 96 <i>Acelerómetro piezométrico</i> | 155 |
| Figura 97 <i>Cable coaxial de conexión BNC</i> | 156 |

| | |
|--|-----|
| Figura 98 <i>Extensión de cable</i> | 156 |
| Figura 99 <i>Adaptador BNC</i> | 157 |
| Figura 100 <i>Cubos metálicos</i> | 157 |
| Figura 101 <i>Computadora portátil</i> | 158 |
| Figura 102 <i>Ubicación de sensores en el ensayo 1 (sección 1 - 1 piso)</i> | 160 |
| Figura 103 <i>Ubicación de sensores en el ensayo 2 (sección 2 - 2 pisos)</i> | 160 |
| Figura 104 <i>Colocación de cubo de metal con sensores.</i> | 161 |
| Figura 105 <i>Sensores conectados al cable BNC</i> | 162 |
| Figura 106 <i>DAQ conectado en su totalidad</i> | 162 |
| Figura 107 <i>Entorno de configuración de la adquisición de datos de Signal Express versión 2015</i> | 163 |
| Figura 108 <i>Entorno de cronometrado de la adquisición de datos de Signal Express versión 2015</i> | 164 |
| Figura 109 <i>Entorno de configuración para guardas los datos adquiridos de Signal Express versión 2015</i> | 164 |
| Figura 110 <i>Herramientas de identificación en sentido X</i> | 166 |
| Figura 111 <i>Herramientas de identificación en sentido Y</i> | 167 |
| Figura 112 <i>Herramientas de identificación en sentido X</i> | 168 |
| Figura 113 <i>Herramientas de identificación en sentido Y</i> | 169 |
| Figura 114 <i>Detalle de sección 1 de fachada lateral izquierda</i> | 170 |
| Figura 115 <i>Detalle de sección 2 de fachada lateral derecha</i> | 171 |
| Figura 116 <i>Velocidad de ondas de corte a los 30 metros y tipo de suelo</i> | 181 |
| Figura 117 <i>Mapa de microzonificación sísmica de los suelos del Distrito Metropolitano de Quito</i> | 184 |
| Figura 118 <i>Ensayo del Pachómetro en pilares</i> | 186 |

| | |
|--|-----|
| Figura 119 <i>Resultados del primer ensayo</i> | 187 |
| Figura 120 <i>Gráfica en el dominio del tiempo y de la frecuencia</i> | 188 |
| Figura 121 <i>Gráfica en el dominio del tiempo y de la frecuencia</i> | 189 |
| Figura 122 <i>Herramienta compas con ángulos en fase</i> | 190 |
| Figura 123 <i>Herramienta compas con ángulos en fase</i> | 191 |

Resumen

Se presenta una evaluación sísmica de la vulnerabilidad estructural de la edificación Patrimonial 1 en la Academia de Guerra del Ejército, específicamente la fase de ensayos de campo, una construcción con más de 60 años de antigüedad, la cual se construyó sobre cimentaciones corridas de piedra, que dan estabilidad a la estructura, sin embargo carecen de homogeneidad en sus propiedades debido a que es una estructura mixta, es decir, existen diferentes materiales utilizados para la construcción como es el adobe y el ladrillo.

Si bien es cierto, que es un sistema no dúctil, ha resistido eventos sísmicos como el de 1987, manteniéndose en pie, pero con algunas fallas en su estructura. Por tal motivo se realiza un análisis detallado cualitativo utilizando la metodología FEMA P-154, FUNVISIS y GEM, validando los registros observados con ensayos en campo que caractericen de mejor manera la estructura. Una vez alcanzado los objetivos, se presentan posibles recomendaciones, que, basándose en un modelo computacional, puedan mejorar la estabilidad de la estructura y la resistencia a cargas laterales, tomando en cuenta las limitantes existentes en las edificaciones patrimoniales, como es la conservación de su historia cultural. Las mismas que se deberán complementar con posteriores modelamientos computacionales de la estructura, basados en la normativa vigente NEC-2015.

Palabras Clave: edificaciones patrimoniales, vulnerabilidad estructural, sistema no dúctil, reforzamiento.

Abstract

A seismic evaluation of the structural vulnerability of Patrimonial Building 1 at the Army War Academy is presented, specifically the field test phase, a construction with more than 60 years old, which was built on stone foundations, which give stability to the structure, but lack homogeneity in its properties because it is a mixed structure, there are different materials used for construction such as adobe and brick.

Although it is true that it is a non-ductile system, it has withstood seismic events such as the one in 1987, remaining standing, but with some flaws in its structure. For this reason, a detailed qualitative analysis is carried out using FEMA P-154, FUNVISIS and GEM methodologies, validating the observed records with field tests to better characterize the structure.

Once the objectives have been achieved, possible recommendations are presented, based on a computational model, to improve the stability of the structure and the resistance to lateral loads, taking into account the existing limitations of heritage buildings, such as the preservation of their cultural history. These recommendations should be complemented with subsequent computational modeling of the structure, based on the current NEC-2015 standards.

Keywords: heritage buildings, structural vulnerability, non-ductile system, reinforcement.

Capítulo I

Generalidades

Introducción

Ecuador se localiza dentro del Anillo de Fuego del Pacífico, por lo que se caracteriza por ser un país con regiones altamente sísmicas y volcánicas más significantes y activas del mundo. Este lecho reposa sobre las placas tectónicas en constante fricción, por consecuencia, es donde se presenta la mayor cantidad de terremotos, cerca del 90%, y un 75% con volcanes activos.

La amenaza sísmica y la vulnerabilidad son factores importantes al analizar las pérdidas o riesgos de colapso en un movimiento sísmico.

De modo que el riesgo sísmico es inminente, obliga a la población a tener un control de vulnerabilidad de las estructuras existentes, para evitar un colapso de las mismas durante un evento sísmico.

Las edificaciones en el Ecuador en su gran mayoría, son patrimoniales, las cuales requieren un análisis detallado para poder determinar su grado de vulnerabilidad y exposición frente un movimiento telúrico. Estas estructuras al ser antiguas, son elaboradas con materiales en base de tierra amasada, generalmente adobe.

Ante los movimientos sísmicos, las edificaciones de este tipo sufren severos daños estructurales o incluso de derrumban totalmente, provocando pérdidas considerables de vidas humanas y materiales. En caso de eventos telúricos, el desempeño de este tipo de construcciones se ve afectado por el peso excesivo de los muros que componen la estructura portante y su limitada capacidad de disipar energía (Blondet, García, & Brzev, 2003).

Con el pasar del tiempo se han incrementado varias metodologías de evaluación sísmica, con el objetivo de prevenir daños severos en las estructuras, pérdidas irreparables y económicas, las cuales se aplicarán en la presente investigación.

Antecedentes

En Ecuador se han evidenciado eventos sísmicos de gran magnitud sobre la escala de Richter los cuales han desencadenado daños importantes a la población y su infraestructura.

En 2016, el sismo de gran magnitud Mw de 7,8 grados, destruyó las edificaciones de casi toda la provincia de Manabí y parte de Esmeraldas, además de colapsar el viaducto en la ciudad de Guayaquil (Moncayo, Vargas, Moncayo, & Barzola, 2017).

Estos sucesos se hacen más catastróficos debido a las malas técnicas empleadas en las construcciones y la calidad de sus materiales, el desastre es causado por los edificios que colapsan durante el terremoto, no por el terremoto en sí, el terremoto expone las condiciones de vulnerabilidad que predecían las construcciones antes de la llegada del evento natural.

Planteamiento del problema

Ecuador al ser un país altamente sísmico, debería tener un control de calidad sobre las edificaciones existentes y nuevas, para prevenir una catástrofe tales como el de 1906 en Esmeraldas, que alcanzó con una magnitud de Mw 8,8, siendo uno de los “sismos más grandes de la historia”, y uno de los más recientes, el terremoto de magnitud 7.8 más reciente del 16 de abril de 2016 en Pedernales.

Una serie de eventos catastróficos que han causado tanta anomalía técnica en la industria de la construcción y que ha causado indiferencia ante el problema. (Cevallos Pilco, 2018).

El envejecimiento, el abandono, las instalaciones y los edificios históricos no gestionados estructuralmente sufren diversos fenómenos físicos y naturales, ya que al ser

estructuras con varios años de antigüedad es necesario realizar estudios que verifiquen su estabilidad.

El proponer un análisis de vulnerabilidad en este tipo de estructuras tiene el fin de prevenir un colapso y daño posterior a un movimiento telúrico, para el cual se establece el grado de exposición, como una aproximación a una serie de etapas de investigación y análisis de riesgo sísmico, a través de las metodologías cualitativas visuales como es FEMA P-154, FUNVISIS y GEM y una ratificación mediante ensayos experimentales.

Justificación e Importancia

La evaluación del grado de vulnerabilidad sísmica en estructuras existentes es un parámetro esencial a tomar en cuenta, sobre todo, al encontrarse en un área altamente sísmica como lo es Pichincha, al estar atravesado por el cinturón de fuego, ya que se puede evitar el colapso de las edificaciones, y, por ende, pérdidas humanas.

Esta valoración se puede determinar mediante métodos cualitativos y cuantitativos, como lo son las metodologías de inspección visual FEMA, FUNVISIS, GEM, las cuales se pueden verificar mediante ensayos de campo.

La evaluación del desempeño estructural de una edificación significa realizar una recopilación rigurosa de todos los antecedentes que posibilite comprender y analizar las verdaderas condiciones en que se encuentra dicha estructura, con el fin de mejorar su estabilidad, rigidez, condiciones de uso, entre otros.

Para cualquier suceso a realizar, es imprescindible una valoración detallada de toda la información posible que pueda contribuir a una especificación clara de las condiciones existentes. En este caso los ensayos directos, indirectos y no destructivos como Refracción sísmica, Nakamura, SPT, Pachómetro y Acelerómetros, son de gran ayuda y nos permiten entender de mejor manera los fenómenos estructurales.

Por todo lo expuesto, es fundamental realizar la evaluación sísmica de la vulnerabilidad estructural de la edificación Patrimonial 1 en la Academia de Guerra del Ejército, ya que, al tener varios años de construcción, los riesgos de colapso son más fuertes y al encontrarse ubicado en una zona sísmica, el peligro aumenta.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el grado de vulnerabilidad sísmica en el Edificio Patrimonial 1 ubicado en la Academia de Guerra del Ejército con el fin de desarrollar recomendaciones de acuerdo con las disposiciones normativas nacionales e internacionales para la elaboración de diferentes planes de acción encaminados a limitar los posibles daños estructurales, no estructurales y de contenido.

Objetivos Específicos

- Realizar reconocimiento de campo como inspecciones visuales rápidas aplicadas a la metodología FEMA P-154 (adaptado por MIDUVI) y la FUNVISIS, para comprobar el estado estructural del edificio en estudio.
- Analizar los resultados experimentales obtenidos de los ensayos exploratorios y no destructivos (refracción sísmica, método de Nakamura, pachómetro y SPT) con la finalidad de conocer el suelo de cimentación y su estabilidad.
- Instrumentar la edificación por vibración ambiental por medio de los acelerómetros con el objetivo de determinar la frecuencia y modos fundamentales de vibración.

Descripción de contenido

Capítulo 1

Generalidades. Se realiza una breve descripción, que permita tener una comprensión universal del contenido a tratar en la investigación, de manera que se justifique la importancia

del desarrollo de la evaluación sísmica de la vulnerabilidad estructural de la edificación Patrimonial 1 en la Academia de Guerra del Ejército, además, se presenta el planteamiento de las actividades a realizar para culminar con éxito la investigación.

Capítulo 2

Marco Teórico. En este apartado se expone todos los fundamentos teóricos y contextuales necesarios para el adecuado desarrollo de la investigación, las normativas en las cuales se apoya cada criterio de comparación y análisis, con un enfoque determinado del cual se deriva la explicación del problema planteado, amplía la descripción del problema de investigación.

Capítulo 3

Marco Metodológico. En esta sección se detalla las técnicas de investigación, el procedimiento de cada ensayo y metodología aplicada a la evaluación sísmica de la estructura, protocolos y condiciones a realizarse y su específica explicación, con el fin de recopilar los datos necesarios para un apropiado estudio y posteriormente establecer un criterio para mejorar las condiciones estructurales y no estructurales.

Capítulo 4

Resultados. Se explica cada particularidad obtenida con los ensayos y metodologías aplicadas, por consiguiente, se realiza la comparación con la normativa vigente para un procesamiento adecuado de los resultados. Obteniendo así un grado de vulnerabilidad sísmica, lo cual valida el planteamiento del problema. Finalmente se muestra las conclusiones obtenidas de la investigación, y recomendaciones basadas en la información recopilada y verificada experimentalmente. Además, se presenta una explicación para una futura continuidad en la investigación.

Capítulo II

Marco Teórico

Riesgo sísmico

Con el paso del tiempo se ha evidenciado diferentes manifestaciones propias de la dinámica de la tierra, un ejemplo evidente de esto son los sismos y las pérdidas humanas, materiales, económicas y ambientales que dejan como consecuencia. La vulnerabilidad que tienen las personas y las estructuras ante estos eventos telúricos lo convierten en una amenaza sísmica por lo que se deben tomar disposiciones preventivas tanto en el ámbito constructivo como en la seguridad humana, aun cuando no sea posible determinar la ocurrencia de un evento sísmico futuro.

Del mismo modo, es fundamental conocer la relación de las variables que están involucradas en el concepto de riesgo sísmico. Haciendo alusión a las características y tiempo de ocurrencia, se entenderá como peligro o amenaza sísmica, por otra parte, la posible respuesta y afectaciones en edificaciones se refiere a la vulnerabilidad sísmica. Lo que, en definitiva, como resultado de la interacción del peligro sísmico de la zona y vulnerabilidad del sistema constructivo será posible conocer al desempeño de las construcciones como el riesgo sísmico al que estará expuesto.

Por eso, en una zona que cuente con un gran sistema de fallas geológicas, pero no se encuentre habitada o con grandes edificaciones, mantendrá una peligrosidad sísmica muy alta, no obstante, el riesgo sísmico será sumamente bajo.

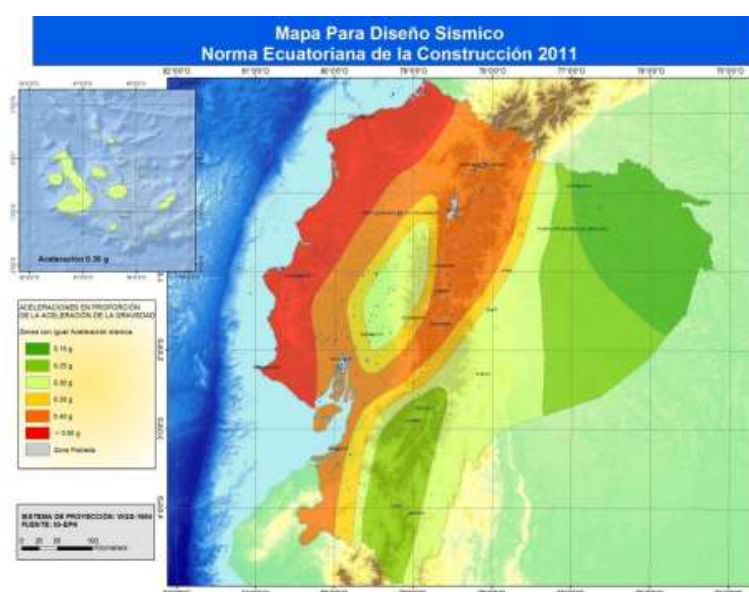
Riesgo sísmico en Ecuador

Un hecho que ha logrado reafirmar la alta peligrosidad sísmica del país, es el terremoto ocurrido el 16 de abril de 2016 en la provincia de Esmeraldas, de magnitud 7,8.

Ahora bien, la Norma Ecuatoriana de la Construcción, ha adecuado un mapa de zonificación que representa las aceleraciones del suelo, posibilitando identificar las zonas de alta peligrosidad sísmica sin desconocer la idea de que dichas aceleraciones se superen en el futuro.

Figura 1

Zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z



Nota. Tomado de *Capítulos NEC-15* (p.27) por Normativa Ecuatoriana de la Construcción, 2015, INEC.

Así mismo, este mapa a través de valores esperados de aceleración pico (PGA) en roca, distingue 6 zonas sísmicas en las que la PGA comprende rangos desde 0,15 g hasta valores superiores de 0,50 g, siendo este su valor máximo (Cárdenas, 2016).

Breve historia sísmica de Ecuador

El primer sismo registrado en el país lo presencié la ciudad de Napo en el año 1541 con una intensidad de $M_w = 8$ y hasta el año 1896 se tuvo un registro de 17 terremotos en distintos puntos del estado. En consecuencia, en el año del primer sismo se empezó a llevar un catálogo

sísmico de intensidades que desplegaba como resultado el origen de un terremoto destructivo cada 12 años en promedio (Quinatoa, 2022). Algunos de los más devastadores fueron:

Tabla 1

Terremotos más destructivos del Ecuador

| Zona de mayor afectación | Año | Magnitud | Consecuencias |
|---------------------------------|------------|--------------------|--|
| Riobamba | 1797 | 8,3 M _S | Se transformó el paisaje por las grietas, hundimientos y cambió el curso de los ríos |
| Carchi | 1868 | 7,7 M _S | Severos daños dejando en ruinas a diferentes localidades |
| Ecuador y Colombia | 1906 | 8,8 M _W | Desaparecieron islas, tsunami arrasó con todo |
| Pedernales | 1942 | 7,8 M _L | Derrumbamientos, fisuras, colapso de edificios |
| Ambato | 1949 | 6,8 M _L | Desaparecen grandes áreas de territorio de ciudades pertenecientes a Tungurahua |
| Esmeraldas | 1979 | 7,6 M _S | Zonas costeras de Colombia afectadas |
| Napo | 1987 | 6,9 M _S | Grandes pérdidas humanas y materiales |
| Bahía de Caráquez | 1998 | 7,1 M _W | Severas consecuencias, destrucción de edificios, pérdidas económicas en especial del sector turístico. |
| Manabí y Esmeraldas | 2016 | 7,8M _W | Edificos y carreteras destruidas, pérdidas humanas |

Nota. M_W Escala de magnitud de momento, M_L Escala de Richter, M_S Escala de onda superficial. Recuperado de *Breves Fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador*, por Rivadeneira, 2007, Igepn.

Sistema de Fallas en Quito

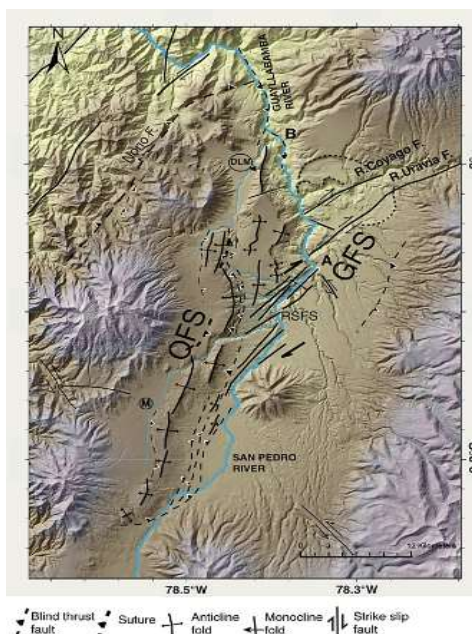
Debido a su ubicación, la ciudad de Quito se encuentra expuesta a un gran peligro sísmico que representa una amenaza para muchas de las estructuras vulnerables que se encuentran en la ciudad.

Según (Cárdenas, 2016) diversos estudios que se han realizado sobre la sismicidad de la capital del Ecuador, muestran que cada 50 años como promedio se han producido fuertes terremotos con epicentros situados en diferentes zonas de la ciudad.

Por tal motivo, es necesario conocer las características inherentes a sus suelos y el riesgo asociado a ellos. Las secciones de líneas resaltadas de color negro describen la forma del sistema de fallas de Quito y de Guayllabamba como se muestra en la figura 2.

Figura 2

Formación del sistema de fallas de Quito QFS y Guayllabamba GFS



Nota. Tomado de Active tectonics in Quito, Ecuador, assessed by geomorphological studies, GPS data and crustal seismicity, por Alvarado, 2014, AGU.

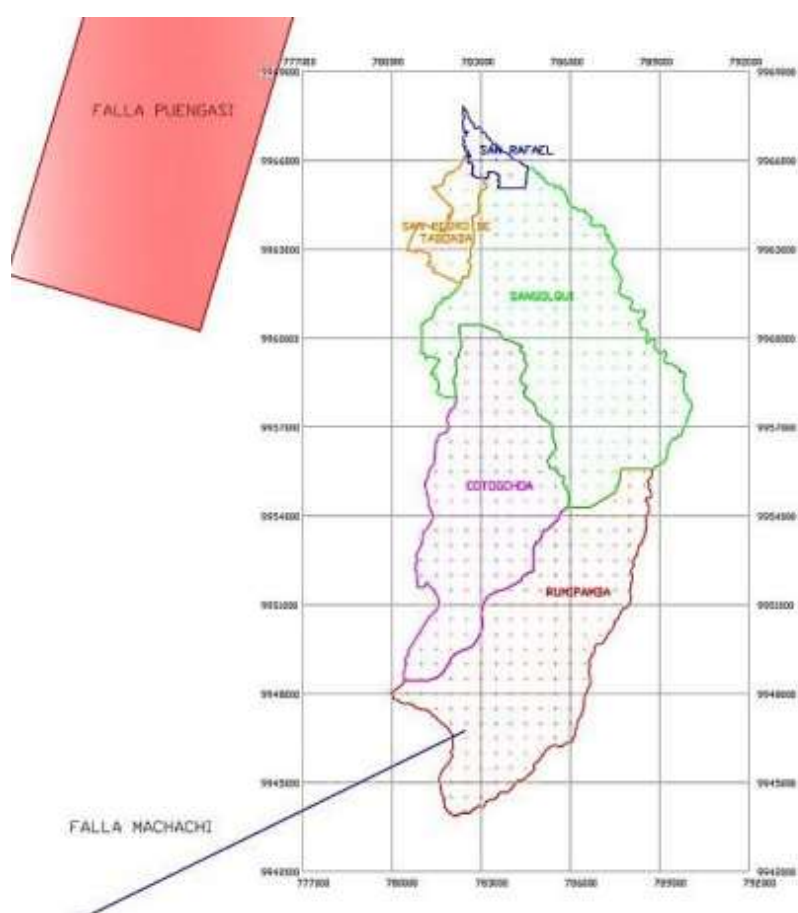
En el sistema de fallas mencionado es en donde se dan principalmente los sismos ocurridos en la ciudad, en el sur empieza en Puengasí, Ilumbisí – La Bota y Carcelén – El Inca, hacia el norte el sector de Guayllabamba (Ortega, 2017).

Sistema de fallas en el Valle de los Chillos

En los valles de Tumbaco y los Chillos se genera un movimiento del bloque formado por estos que dan cabida a la llamada falla inversa debido a que forman un ángulo agudo con el bloque de Quito.

Figura 3

Fallas geológicas en el Valles de los Chillos



Nota. Tomado de Espectros de control para el Valle de los Chillos, por Aguiar, 2017, CIENCIA.

Evolución de normativas para el diseño sismorresistente de estructuras

Con el paso del tiempo, se han ido introduciendo grandes avances de conocimiento en lo que respecta al peligro sísmico, su respuesta y vulnerabilidad en estructuras en el ámbito ingenieril. En atención a lo cual, ha sido de vital importancia la creación de normas que ayuden a mantener la estabilidad y calidad estructural por medio de sugerencias y exigencias que precisarán de revisión, actualización y renovación constante por parte de las autoridades competentes.

Dicho esto, para un país con alta amenaza sísmica como Ecuador, las normas cuentan con requerimientos de carácter obligatorio, después de un sin número de estudios y experiencias tomadas de los sismos más catastróficos del país.

El punto de inflexión fue el terremoto de 1949 en Ambato que marcó un antes y después entre la construcción negligente y la construcción moderna. Dejando ciudades destruidas, interrupción de suministros básicos y vías afectadas.

Código Nacional de Construcciones de 1951

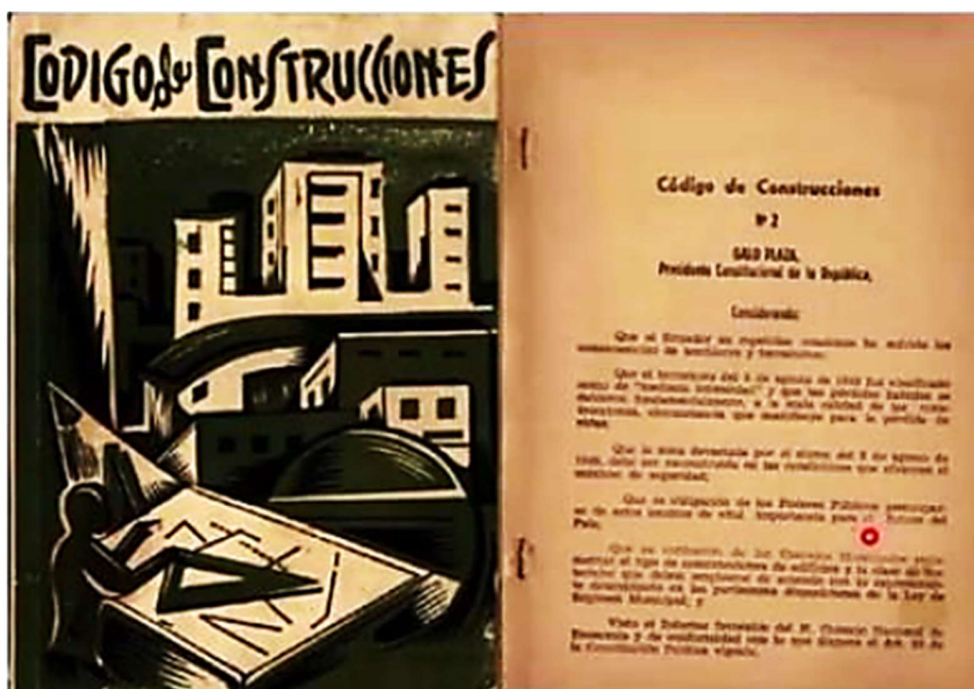
A raíz de la devastación que dejó el terremoto de 1949, se publicó el primer Código Nacional de la Construcción en donde se elaboró un Plan Regulador de Ambato y Plan Regional de Tungurahua en la presidencia de Galo Plaza Lasso con el apoyo del Arq. Sixto Durán Ballén, Ing. Leopoldo Moreno, Urbanista Wilson Pachano y el Ingeniero extranjero estadounidense Henry J. Brunner como encargados del proyecto. Para esto, los responsables tomaron como referencia normativas internacionales de Estados Unidos, Chile e Italia (Quinatoa, 2022).

En virtud de esto, nació un código sobre la base estudios de métodos y sistemas constructivos que por desgracia no se ponía en práctica por constructores ni instituciones

gubernamentales, puesto que la mentalidad de la época era indiferente a la situación de riesgo sísmico del país.

Figura 4

Portada del Código de Construcción 1951



Nota. Código promulgado en 1951 y catalogado como norma de uso obligatorio para el país en 1952, recuperado de *Evolución Histórica de las Normativas de Diseño Sismoresistente en América Latina*, por Quinatoa, 2022, Instituto Ecuatoriano de Normalización.

Código Ecuatoriano de la Construcción CEC-1977

Otro sismo que marcó un momento decisivo para la construcción en Ecuador, fue el de 1976 en Esmeraldas. Por lo que, si bien el primer código se habló de la utilización de concreto armado en la construcción de viviendas, en esta actualización se menciona que el concreto muestra gran resistencia ante fuerzas estáticas al componerse de otros materiales.

El CEC presentó 2 partes de su proyecto llamadas: “Requisitos del Diseño” y “Requisitos de la Construcción de Hormigón Armado” y disponía de 21 capítulos en total de

sugerencias de criterio ingenieril, fue publicado en 1977 y oficializado en 1979 después de revisión. En este código se hizo énfasis en la resistencia de las estructuras ante cargas verticales y horizontales, de esta manera determinando la fuerza sísmica lateral o cortante basal para la estructura en la Ecuación 1:

$$V = IKCSW \quad (1)$$

Donde

- I Importancia del edificio
- K Factor dependiente del tipo de estructura
- C Periodo fundamental de la estructura
- S Relación entre el periodo de la estructura y periodo característico del suelo
- W Carga muerta del edificio

Sin embargo, con el paso de años y a través de diferentes estudios se fue variando y actualizando la ecuación hasta llegar a lo que tenemos en la actualidad.

En el año 1976 la INEN publicó la “Guía Popular de Construcciones Sismo Resistentes” basado en las 2 partes del proyecto del CEC, en el ACI 318-71, Blue Book de 1973 y estudios realizados en Estados Unidos, Londres, Guatemala, México entre otros. La guía estaba diseñada para tratar viviendas de hasta 3 pisos sin considerar elementos preesforzados o elementos prefabricados y en 1978 se publicó la otra parte del proyecto titulado “Guía de Práctica de Mampostería Reforzada”. (Quinatoa, 2022).

Figura 5

Portada de Códigos de Construcción 1976 y 1978



Nota. Recuperado de *Evolución Histórica de las Normativas de Diseño Sismoresistente en América Latina*, por Quinatoa, 2022, Instituto Ecuatoriano de Normalización.

Código Ecuatoriano de la Construcción CEC-2001

Los sucesos clave para esta nueva actualización fueron: Napo (1987), Morona Santiago (1995) y Bahía de Caráquez (1998), terremotos que dejaron grandes pérdidas humanas, materiales y económicas. En razón de lo cual, se agregaron las formas espectrales definidas por estudios, todo esto bajo el mandato del presidente de la época Sixto Durán Ballén que en vista de la alta tasa de crecimiento demográfico creó el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI).

Se constituyó un comité técnico que redactó el capítulo denominado “Peligro Sísmico, espectros de diseño y requisitos mínimos de cálculos para diseño sismo resistente”. Una de las modificaciones más importantes fue la ecuación del cortante basal de diseño en donde se introdujeron los factores de zonificación sísmica (ver Ecuación 2):

$$V = \frac{Z * I * C}{R * \phi_P * \phi_E} * W \quad (2)$$

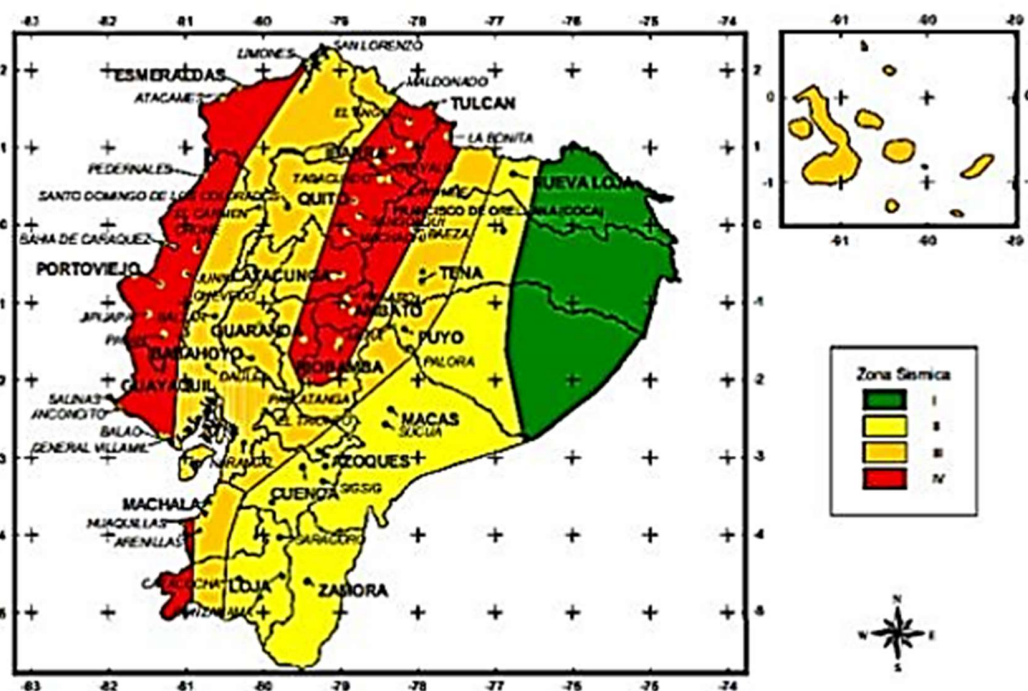
Donde

- Z Zonificación sísmica
- I Factor de importancia
- C Coeficiente sísmico
- R Factor de reducción sísmica
- ϕ_P Coeficiente de configuración en planta
- ϕ_E Coeficiente de configuración en elevación
- W Carga muerta del edificio

Esta ecuación es semejante a la propuesta por la Uniform Building Code (UBC) de 1994, asimismo, se tomó como referencia la norma colombiana NSR-98, norma técnica peruana E.030 de 1997, el código estadounidense UBC de 1994 y 1997 (Quinatoa, 2022).

Figura 6

Mapa de zonificación sísmica del CEC 2001



Nota. Recuperado de *Evolución Histórica de las Normativas de Diseño Sismoresistente en América Latina*, por Quinatoa, 2022, Instituto Ecuatoriano de Normalización.

Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-2015

Después de años de trabajo continuo, la norma predecesora a esta tuvo resultados positivos ante eventos sísmicos y el MIDUVI hace un convenio con la Cámara de Construcción de Quito, tal que, en el año 2008 la NEC con apoyo de diferentes entidades y profesionales expertos en el tema empieza a desarrollarse.

Las principales modificaciones fueron los coeficientes F_a , F_d y F_e de perfiles de suelo, en el coeficiente de reducción de resistencia R , la carga sísmica reactiva W . También se rectificó la expresión del cortante basal por (Ecuación 3):

$$V = \frac{I * S_a * T_a}{R * \phi_P * \phi_E} * W \quad (3)$$

Donde

| | |
|----------|---|
| I | Factor de importancia |
| Sa(Ta) | Espectro de respuesta elástico de aceleraciones |
| R | Factor de reducción sísmica |
| ϕ_P | Coefficiente de configuración en planta |
| ϕ_E | Coefficiente de configuración en elevación |
| W | Carga muerta del edificio |

Otro dato importante es la modificación del cálculo de la deriva inelástica expresada en la Ecuación 4 (NEC-15, 2015):

$$\Delta_M = 0,75 * R * \Delta_E \quad (4)$$

- De esta forma, la NEC-15 es la norma regulatoria de construcciones principal en el Ecuador, contando con diferentes capítulos que tratan la seguridad estructural de las edificaciones los que tratan temas como: cargas (no sísmicas), peligro sísmico
- , diseño sismo resistente dividido en cuatro partes, riesgo sísmico, evaluación, rehabilitación de estructuras, geotecnia
- y cimentaciones, estructuras de hormigón armado, estructuras de acero, mampostería estructural, estructuras

de madera, entre otros.

Los requerimientos establecidos, son de carácter imprescindible a nivel nacional, por ende, profesionales, empresas, entidades públicas y privadas tienen la obligación de acatar los parámetros impuestos por la norma (Cámara de la Construcción de Guayaquil, 2015).

Construcciones patrimoniales

En el Ecuador existe una gran cantidad de edificaciones patrimoniales, ubicadas en zonas céntricas de las principales ciudades, son arquitecturas pre modernas que mantienen a la ciudad coloquial, las mismas que en general son sistemas frágiles de composición en base a tierra amasada.

En los países andinos, las construcciones son generalmente de adobe, ya que se elabora con materia prima que se consigue fácilmente y a costos bajos, estadísticamente, en el Ecuador el 17% de las construcciones son de barro o adobe, y alrededor del 30% de la población vive en construcciones de adobe (Espinoza Larrea, 2017).

Caracterización de la edificación

Las edificaciones patrimoniales, por lo general se construían con tierra amasada, tapia, bahareque y adobe, para los cuales se han ido desarrollando varios métodos y técnicas para su construcción, que dependía de la época. En este caso de estudio se tiene que la edificación es mixta, es decir, de ladrillo y adobe.

Estas técnicas dificultan la determinación de la resistencia de los materiales mediante únicamente inspecciones, por lo que es necesario la verificación de su capacidad mediante ensayos, los cuales son difíciles de conseguir, debido a que se debe conservar la integridad de la estructural al ser patrimonial (Chacón, Suquillo, Sosa, & Celi, 2021).

Características del adobe.

Los muros en las construcciones de adobe presentan características como ser muros de carga que soportan únicamente cargas gravitacionales, carecen de homogeneidad en sus propiedades, por tanto, tiene un comportamiento elástico lineal.

También existen tabiques interiores que se utilizan comúnmente para separar diferentes áreas dentro de los edificios, ya que no pueden soportar cargas verticales. Otro tipo de muros

son las paredes aisladas, que tienen una relación largo-ancho superior a dos y se pueden identificar como muros perimetrales (Maldonado, 1991).

Este tipo de edificaciones poseen características como un buen aislante térmico, ecológico y de bajo costo, sin embargo, son vulnerables a eventos telúricos, ya que tienen poca capacidad de disipar energía debido a su excesivo peso de muros que conforma el sistema estructural.

En presencia de movimientos sísmicos se producen cargas laterales, es decir fuerzas perpendiculares al plano de los muros, las cuales generan grietas en las conexiones entre muros o en la zona central del mismo, debido a la poca resistencia a la tracción que presenta este tipo de estructuras, de manera general, los muros se separan en las esquinas perdiendo estabilidad, lo cual puede producir colapso.

Por sus características estructurales, las columnas soportan cargas de compresión que generalmente son verticales y se utilizan para soportar las vigas principales y secundarias. Su objetivo es transmitir las cargas de la superestructura hacia la cimentación (Maldonado, 1991).

Características de la madera.

La madera se presenta con varios fines en la construcción de las estructuras patrimoniales. Uno de los objetivos de su uso es como elemento estructural, con el propósito de dar estabilidad y rigidez en la edificación, puesto que la mayoría de los cumbreros están conformados de vigas en celosía de madera.

Figura 7*Cumbrero de madera*

La madera exhibe una alta resistencia a la compresión, donde las fuerzas son paralelas a sus fibras, por lo que las mismas están orientadas a lo largo de su eje longitudinal o están cerca de las microfibrillas. La capacidad está restringida debido al pandeo de sus fibras, cuando sus elementos presentan una esbeltez menor a 10 desarrollan toda la resistencia que la sección puede soportar. Para los elementos que presentan mayor esbeltez, la resistencia se basa generalmente en soportar el pandeo lateral que depende de la sección y la geometría del elemento (Proyectos Andino de Desarrollo Tecnológico en el Área de los Recursos Forestales Tropicales, 1984).

Además, presenta resistencia a la tracción y a la flexión, sin embargo, necesitan su debido mantenimiento ya que se encuentra expuesto a factores externos que pueden cambiar sus propiedades.

También se utiliza para la constitución de puertas, ventanas y dinteles, que son elementos que no van a soportar grandes cargas, para la cual se utiliza madera no estructural.

La madera también tiene como funcionalidad en el cielo raso en las edificaciones, ya que proporciona un acabado estético, en la mayoría de casos consiste en techo falso que se coloca a cierta distancia del cumbrero.

Figura 8

Madera no estructural

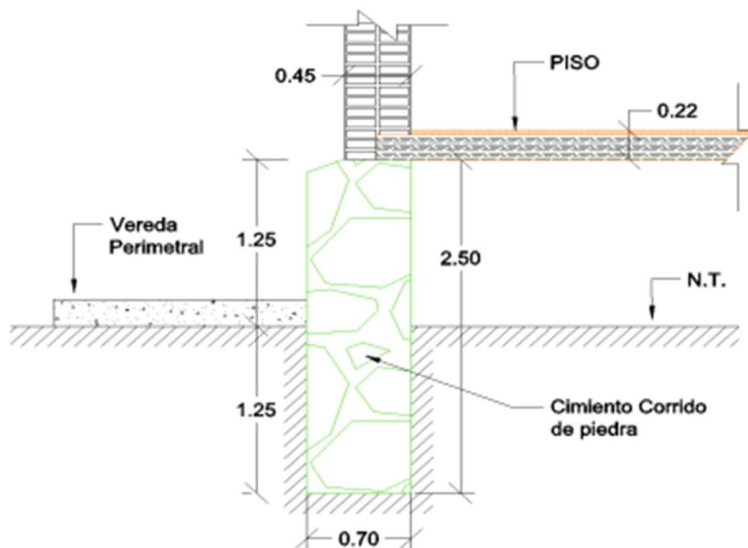


Características de las cimentaciones.

Las cimentaciones que se realizaban en la época eran de piedra, tales como el granito, piedra caliza o piedra volcánica, no se realizaban excavaciones profundas ni elementos estructurales de otro material diferente además del mortero que utilizaban para unir los elementos, el mismo que no cumple con la normativa vigente en exigencia de calidad y resistencia. El buen desempeño se basa generalmente en los anchos de las cimentaciones realizadas ya que eran de gran medida, de tal manera que proporcionaba estabilidad a la edificación.

Figura 9

Detalle de cimentación corrida de piedra, típica



Nota. Tomado de *Análisis de Vulnerabilidad Sísmica y Propuesta de Reforzamiento para el Edificio Central del Colegio Militar "Eloy Alfaro" en Quito*, por Mazón, Vargas, Moncayo & Barzola, 2017, Repositorio Espe.

Hay que tener en cuenta que las antiguas cimentaciones están sujetas a cambios importantes a lo largo del tiempo, tanto por las cargas que han tenido que soportar, como por la presencia de agentes externos, así como por las modificaciones y usos que se le realizan al edificio (Chacón, Suquillo, Sosa, & Celi, 2021).

Visión general de la teoría de la dinámica

Todo tipo de estructuras están sujetas a fuerzas que afectan su comportamiento, es decir, vibran de acuerdo sus características dinámicas, por lo cual la relación entre el movimiento producido y las fuerzas que lo causan es lo que estudia esta teoría.

Es necesario e importante dar la caracterización adecuada a estos movimientos oscilatorios, para poder realizar una modelación precisa en el comportamiento de una

estructura que se encuentra bajo condiciones de carga que son variables en el tiempo, tales como los sismos que son reversibles.

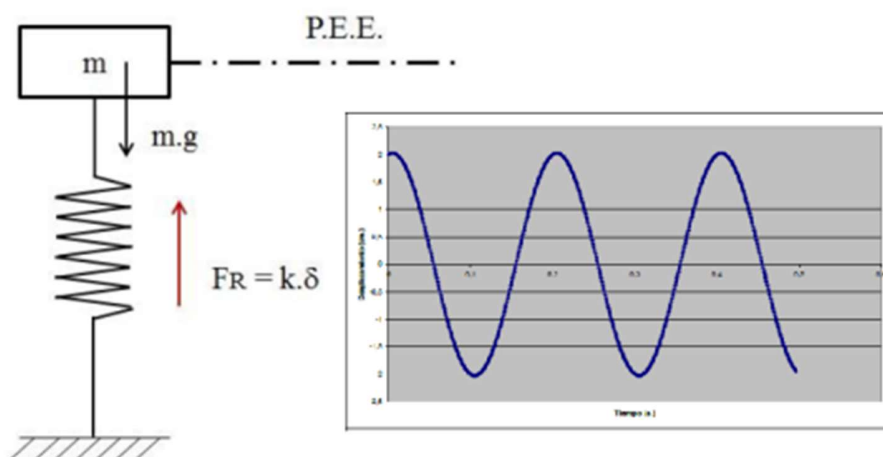
Generalidades de la dinámica de la estructura

Para entender el problema dinámico es indispensable conocer 3 conceptos básicos que componen el esquema de comportamiento en el análisis dinámico estructural, los cuales son: excitación, estructura y respuesta.

La excitación puede ser una oscilación armónica libre o puede tener una configuración de carga externa periódica, impulsiva, etc. Es este fenómeno el que afecta a la edificación, que precisamente se modela de manera simplificada a un grado de libertad de la estructura, ocasionando una respuesta, que puede ser estable o variable u otro tipo (López, Marcillo, Pilco, & Villamizar, 2021).

Figura 10

Excitación y respuesta de un sistema 1gdI



Nota. Tomado de *Dinámica de Estructuras con CEINCI-LAB (5ta ed.)*, por Aguiar, 2012, Instituto Panamericano de Geografía e Historia.

Excitaciones

La excitación de una estructura se define por el movimiento de sus puestos de apoyo, la cual depende de una función en el tiempo. Asimismo, se consideran cargas a las fuerzas externas que afectan el comportamiento de las estructuras, por las que, sus condiciones iniciales han cambiado.

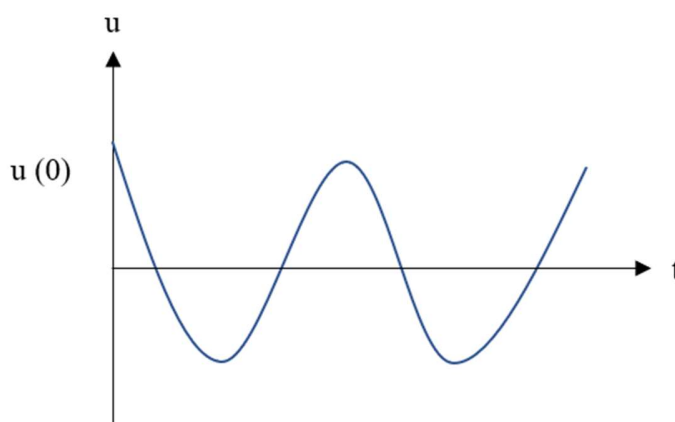
Las cargas sísmicas son una excitación dinámica, a causa de, las variaciones de los valores de aceleración en pequeños fragmentos de tiempo, que se producen del repentino movimiento de las capas de la tierra, de tal manera que, las oscilaciones son transmitidas por la cimentación hacia la superestructura.

Según (Arcentales & Yépez, 2020) “Las excitaciones que pueden ser clasificadas en vibraciones libres (periódicas o sinusoidales), vibraciones no periódicas (choques) y vibraciones aleatorias (fuerzas externas), cada una de ellas obedece al tipo de excitación proporcionada”.

La vibración libre se da cuando las condiciones iniciales de equilibrio estático de la estructura son alteradas sin ninguna excitación dinámica externa, al no existir un amortiguamiento el sistema va a vibrar en el tiempo de manera indefinida.

Figura 11

Vibración libre



Por el contrario, la vibración forzada resulta de someter el sistema a cargas externas. Habitualmente, la frecuencia de forzamiento, es decir a la cual se le proporciona energía externa, aparece en la oscilación del sistema y puede ser determinista o aleatoria (Harris & Piersol, 1962).

Las principales características de un movimiento sísmico son: la aceleración máxima alcanzada del suelo, el período de vibración y la frecuencia. El valor de la excitación es directamente proporcional a la magnitud de las fuerzas laterales que se distribuyen en la estructura. Otro factor importante es el período de vibración, ya que se puede medir la cantidad de energía liberada en ese tiempo que afectan la estructura. Y por último y no menos importante la frecuencia, ya que no puede ser la misma frecuencia de la estructura con la del suelo, y la del sismo ya que se producirá un efecto de resonancia, es decir, la onda se amplifica y provocaría un colapso de la estructura. La vibración máxima de una estructura se da cuando es excitada a una de sus frecuencias características.

Vibración ambiental

Estas fuerzas provocan vibraciones en las estructuras, que se consideran vibraciones forzadas. Las vibraciones del entorno tienen una pequeña amplitud; para obtener gráficos singulares de alta calidad, se recomienda registrar la respuesta de la estructura a este tipo de vibraciones durante un largo período de tiempo; como resultado, los espectros se caracterizan por un gran número de promedios y resolución de frecuencia alrededor de 0,1 Hz (Rainieri & Fabbrocino, 2014).

Los efectos de los movimientos telúricos pueden aumentar dependiendo las características de la zona, por lo cual, es necesario un estudio para la medición y análisis de registros de vibración ambiental.

Esta investigación realiza un ensayo de vibración ambiental con acelerómetros, los mismos que generan una fuerza proporcional a las vibraciones mediante sensores.

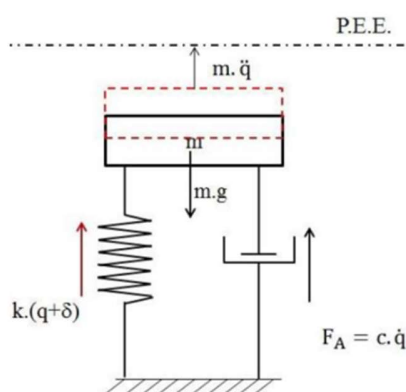
La necesidad de una evaluación de impacto práctica y económica en el sitio ha hecho que las técnicas de vibración ambiental sean una opción muy tentadora. Se basan en el registro y procesamiento de ondas de baja energía generadas por las actividades naturales y del ser humano en la tierra. En este sentido, la vibración del medio ambiente es una fuente de señal continua que se ha demostrado que brindan información sobre el suelo y sus efectos como sismos y terremotos (Kanai & Tanaka, 1961).

Ecuación del movimiento

Se toma como referencia el sistema formado por el grado de libertad del GDL, por lo que cabe señalar que se generan fuerzas internas opuestas debido a la fuerza externa $F(t)$. La fuerza amortiguadora, la fuerza de inercia y la fuerza restauradora inelástica o elástica contrarrestan la fuerza externa, la deformación del sistema. A través del equilibrio dinámico y la segunda ley de Newton, se puede obtener la ecuación de movimiento (Chopra & Goel, 2000).

Figura 12

Equilibrio dinámico en un sistema de 1 gdl



Nota. Tomado de *Dinámica de Estructuras con CEINCI-LAB (5ta ed.)*, por Aguiar, 2012, Instituto Panamericano de Geografía e Historia.

A partir de la ecuación de movimiento (5) se puede definir las propiedades de un sistema teniendo así:

$$m * \ddot{u} + c * \dot{u} + k * u = f(t) \quad (5)$$

Donde:

$f(t)$ = vector de fuerzas aplicadas

m = matriz de masas

\ddot{u} = vector de aceleración

c = matriz de amortiguamiento

\dot{u} = vector de velocidad

k = matriz de rigidez

u = vector de desplazamientos

Existen varios métodos por los cuales se pueden resolver las ecuaciones diferenciales que detallan el movimiento de problemas dinámicos, los mismos que pueden ser: la integral de Duhamel, métodos numéricos y las Transformadas de Fourier y Laplace.

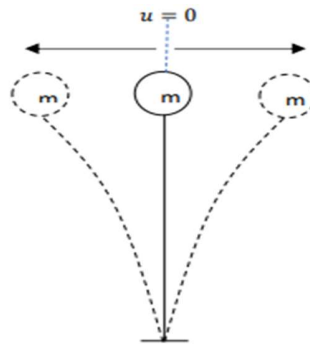
Por lo tanto, se procede a simplificar la ecuación (5), despreciando el valor del efecto del amortiguamiento prescindiendo de las cargas externas, facilitando así el cálculo.

$$m * \ddot{u} + k * u = 0$$

Para poder definir los parámetros utilizados en el análisis, se basa en un modelo tipo péndulo invertido como muestra la figura 13.

Figura 13

Sistema discretizado con una masa concentrada, péndulo invertido

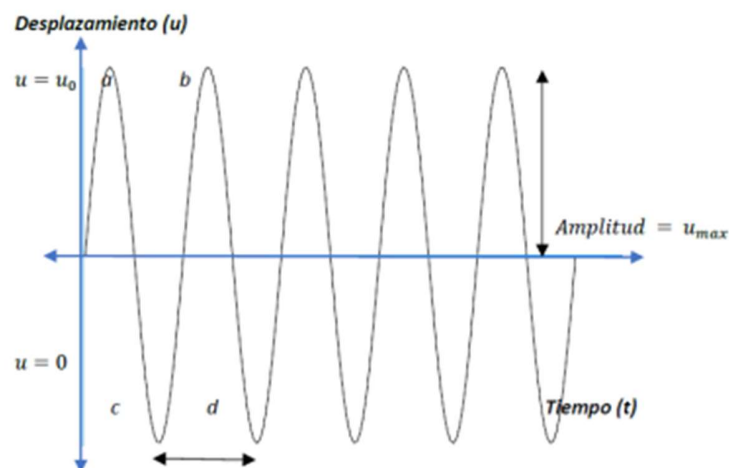


Nota. Tomado de *Evaluación de la Respuesta Dinámica del Hospital Naval General Hosnag sometido a Vibración Ambiental*, por Arcentales & Yopez, 2020, Repositorio Espe.

La colocación de excitaciones externas al sistema genera desplazamientos proporcionales a la fuerza a la que está sometida, esta respuesta al modelo se denomina Movimiento Armónico Simple (M.A.S). Los sistemas vibran u oscilan al salir de su posición inicial de equilibrio estable.

Figura 14

Movimiento Armónico Simple (M.A.S)



Nota. Tomado de *Evaluación de la Respuesta Dinámica del Hospital Naval General Hosnag sometido a Vibración Ambiental*, por Arcentales & Yopez, 2020, Repositorio Espe.

Ecuaciones empleadas

Se especifican las ecuaciones a emplear para un análisis de la teoría dinámica, necesarias para la comprensión del fenómeno estructural.

$$Wn_n = \sqrt{\lambda_n} \quad (6)$$

$$T_n = \frac{2 * \pi}{Wn_n} \quad (7)$$

$$f_n = \frac{1}{T_n} \quad (8)$$

Donde:

Wn_n = Frecuencia natural de la estructura

T_n = Período de la estructura

f_n = frecuencia fundamental de la estructura

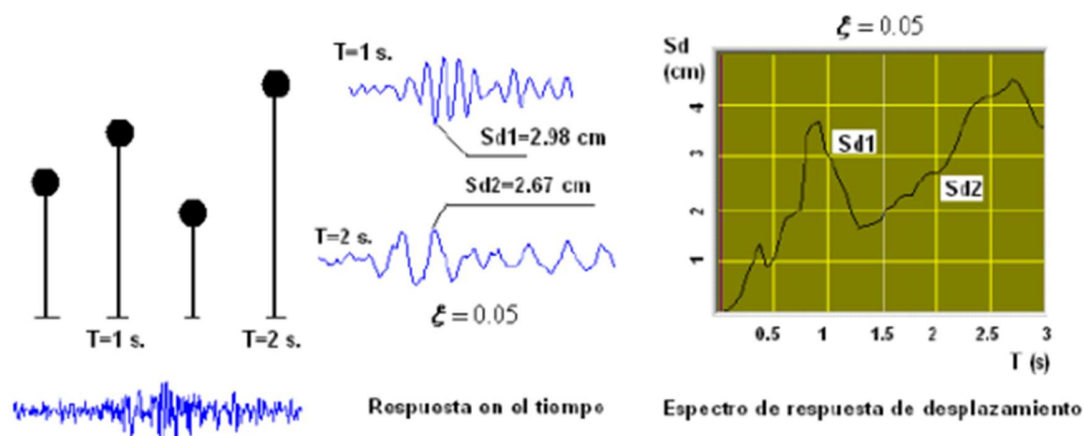
Espectro de respuesta

De acuerdo con (Aguilar, 2012), el espectro de respuesta se define como: "El conjunto de respuestas máximas para diferentes osciladores de 1gdl con el mismo amortiguamiento correspondiente a un conjunto de aceleraciones dadas", por lo que es posible conseguir espectros para cada una de las respuestas dinámicas para las que se pueden obtener las respuestas máximas del registro de aceleraciones.

La figura 15 representa la curva espectral de respuesta, donde se puede evidenciar los máximos desplazamientos en un período de tiempo o frecuencia natural, que se encuentra como abscisa del espectro de respuesta, de tal manera que es posible verificar para una determinada excitación la máxima respuesta dinámica probable.

Figura 15

Esquema para la determinación de espectros de respuesta



Sismo del 9 de Nov. de 1974

Nota. Tomado de *Dinámica de Estructuras con CEINCI-LAB*, por Aguiar, 2012, Instituto Panamericano de Geografía e Historia.

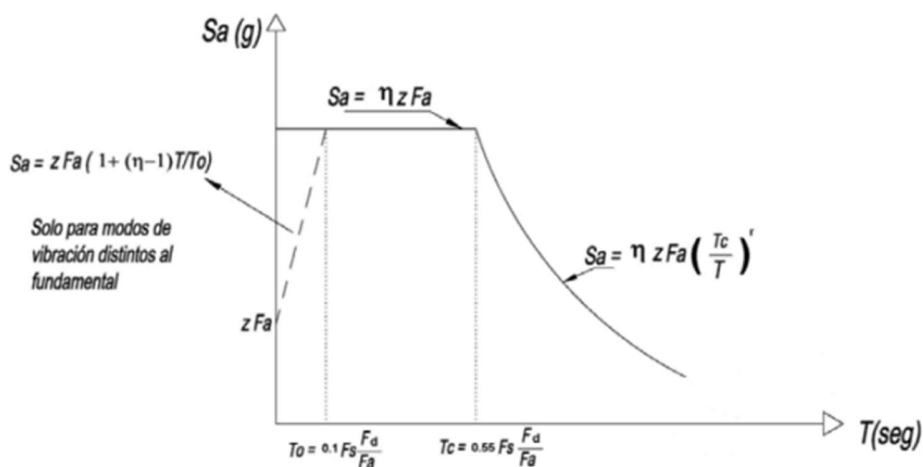
Espectro de diseño

Este espectro pretende ser una herramienta de evaluación, diseño y aplicación para diversos análisis de estructuras existentes y, por lo tanto, debe cumplir varios requisitos para que las estructuras resistan futuros eventos sísmicos. Sin embargo, un solo registro no es suficiente para cumplir con estos requisitos, lo que hace que el comportamiento de un sismo que interactúa con varios efectos locales específicos del sitio para un edificio determinado sea más incierto (Paz & Hoon Kim, 2019).

La Norma Ecuatoriana de la Construcción del año 2015 detalla los componentes horizontales de la carga sísmica: espectros elásticos de diseño, en el capítulo que hace referencia a peligro sísmico (NEC-15, 2015).

Figura 16

Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño



Nota. Tomado de *Capítulos NEC-15*, por Normativa Ecuatoriana de la Construcción, 2015, INEC.

Donde:

η = Razón entre la aceleración espectral S_a ($T = 0.1$ s) y el PGA para el período de retorno seleccionado

(T_a) = período de vibración

F_a = Coeficiente de amplificación de aceleraciones en sitio

F_d = Coeficiente de amplificación desplazamientos en sitio

F_s = Coeficiente de amplificación inelástica del suelo

S_a = Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad (g)). Depende del período o modo de vibración de la estructura.

T = Período fundamental de vibración de la estructura.

T_0 = Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

T_c = Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

Z = Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g .

Criterio de combinación modal

Ninguna medición es exacta, para remediar estos errores se toma varias repeticiones de las medidas, por lo tanto, se obtiene el valor máximo probable.

Sea r el valor esperado a obtener, el criterio del valor máximo probable, es:

$$r = \sqrt{\sum_{i=1}^n r_i^2} \quad (9)$$

Donde:

n = número de modos considerados en la respuesta

i = modo de vibración

Para no subvalorar la respuesta obtenida, es recomendable que las frecuencias naturales de oscilación difieran en menos del 10%, de lo contrario se utilizará un principio de combinación modal diferente (Aguiar, 2012).

Modos de vibración

Las formas de onda, es decir los modos de vibrar de la estructura, son el resultado de un problema modal de un sistema de vibración libre con múltiples grados de libertad, esta solución encamina a la obtención de valores propios y vectores del sistema que representan las formas de onda (Montserrat, 2013).

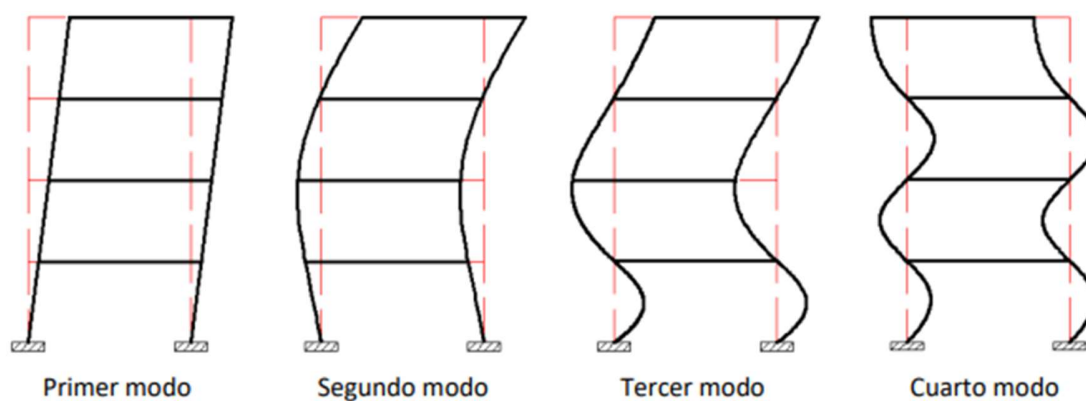
Cada sistema tiene varios modos de vibración ante cargas dinámicas y ese es el objetivo del análisis modal, definir la forma de los modos, los cuales no siempre estarán excitados al mismo grado. Estos son la representación de la vibración natural de la estructura,

de manera que permite identificar si la respuesta obtenida es la esperada ante un evento sísmico.

Los diferentes modos y de la contribución de cada uno de ellos a la vibración característica de la estructura definen el comportamiento de una estructura, todos ellos están asociados a un periodo específico, por tanto, existe un modo principal asociado al periodo principal perteneciente al primer modo del sistema y, junto con el segundo modo, tienen el mayor impacto en el diseño de la estructura con respecto a la resistencia de las cargas laterales. Finalmente es imprescindible indicar que “El número de modos de vibrar que posee una estructura corresponde al mismo número de grados de libertad de ésta.” (López & Music, 2016).

Figura 17

Modos de vibración de pórticos planos



Nota. Recuperado de *Recomendaciones sísmicas basadas en reocupación posterior a terremoto y tiempo de recuperación*, por Bonilla, Cruz , Jingo & Obando, 2022, Repositorio Espe.

Vulnerabilidad en Estructuras

Evaluación de vulnerabilidad

Para poder llevar a cabo una evaluación de vulnerabilidad sísmica de una estructura es necesario basarse en distintos procesos o métodos que cualifiquen y cuantifiquen el riesgo al que puede verse afectado el edificio objeto de análisis. Los métodos aplicados en el presente trabajo son:

De inspección y puntaje o índice de vulnerabilidad: Se determina el grado de vulnerabilidad de la estructura mediante las metodologías FEMA P-154 y FUNVISIS.

Experimentales: Se identifica las propiedades mecánicas y dinámicas de la estructura, así como del suelo con ensayos de refracción sísmica, Método de Nakamura, SPT, acelerómetros y pachómetro.

Híbridos: Se correlacionan los resultados de los métodos antes mencionados para que estos sean de carácter verídico.

Evaluación cualitativa de la vulnerabilidad sísmica

En términos cualitativos, la evaluación se hace de acuerdo a distintos parámetros agrupados en formularios que contienen preguntas de calificación, en donde, el resultado arrojado es el grado de vulnerabilidad como ponderación del peso de relevancia que se le asigna a cada ítem en cada formulario en función de la diversidad de puntos débiles del edificio.

Las edificaciones patrimoniales han evidenciado ser especialmente vulnerables ante sismos, por lo que, proteger los valores patrimoniales es fundamental para mantener la identidad de una nación.

Figura 18

Edificación Patrimonial 1 (Academia de Guerra del Ejército Ecuatoriano)





Cuando se llegan a apreciar los parámetros se pueden alcanzar índices de vulnerabilidad altos y muy altos. El grupo de análisis incluye el grado de deterioro debido a grietas y otros factores de influencia en calidad de la estructura.

También se harán propuestas para instaurar las condiciones físicas y estructurales resultantes que presenta la edificación a estudiar para mejorar la calidad y seguridad de la población, todo esto a juzgar por normativas nacionales, así como internacionales, teniendo presente que las configuraciones de estas son distintas a las ecuatorianas.

Metodología FEMA P-154 ADAPTADO AL MIDUVI

Este informe tiene como enfoque desarrollar la identificación y evaluación de estructuras a través de inspecciones visuales que asignaran valores a posibles condiciones sísmicas.

La metodología que usa la misma, responde a la recopilación de datos de elementos estructurales y no estructurales, basado en observaciones visuales desde el exterior como al interior de la edificación a estudiar. Se describirán particularidades, todas relacionadas con el comportamiento sísmico como el año de construcción, irregularidades, elevación, tipo de suelo, etc., que finalmente, por medio de un puntaje se indicará la vulnerabilidad de la estructura.

Metodología FUNVISIS

La Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, es una técnica que obedece a un método de asignación de indicadores para la priorización de construcciones (FUNVISIS, 2014).

Después de que se hayan asignado los indicadores mencionados para las edificaciones analizadas, se escogen las más críticas para de esta manera, realizar una investigación minuciosa para la toma de decisiones a fin de reducir el riesgo sísmico. Para esta metodología será preciso adaptar los criterios de las particularidades de las edificaciones ecuatorianas para dar cumplimiento a los indicadores prioritarios.

Metodología GEM

Esta metodología tiene como base datos georreferenciados que clasifica a las estructuras de manera uniforme, es decir, en grupos con características habituales denominadas tipologías estructurales, con el objetivo de disminuir y gestionar el riesgo sísmico.

The GEM Building Taxonomy v2.0, detalla una estructura o una tipología de la misma utilizando las siguientes 13 características, que están asociados con atributos específicos de la estructura que pueden perjudicar el comportamiento sísmico. Según (Scawthorn, y otros, 2013) son:

- Dirección; Característica utilizada para detallar la orientación en la que se ubica una estructura con diferentes sistemas de resistencia de carga lateral en dos direcciones principales del plano horizontal de la estructura que son perpendiculares entre sí.
- Material del sistema resistente de carga lateral: Puede ser mampostería o madera.

- Altura; Especifica la altura sobre el suelo de un edificio en términos de la cantidad de pisos, incluida la cantidad de pisos del sótano, si los hay, y la pendiente del sitio.
- Fecha de construcción o fecha de modificación; Señala el año en que se terminó la construcción de la edificación.
- Ocupación; El tipo de función o servicio que se da dentro del edificio, para el estudio residencial o de uso mixto.
- Posición del edificio dentro de un bloque; Si la edificación esta adyacente a otras construcciones que puedan afectar su desempeño.
- Forma en planta; Se refiere a la forma en planta que tiene la estructura.
- Irregularidad estructural; Las características estructurales de un edificio, tales como un piso que es significativamente más alto que otros pisos, una forma irregular en planta, un cambio en el sistema estructural, materiales que podrían crear vulnerabilidad en caso de un terremoto. Si hay más de una protuberancia en el edificio, se pueden identificar protuberancias secundarias según sea el caso.
- Paredes exteriores; Materiales utilizados para las paredes exteriores o el cerramiento del edificio.
- Techo; Describe la forma del techo puede ser inclinada con extremos a dos aguas, material de la cubierta del techo como teja.
- Piso; Describe el material del piso.
- Sistema de cimientos; Esto se refiere a la parte de la estructura donde los cimientos del edificio se encuentran con el suelo, es decir a donde se transmite las cargas de la superestructura.

Ensayos exploratorios-Método indirecto

Refracción sísmica

Este ensayo es una herramienta de identificación no destructiva que determina la profundidad de la roca y las características topográficas gracias al análisis de cambios en la velocidad de propagación de ondas sísmicas en relación con la velocidad de propagación en medios sólidos (SISMOCEAN, 2015).

Como objetivo principal, se tiene que a través de una fuente sísmica artificial como lo es el martillo en este caso, se podrá medir el tiempo de llegada de la onda de compresión V_p en función de la distancia.

Otros equipos utilizados dentro de este ensayo son, los geófonos que ubicados de manera ordenada forman perfiles longitudinales que permiten realizar las mediciones de refracción sísmica. Todo este proceso da como resultado la aparición de las ondas sísmicas que son registradas mediante un software.

Método de Nakamura

El método sísmico HVSR (Horizontal to vertical Spectral Ratio) o método Nakamura, es un método sísmico pasivo que utiliza oscilaciones naturales, es decir, no son simuladas. El registro de las vibraciones proporciona una frecuencia del suelo, el cual se denomina periodo principal o resonancia principal. Este parámetro es imprescindible en la una investigación sísmica para entender y predecir correctamente el efecto de amplificación en una región determinada (Everest Geophysics S.L., 2020).

El Método de Nakamura es un ensayo no intrusivo, que se basa en la recopilación de los registros de vibraciones ambientales, en el terreno de análisis, en direcciones ortogonales Norte-Sur, Este-Oeste y Vertical.

Posteriormente, al calcular los espectros de Fourier con los registros de aceleración y relacionar las direcciones horizontal y vertical, se puede estimar la frecuencia fundamental del yacimiento e identificar el período durante el cual aumenta la relación espectral indicada (Servicio de Ingeniería Civil Ingeniería Geotécnica, 2008).

Para especificar los efectos de amplificación local de sitio, resultado de movimientos sísmicos de gran magnitud, es importante la determinación del período fundamental del suelo T_0 que complementa la información de velocidad promedio de onda de corte, V_{S30} , el cual es obtenido del ensayo de Sísmica de Refracción.

Ensayos exploratorios-Método directo

Prueba de penetración estándar (Ensayo SPT)

Es una de las pruebas más comunes en el medio, que sirve como indicador del comportamiento del suelo. Su uso no está limitado a suelos granulares, si no también puede realizarse para arcillas y rocas suaves.

El ensayo SPT es un método directo para la exploración del subsuelo, el cual consiste en penetrar un tomamuestras tubular estandarizado unido al varillaje, mediante golpes con una maza de 63,50 kg que cae repetidamente desde una altura de 76,0 cm, debe introducirse el tomamuestras en el terreno 60cm y se empieza a contabilizar los golpes en 3 tramos de 15cm cada uno.

El objetivo del ensayo es conseguir muestras de suelo para su clasificación y práctica de laboratorio, además de obtener un valor N_{30} de resistencia a la penetración, el cual se calcula sumando los números de golpes del segundo y tercer tramo de 15cm, otro propósito es el cálculo de la capacidad de carga del suelo, tipo de cimentación y el espesor de la misma.

Puede darse por terminado el ensayo en el caso que sea muy elevada la resistencia del terreno, es decir, cuando en un punto se alcance más de 50 golpes. También puede darse que

el suelo tenga una baja consistencia por lo que el varillaje caerá por su peso propio, si baja en 60cm, entonces, se da por finalizado el ensayo.

Ensayos no destructivos

Pachómetro

Este dispositivo cumple con la función de detectar elementos metálicos longitudinales y transversales ocultos en elementos de hormigón, para reafirmar la existencia de refuerzos asociados a la evaluación de la estructura. Este instrumento trabaja a manera de un sensor enviando pulsos y recibiendo estos de las armaduras encontradas en los elementos estructurales analizados, de este modo estimando: la localización, orientación y diámetro de varilla de refuerzo, además del espesor de capa de recubrimiento.

Instrumentación sísmica

La dinámica estructural se basa en definir propiedades estructurales y el comportamiento de las estructuras. Estas propiedades se manifiestan mediante parámetros modales, derivados de un modelo matemático que se define por la relación entre entrada y salida, es decir, una excitación y una respuesta, los cuales, cada uno tiene una forma modal, con un valor de frecuencia y amortiguación. Estos parámetros pueden conseguirse empleando un análisis modal clásico o análisis modal operacional.

Acelerómetros

En los dos tipos de análisis mencionados se utilizan acelerómetros para medir la respuesta modal. En el análisis modal clásico, la estructura se excita utilizando vibradores modales, a diferencia del análisis modal operacional, el cual emplea la vibración natural.

Un conjunto de funciones de respuesta de frecuencia relaciona la fuerza aplicada y la respuesta correspondiente en diferentes pares de puntos en la estructura. Los parámetros

modales (frecuencias naturales, factores de amortiguamiento modales y formas modales) se encuentran ajustando el modelo a las funciones de respuesta de frecuencia (Damgaard, 2011).

En este caso de investigación se realiza un análisis modal operacional el cual se fundamenta en la medida de respuesta de la estructura utilizando solo las excitaciones ambientales o fuerzas de servicio que actúan sobre la estructura.

Se utiliza para obtener una descripción modal de una estructura en sus condiciones de funcionamiento. En vez de tratar la estructura con excitaciones artificiales como una fuente de ruido, se lo hace con la excitación natural. La ventaja de una excitación artificial es que existen varios procedimientos más precisos, para determinar los parámetros del modelo, como los coeficientes de amortiguamiento.

Todas las estructuras están sometidas a excitaciones naturales, es decir, a fuerzas ambientales como el viento, los sismos, las olas, el tráfico, etc.

El análisis modal operacional se basa en la suposición de que las fuerzas de entrada se derivan del ruido blanco gaussiano y se excitan en múltiples puntos, y se utiliza para extraer parámetros modales basados en medir solo la respuesta de una estructura a una entrada externa u operativa. La gran ventaja de la identificación modal operativa es que proporciona un modelo dinámico de la estructura en condiciones reales de funcionamiento y condiciones de contorno reales (Damgaard, 2011).

Para garantizar la máxima calidad de las señales recibidas en el campo, es necesario realizar un análisis preliminar de las señales y realizar grabaciones que duren entre 9 y 12 minutos. El archivo resultante luego pasa a través de un filtro de paso de banda, que es responsable de eliminar las frecuencias fuera del rango especificado, lo que le permite convertir las señales dominadas por el tiempo en señales dominadas por la frecuencia (Arcentales & Yépez, 2020).

Posterior a un análisis matemático es necesario herramientas que permitan la visualización de los registros obtenidos de manera que se halle frecuencias características, para lo cual se utilizarán las siguientes:

Transformada de Fourier

Esta herramienta facilita la conversión de una señal con todo su dominio en una función integrable con infinitas discontinuidades, aunque el cálculo es posible realizarlo manualmente. En 1965 se desarrolló un algoritmo que simplificó el procedimiento de solución dividiendo y agrupando secuencialmente hasta obtener una respuesta sintetizada y ordenada, el cual es conocido como la transformada de Fourier FFT (Ríos, 2016).

Al analizar el gráfico de la transformada de Fourier se pueden evidenciar los picos más predominantes en respuesta del sistema estructural ante excitaciones naturales.

Espectros de potencia

Con esta herramienta se puede visualizar la potencia en frecuencias características de la señal, la misma que representa la potencia final en caso de coincidencia, y permite determinar la densidad espectral, que a su vez permite suavizar el espectro de la señal (Ríos, 2016). Mientras que el espectro cruzado de potencia entre una señal de entrada y otra de salida, utiliza la conjugada de la transformada de Fourier de dos señales para comparar la fase de las mismas (Arcentales & Yépez, 2020).

Función de transferencia

Según (Arcentales & Yépez, 2020) “Determina la relación entre dos señales y es de utilidad para conocer información acerca de la fase y la amplitud en relación de una señal base seleccionada por el usuario”.

Fase de una señal y herramienta Compass

La herramienta Compass es una herramienta gráfica que permite mostrar la representación de la dirección o fase de un número imaginario desde el punto de origen 0 y representado como una flecha (Mathworks, 2022). Previamente se mencionó la utilización de la Transformada de Fourier, la misma que nos da como resultado un número imaginario el cuál provee la información de la fase de la señal, y al utilizar la herramienta Compass es posible diferenciar entre una excitación artificial como el ruido y una excitación natural que nos dé como resultado una frecuencia característica (Arcentales & Yépez, 2020).

Metodología “Peak Picking”

El método Peak Picking (PP) es simple de aplicar, de manera que identifica fácilmente las características modales estructurales que están sujetas a excitaciones ambientales. El espectro de respuesta en frecuencia alcanza valores extremos alrededor de las frecuencias naturales.

Capítulo III

Marco Metodológico

Determinación de la zona de estudio

Para el desarrollo del presente trabajo de titulación se llevará a cabo el análisis de una edificación patrimonial de ocupación militar, de tal modo que, se solicitarán los permisos necesarios para la apertura y disponibilidad de la instalación ubicada en la Academia de Guerra del Ejército Ecuatoriano en Sangolquí, perteneciente a “Las Fuerzas Armadas del Ecuador” (FFAA), para dar cumplimiento con las actividades indispensables sobre la inspección visual, impuestas por las metodologías y los ensayos exploratorios y no destructivos para el análisis de vulnerabilidad de esta.

Metodología de inspección visual FEMA P-154 adaptado a MIDUVI

El propósito de esta metodología es proporcionar una perspectiva general del proceso de evaluación estructural de la Edificación Patrimonial I, procurando un detenido proceso de visualización detallado, de manera que se pueda evidenciar los riesgos estructurales, para un futuro análisis más completo de la edificación.

Este método cualitativo de evaluación visual rápida, contempla una valoración de riesgo sísmico, el cual se divide en 2 niveles que evalúan las diversas características que se pueden obtener a través de la inspección visual, que incluyen los elementos estructurales y no estructurales, así como el detalle de la estructura describe su vulnerabilidad ante un evento sísmico clasificado como resultado.

La metodología FEMA P-154 propone el uso de dos formularios de Nivel 1 y Nivel 2, con el objetivo de llevar a cabo una investigación del lugar para su respectiva evaluación de vulnerabilidad estructural, esto implica la información necesaria como identificar el tipo de

edificio, una selección de mapas de riesgo sísmico, tipos de suelo del sitio, mapas de deslizamientos, mapas de fallas, etc (NEC-15, 2015).

Estos formularios ayudan a evaluar cualitativamente la estructura, de manera que, al registrar las características implícitas en la respuesta dinámica de la estructura, el evaluador tenga noción de los riesgos a los que está expuesta la edificación y defina un índice de vulnerabilidad, donde, si el valor encontrado es menor, significa que el riesgo de colapso es mayor o viceversa.

Para empezar con el análisis visual, primero se debe determinar el nivel de sismicidad donde está ubicada la estructura, para escoger el formulario adecuado a la misma, para lo cual es necesario determinar la respuesta de aceleración espectral para un periodo largo y corto, como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2

Niveles de sismicidad

| Referencia Nivel de sismicidad FEMA P-154 | | |
|---|--|--|
| Sismicidad de la región | Respuesta espectral de aceleración, S_s , para período corto | Respuesta espectral de aceleración, S_1 , para período largo |
| Baja | $S_s < 0,25 * g$ | $S_1 < 0,10 * g$ |
| Moderada | $0,25 * g \leq S_s < 0,50 * g$ | $0,10 * g \leq S_1 < 0,20 * g$ |
| Moderadamente Alta | $0,50 * g \leq S_s < 1,00 * g$ | $0,20 * g \leq S_1 < 0,40 * g$ |
| Alta | $1,00 * g \leq S_s < 1,50 * g$ | $0,40 * g \leq S_1 < 0,60 * g$ |
| Muy Alta | $S_s \geq 1,50 * g$ | $S_1 \geq 0,60 * g$ |

Nota. Recuperado de *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards*, por FEMA P-154, 2015.

El nivel de sismicidad depende de la respuesta espectral de aceleración S_s para período corto y la respuesta espectral de aceleración S_1 para período largo, para lo cual la Norma

Ecuatoria de la Construcción propone valores directos de S_s y S_1 , tomando en cuenta un periodo de retorno de 2475 años, de esta manera se adapta la metodología para determinar el nivel de sismicidad, usando así, curvas de peligrosidad sísmica dadas por (NEC-15, 2015) para la ciudad de Quito, ya que es la zona más aledaña a la ubicación de la estructura analizada.

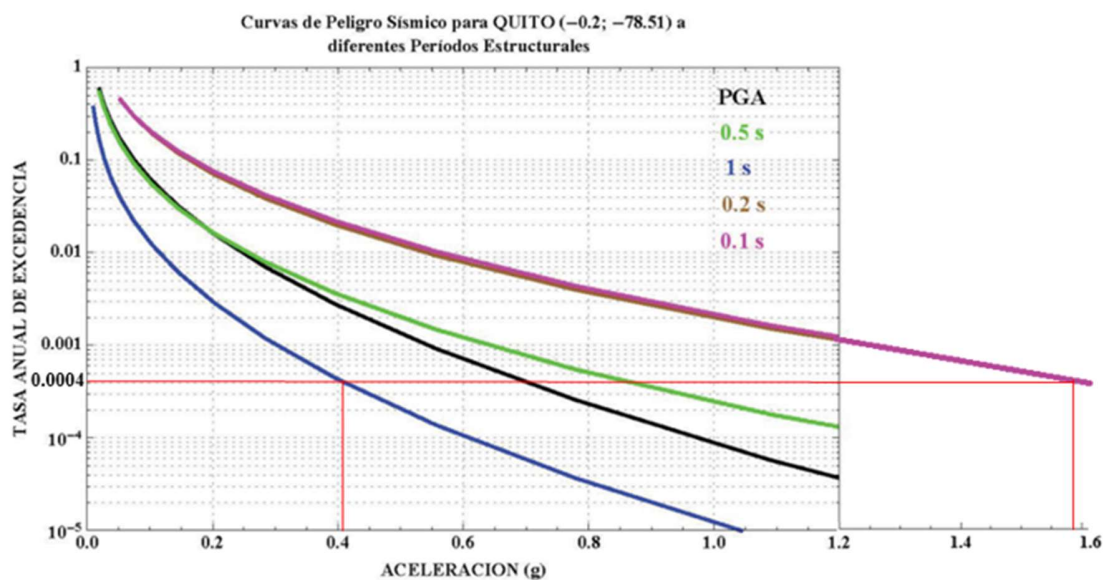
Tabla 3

Niveles de sismicidad

| Periodo de retorno | Tasa anual de excedencia | Aceleración Espectral Esperada | |
|--------------------|--------------------------|--------------------------------|----------------|
| T_r | $1/T_r$ | S_s (T=0,2s) | S_1 (T=1,0s) |
| 2475 | 0,0004 | 1,58 | 0,42 |

Figura 19

Curva de peligro sísmico, Quito



Nota. Tomado de Capítulos NEC-15 (p.27) por Normativa Ecuatoriana de la Construcción, 2015, INEC.

Por lo tanto, se interpreta que el área de estudio se encuentra en una zona con sismicidad muy alta, entonces, es el tipo de formulario a ocupar para la metodología de visualización rápida, por lo que se procede al registro del Nivel 1.

A continuación, se cita el proceso recomendado según (FEMA P-154, 2015) para un llenado eficaz del Formulario Nivel 1.

- a) Revisar y reestablecer la información que caracteriza y define al edificio;
- b) Recorrer por los alrededores e interiores del edificio, de tal manera que se identifique el número de pisos, su forma en planta, e ir haciendo un mapa y bosquejo de sus planos
- c) Captar evidencia fotográfica de la estructura;
- d) Identificar el tipo de ocupación de sus instalaciones y documentarlas;
- e) Reconocer el suelo donde se ubica la estructura y los riesgos geológicos;
- f) Identificar el área donde se halla la edificación, definiendo si existen problemas de adyacencia, sus irregularidades tanto en planta como en y cualquier amenaza de caídas exteriores;
- g) Añadir evidencia de otros peligros o riesgos encontrados durante la evaluación;
- h) Registrar los materiales utilizados en la construcción, el tipo de sistema que se tiene para soportar sobrecarga y a las cargas laterales, marcando su puntuación inicial en el formulario de registro de la metodología FEMA;
- i) Señalar cada modificador de irregularidades halladas en la evaluación;
- j) Determinación del puntaje final del nivel 1, *SL1* (ajustando el puntaje básico del paso 8 con los modificadores de puntaje identificados en el paso i); y
- k) Completar la sección de resumen al final del formulario (es decir, alcance de la revisión, otros peligros y acción requerida)

Figura 20*Análisis visual de la estructura*

Una vez completado el Formulario Nivel 1, se procede con el Nivel 2, el cual es opcional y será más sencillo su registro, ya que se basa en la información recolectada previamente, adoptando así una estructura más sistematizada.

Registro de formulario Nivel 1

Esta sección describe los detalles característicos visualizados en la inspección de la estructura Patrimonial I, en su primer nivel de reconocimiento visual, realizado en campo, ya que permite un registro de datos progresivo, específico y detallado.

Como primer registro, se detallan los datos generales del evaluador y de la edificación, tales como, su ubicación, el tipo de uso, que en este caso se trata de una unidad militar, por lo tanto, es del gobierno, en la que se tienen diferentes utilidades, también se menciona los valores obtenidos de las aceleraciones calculadas previamente y se describe los datos constructivos de la edificación, la misma que fue diseñada con el pre-código moderno, es decir

antes del 2001, pues fue cimentada en 1960, cuenta con 2 pisos sobre suelo y un área de construcción de 1416,86 m².

Figura 21

Paso 1. Plantilla del formulario 1 de FEMA P-154

| | | | | | |
|-------------|--|---|-----------------|-------------------------------------|------------------------|
| 101 | DATOS EDIFICACION | | | | |
| 102 | Nombre de la Edificación: | ACADEMIA DE GUERRA DEL EJERCITO | | | |
| 103 | Dirección: | Av Gral Enriquez 2050 y Bahía de Caraquez | | | |
| 104 | Sitio de referencia: | Gran AKI San Rafael | 105 | Código Postal | |
| 106 | Tipo de uso: | Militar, servicios generales | | | |
| 107 | Latitud: | -0.31252° | | 108 Longitud: | |
| 107A | Zona: | 17 | 107B Sur | 108A Este: | |
| 109 | Ss: | 9965413,74 m | | 783792,65 m | |
| 110 | S1: | | | 0,41 | |
| 111 | DATOS DEL PROFESIONAL | | | | |
| 112 | Nombre del evaluador: | Nicole Galarza, Johanna Pillajo | | | |
| 113 | Cédula del evaluador | 726955436; 172749935 | 115 | Fecha | |
| 114 | Registro SENESCYT | - | 116 | Hora: | |
| 117 | DATOS CONSTRUCCION | | | | |
| 118 | Número de Pisos: | 2 | | | |
| 119 | Sobre el Suelo | 2 | 120 | Bajo el Suelo | |
| 121 | Año de construcción: | 1960 | 122 | Área de Construcción | |
| 123 | Código Año: Precódigo Moderno (antes 2001) | | 124 | Año(s) Remodelación: | |
| 124 | Adiciones: Ninguna | <input checked="" type="checkbox"/> | SI | 125 | Número de Predio |
| 200 | OCUPACION: | | | | |
| 201 | Asambleas | | Comercial | | Servicio de Emergencia |
| 202 | Industria | | Oficina | <input checked="" type="checkbox"/> | Educación |
| 203 | Utilidad | <input checked="" type="checkbox"/> | Almacén | | Residencial # |
| 203A | Histórico | | Albergue | | Público |
| 126 | Clave Catastral | | | | - |

Nota. Tomado de *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards*, por FEMA P-154, 2015.

Se analiza el tipo de suelo en el que se encuentra cimentada la estructura, el mismo que al guiarnos en varias bibliografías se supuso un suelo Tipo C según la NEC-15, tratándose de un suelo denso y se comprobó mediante los ensayos en campo. Del mismo modo se investigan los posibles riesgos geológicos, se descarta la probabilidad de licuefacción ya que a los 6 metros de profundidad deberían existir arenas para darse este fenómeno y en base al ensayo en campo realizado, existen lacustres y se encuentra alejada de zonas de deslizamiento. Puede existir una posible ruptura de superficie debido a la cercanía a la falla de Puengasí.

Figura 22

Paso 2. Plantilla del formulario 1 de FEMA P-154

| | | | | | | | | |
|-------------|---------------------------|------------|----------------|------------|------------------------|-------------|---------------|------------|
| 204 | TIPO DE SUELO: | | | | | | | |
| 204A | A | B | C | D | E | F | | DNK |
| 204B | Roca Dura | Roca Débil | Suelo Denso | Suelo Duro | Suelo Blando | Suelo Pobre | Si DNK, | |
| 204C | | | | | | | Asumir tipo D | |
| 205 | RIESGOS GEOLOGICOS | | | | | | | |
| 206 | Licuefacción: | | Deslizamiento: | | Ruptura de Superficie: | | | |
| 206A | SI | | SI | | SI | X | | |
| 206B | NO | X | NO | X | NO | | | |
| 206C | DNK | | DNK | | DNK | | | |

Nota. Tomado de *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards*, por FEMA P-154, 2015.

No existe adyacencia entre edificios, ya que la estructura analizada se encuentra alejada de otras edificaciones que se encuentran dentro de la Academia de Guerra. Se analiza las irregularidades en planta que presenta la estructura, para la cual se visualiza que está en forma irregular tipo F y presenta riesgo de caídas exteriores como parapetos de mampostería no reforzada y chimeneas sin arriostramiento, los mismos que en un evento sísmico pueden caerse y bloquear las posibles salidas.

Figura 23

Parapetos de mampostería no reforzada



Figura 24*Chimeneas sin arriostramiento***Figura 25***Paso 3. Plantilla del formulario 1 de FEMA P-154*

| | | |
|-------------|-------------------------------------|---|
| 207 | Adyacencia | |
| 207A | <input type="checkbox"/> | Golpes |
| 207B | <input type="checkbox"/> | Peligro de caída del Edificio Adyacente |
| 208 | Irregularidades: | |
| 208A | <input type="checkbox"/> | Elevación (Tipo/severidad) _____ |
| 208B | <input checked="" type="checkbox"/> | Planta (Tipo) Tipo F |
| 209 | Peligro de Caída Exteriores | |
| 209A | <input checked="" type="checkbox"/> | Chimeneas sin soporte lateral |
| 209B | <input type="checkbox"/> | Reves. Pesado o de chapa de madera pesada |
| 209C | <input type="checkbox"/> | Otros _____ |
| 209D | <input type="checkbox"/> | Apéndices |
| 209E | <input checked="" type="checkbox"/> | Parapetos |

Nota. Tomado de *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards*, por FEMA P-154, 2015.

La tipología estructural que presenta la metodología se detalla en la figura 26, para la cual se escoge la opción de edificios de mampostería no reforzada, simbolizada por URM.

Figura 26

Paso 4. Plantilla del formulario 1 de FEMA P-154

| TIPOLOGÍA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL | | | | |
|-----------------------------------|---|--|-----|---|
| 301 | Porticos de Madera Livianos viviendas multifamiliares de uno a 2 pisos | | W1 | |
| 302 | Porticos de madera Livianos múltiples unidades, multiples pisos para edificios residenciales con áreas en planta en cada piso de más de 300m2 | | W1A | |
| 303 | Porticos de madera para edificios comerciales e industriales con un area de piso mayor a 500m2 | | W2 | |
| 304 | Pórtico Acero Laminado (Portico Resistente a Momento) | | S1 | |
| 305 | Pórtico Acero Laminado con diagonales | | S2 | |
| 306 | Pórtico Acero Liviano o Conformado en frío | | S3 | |
| 307 | Pórtico Acero Laminado con muros estructurales hormigón | | S4 | |
| 308 | Pórtico Acero con paredes de mampostería de bloque | | S5 | |
| 309 | Pórtico Hormigón Armado | | C1 | |
| 310 | Pórtico H. Armado con muros de corte | | C2 | |
| 311 | Pórtico H. Armado con mampostería de relleno sin refuerzo | | C3 | |
| 312 | Losas Prefabricada de Hormigón (Tilt-up) | | PC1 | |
| 313 | Portico de H. Armado prefabricados | | PC2 | |
| 314 | Edificios de mampostería reforzada con diafragmas flexibles | | RM1 | |
| 315 | Edificios de mampostería reforzada con diafragmas rigidos | | RM2 | |
| 316 | Edificios de Mampostería no reforzada | | URM | X |
| 317 | Vivienda prefabricada | | MH | |

Nota. Tomado de *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards*, por FEMA P-154, 2015.

Partiendo de una calificación base según su tipología estructural, esta calificación está relacionada con la probabilidad de que un edificio se derrumbe ante un evento sísmico predeterminado según un intervalo de repetición especificado, y esta calificación se modifica por la presencia de algunas anomalías estructurales, lo que se puede ver en el registro de la evaluación. Finalmente se detalla el grado de inspección realizado.

Figura 27

Paso 5. Plantilla del formulario 1 de FEMA P-154

| PUNTAJES BÁSICOS, MODIFICADORES Y PUNTAJE FINAL NIVEL 1, SL1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|-----------------------------------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 401 | PARÁMETROS CALIFICATIVOS DE LA ESTRUCTURA (TIPO DE EDIFICIO FEMA) | TIPOLOGÍA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | W1 | W1A | W2 | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | C1 | C2 | C3 | PC1 | PC2 | RM1 | RM2 | URM | MH |
| 402 | PUNTAJE BÁSICO | 2,1 | 1,9 | 1,8 | 1,5 | 1,40 | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1 | 1,2 | 0,9 | 1,1 | 1 | 1,1 | 1,1 | 0,9 | 1,1 |
| 403 | IRREGULARIDADES | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 403A | Irregularidad vertical Grave, VL1 | -0,9 | -0,9 | -0,9 | -0,8 | -0,7 | -1 | -0,7 | -0,7 | -0,7 | -0,8 | -0,6 | -0,7 | -0,7 | -0,7 | -0,7 | -0,6 | NA |
| 403B | Irregularidad vertical Moderada, VL1 | -0,6 | -0,5 | -0,5 | -0,4 | -0,4 | -1 | -0,4 | -0,3 | -0,4 | -0,4 | -0,3 | -0,4 | -0,4 | -0,4 | -0,4 | -0,3 | NA |
| 403C | Irregularidad en planta, PL1 | -0,7 | -0,7 | -0,6 | -0,5 | -0,5 | -1 | -0,4 | -0,4 | -0,4 | -0,5 | -0,3 | -0,5 | -0,4 | -0,4 | -0,4 | -0,3 | NA |
| 405 | CODIGO DE LA CONSTRUCCIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 405A | Pre-código moderno (construido antes de 2001) o auto construcción | -0,3 | -0,3 | -0,3 | -0,3 | -0,2 | -0 | -0,2 | -0,1 | -0,1 | -0,2 | 0 | -0,2 | -0,1 | -0,2 | -0,2 | 0 | 0 |
| 405B | Construido en etapa de transición (desde 2001 pero antes de 2015) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 405C | Post código moderno (construido a partir de 2015) | 1,9 | 1,9 | 2 | 1 | 1,1 | 1,1 | 1,5 | NA | 1,4 | 1,7 | NA | 1,5 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | NA | 0,5 |
| 406 | SUELO | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 406A | Suelo Tipo A o B | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,1 | 0,1 |
| 406B | Suelo Tipo D | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 406C | Suelo Tipo E (1-3Pisos) | 0 | -0,2 | -0,4 | -0,3 | -0,2 | -0 | -0,2 | -0,1 | -0,1 | -0,2 | 0 | -0,2 | -0,1 | -0,2 | -0,2 | 0 | -0,1 |
| 406D | Tipo de suelo E (>3 Pisos) | -0,4 | -0,4 | -0,4 | -0,3 | -0,3 | NA | -0,3 | -0,1 | -0,1 | -0,3 | -0,1 | NA | -0,1 | -0,2 | -0,2 | 0 | NA |
| 407 | Puntaje Mínimo | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 1 |
| 408 | PUNTAJE FINAL NIVEL 1,SL1 > SMIN | | | | | | | | | | | | | | | | | 0,3 |

| 500 | GRADO DE REVISIÓN | 700 | ACCIÓN REQUERIDA: |
|-----|--|---|--|
| 501 | Exterior: | | |
| | <input type="checkbox"/> Parcial <input checked="" type="checkbox"/> Todos los Lados | | Requiere evaluación estructural detallada? |
| | | 701 <input type="checkbox"/> | Si, tipo de edificación FEMA desconocido u otro edificio |
| 502 | Interior: | | |
| | <input type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Visible | | 702 <input checked="" type="checkbox"/> Si, puntaje menor que el límite |
| | | 703 <input type="checkbox"/> | Si, otros peligros presentes |
| 503 | Planos revisados: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> | | 704 <input type="checkbox"/> NO |
| 504 | Fuente del Tipo de suelo: <u>Ensayo SPT</u> | | Evaluación no estructural detallada recomendada? (marque con una x) |
| | | 705 <input checked="" type="checkbox"/> | Si, peligros no estructurales identificados que deben ser evaluados |
| 505 | Fuente del Peligro Geológico: <u>Referencias bibliográficas</u> | | 706 <input type="checkbox"/> No, existen peligros no estructurales que requieren mitigación, pero no necesita una evaluación detallada |
| 506 | Personas de Contacto: _____ | | 707 <input type="checkbox"/> No, no se identifican peligros no |
| | Celular: _____ | | 708 <input type="checkbox"/> DNK= no conoce |
| | Correo: _____ | | |

Nota. Tomado de Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards, por FEMA P-154, 2015.

Figura 28

Otros riesgos interiores



Nota. Daños en la cubierta de la edificación.

Registro de formulario Nivel 2

El nivel dos es un formulario consecuente al nivel 1 y de carácter no obligatorio, sin embargo, las diferentes características explícitas en el mismo, dan una evaluación más detallada y organizada. Para empezar en este segundo nivel, se debe realizar previamente un reajuste de la calificación del nivel 1, con el cual se inicia el proceso de identificación de las irregularidades estructurales y no estructurales observadas, para finalmente obtener un nuevo índice de vulnerabilidad.

Figura 29

Paso 1. Plantilla del formulario 2 de FEMA P-154

| | | | | |
|--|--|---|--|---|
| Nombre de Bldg: | Puntuación de Nivel Final 1: | $S_{L1} = 0,3$ | <i>(no considere S_{MIN})</i> | |
| Inspector: Nicole Galarza, Johanna Pillajo | Modificadores de irregularidad de nivel 1: | <i>Irregularidad en Planta, $PL_1 =$</i> | -0,3 | <i>Irregularidad en Elevación $VL_1 =$</i> |
| Fecha/Hora: 08/11/22 10:15 am | PUNTUACIÓN DE LÍNEA DE BASE AJUSTADA: | $S' (S_{L1} - V_{L1} - P_{L1}) =$ | 0,9 | |

Nota. Tomado de *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards*, por FEMA P-154, 2015.

Figura 30

Paso 2. Plantilla del formulario 2 de FEMA P-154

| Instrucción (Si el enunciado es verdadero, encerrar el modificador "SI", de lo contrario tache el modificador.) | | Sí | Subtotales | |
|---|---|--|---------------------|---------------------|
| Sitio inclinado | Edificio W1: Hay al menos un piso completo con cambio de pendiente del suelo de un lado al otro del edificio. | -0,9 | V _{L2} = 0 | |
| | Edificio que no es W1: Hay al menos un piso completo con cambio de pendiente del suelo de un lado al otro del edificio. | -0,2 | | |
| Piso blandol y/o débil (círcule un máximo) | Edificio W1 muro atrofiado: Es visible a través del espacio de revisión un muro corto sin refuerzo. | -0,5 | | |
| | Casa W1 sobre garaje: Debajo de un piso ocupado, hay una garaje abierto sin un marco de momento de acero, y hay menos de 20cm de pared en la misma línea (para varios pisos ocupados por encima, utilizar 40cm de pared mínimo). | -0,9 | | |
| | Edificio W1A abierto frontalmente: Hay aberturas en la planta baja (por ejemplo, como un parqueadero) supera más del 50% del ancho total del edificio | -0,9 | | |
| | Edificio no W1: La longitud del sistema lateral en cualquier piso es menor al 50% del piso superior o la altura de cualquier piso 2,0 veces es mayor de la altura de piso anterior. | -0,7 | | |
| | Edificio no W1: La longitud del sistema lateral en cualquier piso está entre el 50% y el 75% la longitud del piso superior o la altura de cualquier piso es entre 1,3 y 2,0 veces la altura del piso superior. | -0,4 | | |
| Entradas | Los elementos verticales del sistema lateral situados en un piso superior están fuera del piso inferior causando un diafragma en voladizo en el desfase. | -0,7 | | |
| | Los elementos verticales del sistema lateral en un piso superior están situados en el interior del piso inferior. | -0,4 | | |
| | Hay un desfase en plano de los elementos laterales que es mayor que la longitud de los elementos. | -0,2 | | |
| Columna corta / Pilar Corto | C1, C2, C3, PC1, PC2, RM1, RM2: Al menos el 20% de las columnas (o pilares) a lo largo de una línea de columna en el sistema lateral tienen relaciones de altura/profundidad inferiores al 50% de la longitud nominal en ese nivel. | -0,4 | | |
| | C1, C2, C3, PC1, PC2, RM1, RM2: La altura de la columna (o pilar) es menor a la mitad de la altura del antepecho, o hay paredes de relleno o pisos adyacentes que acortan la columna. | -0,4 | | |
| Nivel dividido | Hay un nivel dividido en uno de los niveles del suelo o en el techo. | -0,4 | | |
| Otro | Hay otra irregularidad vertical grave observable que obviamente afecta el desempeño sísmico del edificio. | -0,7 | | |
| Irregularidad | Hay otra irregularidad vertical moderada observable que puede afectar el desempeño sísmico del edificio. | -0,4 | | |
| Irregularidad torsional: El sistema lateral no parece relativamente bien distribuido en planta en una o ambas direcciones. (No incluir la irregularidad frontal abierta W1A enumerada anteriormente.) | | -0,5 | | P _{L2} = 0 |
| Sistema no paralelo: Hay uno o más elementos verticales principales del sistema lateral que no son ortogonales entre sí. | | -0,2 | | |
| Esquina entrante: Ambas proyecciones de una esquina interior superan el 25% de la dimensión total en planta en esa dirección. | | -0,2 | | |
| Apertura del diafragma: Hay una abertura en el diafragma con un ancho mayor al 50% de la longitud total del diafragma en ese nivel. | | -0,2 | | |
| Edificio C1, C2 con desfase fuera del plano: Las vigas exteriores no se alinean con las columnas del plano. | | -0,2 | | |
| Otra irregularidad: Hay otra irregularidad en planta observable que obviamente afecta el desempeño sísmico del edificio. | | -0,5 | | |
| El edificio tiene al menos dos vanos de elementos laterales en cada lado del edificio en cada dirección. | | 0,2 | M = 0,2 | |
| El edificio está separado de una estructura adyacente en | Los pisos no se alinean verticalmente dentro del rango de 0.60m. | (Limite en la suma de modificadores de golpes en -0.9) | | -0,7 |
| | Un edificio es 2 o más pisos más alto que el otro. | | | -0,7 |
| El edificio está al final de la cuadra o filas del edificio | | | | -0,4 |
| Es visible una geometría de arriostramiento "K". | | | | -0,7 |
| La losa plana sirve como viga en el marco de momento. | | | | -0,3 |
| Hay amarres de techo a pared que son visibles o conocidos a partir de planos que no dependen de la flexión de | | | | 0,2 |
| El edificio tiene paredes interiores estrechamente espaciadas y de altura completa (en lugar de un espacio interior con pocas paredes, como en un almacén). | | | | 0,2 |
| Las paredes a dos aguas están presentes. | | | | -0,3 |
| Hay un sistema de refuerzo sísmico suplementario previsto entre el transporte y el suelo. | | | | 0,5 |
| El reacondicionamiento sísmico completo es visible o conocido a partir de planos | | | 1,2 | |
| NIVEL FINAL 2 SCORE, S_{L2} (S' + V_{L2} + P_{L2} + M) ≥ S_{MIN}: 0,9+0+0+0,2=1,1 | | | | |

Nota. Tomado de Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards, por FEMA P-154, 2015.

Figura 31

Paso 3. Plantilla del formulario 2 de FEMA P-154

| PELIGROS NO ESTRUCTURALES OBSERVABLES | | | |
|---------------------------------------|---|----|----|
| Ubicación | Declaración (Marque "Sí" o "No") | Sí | No |
| Exterior | Hay un parapeto de mampostería no reforzado o una chimenea de mampostería no reforzada sin anclaje | x | |
| | Hay revestimiento pesado o enchapado pesado. | | x |
| | Hay un pabellón pesado puertas de salida o pasarelas peatonales que parece insuficientemente apoyado. | | x |
| | Hay un apéndice de mampostería no reforzado sobre las puertas de salida o pasarelas peatonales. | | x |
| | Hay un letrero en el edificio que indica que hay materiales peligrosos. | | x |
| | Hay un edificio adyacente más alto con una pared URM anclado o un parapeto URM no anclado. | | x |
| | Otros peligros de caída no estructurales exteriores observados: | | x |
| Interior | Hay baldosas de arcilla hueca o tabiques de ladrillo en cualquier escalera o pasillo de salida. | | x |
| | Otro peligro de caída no estructural no estructural del interior observado: | x | |

Nota. Tomado de *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards*, por FEMA P-154, 2015.

Metodología de inspección visual FUNVISIS

Esta metodología se aplicará en la edificación patrimonial de la Academia de Guerra del Ejército Ecuatoriano, realizando cálculos para obtener el índice de priorización y continuar con un estudio de la estructura más detallado.

Dicho índice de priorización asocia índices de amenaza, de vulnerabilidad y de importancia, para esto, el procedimiento incorpora una planilla de inspección diseñada específicamente para recopilar datos sobre el desempeño sísmico de edificios, pautas de aplicación y recomendaciones para la digitalización y el procesamiento de la información (FUNVISIS, 2014) .

En esta sección se presentará los pasos a seguir para evaluar la edificación presentando un conjunto de ejemplos que ilustran la aplicación del procedimiento. Una vez

obtenidos los resultados se procede a interpretar los índices que permiten determinar el estado de vulnerabilidad de la estructura.

Figura 32

Plantilla de inspección de edificaciones según la metodología FUNVISIS

| PLANILLA DE INSPECCIÓN DE EDIFICACIONES (Características Sismorresistentes) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|---|-----------------------|--------------------------|--|--|--|---|------------------------|--------------------------|-------|--------------------------|-------|-------------------------------------|--|--------------------------|--|--------------------------|--|--------------------------|--|-------------------|--|
| 1. Datos generales | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.1 Fecha: | | | 1.2 Hora inicio: | | | 1.3 Hora culminación: | | | 1.4 Código: - | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. Datos de los participantes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Función | | Nombre y apellido | | | | Teléfono | | Correo electrónico | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.1 Inspector | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.2 Revisor | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.3 Supervisor | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. Datos del entrevistado | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.1 Relación con la Edif. | | | 3.2 Nombre y apellido | | | 3.3 Teléfono | | | 3.4 Correo electrónico | | | | | | | | | | | | | | |
| 4. Identificación y ubicación de la edificación | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.1 Nombre o N°: | | | | 4.2 N° de pisos: | | | | 4.3 N° de semi-sótanos: | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.4 N° de sótanos: | | | | 4.5 Estado: | | | | 4.6 Ciudad: | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.7 Municipio: | | | | 4.8 Parroquia: | | | | 4.9 Urb., Barrio: | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.10 Sector: | | | | 4.1 Calle, vereda: | | | | 4.12 Pto. de Referencia: | | | | | | | | | | | | | | | |
| Proy. UTM (REGVEN) | | | 4.13 Coord. X: | | | 4.14 Coord. Y: | | | 4.15 Huso: | | | | | | | | | | | | | | |
| 5. Uso de la edificación (marcar con "x", múltiples opciones) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | | Gubernamental | | <input type="checkbox"/> | | Militar | | <input type="checkbox"/> | | Médico-Asistencial | | <input type="checkbox"/> | | Industrial | | <input type="checkbox"/> | | Otro (Especifique) | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | | Bomberos | | <input type="checkbox"/> | | Vivienda Popular | | <input type="checkbox"/> | | Educativo | | <input type="checkbox"/> | | Comercial | | <input type="checkbox"/> | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | | Protección Civil | | <input type="checkbox"/> | | Vivienda Unifamiliar | | <input type="checkbox"/> | | Deportivo-Recreativo | | <input type="checkbox"/> | | Oficina | | <input type="checkbox"/> | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | | Policial | | <input type="checkbox"/> | | Vivienda Multifamiliar | | <input type="checkbox"/> | | Cultural | | <input type="checkbox"/> | | Religioso | | <input type="checkbox"/> | | | | | | | |
| 6. Capacidad de ocupación (rellenar y marcar con "x", múltiples opciones) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6.1 Número de personas que ocupan el inmueble: | | | | | | 6.2 Ocupación durante: | | | Mañana | | Tarde | | Noche | | | | | | | | | | |
| 7. Año de construcción (rellenar y marcar con "x", una opción) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Año: | | <input type="checkbox"/> | | Antes de 1939 | | <input type="checkbox"/> | | Entre 1940 y 1947 | | <input type="checkbox"/> | | Entre 1948 y 1955 | | <input type="checkbox"/> | | Entre 1956 y 1967 | | <input type="checkbox"/> | | | | | |
| | | <input type="checkbox"/> | | Entre 1968 y 1982 | | <input type="checkbox"/> | | Entre 1983 y 1998 | | <input type="checkbox"/> | | Entre 1999 y 2001 | | <input type="checkbox"/> | | Después de 2001 | | <input type="checkbox"/> | | | | | |
| 8. Condición del terreno (marcar con "x", una opción por pregunta) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8.1 Edificación en: | | <input type="checkbox"/> | | Planicie | | <input type="checkbox"/> | | 8.2 Pendiente del terreno: | | <input type="checkbox"/> | | 20°-45° | | <input type="checkbox"/> | | Mayor a 45° | | | | | | | |
| | | <input type="checkbox"/> | | Ladera | | <input type="checkbox"/> | | 8.3 Localizada sobre la mitad superior de la ladera: | | <input type="checkbox"/> | | Si | | <input type="checkbox"/> | | No | | | | | | | |
| | | <input type="checkbox"/> | | Base | | <input type="checkbox"/> | | 8.4 Pendiente del talud: | | <input type="checkbox"/> | | 20°-45° | | <input type="checkbox"/> | | Mayor a 45° | | | | | | | |
| 8.6 Drenajes: | | <input type="checkbox"/> | | SI | | <input type="checkbox"/> | | NO | | <input type="checkbox"/> | | Cima | | <input type="checkbox"/> | | 8.5 Pendiente del talud: | | <input type="checkbox"/> | | | | | |
| | | <input type="checkbox"/> | | Menor a H del talud | | <input type="checkbox"/> | | Mayor a H del Talud | | <input type="checkbox"/> | | | | | | | | | | | | | |
| 9. Tipo Estructural | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9.1 Marque con "x", múltiples opciones: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | | 1. Pórticos de concreto armado | | | | <input type="checkbox"/> | | 10. Sistemas cuyos elementos portantes sean muros de mampostería confinada. | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | | 2. Pórticos de concreto armado rellenos con paredes de bloques de arcilla o de concreto | | | | <input type="checkbox"/> | | 11. Sistemas cuyos elementos portantes sean muros de mampostería no confinada. | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | | 3. Muros de concreto armado en dos direcciones horizontales | | | | <input type="checkbox"/> | | 12. Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura no mayor a 2 pisos | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | | 4. Sistemas con muros de concreto armado de poco espesor, dispuestos en una sola dirección (algunos sist. tipo túnel) | | | | <input type="checkbox"/> | | 13. Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura mayor a 2 pisos. | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | | 5. Pórticos de acero | | | | <input type="checkbox"/> | | 14. Viviendas de bahareque de un piso | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | | 6. Pórticos de acero con perfiles tubulares | | | | <input type="checkbox"/> | | 15. Viviendas de construcción precaria (tierra, madera, zinc, et | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | | 7. Pórticos de acero diagonalizados | | | | <input type="checkbox"/> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | | 8. Pórticos de acero con cerchas | | | | <input type="checkbox"/> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | | 9. Sistemas pre-fabricados a base de grandes paneles o de pórticos. | | | | <input type="checkbox"/> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9.2 Indique el número del tipo estructural predominante: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10. Esquema de planta (marcar con "x") | | | | | | 11. Esquema de elevación (marcar con "x") | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | | "H" | | <input type="checkbox"/> | | "L" | | <input type="checkbox"/> | | Esbeltez horizontal | | <input type="checkbox"/> | | "T" | | <input type="checkbox"/> | | "U" | | <input type="checkbox"/> | | Esbeltez vertical | |
| <input type="checkbox"/> | | "T" | | <input type="checkbox"/> | | Cajón | | <input type="checkbox"/> | | Ninguno | | <input type="checkbox"/> | | Pirámide invertida | | <input type="checkbox"/> | | "L" | | <input type="checkbox"/> | | Ninguno | |
| <input type="checkbox"/> | | "U" ó "C" | | <input type="checkbox"/> | | Regular | | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> | | Piramidal | | <input checked="" type="checkbox"/> | | Rectangular | | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> | | | |

| 12. Irregularidades (marcar con "x", múltiples opciones) | | | | |
|--|--|--------------------------|--|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | 12.1 Ausencia de vigas altas en una o dos direcciones | <input type="checkbox"/> | 12.7 Aberturas significativas en losas | |
| <input type="checkbox"/> | 12.2 Ausencia de muros en una dirección | <input type="checkbox"/> | 12.8 Fuerte asimetría de masas o rigideces en planta | |
| <input type="checkbox"/> | 12.3 Estructura frágil | <input type="checkbox"/> | 12.9 Adosamiento: Losa contra losa | |
| <input type="checkbox"/> | 12.4 Presencia de al menos un entrepiso débil o blando | <input type="checkbox"/> | 12.10 Adosamiento: Losa contra columna | |
| <input type="checkbox"/> | 12.5 Presencia de columnas cortas | <input type="checkbox"/> | 12.11 Gran Separación entre edificios (cm): | |
| <input type="checkbox"/> | 12.6 Discontinuidad de ejes de columnas o paredes portantes | | | |
| 13. Grado de deterioro (marcar con "x", una opción por pregunta) | | | | |
| 13.1 | Est. de Concreto: Agrietamiento en elementos estructurales y/o corrosión en acero de refuerzo: | <input type="checkbox"/> | Ninguno | <input type="checkbox"/> |
| | | | Moderado | <input type="checkbox"/> |
| | | | | Severo |
| 13.2 | Est. de Acero: Corrosión en elementos de acero y/o deterioro de conexiones y/o pandeo: | <input type="checkbox"/> | Ninguno | <input type="checkbox"/> |
| | | | Moderado | <input type="checkbox"/> |
| | | | | Severo |
| 13.3 | Agrietamiento en paredes de relleno: | <input type="checkbox"/> | Ninguno | <input type="checkbox"/> |
| | | | Moderado | <input type="checkbox"/> |
| | | | | Severo |
| 13.4 | Estado general de mantenimiento: | <input type="checkbox"/> | Bueno | <input type="checkbox"/> |
| | | | Regular | <input type="checkbox"/> |
| | | | | Bajo |
| 14. Observaciones | | | | |
| | | | | |
| 14. Croquis de ubicación, fachada y planta | | | | |
| Croquis de ubicación | | Croquis de fachada | | |
| | | | | |
| Croquis de planta | | | | |
| | | | | |

Nota. Tomado de *Índices de Priorización de Edificios*, por FUNVISIS, 2014.

Registro de datos

Para que la información sea confiable, es necesario que el formulario sea llenado al mismo tiempo que se realiza la inspección.

- **Datos generales**, se introducen los datos de fecha y hora del momento de inspección.
- **Datos de los participantes**, se ubican datos e identificación del o los responsables de la inspección.
- **Datos del entrevistado**, se precisan datos de la persona a cargo de la edificación.
- **Identificación y ubicación de la edificación**, se detallan datos de la zona de estudio y número de pisos.

Figura 33

Paso 1. Plantilla del formulario de la FUNVISIS

| PLANILLA DE INSPECCIÓN DE EDIFICACIONES (Características Sismorresistentes) | | | |
|--|---|-------------------------|--------------------------|
| 1. Datos generales | | | |
| 1.1 Fecha: | 8/11/2022 | 1.2 Hora inicio: | 10:50 |
| 1.3 Hora culminación: | 11:30 | 1.4 Código: | - |
| 2. Datos de los participantes | | | |
| Función | Nombre y apellido | Teléfono | Correo electrónico |
| 2.1 Inspector | Johanna Gabriela Pillajo Pérez | 0994479607 | jgpillajo2@espe.edu.ec |
| | Krizia Nicole Galarza Peñafiel | 0991693129 | kngalarza@espe.edu.ec |
| 2.2 Revisor | | | |
| 2.3 Supervisor | | | |
| 2. Datos del entrevistado | | | |
| 3.1 Relación con la Edif. | 3.2 Nombre y apellido | 3.3 Teléfono | 3.4 Correo electrónico |
| Propio | | (02) 233-3940 | |
| 4. Identificación y ubicación de la edificación | | | |
| 4.1 Nombre o N°: | Academia de Guerra del Ejército Ecuatoriano | 4.2 N° de pisos: | 2 |
| 4.3 N° de semi-sótanos: | 0 | 4.4 N° de sótanos: | 0 |
| 4.4 Estado: | Ecuador | 4.5 Estado: | Ecuador |
| 4.6 Ciudad: | Quito | 4.6 Ciudad: | Quito |
| 4.7 Municipio: | GAD Rumiñahui | 4.8 Parroquia: | San Rafael |
| 4.9 Urb., Barrio: | San Blas | 4.9 Urb., Barrio: | San Blas |
| 4.10 Sector San Rafael | 4.1 Calle, vereda: | nriquez 2050 y Bahía de | 4.12 Pto. de Referencia: |
| Proy. UTM (REGVEN) | 4.13 Coord. X: | -0,3116 | 4.14 Coord. Y: |
| | | | -78,45067023 |
| | | | 4.15 Huso: |

Nota. Tomado de (FUNVISIS, 2014)

- **Uso de la edificación**, al ser una instalación del ejército ecuatoriano se selecciona uso militar *Índices de Priorización de Edificios*, por FUNVISIS, 2014.

- **Capacidad de ocupación**, se conoce que es ocupada por un máximo de 30 personas la mayor parte del día, seleccionando mañana, tarde y noche (ver Figura 34).
- **Año de construcción**, la estructura fue construida en 1960 lo que le da la denominación de edificación patrimonial, contando con más de 50 años de construcción.
- **Condición del terreno**, estas se presentan en la Figura 34

Figura 34

Paso 2. Plantilla del formulario de la FUNVISIS

| 5. Uso de la edificación (marcar con "x", múltiples opciones) | | | | | | | | | | |
|---|------------------|-------------------------------------|--|--|--|---|--|--|--|--|
| <input type="checkbox"/> | Gubernamental | <input checked="" type="checkbox"/> | Militar | <input type="checkbox"/> | Médico-Asistencial | <input type="checkbox"/> | Industrial | <input type="checkbox"/> | Otro (Especifique) | |
| <input type="checkbox"/> | Bomberos | <input type="checkbox"/> | Vivienda Popular | <input type="checkbox"/> | Educativo | <input type="checkbox"/> | Comercial | <input type="checkbox"/> | | |
| <input type="checkbox"/> | Protección Civil | <input type="checkbox"/> | Vivienda Unifamiliar | <input type="checkbox"/> | Deportivo-Recreativo | <input type="checkbox"/> | Oficina | <input type="checkbox"/> | | |
| <input type="checkbox"/> | Policial | <input type="checkbox"/> | Vivienda Multifamiliar | <input type="checkbox"/> | Cultural | <input type="checkbox"/> | Religioso | <input type="checkbox"/> | | |
| 6. Capacidad de ocupación (rellenar y marcar con "x", múltiples opciones) | | | | | | | | | | |
| 6.1 Número de personas que ocupan el inmueble | | | 30 | 6.2 Ocupación durante: | | | <input checked="" type="checkbox"/> Mañana | <input checked="" type="checkbox"/> Tarde | <input checked="" type="checkbox"/> Noche | |
| 7. Año de construcción (rellenar y marcar con "x", una opción) | | | | | | | | | | |
| Año: | | 1960 | <input type="checkbox"/> Antes de 1939 | <input type="checkbox"/> Entre 1940 y 1947 | <input type="checkbox"/> Entre 1948 y 1955 | <input checked="" type="checkbox"/> Entre 1956 y 1967 | <input type="checkbox"/> Entre 1968 y 1982 | <input type="checkbox"/> Entre 1983 y 1998 | <input type="checkbox"/> Entre 1999 y 2001 | <input type="checkbox"/> Después de 2001 |
| 8. Condición del terreno (marcar con "x", una opción por pregunta) | | | | | | | | | | |
| 8.1 | Edificación en: | <input checked="" type="checkbox"/> | Planicie | 8.2 Pendiente del terreno: | <input type="checkbox"/> | 20°-45° | 8.3 Localizada sobre la mitad superior de la ladera: | <input type="checkbox"/> | Mayor a 45° | |
| | | <input type="checkbox"/> | Ladera | | <input type="checkbox"/> | Si | | <input type="checkbox"/> | No | |
| 8.6 | Drenajes: | <input type="checkbox"/> | Base | 8.4 Pendiente del talud: | <input type="checkbox"/> | 20°-45° | 8.5 Pendiente del talud: | <input type="checkbox"/> | Mayor a 45° | |
| | | <input checked="" type="checkbox"/> | Cima | | <input type="checkbox"/> | Menor a H del talud | | <input type="checkbox"/> | Mayor a H del Talud | |

Nota. Tomado de *Índices de Priorización de Edificios*, por FUNVISIS, 2014.

- **Tipo estructural**, en el caso de la edificación patrimonial, se escoge la opción: sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción.

Tabla 4*Tipos de sistema estructural*

| Descripción | Código | |
|---|---------------|-------|
| Pórticos de concreto armado | 1 | PCA |
| Pórticos de concreto armado rellenos con paredes de bloques de arcilla o de concreto | 2 | PCAP |
| Muros de concreto armado en dos direcciones horizontales | 3 | MCA2D |
| Sistemas con muros de concreto armado de poco espesor, dispuestos en una sola dirección, como algunos sistemas del tipo túnel | 4 | MCA1D |
| Pórticos de acero | 5 | PA |
| Pórticos de acero con perfiles tubulares | 6 | PAPT |
| Pórticos de acero diagonalizados | 7 | PAD |
| Pórticos de acero con cerchas | 8 | PAC |
| Sistemas pre-fabricados a base de grandes paneles o de pórticos | 9 | PRE |
| Sistemas cuyos elementos portantes sean muros de mampostería confinada | 10 | MMC |
| Sistemas cuyos elementos portantes sean muros de mampostería no confinada | 11 | MMNC |
| Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura no mayor a 2 pisos | 12 | PMBCB |
| Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura mayor a 2 pisos | 13 | PMBCA |
| Viviendas de bahareque de un piso | 14 | VB |
| Viviendas de construcción precaria (tierra, madera, zinc, etc.) | 15 | VCP |

Nota. Recuperado de *Índices de Priorización de Edificios*, por FUNVISIS, 2014.

- **Esquema de planta y de elevación**, las irregularidades que presenta la estructura en estudio son tanto en elevación como en planta, debido a que, cuenta con una sección de 1 piso y el resto de esta es de 2 pisos y desde la perspectiva en planta no posee alguna irregularidad geométrica que esté dentro de las opciones que nos brinda la FUNVISIS, por lo que, se selecciona la opción ninguna.

Figura 35

Vista en planta de la Edificación Patrimonial 1



Figura 36

Paso 3. Plantilla del formulario de la FUNVISIS

| 9. Tipo Estructural | | | | | | | | | | | |
|--|---|--------------------------|---------|---|---|--------------------------|--------------------|-------------------------------------|-------------|--------------------------|-------------------|
| 9.1 Marque con "x", múltiples opciones: | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | 1. Pórticos de concreto armado | | | <input type="checkbox"/> | 10. Sistemas cuyos elementos portantes sean muros de mampostería confinada. | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | 2. Pórticos de concreto armado rellenos con paredes de bloques de arcilla o de concreto | | | <input type="checkbox"/> | 11. Sistemas cuyos elementos portantes sean muros de mampostería no confinada. | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | 3. Muros de concreto armado en dos direcciones horizontales | | | <input checked="" type="checkbox"/> | 12. Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura no mayor a 2 pisos | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | 4. Sistemas con muros de concreto armado de poco espeso dispuestos en una sola dirección (algunos sist. tipo túnel) | | | <input type="checkbox"/> | 13. Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura mayor a 2 pisos. | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | 5. Pórticos de acero | | | <input type="checkbox"/> | 14. Viviendas de bahareque de un piso | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | 6. Pórticos de acero con perfiles tubulares | | | <input type="checkbox"/> | 15. Viviendas de construcción precaria (tierra, madera, zinc, et | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | 7. Pórticos de acero diagonalizados | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | 8. Pórticos de acero con cerchas | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | 9. Sistemas pre-fabricados a base de grandes paneles o de pórticos. | | | | | | | | | | |
| 9.2 Indique el número del tipo estructural predominante: | | | | | | | | | | | |
| 10. Esquema de planta (marcar con "x") | | | | 11. Esquema de elevación (marcar con "x") | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | "H" | <input type="checkbox"/> | "L" | <input type="checkbox"/> | Esbeltez horizontal | <input type="checkbox"/> | "T" | <input type="checkbox"/> | "U" | <input type="checkbox"/> | Esbeltez vertical |
| <input type="checkbox"/> | "T" | <input type="checkbox"/> | Cajón | <input checked="" type="checkbox"/> | Ninguno | <input type="checkbox"/> | Pirámide invertida | <input type="checkbox"/> | "L" | <input type="checkbox"/> | Ninguno |
| <input type="checkbox"/> | "U" ó "C" | <input type="checkbox"/> | Regular | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> | Piramidal | <input checked="" type="checkbox"/> | Rectangular | <input type="checkbox"/> | |

Nota. Tomado de *Índices de Priorización de Edificios*, por FUNVISIS, 2014.

- **Irregularidades**, al ser un hito patrimonial cuenta con un sin número de irregularidades estructurales por adversidades como, la normativa aplicada del año de construcción que sin duda no es la adecuada para un país con tan alto riesgo sísmico como Ecuador y el uso de diferentes materiales inapropiados afectando su durabilidad y funcionalidad. Algunas de estas irregularidades son:

Figura 37

Fisuras en columnas



Figura 38

Vigas de madera que forman el techo de la estructura y conectan la sección de 1 piso con la sección de 2 pisos

**Figura 39**

Múltiples fisuras en el exterior de la instalación que dan paso a conocer de que material se compone



- **Grado de deterioro y observaciones**, como se puede observar en las figuras 37 y 39, la estructura presenta tipos de deterioro considerables y su mantenimiento es casi nulo, puesto que, al ser una edificación patrimonial esta no puede ser reconstruida de ninguna forma sino más bien se rehabilita o restaura en un grado mínimo el deterioro presentado. En cuanto a observaciones, se puede señalar comentarios y sugerencias respecto a la estructura que no sea evidente en el formulario.

Figura 40

Vista de fachadas de la edificación patrimonial 1



a)





b)



c)



d)

Nota. a) Fachada frontal; b) Fachada lateral izquierda; c) Fachada lateral derecha; d) Fachada posterior.

Figura 41

Paso 4. Plantilla del formulario de la FUNVISIS

| 12. Irregularidades (marcar con "x", múltiples opciones) | | | | | | | |
|--|--|-------------------------------------|--|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------|
| <input type="checkbox"/> | 12.1 Ausencia de vigas altas en una o dos direcciones | <input checked="" type="checkbox"/> | 12.7 Aberturas significativas en losas | | | | |
| <input type="checkbox"/> | 12.2 Ausencia de muros en una dirección | <input checked="" type="checkbox"/> | 12.8 Fuerte asimetría de masas o rigideces en planta | | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 12.3 Estructura frágil | <input type="checkbox"/> | 12.9 Adosamiento: Losa contra losa | | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 12.4 Presencia de al menos un entrepiso débil o blando | <input type="checkbox"/> | 12.10 Adosamiento: Losa contra columna | | | | |
| <input type="checkbox"/> | 12.5 Presencia de columnas cortas | <input type="checkbox"/> | 12.11 Gran Separación entre edificios (cm): | | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 12.6 Discontinuidad de ejes de columnas o paredes portantes | | | | | | |
| 13. Grado de deterioro (marcar con "x", una opción por pregunta) | | | | | | | |
| 13.1 | Est. de Concreto: Agrietamiento en elementos estructurales y/o corrosión en acero de refuerzo: | <input type="checkbox"/> | Ninguno | Moderado | <input type="checkbox"/> | Severo | |
| 13.2 | Est. de Acero: Corrosión en elementos de acero y/o deterioro de conexiones y/o pandeo: | <input type="checkbox"/> | Ninguno | Moderado | <input type="checkbox"/> | Severo | |
| 13.3 | Agrietamiento en paredes de relleno: | <input type="checkbox"/> | Ninguno | <input checked="" type="checkbox"/> | Moderado | <input type="checkbox"/> | Severo |
| 13.4 | Estado general de mantenimiento: | <input type="checkbox"/> | Bueno | <input type="checkbox"/> | Regular | <input checked="" type="checkbox"/> | Bajo |
| 14. Observaciones | | | | | | | |
| La estructura cuenta más de 60 años de construcción , además que ha sido remodelado únicamente de forma arquitectónica en el año 2016. | | | | | | | |

Nota. Tomado de *Índices de Priorización de Edificios*, por FUNVISIS, 2014.

- **Croquis de ubicación**, el software Google Earth, permitió reflejar la geometría de la edificación.

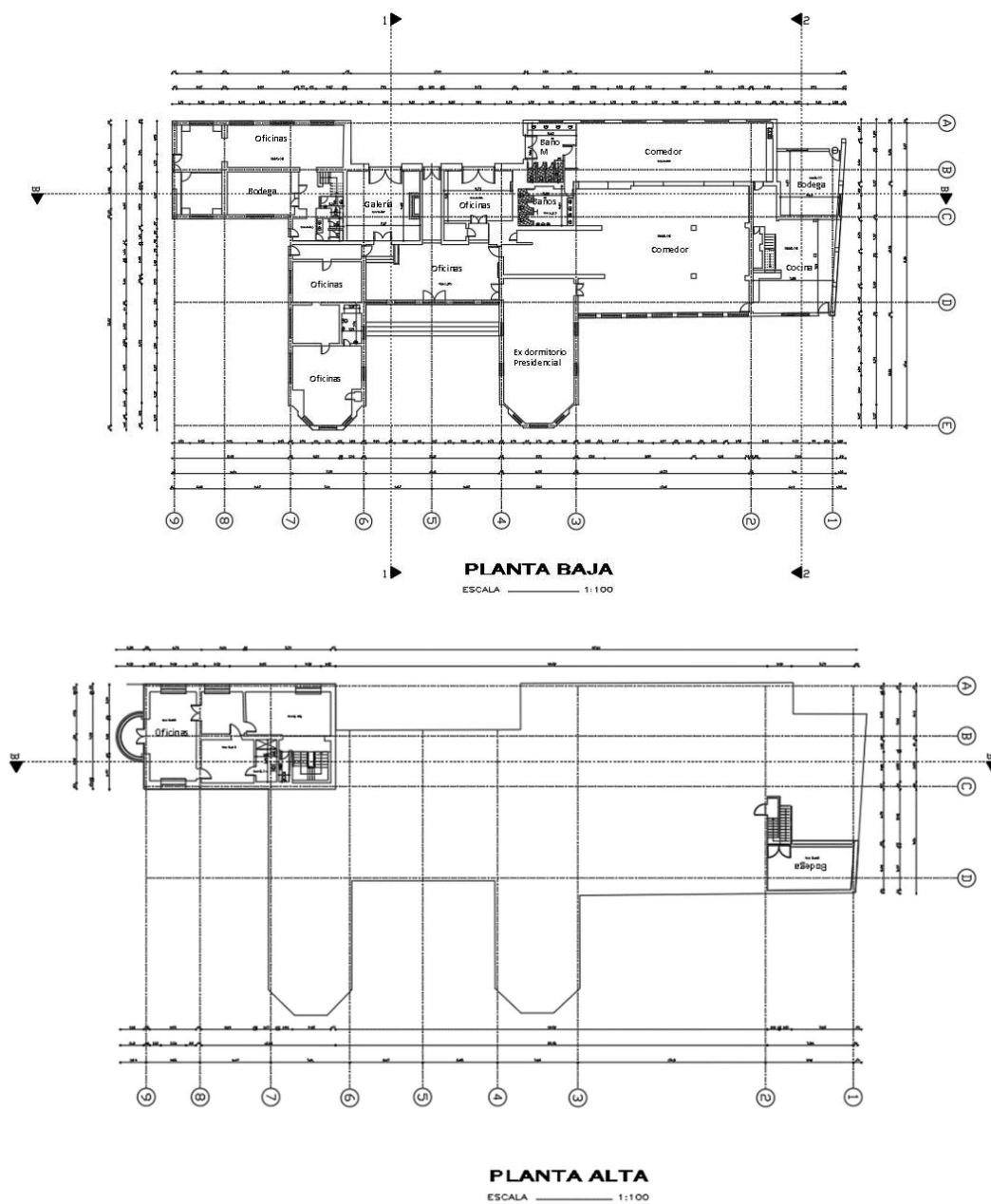
Figura 42

Croquis de ubicación de la edificación



- **Croquis de fachada y planta**, al presentar una gran irregularidad en cuanto a planta y elevación, se debe detallar las vistas de fachadas en cada orientación. Con la ayuda del software AutoCad se modelaron estos detalles de la edificación.

Figura 43

Vista en planta en AutoCad

Nota. Tomado de Restitución Geométrica 3D y modelación numérica de la edificación patrimonial 1 en la Academia de Guerra del Ejército - Fase Modelación Analítica, por Cabezas, Flores, Gualotuña & Guano, 2023, Repositorio Espe.

Figura 44

Fachadas en AutoCad



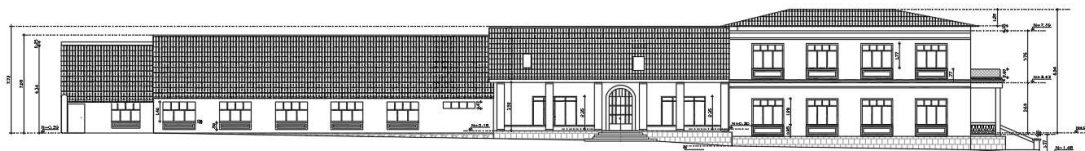
FACHADA POSTERIOR

ESCALA 1:100



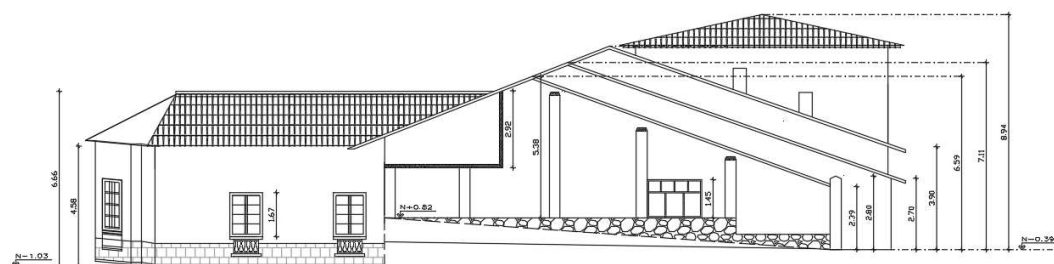
FACHADA LATERAL IZQUIERDA

ESCALA 1:100



FACHADA LATERAL DERECHA

ESCALA 1:100



FACHADA FRONTAL

ESCALA 1:100

Nota. Tomado de Restitución Geométrica 3D y modelación numérica de la edificación patrimonial 1 en la Academia de Guerra del Ejército - Fase Modelación Analítica, por Cabezas, Flores, Gualotuña & Guano, 2023, Repositorio Espe.

Procesamiento de datos

Gracias a los datos y la información recolectada de la estructura, la metodología FUNVISIS nos permite calcular el índice de vulnerabilidad y riesgo para determinar el nivel de priorización que se le debe dar a la edificación estudiada.

Índice de Priorización de Edificaciones

Los diversos factores que facilitan este cálculo son: ocupación de la estructura, edad, tipo estructural, número de pisos y grado de deterioro entre otras características básicas de la estructura.

El índice de priorización (I_p) se calcula a partir de la Ecuación 10:

$$I_p = I_A * I_V * I_I \quad (10)$$

Donde

I_A Índice de amenaza

I_V Índice de vulnerabilidad

I_I Índice de importancia

Índice de Riesgo (I_R)

Es el producto entre el índice de amenaza y el índice de vulnerabilidad, como se muestra en la Ecuación 11:

$$I_R = I_A * I_V \quad (11)$$

Índice de Amenaza (I_A)

Su valor se toma en base a la tabla que contiene los valores según la aceleración en roca (A_o) en 7 zonas sísmicas.

Tabla 5*Valores del índice de amenaza (I_A)*

| Zona | Peligro Sísmico | A_0 | I_A | |
|------|-----------------|-------|--------------------------|--------------------------|
| | | | Sin efectos topográficos | Con efectos topográficos |
| 7 | | 0,40 | 0,90 | 1,00 |
| 6 | Elevado | 0,35 | 0,80 | 0,88 |
| 5 | | 0,30 | 0,68 | 0,75 |
| 4 | Intermedio | 0,25 | 0,56 | 0,63 |
| 3 | | 0,20 | 0,45 | 0,50 |
| 2 | | 0,15 | 0,34 | 0,38 |
| 1 | Bajo | 0,10 | 0,23 | 0,25 |
| 0 | | - | 0,05 | 0,05 |

Nota. Recuperado de *Índices de Priorización de Edificios*, por FUNVISIS, 2014.

La edificación patrimonial 1 está construida en Sangolquí en el sector de San Rafael, donde la NEC-15 establece que se tiene un alto riesgo sísmico, por esta razón, se tomará la zona 7 con A_0 de 0,40; sin presentar efectos topográficos, puesto que, la edificación se encuentra en una zona plana. Entonces, $I_A = 0,90$.

Índice de Vulnerabilidad (I_V)

Dado la por Ecuación 12:

$$I_V = \sum_{i=1}^6 \alpha_i I_i \quad (12)$$

Donde

I_i Índice de vulnerabilidad específica

α_i Peso relativo, (ver Tabla 6)

Tabla 6

Valores del índice de amenaza (I_A)

| I_i | Vulnerabilidad asociada a: | α_i |
|-------|------------------------------|------------|
| I_1 | Antigüedad y norma utilizada | 0,25 |
| I_2 | Tipo estructural | 0,35 |
| I_3 | Irregularidad | 0,25 |
| I_4 | Profundidad del depósito | 0,07 |
| I_5 | Topografía y drenajes | 0,04 |
| I_6 | Grado de deterioro | 0,04 |

Nota. Recuperado de *Índices de Priorización de Edificios*, por FUNVISIS, 2014.

Cada uno de los índices I_i tienen un valor máximo de 100, por lo tanto, el índice de vulnerabilidad (I_v) no puede ser mayor a 100. A continuación se da valores a cada índice:

- **Índice de vulnerabilidad asociado a la antigüedad: I_1**

A través de los años, Ecuador ha ido renovando sus requisitos en cuanto a diseño sísmico de edificaciones, en consecuencia, se han tomado diferentes normativas para obtener nuestro propio código de construcción llamado Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC, aprobado en 2015.

Con lo que respecta al índice de vulnerabilidad asociado a la antigüedad, se han adoptado los valores para nuestro país de acuerdo con la Tabla 7.

Tabla 7

Valores del índice de vulnerabilidad asociado a la antigüedad adaptados para Ecuador (I_1)

| Año de construcción (t) | $t \leq 1977$ | $1977 < t \leq 2001$ | $2001 < t \leq 2015$ | $t > 2015$ |
|-------------------------|---------------|----------------------|----------------------|------------|
| I_1 | 100 | 70 | 15 | 10 |

Nota. Recuperado de *Vulnerabilidad estructural de cuatro edificaciones en el Campus Sangolquí de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*, por Lopez, Marcillo, Pilco & Villamizar, 2021, Repositorio Espe.

Como se ha ido mencionando, la edificación a evaluar es parte de un patrimonio cultural construido en el año 1960, en este sentido, el valor correspondiente al índice de vulnerabilidad asociado a la antigüedad $I_1 = 100$.

- **Índice de vulnerabilidad asociado al tipo estructural: I_2**

La metodología FUNVISIS nos permite escoger entre 15 tipos estructurales (Tabla 8).

Tabla 8

Valores del índice de vulnerabilidad asociado al tipo estructural (I_2)

| Descripción | | Identificación del Tipo estructural | I_2 |
|---|---|-------------------------------------|-------|
| Pórticos de concreto armado | | PCA | 25 |
| Pórticos de concreto armado rellenos con paredes de bloques de arcilla o de concreto | | PCAP | 40 |
| Muros de concreto armado en dos direcciones horizontales | | MCA2D | 10 |
| Sistemas con muros de concreto armado de poco espesor, dispuestos en una sola dirección, como algunos sistemas del tipo túnel | | MCA1D | 90 |
| Pórticos de acero | | PA | 40 |
| Pórticos de acero con perfiles tubulares | | PAPT | 60 |
| Pórticos de acero diagonalizados | | PAD | 20 |
| Pórticos de acero con cerchas | | PAC | 40 |
| Sistemas pre-fabricados a base de grandes paneles o de pórticos | | PRE | 90 |
| Sistemas cuyos elementos portantes sean muros de mampostería confinada | 0 | MMC | 70 |
| Sistemas cuyos elementos portantes sean muros de mampostería no confinada | 1 | MMNC | 100 |

| Descripción | | Identificación del Tipo estructural | I ₂ |
|---|---|-------------------------------------|----------------|
| Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura no mayor a 2 pisos | 2 | PMBCB | 90 |
| Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura mayor a 2 pisos | 3 | PMBCA | 95 |
| Viviendas de bahareque de un piso | 4 | VB | 90 |
| Viviendas de construcción precaria (tierra, madera, zinc, etc.) | 5 | VCP | 100 |

Nota. Recuperado de *Índices de Priorización de Edificios*, por FUNVISIS, 2014.

La edificación se ajusta a un sistema mixto de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura no mayor a 2 pisos, por eso, el valor del índice de vulnerabilidad asociado al tipo estructural I₂ = 90 con código PMBCB.

- **Índice de vulnerabilidad asociado a la irregularidad: I₃**

Este índice se calcula con la Ecuación 13:

$$I_3 = \sum_{j=1}^{11} I_{3j} \leq 100 \quad (13)$$

En la estructura pueden encontrarse tanto irregularidades geométricas como deficiencias estructurales que condicionen su desempeño. Los valores asignados a cada irregularidad son presentados en la Tabla 9.

Tabla 9

Valores del índice de vulnerabilidad asociado al tipo estructural (I_{3j})

| j | Descripción de la irregularidad | I_{3j} |
|----------|---|----------------------------|
| 1 | Ausencia de vigas altas en una o dos direcciones | 40 |
| 2 | Ausencia de muros en una dirección, como ocurre en algunos sistemas del tipo túnel | 80 |
| 3 | Edificios de carácter frágil, sin capacidad para disipar energía, como lo son las edificaciones de adobe o de paredes de bloques que no poseen refuerzo metálico interior ni elementos de confinamiento (columnas, vigas de corona) | 100 |
| 4 | Presencia de al menos un entrepiso blando o débil | 50 |
| 5 | Presencia de columnas cortas | 30 |
| 6 | Discontinuidad de ejes de columnas o paredes portantes | 30 |
| 7 | Aberturas significativas en losas | 10 |
| 8 | Fuerte asimetría de masas o rigideces en planta o esquemas de elevación del tipo L | 20 |
| 9 | Adosamiento a edificio adyacente: | |
| | (a) Losa contra losa | 10 |
| | (b) Losa contra columna | 20 |
| 10 | Planta de forma I, H, T, U, C o similar, sin presencia de juntas, o esbeltez excesiva horizontal | 10 |
| 11 | Masas que crecen significativamente con la elevación (Tipo T o pirámide invertida) o esbeltez excesiva vertical | 10 |

Nota. Recuperado de *Índices de Priorización de Edificios*, por FUNVISIS, 2014.

La estructura presenta diversos tipos de irregularidades entre estos; edificios de carácter frágil, presencia de un entrepiso débil, discontinuidad de ejes de columnas, abertura significativa en losas y fuerte asimetría en planta. Entonces, $I_{3j} = 100+50+30+10+20 = 210$, sin embargo, se mencionó que estos valores de índices no deben ser mayores a 100, de modo que, se toma el máximo valor de $I_{3j} = 100$.

- **Índice de vulnerabilidad asociado a la profundidad del depósito: I_4**

Este índice toma un valor para edificaciones con un número de pisos mayor a seis cimentadas sobre sedimentos de profundidad considerable (FUNVISIS, 2014). En caso de no identificar a la estructura con estas características se selecciona la opción “otros casos” que toma un valor de $I_4 = 0$.

Tabla 10

Valores del índice de vulnerabilidad asociado a la profundidad del depósito (I_4)

| Situaciones de aplicación | I_4 |
|---|-------------------------|
| Edificios con un número de pisos mayor que 6 pisos y localizados en depósitos de sedimentos de profundidad mayor a 120 metros | 100 |
| Otros casos | 0 |

Nota. Recuperado de *Índices de Priorización de Edificios*, por FUNVISIS, 2014.

De acuerdo al número de pisos que posee la Edificación patrimonial 1, teniendo la sección 1 de un piso y la sección 2 de dos pisos, se toma instantáneamente la opción “otros casos” con $I_4 = 0$.

- **Índice de vulnerabilidad asociado a la topografía y drenajes: I_5**

El siguiente índice se asocia la ubicación de la edificación y si se encuentra construida en laderas o cerca a estas. Así mismo, si la edificación cuenta con drenajes de agua.

En la Tabla 11 se detallan los valores de I_5 asociados al ángulo de inclinación y altura de la ladera que se plasma en la Figura 45.

Tabla 11

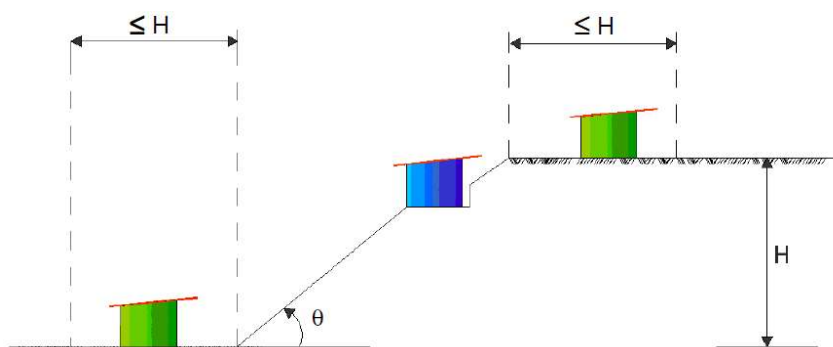
Valores del índice de vulnerabilidad asociado a la topografía y drenajes (I_5)

| | | Características | I_5 |
|---------------------------------|---|-------------------------------|-------|
| Construcción sobre planicie | | | 0 |
| Localización de la construcción | Construcción sobre ladera con pendiente de | Entre 20° y 45° | 50 |
| | ángulo θ dada por: | $\geq 45^\circ$ | 80 |
| | Construcción sobre la cima o en la base de la ladera de pendiente $\theta \geq 20^\circ$, a una distancia D: | Menor o igual a H | 80 |
| | | Mayor a H | 0 |
| Existencia de drenajes | | Si | 0 |
| | | No | 20 |

Nota. Recuperado de *Índices de Priorización de Edificios*, por FUNVISIS, 2014.

Figura 45

Construcciones considerando vulnerabilidad asociada a la topografía (I_5)



Nota. Tomado de *Índices de Priorización de Edificios*, por FUNVISIS, 2014.

La estructura no cuenta con drenajes ni está construida sobre laderas o cercana a estas, por lo que se ha considerado que es una construcción en planicie. Por consiguiente, el valor del índice de vulnerabilidad asociado a la topografía y drenajes es de $I_5 = 0$ (construcción en planicie) + 20 (No posee drenajes); $I_5 = 20$.

- **Índice de vulnerabilidad asociado al grado de deterioro: I_6**

Existen diferentes grados de deterioro detallados en la Tabla 12:

Tabla 12

Valores del índice de vulnerabilidad asociado al grado de deterioro (I_6)

| Componente | Grado de deterioro | | I_6 |
|------------|---|----------|-------|
| Estructura | (a) Estructura de concreto: Agrietamiento en elementos estructurales de concreto armado | Severo | 70 |
| | | Moderado | 35 |
| | (b) Estructura de acero: Corrosión en elementos de acero y/o deterioro de conexiones y/o pandeo de elementos | Ninguno | 0 |
| | | Severo | 70 |
| Paredes | Arietamiento en paredes de relleno | Moderado | 35 |
| | | Ninguno | 0 |
| | | Severo | 20 |
| Todos | Estado general de mantenimiento | Bajo | 10 |
| | | Regular | 5 |
| | | Bueno | 0 |

Nota. Recuperado de *Índices de Priorización de Edificios*, por FUNVISIS, 2014.

Al ser una estructura con más de 50 años de antigüedad, presenta considerables tipos de deterioro principalmente en paredes y a través de los años se han ido dando restauraciones mínimas solo a las fachadas, pero debido a las condiciones climáticas y el material original de construcción esta no conserva su estructura completamente íntegra. Por consecuencia, el estado de mantenimiento es bajo, adoptando un valor $I_6 = 10$ (agrietamiento en paredes de relleno moderado) + 10 (estado general de mantenimiento bajo); $I_6 = 20$.

Resumen Índice de vulnerabilidad

Tabla 13

Cálculo del índice de vulnerabilidad (I_v)

| Vulnerabilidad asociada a: | I_i | α_i | $I_i * \alpha_i$ |
|-----------------------------------|-------|------------|------------------|
| Antigüedad y norma utilizada | I_1 | 100 | 0,25 25,00 |
| Tipo estructural | I_2 | 90 | 0,35 31,50 |
| Irregularidad | I_3 | 100 | 0,25 25,00 |
| Profundidad del depósito | I_4 | 0 | 0,07 0,00 |
| Topografía y drenajes | I_5 | 20 | 0,04 0,80 |
| Grado de deterioro | I_6 | 20 | 0,04 0,80 |
| | I_v | | 83,10 |

Nota. Valor total del índice de vulnerabilidad.

Índice de importancia (I_i)

En la Tabla 14 se presentan 3 grupos, que priorizan el uso y el número de ocupantes de la edificación.

Tabla 14

Clasificación según el uso del edificio

| Grupo | Uso de Edificio |
|--------------|---|
| A1 | Hospitales y centros de salud, estaciones de bomberos y de protección civil. |
| A2 | Cuarteles de policía, edificios de asiento del gobierno local, regional o nacional, edificios educacionales, construcciones patrimoniales valor excepcional, centrales eléctricas, subestaciones de alto voltaje y de telecomunicaciones, plantas de bombeo, depósitos de materias tóxicas o explosivas y centros que utilicen materiales radioactivos, torres de control, centros de tráfico aéreo. Edificaciones que albergan instalaciones esenciales, de funcionamiento vital en condiciones de emergencia o cuya falla pueda dar lugar a cuantiosas pérdidas económicas. Edificios que contienen objetos de valor excepcional, como ciertos museos y |

| Grupo | Uso de Edificio |
|-------|---|
| | bibliotecas. Edificaciones que puedan poner en peligro algunas de las de los Grupos A1 y A2. |
| A3 | Todas aquellas edificaciones no contenidas en los grupos A1 y A2 tales como viviendas, edificios de apartamentos, de oficinas, comerciales, hoteles, bancos, restaurantes, cines, teatros, almacenes y depósitos. |

Nota. Recuperado de *Índices de Priorización de Edificios*, por FUNVISIS, 2014.

Tabla 15

Valores del índice de importancia (I_i)

| Uso del edificio | N ≤ 10 | 10 < N ≤ 100 | 100 < N ≤ 500 | 500 < N ≤ 1000 | N > 1000 |
|------------------|--------|--------------|---------------|----------------|----------|
| A1 | 0,90 | 0,92 | 0,95 | 0,97 | 1 |
| A2 | 0,85 | 0,87 | 0,90 | 0,93 | 0,95 |
| A3 | 0,80 | 0,82 | 0,85 | 0,87 | 0,90 |

Nota. Recuperado de *Índices de Priorización de Edificios*, por FUNVISIS, 2014.

La estructura se encuentra dentro del grupo A2 por ser una construcción patrimonial de valor excepcional, capaz de albergar a un máximo de 30 personas. Se acoje un valor de Índice de importancia $I_i = 0,87$.

Metodología GEM

La Taxonomía GEM crea varios sistemas de clasificación, cada uno con un propósito a servir. Más allá de desarrollar la taxonomía de edificios, esta metodología proporciona una corta descripción general de los tipos de estructura a nivel mundial y cuán complejo es este requerimiento, lo cual lo hace amigable con el usuario, flexible, permitiendo una recopilación de información detallada disponible.

La visión de la GEM building taxonomy “Es crear un único código descriptivo para un edificio o tipología de edificio, algo así como un código genético” (Scawthorn, y otros, 2013).

Este código está determinado por una serie de características, cada una hace referencia al tipo de estructura analizada la cual afecta en el desempeño sísmico de la misma, con todos estos diferentes atributos se genera una descripción explícita de la edificación.

Para la presente investigación se recopiló información de la estructura mediante la plataforma "OPENQUAKE", la cual nos proporciona un listado de opciones a escoger según la tipología de la estructura basadas en la taxonomía GEM, para de tal manera obtener un código único de la edificación analizada.

Como primer paso en la plataforma OPENQUAKE se determina el tipo de material visualizado en la estructura en las dos direcciones a analizar, definiendo así que su sistema constructivo es de ladrillo, por tanto, es no dúctil, ya que no es capaz de deformarse plásticamente sin llegar a la ruptura y además es muy susceptible a las cargas laterales.

Figura 46

Paso 1. Plataforma OPENQUAKE

The screenshot displays the 'Introducción' (Introduction) tab of the OPENQUAKE platform. The interface is organized into several sections:

- Navigation:** A top bar with tabs for 'Sistema estructural', 'Información del edificio', 'Atributos exteriores', 'Techo/Piso/Cimiento', 'Introducción' (active), and 'Haz clic y ayuda'.
- Direction Selection:** Radio buttons for 'Dirección X', 'Dirección Y', and a checked option 'Usar los mismos parámetros en ambas direcciones'.
- Direction Specification:** Radio buttons for 'dirección no especificada' (selected) and 'Paralelo a la calle'.
- Material of the lateral load resisting system:**
 - 'Tipo de material:' dropdown menu set to 'Masonry, unreinforced'.
 - 'Tecnología de materiales:' dropdown menu set to 'Fired clay solid bricks'.
 - 'Propiedades materiales:' dropdown menu set to 'Mud mortar'.
 - 'Tecnología de materiales (adicional):' empty dropdown menu.
- Lateral Load Resisting System:**
 - 'Tipo de sistema resistente a cargas laterales:' dropdown menu set to 'Post and beam'.
 - 'Ductilidad del sistema:' dropdown menu set to 'Non-ductile'.
- Taxonomy Chain:** A text box containing the GEM taxonomy code: 'DX/MUR+CLBRS+MOM/LPB+DNO/DY/MUR+CLBRS+MOM/LPB+DNO/HBET:1,2+HBEX:0+HFEX:3.63+HD:3/YAPP:1960/C'.
- Taxonomy Type:** A dropdown menu set to 'Omitir desconocido', with links for 'Enlace permanente' and 'Explicación'.

Por consiguiente, se detalla el año de construcción de la estructura, el número de pisos, la pendiente del terreno y su ocupación basándonos en el levantamiento en campo de la edificación y la inspección visual, para detallar de manera más precisa las características de la estructura.

Figura 47

Paso 2. Plataforma OPENQUAKE

| Sistema estructural | Información del edificio | Atributos exteriores | Techo/Piso/Cimiento | Introducción | Haz clic y ayuda |
|--|--------------------------|----------------------|---|--------------|------------------|
| Altura: | | | | | |
| Número de plantas sobre rasante: | | | Número de plantas bajo rasante: | | |
| Range of the number of storeys | | | Exact number of storeys | | |
| 1 2 | | | 0 | | |
| Altura de la planta baja sobre rasante (m): | | | Pendiente del terreno (grados): | | |
| Exact height above grade | | | Slope of the ground | | |
| 3.63 | | | 3 | | |
| Fecha: | | | | | |
| Fecha de construcción o modernización (aaaa): | | | | | |
| Approximate date of constructic | | | 1960 | | |
| Ocupación: | | | | | |
| Tipo de ocupación del edificio - general: | | | Tipo de ocupación del edificio - detalle: | | |
| Government | | | Government, general services | | |
| Cadena de taxonomía para esta tipología de edificio: | | | | | |
| DX/MUR+CLBRS+MOM/LPB+DNO/DY/MUR+CLBRS+MOM/LPB+DNO/HBET:1,2+HBEX:0+HFEX:3.63+HD:3/YAPP:1960/C | | | | | |
| Tipo de taxonomía: Omitir desconocido | | | Enlace permanente Explicación | | |

Se describen los atributos exteriores de la estructura, como las irregularidades en planta y en elevación, el posicionamiento de la estructura dentro de la zona, es decir, no existe estructuras adyacentes a la de análisis y el tipo de material de las paredes exteriores, las cuales están elaboradas con tierra amasada.

Figura 48

Posicionamiento de la estructura en la zona

**Figura 49**

Diferencia de nivel entre piso 1 y 2



Figura 50

Paso 3. Plataforma OPENQUAKE

| Sistema estructural | Información del edificio | Atributos exteriores | Techo/Piso/Cimiento | Introducción | Haz clic y ayuda |
|---|--------------------------|---|---|--------------|------------------|
| Posición del edificio dentro de un bloque: Posición: <input type="text" value="Detached building"/> | | Forma del plan de construcción: Forma del plano: <input type="text" value="Irregular plan shape"/> | | | |
| Irregularidad estructural: Tipo de irregularidad: <input type="text" value="Irregular structure"/> | | | | | |
| Plan irregularidad estructural - primaria: <input type="text" value="Re-entrant corner"/> | | | Plano de irregularidad estructural - secundaria: <input type="text" value="Re-entrant corner"/> | | |
| Irregularidad estructural vertical - primaria: <input type="text" value="Change in vertical structure"/> | | | Irregularidad estructural vertical - secundaria: <input type="text" value="Change in vertical structure"/> | | |
| Paredes exteriores: Material de las paredes exteriores: <input type="text" value="Earthen exterior walls"/> | | | | | |
| Cadena de taxonomía para esta tipología de edificio: <input type="text" value="DX/MUR+CLBRS+MOM/LPB+DNO/DY/MUR+CLBRS+MOM/LPB+DNO/HBET:1,2+HBEX:0+HFEX:3,63+HD:3/YAPP:1960/C"/> | | | | | |
| Tipo de taxonomía: <input type="text" value="Omitir desconocido"/> Enlace permanente Explicación | | | | | |

Se analiza el cubrero de la estructura, se tiene un techo a 4 aguas, con vigas de madera (Eucalipto) el cual es un material de clase C que no debería ser usado para sistemas estructurales y con revestimiento de teja, además se describe la cimentación no resistente a cargas laterales.

Figura 51*Material del techo de la estructura***Figura 52***Paso 4. Plataforma OPENQUAKE*

| Sistema estructural | Información del edificio | Atributos exteriores | Techo/Piso/Cimiento | Introducción | Haz clic y ayuda |
|--|--------------------------|-----------------------------------|---|--------------------------------|------------------|
| Techo: | | | | | |
| Forma del techo: | | Revestimiento de techo: | | Material del sistema de techo: | |
| Pitched and hipped | | Clay or concrete tile roof coveri | | Roof material, other | |
| Tipo de sistema de techo: | | | Conexiones de techo: | | |
| | | | Roof-wall diaphragm connection present | | |
| Piso: | | | | | |
| Material del sistema de suelo: | | | | | |
| Floor material, other | | | | | |
| Tipo de sistema de suelo: | | | Conexiones de suelo: | | |
| | | | Floor-wall diaphragm connection present | | |
| Base: | | | | | |
| Sistema de cimentación: | | | | | |
| Deep foundation, with no lateral capacity | | | | | |
| Cadena de taxonomía para esta tipología de edificio: | | | | | |
| DX/MUR+CLBRS+MOM/LPB+DNO/DY/MUR+CLBRS+MOM/LPB+DNO/HBET:1,2+HBEX:0+HFEX:3.63+HD:3/YAPP:1960/C | | | | | |
| Tipo de taxonomía: Omitir desconocido | | | | | |
| Enlace permanente Explicación | | | | | |

Ensayos exploratorios-Método indirecto

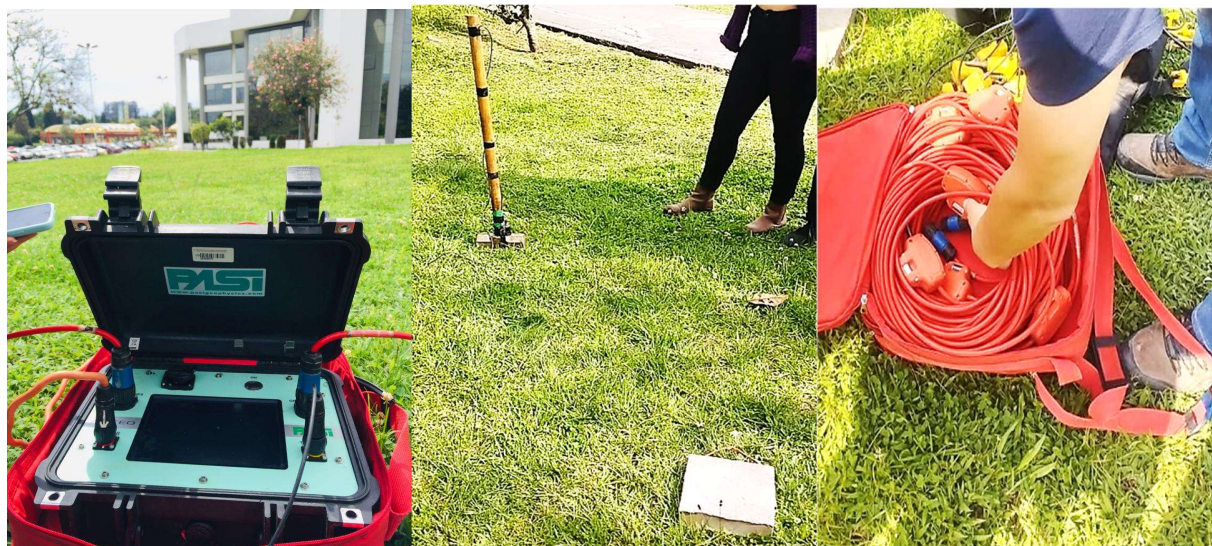
Refracción sísmica

Este ensayo cumple con lo impuesto por la norma ASTM D5777 (Guía estándar para el uso del método de refracción sísmica para la investigación del subsuelo), con el objetivo de evaluar el estado del suelo en el área de ubicación de la estructura, permitiendo obtener la velocidad de onda de corte a los primeros 30 metros de profundidad.

Se efectuaron 3 ensayos, 1 en la noche y 2 en la mañana con 2 líneas en sentido longitudinal, puesto que, era necesario rodear la estructura por su dimensión con la intención de comparar los resultados finales y clasificar eficazmente el suelo en estudio. El tanteo de la segunda línea se detalla a continuación.

Materiales, equipos e insumos

- Sismógrafo
- Martillo actuando como fuente de energía sísmica
- Cables de geófono
- Geófonos
- Cable de extensión para el martillo
- Placa de metal

Figura 53*Herramientas usadas en el ensayo de refracción sísmica*

a)

b)

c)



d)

e)

Nota. a) Sismógrafo; b) Martillo, placa de metal; c) Cables de geófono; d) Geófonos; e) Cable de extensión para martillo.

Procedimiento

Es necesario definir el método de interpretación puesto que, existen para superficies planas y no planas, en este estudio se empleará el primer método ya que la zona de

construcción no presenta irregularidades. Se ha definido la utilización de 12 geófonos con una separación de 5 metros dejando una línea de refracción de 55 metros, la alineación de los geófonos debe ser la correcta en el mismo sentido y conectados al cable de geófonos.

Figura 54

Alineación de geófonos para realizar ensayo



Al sismógrafo colocado en la mitad de la línea de refracción, se conectan los cables del geófono, la extensión del martillo y la batería como fuente de energía como se muestra en la Figura 55.

Figura 55

Equipo conectado para realizar el ensayo



- **Método Activo**

Se coloca la placa de metal entre la separación de geófonos para después golpear la placa con el martillo, produciendo una onda que transmite señales o lecturas de los golpes, para posteriormente ser registradas en la unidad de adquisición de datos del sismógrafo.

Figura 56

Refracción sísmica: Método activo



Nota. Se llevó un registro de 2 golpes en la placa por separación entre geófonos.

- **Método Pasivo**

Se toman medidas pasivas con el mismo equipo conectado debidamente son la excepción de que no se ejecutan golpes ni otro tipo de fuentes de energía externas.

Figura 57

Refracción sísmica: Método pasivo



Nota. Método pasivo realizado en la mañana y noche.

Procesamiento de datos

El procesamiento de datos se lleva a cabo con el software SeisImager, que permite ingresar los datos recolectados del método pasivo, activo e incluso hacer una combinación de ambos a fin de obtener las ondas de corte (V_{S30}) del suelo.

Después de la toma de datos de las 3 líneas sísmicas realizadas alrededor de la edificación, se obtuvieron valores similares por lo que se presentarán los resultados de la línea sísmica 2.

- **Método activo**

Tabla 16

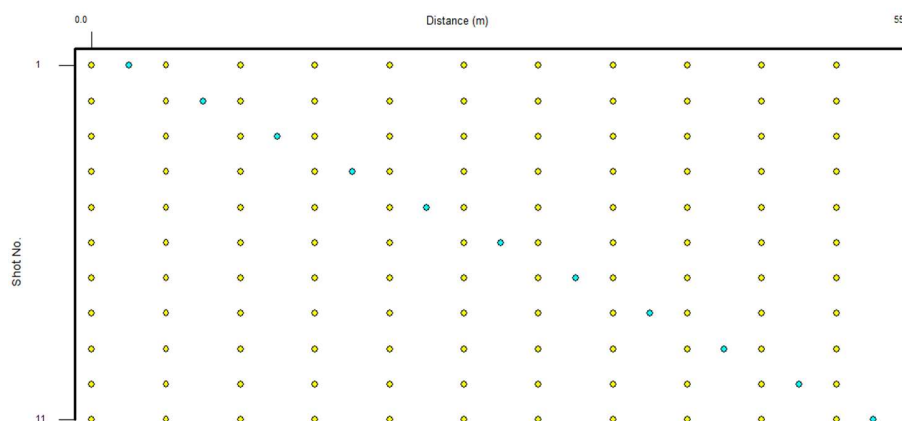
Registro de golpes en cada línea

| # Golpes | Distancia entre geófonos (m) |
|----------|------------------------------|
| 2 | 0 |
| | 5,00 |
| | 10,00 |
| 2 | 15,00 |
| | 20,00 |
| 2 | 25,00 |
| | 30,00 |
| 2 | 35,00 |
| | 40,00 |
| 2 | 45,00 |
| | 50,00 |
| 2 | 55,00 |

Nota. Datos ingresados del ensayo realizado en campo.

Figura 58

Geometría de la línea de refracción

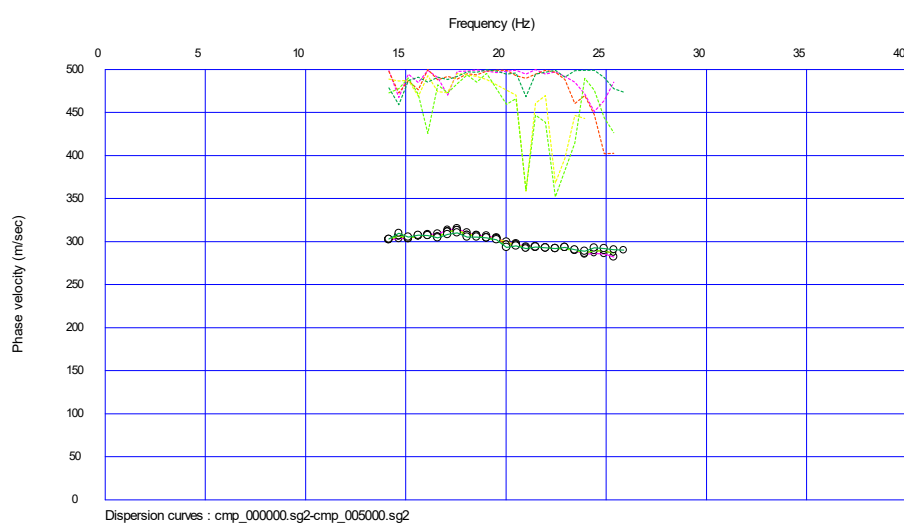


Nota. Los puntos de color celeste simbolizan la ubicación del golpe con el martillo.

En la Figura 59, se observa la curva de frecuencia vs velocidad de fase delimitada por la frecuencia de geófonos de 4,5 Hz que a través de transformadas de Fourier da como resultado velocidades de onda de corte.

Figura 59

Curva de Frecuencia (Hz) vs Velocidad de fase (m/s)



Nota. Frecuencia de los geófonos utilizados: 4,5 Hz.

A continuación, se tiene la velocidad de onda de corte en función de la profundidad, que dará como respuesta el valor de $V_{s30} = 316,30$ m/s (Figura 60), y la estratigrafía de la zona de estudio representado por un diagrama de velocidades de corte vs profundidad.

Figura 60

Diagrama de Velocidad de ondas de corte (m/s) vs Profundidad (m)

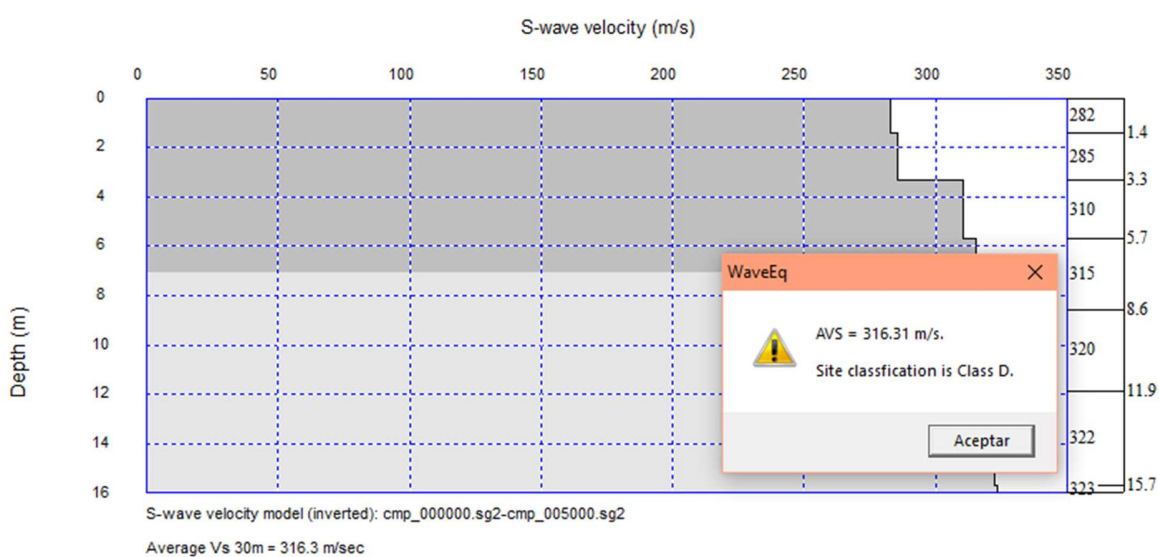
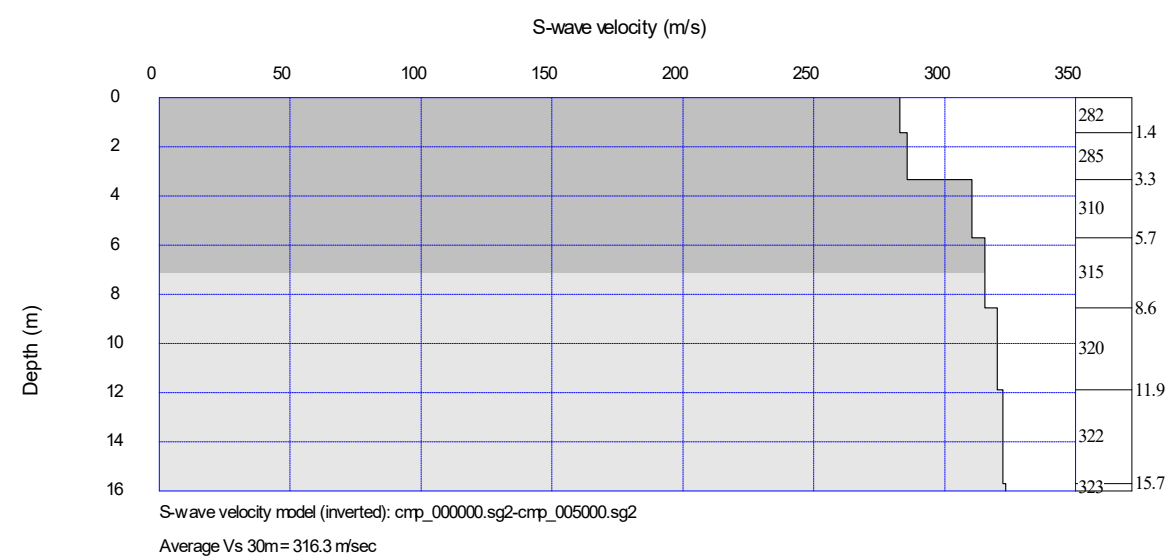
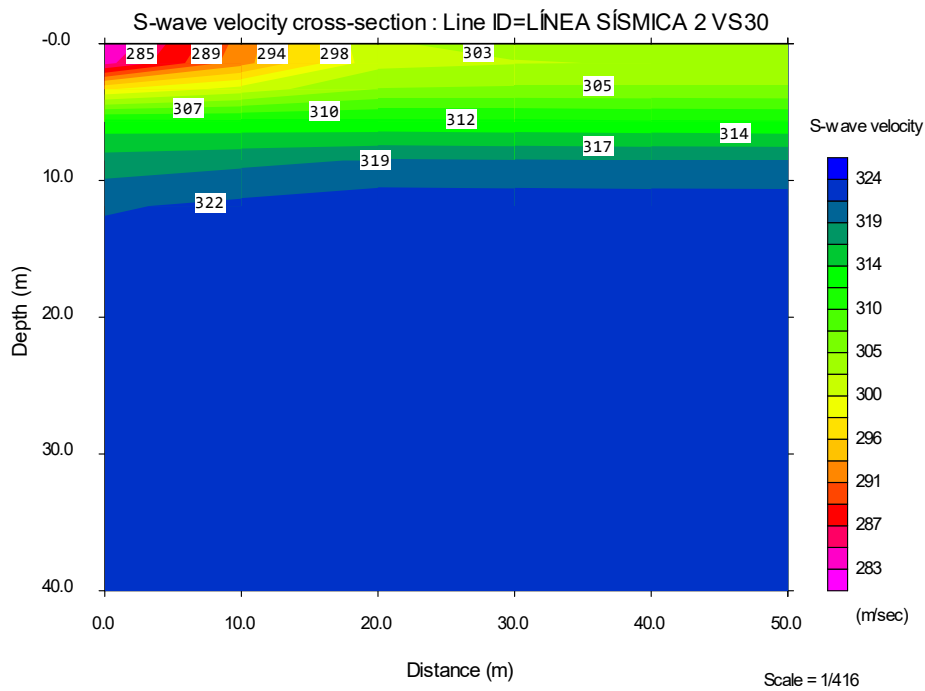


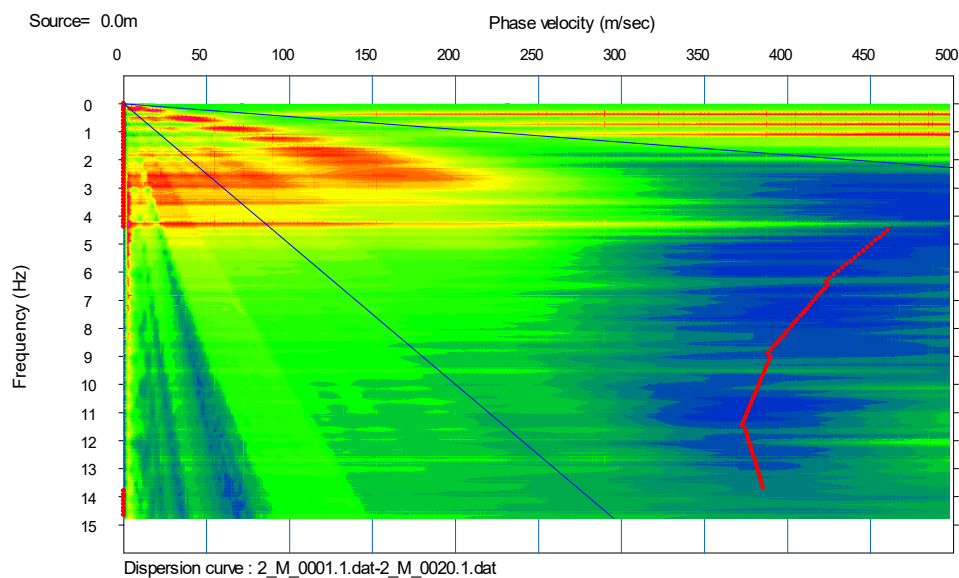
Figura 61*Estratigrafía del área de estudio*

- **Método pasivo**

Este método se presenta la curva de dispersión (Figura 62) formada por puntos de color rojo que representan la mayor concentración de energía empleada en el análisis.

Figura 62

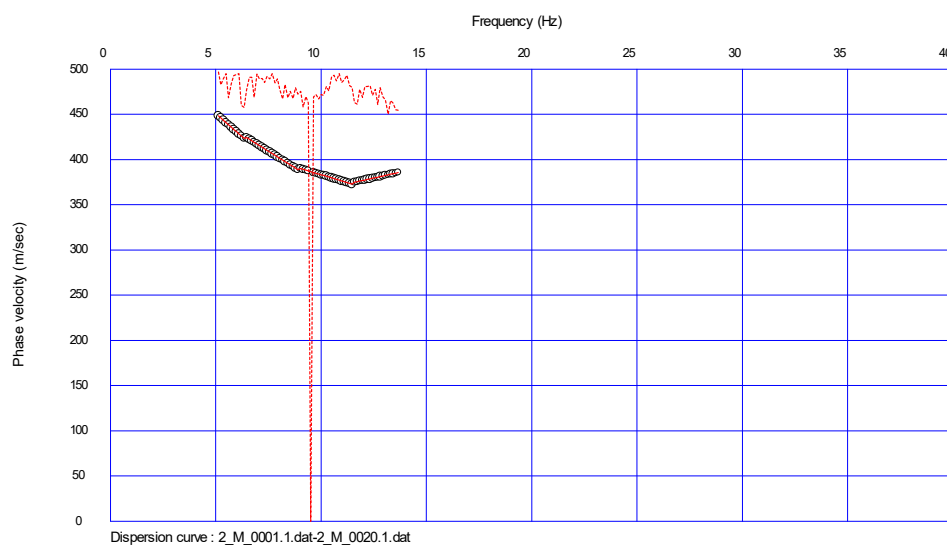
Curva de dispersión



Nota. Frecuencia de los geófonos utilizados: 4,5 Hz.

Figura 63

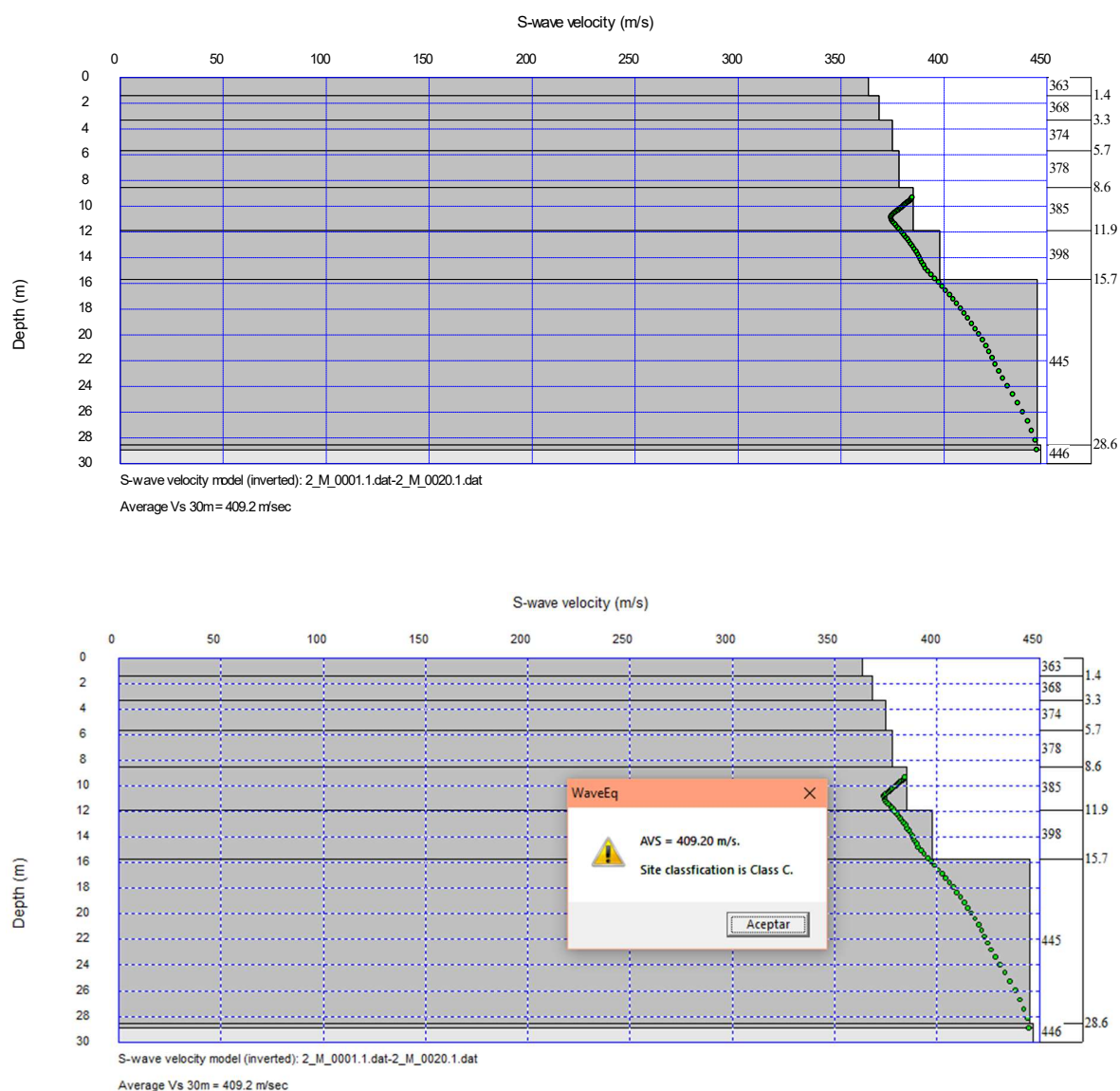
Curva de Frecuencia (Hz) vs Velocidad de fase (m/s)



Finalmente, se obtiene el diagrama de velocidad de onda de corte vs profundidad, dando así un valor de $V_{s30} = 409,20$ m/s (Figura 64).

Figura 64

Diagrama de Velocidad de ondas de corte (m/s) vs Profundidad (m)



- **Método combinado**

Para finalizar con el procesamiento de datos, en el método combinado se agrupan las curvas de dispersión de los 2 métodos anteriores para obtener el diagrama de velocidad de onda de corte en función de la profundidad con un valor de $V_{s30} = 378,20$ m/s (Figura 65).

Figura 65

Curva de Frecuencia (Hz) vs Velocidad de fase (m/s)

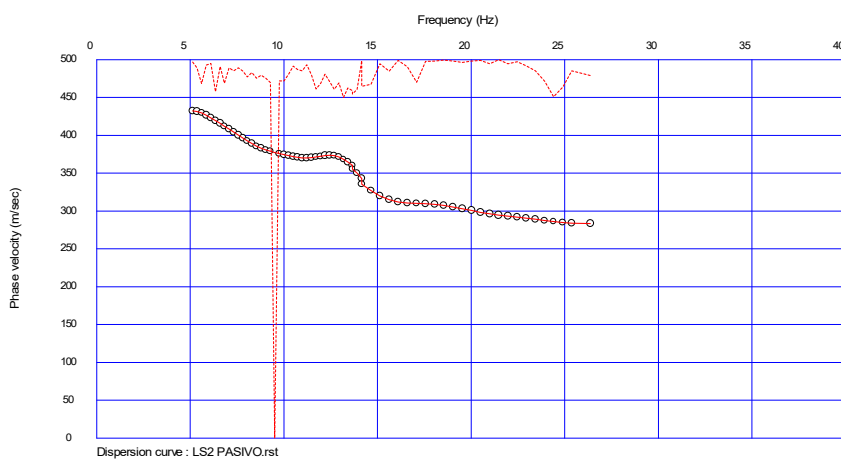
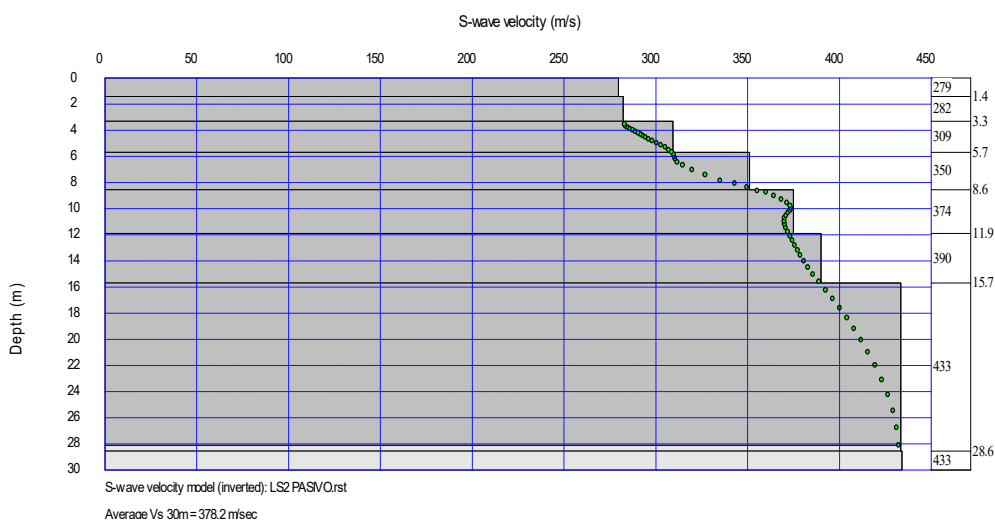


Figura 66

Diagrama de Velocidad de ondas de corte (m/s) vs Profundidad (m)



Método de Nakamura

El ensayo de Nakamura se realiza con el fin de obtener un período de vibración del suelo, el cual es esencial para evitar que el período de la estructura coincida con el período del suelo, ya que, al darse el caso, ocasionaría daños a la estructura debido a las amplificaciones sísmicas por efecto de resonancia.

Para el presente ensayo se utilizó los siguientes equipos:

- Velocímetro triaxial amplificado SARA.
- Brújula.
- Computadora Portátil.

Figura 67

Velocímetro triaxial amplificado SARA



Para el éxito del ensayo debe evitarse las mediciones en presencia de lluvia o en extremo calor, vientos fuertes y fuentes de vibración como el paso de vehículos, para ello se tomará un tiempo mayor a 30 min para el ensayo, además se debe considerar colocar el equipo en superficies regulares, alejada de árboles de gran altura.

El registro de datos se realizó en varios puntos, en sentido longitudinal paralelos a la estructura, cada uno con una medición de 30 min, debido a que el área analizada se

encontraba rodeada de un sin número de antenas las cuales afectaban la medición de las ondas, por lo que se consideró realizar el ensayo un poco alejado de las interferencias, pero dentro del perímetro que corresponde a la estructura analizada.

El equipo tiene 3 apoyos los cuales se adecuan al terreno y la posición del equipo se referencia con la brújula, de manera que el eje “Y” marcado en el equipo, debe apuntar hacia el sur (ver Figura 68). Seguidamente, revisamos que el equipo se encuentre nivelado.

Figura 68

Calibración del equipo

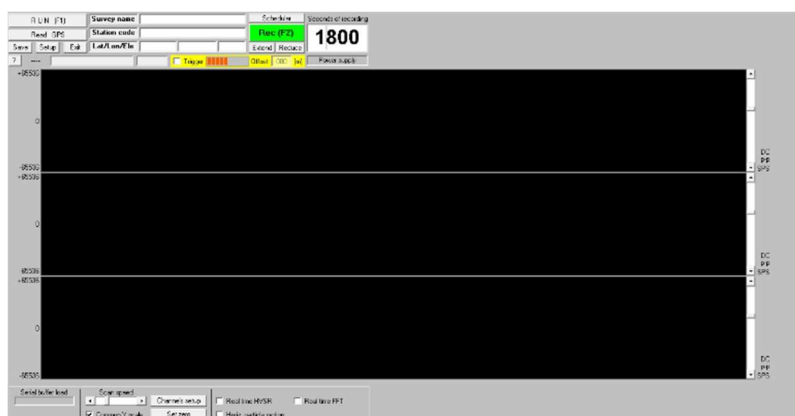


Nota. Nivel y eje referencial para la calibración del equipo.

Finalmente se conecta el cable al computador portátil que cuenta con el software SEISMOWIN, el cual registra las vibraciones ambientales en un tiempo de 1800 segundos.

Figura 69

Registro de Señales Software SEISMOWIN



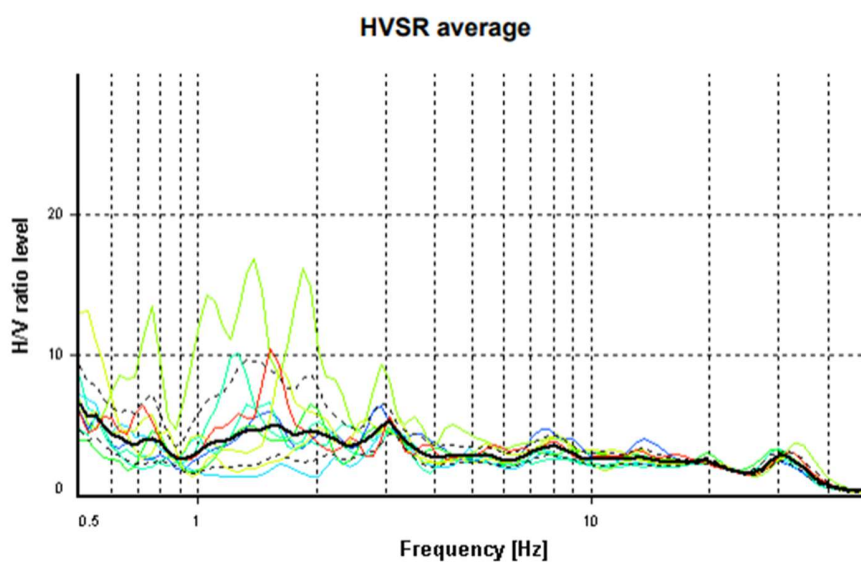
Los softwares disponibles para procesar los datos obtenidos del ensayo son los siguientes:

- SEISMOLOG-MT, software que permite capturar datos en superficie y visualizar en tiempo real la razón espectral H/V para comparar con los resultados del trabajo en campo.
- GEOEXPLORER H/V, el cual permite la visualización de los registros, permitiendo procesar los datos capturados a fin de determinar una correcta interpretación.

Obteniendo así, el pico más alto, con mayor energía y número de señales posibles.

Figura 70

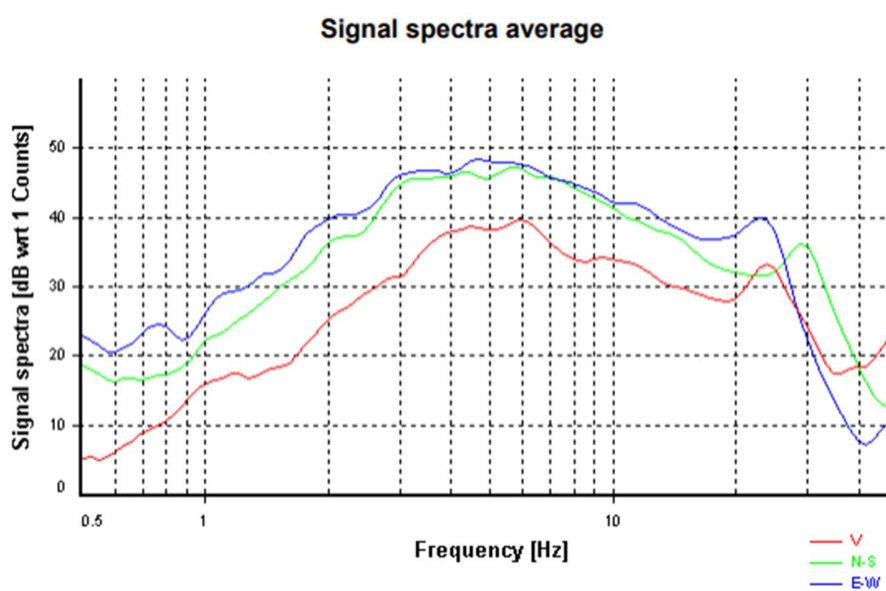
Curva HVSR Punto de mayor energía



Nota. Se utiliza el software GeoExplorer.

Figura 71

Promedio del espectro de señal



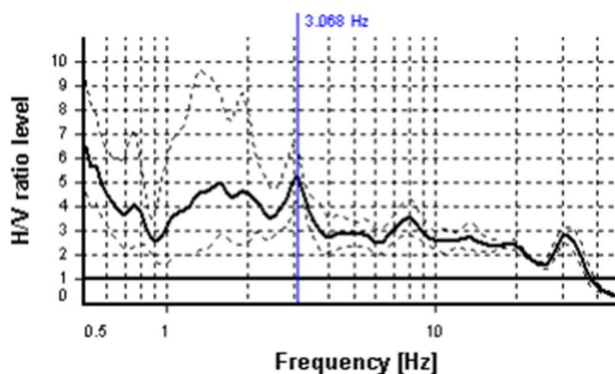
Nota. Se utiliza el software GeoExplorer.

Dentro de la curva de la Figura 25, se encuentra el valor de la frecuencia del suelo, la cual es determinada por el pico más alto, el cual nos da un valor de 3.068 Hz. Dicho valor será utilizado para obtener la inversa del mismo que nos indicará el período de vibración del suelo.

Figura 72

Curva de frecuencia

Selected f_0 frequency
3.068 Hz
 A_0 amplitude = 5.257
Average $f_0 = 2.834 \pm 0.372$



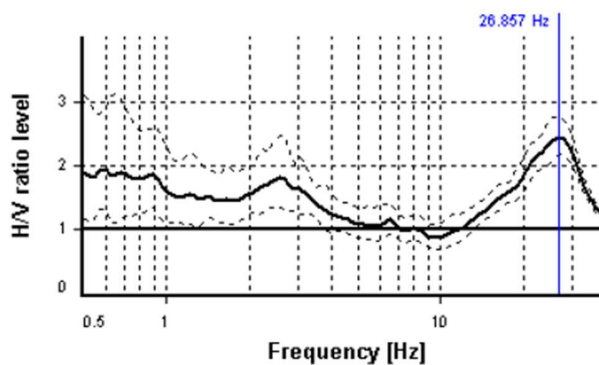
Nota. Se utiliza el software GeoExplorer.

Al realizar varios ensayos en las mejores condiciones posibles, pero bajo la presencia de varias antenas se detectó la sensibilidad del equipo, ya que se obtuvo dos valores extremadamente diferentes en el mismo punto de ensayo, un registro de datos se realizó en una noche sin precipitación y el otro registro en el día despejado sin mucho sol, la misma situación se detectó en los diferentes puntos de análisis, descartando así los 5 ensayos realizados y tomando la decisión de alejarse de las antenas lo más posible, sin que afecte a la investigación de la estructura.

Figura 73

Curva de frecuencia 1 ensayo 1

Selected f_0 frequency
 26.857 Hz
 A_0 amplitude = 2.445
Average $f_0 = 27.019 \pm 1.292$

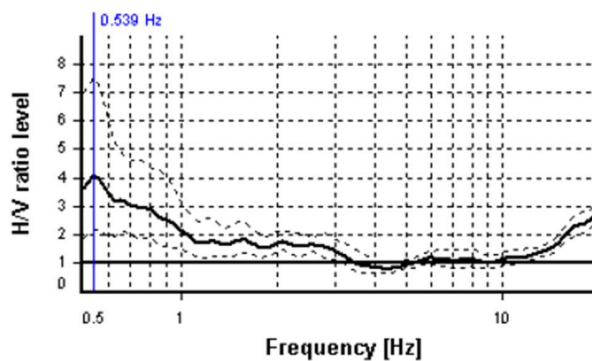


Nota. Se utiliza el software GeoExplorer.

Figura 74

Curva de frecuencia 2 ensayo 1

Selected f_0 frequency
 0.539 Hz
 A_0 amplitude = 4.066
Average $f_0 = 0.595 \pm 0.081$



Nota. Tomado de software GeoExplorer.

Ensayos exploratorios-Método directo

Prueba de penetración estándar (Ensayo SPT)

El ensayo de penetración estándar se lo realiza en situ, y tiene como objetivo contabilizar el número de golpes necesarios para hincar el tomamuestras y obtener una

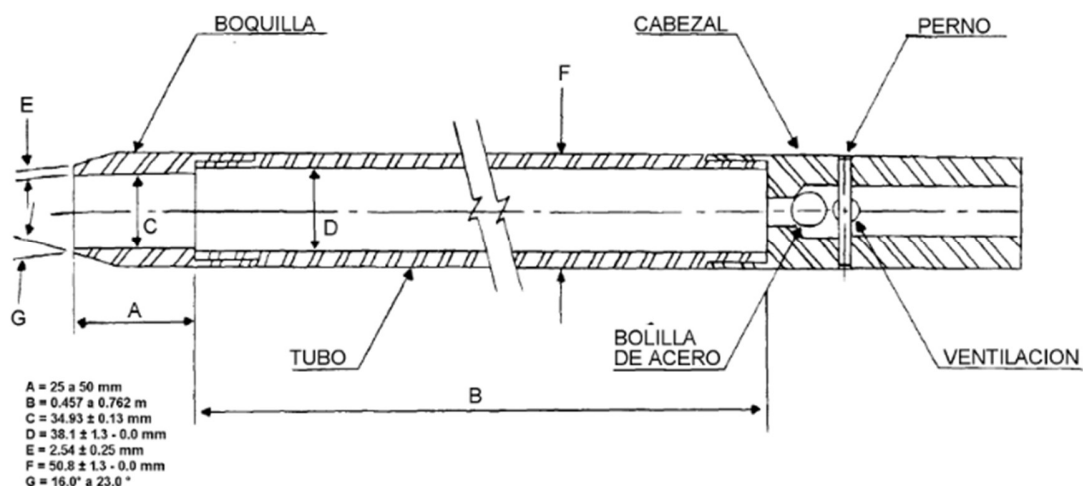
muestra representativa del suelo analizado, con la cual se procede a realizar pruebas de clasificación SUCS: contenido de humedad, granulometría y límites de Atterberg.

Para realizar el ensayo se necesita el equipo de perforación, de potencia y características adecuadas como menciona la Norma ASTM D-1586, la cual nos permitirá realizar un ensayo confiable y con éxito. Los elementos y características más sobresalientes del procedimiento propuesto por la ASTM son los siguientes:

1. Masa de 63,5 kg
2. Altura de caída: 76 cm
3. Tomamuestras: de diámetro externo = (50 mm ó 2 pulgadas)
4. Tomamuestras: de diámetro interno = (35 mm ó 1 3/8 pulgadas)
5. Variante con diámetro interno 38mm y tubo portamuestras (diámetro interno final 35mm)
6. Mecanismo de liberación del martinete mediante soga y malacate
7. Barras de sondeo.
8. Cabeza de golpeo.

Figura 75

Sacamuestra partido

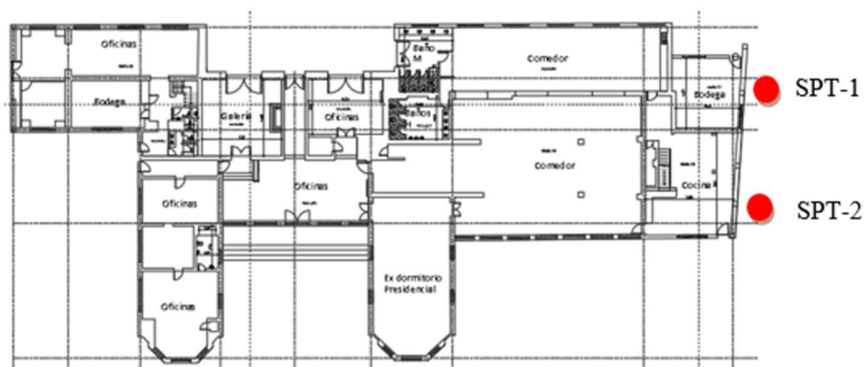


Nota. Tomado de *Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils*, por ASTM-D1586, 1992.

Figura 76*Equipo de perforación*

Nota. Perforación 1, Academia de Guerra del Ejército Ecuatoriano

En el área de investigación se realizó solamente dos sondeos, debido al poco espacio verde que se encontraba, ya que al ser una estructura patrimonial no era posible la destrucción de algún alrededor de la misma.

Figura 77*Puntos de perforación, ensayo de penetración estandar*

Al instalar el equipo en campo, de manera que el trípode este seguro, se procede hacer una perforación en la zona donde se analizará el subsuelo con equipos de perforación o equipos manuales, por consiguiente se limpia cuidadosamente la perforación, tanto paredes como el fondo y se coloca el tomamuestras de manera que no se introduzca dentro del suelo que se va a ensayar, a continuación se coloca la masa y se instala el cabezote en la parte superior de la tubería de perforación, se deja en reposo el peso muerto y se aplica un ligero golpe de asentamiento, marcamos el extremo superior de la tubería en tres secciones de 15cm cada una, y es cuando el ensayo empieza, se debe dejar caer la masa desde una altura de 76cm, de manera que se registra el número de golpes dados hasta que el muestreador penetre los 15cm.

Figura 78

Colocación de la masa e instalación del cabezote



Los resultados obtenidos en el primer hincado no se deben tomar en cuenta debido a que pueden ser no tan precisos por la posible alteración del suelo o derrumbes de las paredes del sondeo. Una vez finalizado la penetración de los 45cm se extrae la muestra, abriendo longitudinalmente la cuchara y se registran los datos de la misma.

Figura 79

Muestra primer y segundo sondeo respectivamente



Por lo tanto, se tiene un número de golpes en campo sumando los golpes del segundo y tercer tramo de 15 cm, el cual será corregido por factores como la sobrecarga efectiva del suelo, la energía del martillo, resistencia interna de la toma muestras y diámetro de la perforación. Entonces se tiene las siguientes fórmulas:

$$N_{SPT} = N_{15-30} + N_{30-45} \quad (14)$$

$$N_{60} = N_{SPT} * 0.77 \log\left(\frac{40}{\sigma'_0}\right) \quad (15)$$

Donde:

La presión de sobrecarga efectiva:

$$\sigma'_0 = prof * \gamma_s \quad (16)$$

Tabla 17*Número de golpes registrados en las perforaciones*

| N. Sondeo | Prof. (m) | Número de golpes | | | | N SPT |
|-----------|-----------|------------------|---------|---------|---------|-------|
| | | N 0-15 | N 15-30 | N 30-45 | N 45-60 | |
| SPT1 | 1,80 | 25 | 20 | 14 | R | 34 |
| SPT2 | 1,50 | 8 | 11 | 13 | - | 24 |
| | 2,00 | 16 | 18 | 18 | 8 | 36 |

Tabla 18*Corrección número de golpes*

| N. Sondeo | Prof. (m) | N SPT | γ (T/m ³) | σ (T/m ²) | Ncorr |
|-----------|-----------|-------|------------------------------|------------------------------|-------|
| SPT1 | 1,80 | 34 | 1,60 | 2,88 | 30 |
| SPT2 | 1,50 | 24 | 1,60 | 2,40 | 23 |
| | 2,00 | 36 | 1,60 | 3,20 | 30 |

Ensayos de laboratorio***Contenido de humedad***

El contenido de humedad hace referencia al porcentaje entre el peso de agua contenido en la muestra y el peso seco de la misma. Este ensayo se fundamenta en la norma ASTM-D2216, considerando al menos 60g de muestra para poder realizar el ensayo, además de si es posible realizar varias pruebas de tal manera que se obtenga un valor más preciso del contenido de humedad.

Para determinar el contenido de humedad, se debe registrar el peso del recipiente donde se pondrá la muestra, se selecciona un porcentaje de muestra húmeda en la tara y se procede a pesar, seguidamente se coloca en el horno que se mantendrá a una temperatura de 110°C \pm 5°C, obteniendo así un peso de muestra seca.

Figura 80

Peso muestras húmedas



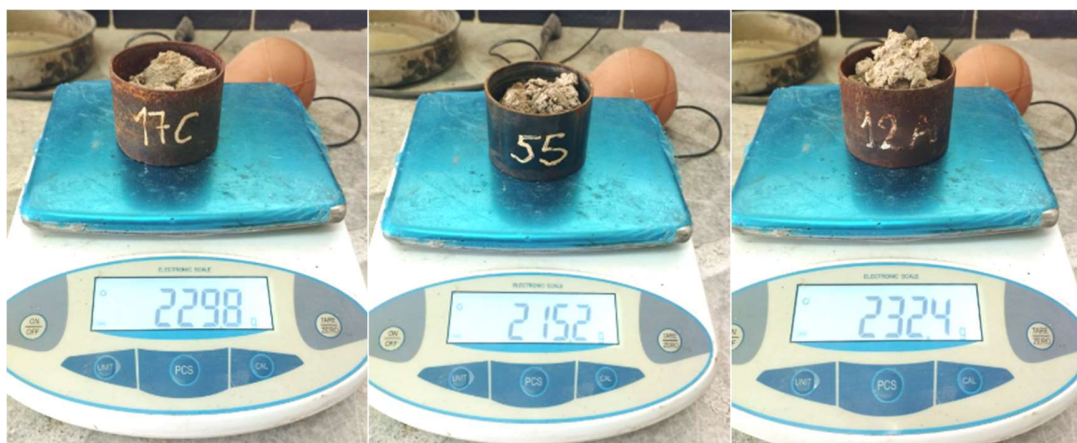
Nota. Peso de las 3 muestras obtenidas en campo.

Figura 81

Horno, secado de muestras



Nota. Horno a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Figura 82*Peso muestras secas*

Nota. Peso seco de las 3 muestras sacadas del horno.

Con los registros de muestras húmedas y secas se procede a realizar el cálculo del contenido de humedad, el cual se deduce mediante la siguiente fórmula:

$$W = \left[\frac{(M_{CWS} - M_{CS})}{M_{CS} - M_C} \right] * 100 = \frac{M_W}{M_S} * 100 \quad (17)$$

Donde:

W = contenido de humedad, %.

M_{CWS} = peso de recipiente y el espécimen húmedo, g.

M_{CS} = peso del recipiente y el peso del espécimen secado, g.

M_C = peso del recipiente, g.

M_W = peso del agua ($M_W = M_{CWS} - M_{CS}$), g.

M_S = peso de las partículas sólidas ($M_S = M_{CS} - M_C$), g.

Tabla 19*Contenido de humedad de las muestras*

| Perforación | Tara | Peso tara (g) | MH+tara (g) | MS+tara (g) | Peso agua (g) | %W |
|--------------------|-------------|--------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|-----------|
| SPT1-1 | 12A | 122,80 | 255,20 | 232,40 | 22,80 | 20,80 |
| SPT2-1 | 55 | 126,50 | 238,30 | 215,20 | 23,10 | 26,04 |
| SPT2-2 | 17C | 121,80 | 249,50 | 229,80 | 19,70 | 18,24 |

Análisis granulométrico

Para determinar cuantitativamente los tamaños de partículas de suelo, la investigación de laboratorio se basa en la normativa ASTM D-422, la cual describe detalladamente el proceso a seguir para definir el porcentaje de suelo que se encuentra retenido en cada tamiz.

Para lo cual se necesitó los siguientes equipos y herramientas:

- Horno de secado
- Serie de tamices según la Tabla N
- Balanza
- Taras o recipientes

Tabla 20*Numeración de tamices*

| Numeración de tamiz | Abertura (mm) |
|----------------------------|----------------------|
| 3/8" | 9,510 |
| No. 4 | 4,760 |
| No. 10 | 2,000 |
| No. 40 | 0,420 |
| No.200 | 0,074 |

Debido a las características de la muestra para iniciar con el ensayo se trabajó con parte de la misma después de haber separado los finos por lavado. Para saber si existe la necesidad del lavado o no, se debe secar en el horno una reducida parte de muestra y se visualiza su resistencia, rompiéndola con los dedos, de ser posible y las partículas finas se polvorizan, significa que, no es necesario realizar un lavado previo.

Figura 83

Peso muestras secas



Nota. Proceso de lavado de las muestras extraídas en campo.

Después de tener la muestra previamente lavada y registrado su peso, se lleva al horno durante 24 horas, de tal manera que se obtiene también un peso de muestra seca. A continuación, se detalla los registros obtenidos de cada muestra.

Tabla 21

Pesos secos y húmedos de cada muestra

| Muestra | Tara | Peso Tara | Masa húmeda | %W | Masa inicial seca |
|----------------|-------------|------------------|--------------------|-----------|--------------------------|
| SPT1-1 | T11 | 106,30 | 189,00 | 20,80 | 156,45 |
| SPT2-1 | T3 | 108,30 | 189,00 | 26,04 | 149,95 |
| SPT2-2 | 1C | 109,20 | 189,00 | 18,24 | 159,84 |

Por consiguiente, se coloca los tamices por los cuales pasara las partículas de suelo y se lo realiza de manera manual, moviendo los tamices de lado a lado de manera que la muestra se mantenga en movimiento.

Figura 84

Muestras secadas al horno



Nota. Muestras secas para el proceso de granulometría.

Figura 85

Tamices



Nota. Tamices utilizados para el proceso de granulometría.

Finalmente se determina el peso retenido en cada tamiz, teniendo cuidado de no perder parte de la muestra, de tal manera que, el peso de la muestra seca medida en un inicio no difiera en más del 1% con respecto al peso acumulado en cada fracción.

Figura 86

Fracciones de muestra SPT1-1 en cada tamiz



Nota. Porciones de muestra tamizada.

Ahora bien, ya teniendo los pesos retenidos en cada tamiz, se procede a realizar el cálculo del porcentaje retenido, con la siguiente fórmula:

$$\% \text{Retenido} = \frac{W_{\text{tamiz}}}{W_1} * 100 \quad (18)$$

Donde:

W_{tamiz} = *Peso retenido en cada tamiz*

W_1 = *Peso de la muestra secada al horno*

Este proceso se realizó para las 3 muestras analizadas, obteniendo su respectiva curva granulométrica, en otros términos, una representación gráfica del porcentaje pasante según el tamaño de grano del suelo, con la cual no fue posible la determinación de los diámetros efectivos D10, D30 y D60 y por ende el cálculo de los coeficientes de curvatura y uniformidad, debido al lavado realizado previamente, sin embargo, no fueron necesarios para la clasificación SUCS.

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}} \quad (19)$$

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (20)$$

Donde:

C_c = Coeficiente de curvatura

C_u = Coeficiente de uniformidad

Tabla 22

Granulometría Muestra SPT1-1

| Numeración de tamiz | Abertura (mm) | Peso retenido (g) | Peso retenido acumulado (g) | % suelo retenido | % de suelo pasante |
|---------------------|---------------|-------------------|-----------------------------|------------------|--------------------|
| 3/8" | 9,51 | 7,20 | 7,20 | 4,6 | 95 |
| No. 4 | 4,76 | 9,34 | 16,54 | 10,6 | 89 |
| No. 10 | 2,00 | 17,60 | 34,14 | 21,8 | 78 |
| No. 40 | 0,42 | 35,30 | 69,44 | 44,4 | 56 |
| No.200 | 0,07 | 35,50 | 104,94 | 67,1 | 33 |

Figura 87

Curva Granulométrica muestra SPT1-1

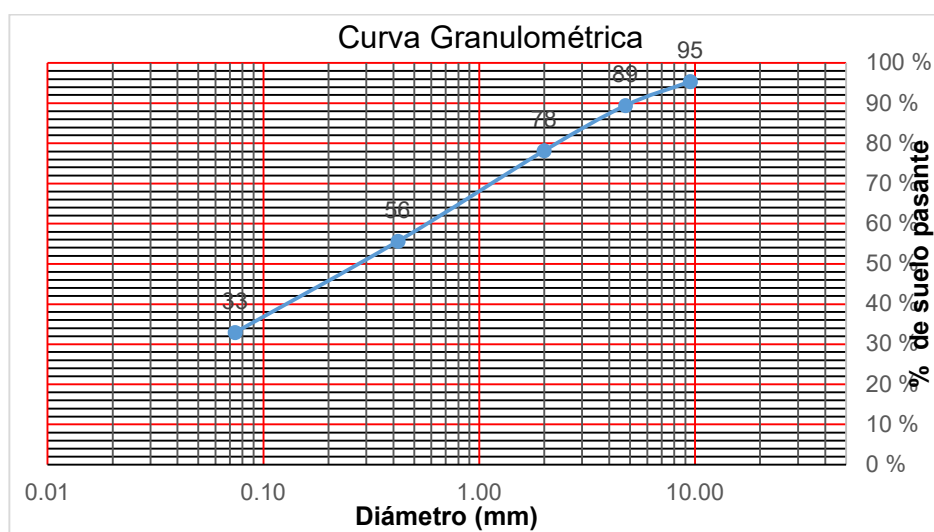


Tabla 23*Porcentaje de suelo, muestra SPT1-1*

| | |
|-----------------------------|----|
| Porcentaje de gravas | 11 |
| Porcentaje de arenas | 57 |
| Porcentaje de finos | 33 |

Tabla 24*Granulometría Muestra SPT2-1*

| Numeración de tamiz | Abertura (mm) | Peso retenido (g) | Peso retenido acumulado (g) | % suelo retenido | % de suelo pasante |
|----------------------------|----------------------|--------------------------|------------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 3/8" | 9,51 | 7,30 | 7,30 | 4,87 | 95 |
| No. 4 | 4,76 | 8,80 | 16,10 | 10,74 | 89 |
| No. 10 | 2,00 | 16,40 | 32,50 | 21,67 | 78 |
| No. 40 | 0,42 | 33,60 | 66,10 | 44,08 | 56 |
| No.200 | 0,07 | 32,10 | 98,20 | 65,49 | 35 |

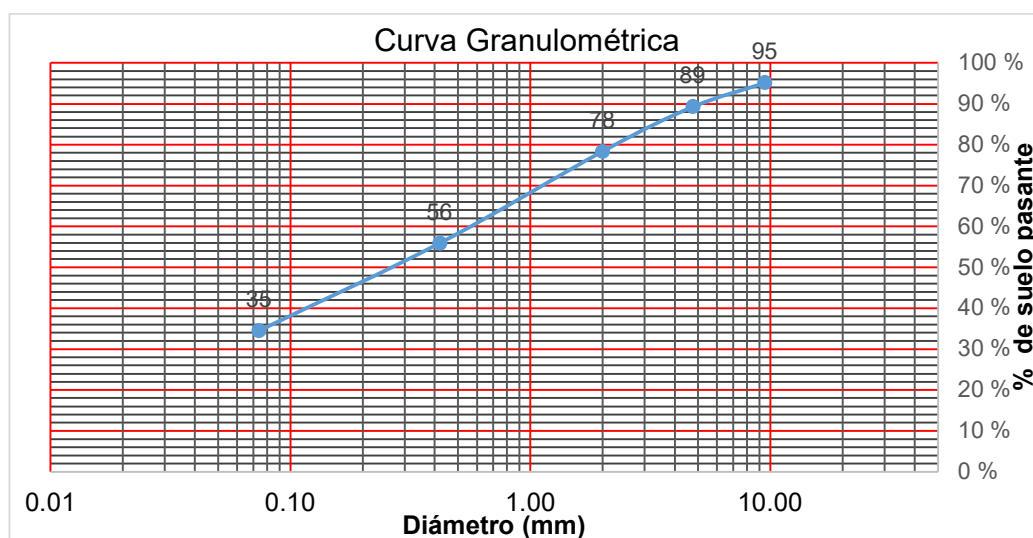
Figura 88*Curva Granulométrica muestra SPT2-1*

Tabla 25*Porcentaje de suelo, muestra SPT2-1*

| | |
|-----------------------------|----|
| Porcentaje de gravas | 11 |
| Porcentaje de arenas | 55 |
| Porcentaje de finos | 35 |

Tabla 26*Granulometría Muestra SPT2-2*

| Numeración de tamiz | Abertura (mm) | Peso retenido (g) | Peso retenido acumulado (g) | % suelo retenido | % de suelo pasante |
|----------------------------|----------------------|--------------------------|------------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 3/8" | 9,51 | 7,10 | 7,10 | 4,4 | 96 |
| No. 4 | 4,76 | 13,70 | 20,80 | 13,0 | 87 |
| No. 10 | 2,00 | 18,90 | 39,70 | 24,8 | 75 |
| No. 40 | 0,42 | 36,70 | 76,40 | 47,8 | 52 |
| No.200 | 0,07 | 34,80 | 111,20 | 69,6 | 30 |

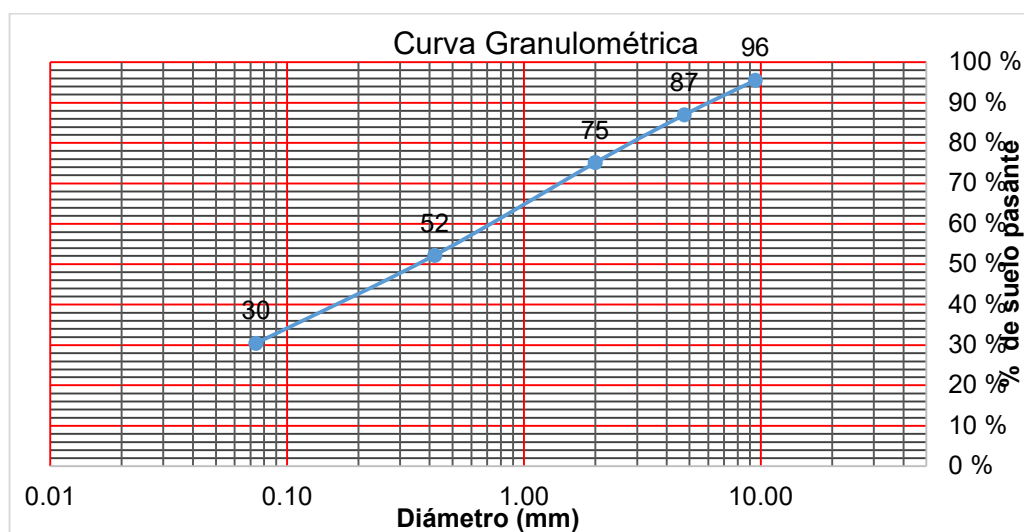
Figura 89*Curva Granulométrica muestra SPT2-2*

Tabla 27

Porcentaje de suelo, muestra SPT2-2

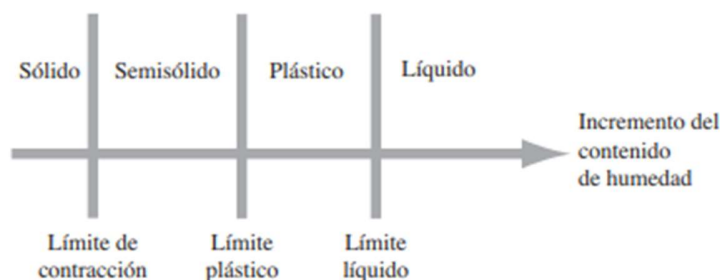
| | |
|-----------------------------|----|
| Porcentaje de gravas | 13 |
| Porcentaje de arenas | 57 |
| Porcentaje de finos | 30 |

Limites Atterberg

Los suelos que soportaran cargas externas como las estructuras deben pasar por pruebas de límites Atterberg, las cuales establecen la transición de las partículas de suelo entre los estados sólido, semisólido, plástico y líquido.

Figura 90

Límites de Atterberg



Nota. Estados del suelo.

Por lo tanto, se puede definir al límite líquido como el contenido de agua del suelo en el que el mismo pasa de un estado plástico a líquido y el límite plástico es la transformación de un estado semisólido a plástico el cual es expresado como el porcentaje de contenido de humedad de la masa de suelo secado al horno.

Partiendo de las definiciones de límite líquido y límite plástico, el índice de plasticidad se describe como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

En este caso de análisis no se determinó el índice de plasticidad debido al alto contenido de finos encontrados en las muestras extraídas y realizando el experimento empírico

de realizar rollitos con la muestra, al no poder cumplir con ese objetivo, se determina que no es necesario un ensayo con el Equipo de Casa Grande, por ende, se asume un índice de plasticidad 0.

Método de clasificación SUCS

El Sistema Unificado de Clasificación se presenta en la tabla 4.2 y clasifica los suelos en dos grandes categorías:

1. Suelos de grano grueso que son de grava y arena en estado natural con menos de 50% que pasa a través del tamiz núm. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo de G o S. G es para el suelo de grava o grava, y S para la arena o suelo arenoso.

2. Suelos de grano fino con 50% o más que pasa por el tamiz núm. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo de M, que es sinónimo de limo inorgánico, C para la arcilla inorgánica y O para limos orgánicos y arcillas. El símbolo Pt se utiliza para la turba, lodo y otros suelos altamente orgánicos.

Otros símbolos que también se utilizan para la clasificación son:

- W: bien clasificado
- P: mal clasificado
- L: baja plasticidad (límite líquido menor de 50)
- H: alta plasticidad (límite líquido mayor de 50)

Una vez obtenida la granulometría de cada muestra analizada, se procede a realizar la clasificación SUCS, de izquierda a derecha se sigue la tabla, de manera que se descartan la opción incorrecta, obteniendo así un grupo de clasificación.

Tabla 28

Sistema unificado de clasificación de suelo

| Criterio para la asignación de símbolos de grupo | | | Símbolo | | | |
|---|--|---|--|---|---|----|
| Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200 | Gravas Más de 50% de fracción gruesa | Gravas limpias | $Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$ | G W | | |
| | | Menos de 5% finos | $Cu < 4$ y/o $1 > Cc > 3$ | GP | | |
| | retenida en el tamiz núm. 4 | Gravas con finos | PI < 4 o gráficos por debajo de la línea A | G M | | |
| | | Más de 12% finos | PI > 7 y gráficos en o por encima de la línea A | G C | | |
| | Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200 | Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa el tamiz núm. 4 | Arenas limpias | $Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$ | S W | |
| | | | Menos de 5% finos | $Cu < 6$ y/o $1 > Cc > 3$ | SP | |
| | | Arenas con finos | PI < 4 o gráficos por debajo de la línea A | S M | | |
| | | | Más de 12% finos | PI > 7 y gráficos en o por encima de la línea A | SC | |
| | | Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200 | Limos y Arcillas Límite líquido menor que 50 | Inorgánico | PI > 7 y gráficos en o por encima de la línea A | CL |
| | | | | Orgánico | PI < 4 o gráficos por debajo de la línea A | ML |
| Limos y Arcillas Límite líquido 50 o más | Orgánico | | Límite líquido: secado | < 0,75 | OL | |
| | | | Límite líquido: no secado | | | |
| Límite líquido 50 o más | Inorgánico | | Gráficos PI en o por encima de línea A | CH | | |
| | | | Gráficos PI por debajo de línea A | M H | | |
| | Orgánico | | Límite líquido: secado | < 0,75 | O H | |
| | | | Límite líquido: no secado | | | |

| Criterio para la asignación de símbolos de grupo | Símbolo |
|--|--|
| Sueltos altamente orgánicos | Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico |
| | Pt |

Nota. Recuperado de *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*, po Braja M.DAS, 2013.

Ángulo de pico de fricción

El ángulo pico efectivo de fricción de suelos granulares, ϕ' , fue correlacionado con el número de penetración estándar corregido por Peck, Hanson y Thornburn (1974). Le dieron una correlación entre $(N_1)_{60}$ y ϕ' en una forma gráfica, que se puede aproximar como (Wolff, 1989).

$$\phi'(\text{grad}) = 27,1 + 0,3(N_1)_{60} - 0,00054[(N_1)_{60}]^2 \quad (21)$$

Donde:

$(N_1)_{60}$ = número de penetración estandar corregido

Tabla 29

Ángulo de fricción

| N. Sondeo | N SPT | N 60 | ϕ' (grad) |
|-----------|-------|------|----------------|
| SPT1-1 | 34 | 30 | 35,59 |
| SPT2-1 | 24 | 23 | 33,60 |
| SPT2-2 | 36 | 30 | 35,72 |

Carga Admisible del suelo

La carga admisible del suelo, es decir, la máxima fuerza que puede soportar a una determinada profundidad, es un parámetro importante que se encuentra en función del ancho de la cimentación y cuantifica la resistencia del suelo antes de hundirse.

Para el análisis de la capacidad portante del suelo, se toma a consideración las cargas que transmite la estructura, las cuales son aproximadas mediante el modelo matemático de la misma, asumiendo el lado B de la cimentación tipo viga, zapata o losa.

Tabla 30

Cargas transmitidas de la estructura al suelo

| Anchos de cimentación/Cargas/Presión de Contacto | | | | |
|---|---------------|----------------|--------------------------------|--------|
| | Lado B | Carga * | Presión de Contacto (q) | |
| Tipo | (m) | (T) | (T/m ²) | (kPa) |
| Viga | 1,20 | 60,00 | 12,50 | 122,58 |
| Zapata | 2,00 | 60,00 | 15,00 | 147,10 |
| Losa | 5,00 | 60,00 | 2,40 | 23,54 |

Nota. Son cargas estimadas

En el procedimiento de cálculo de la carga admisible, se determina mediante las fórmulas propuestas por Bowles:

$$q_{adm} = \frac{N_{corr} * kd}{0,05} \text{ si } B \leq 1,2m \quad \text{para zapatas corridas} \quad (22)$$

$$q_{adm} = \frac{N_{corr} * kd}{0,08} * \frac{(B + 0,3)^2}{B^2} \text{ si } B > 1,2m \quad \text{para zapatas cuadradas} \quad (23)$$

$$q_{adm} = \frac{N_{corr} * kd}{0,08} \quad \text{para losas de cimentación} \quad (24)$$

Donde:

$$kd = 1 + 0,33 \frac{Df}{B} \leq 1,33 \quad (25)$$

Df = profundidad de base del cimiento

B = ancho de la zapata

De tal manera que al analizar las 2 perforaciones a diferentes profundidades se tienen los siguientes registros de carga admisible.

Tabla 31

Carga admisible del suelo

| Prof "Df" (m) | γ (T/m ³) | γ sat (T/m ³) | σ_o (T/m ²) | N SPT | Ncorr | qadm (Según BOWLES) | | |
|---------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|----------|-------|-----------------------------|------------------------|---------------------------|
| | | | | | | Zapatas (T/m ²) | | Losas (T/m ²) |
| | | | | | | Corri: | Cuadrada: | B = 5,00 m |
| | | | | | | B ≤ 1,20 B = 1,20 m | B > 1,20 B = 2,00 m | |
| 1,8 | 1,60 | 1,65 | 2,97 | 34 | 30 | 26,21 | 21,13 | 41,35 |
| 1,5 | 1,60 | 1,65 | 2,48 | 24 | 22 | 19,80 | 15,35 | 30,68 |
| 2 | 1,60 | 1,65 | 3,30 | 36 | 30 | 26,63 | 22,01 | 42,50 |

En función de las cargas estimadas que llegarán al terreno se establece el asentamiento efectivo del suelo, es decir, el hundimiento, el cual se ve afectado debido a la sobrecarga aplicada causando cambios en las tensiones del suelo.

Para ello se considera la metodología de (Terzaghi, Peck, & Mesri, 1996)

$$S = (B^{0,75}) * \left(\frac{1,7}{N_{corr}^{1,4}} \right) q \quad (26)$$

Donde:

S = Asentamiento previsible (mm)

B = Ancho de la zapata (m)

N_{corr} = Número de golpes de SPT corregido

q = Presión de contacto

Tabla 32

Asentamientos Previsibles

| Asentamientos Previsibles (TERZAGUI) | | | | | | | | |
|---|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|----------|-------|--------------------|-----------------------|------------|
| Prof "Df" (m) | γ (T/m ³) | γ sat (T/m ³) | σ_0 (T/m ²) | N SPT | Ncorr | Zapatatas (mm) | | Losas (mm) |
| | | | | | | Corri: B ≤ 1,20 | Cuadrada: B > 1,20 | B = 5,00 m |
| | | | | | | B = 1,20 m | B = 2,00 m | |
| 1,8 | 1,60 | 1,65 | 2,97 | 34 | 30 | 2,13 | 3,74 | 1,19 |
| 1,5 | 1,60 | 1,65 | 2,48 | 24 | 22 | 3,15 | 5,54 | 1,76 |
| 2 | 1,60 | 1,65 | 3,30 | 36 | 30 | 2,08 | 3,66 | 1,16 |

Ensayos exploratorios***Pachómetro***

En la edificación patrimonial 1, se realiza este ensayo con el fin de comprobar si existe algún tipo de refuerzo en los pilares ubicados en la fachada lateral izquierda (Figura 91) de la estructura, o únicamente se trata de mampostería y enlucido.

Figura 91*Ubicación de pilares*

Equipos

- Pachómetro BOSCH-Wallscanner D-tect 150 (Figura 92)
- 4 pilas doble A
- Lápiz
- Flexómetro

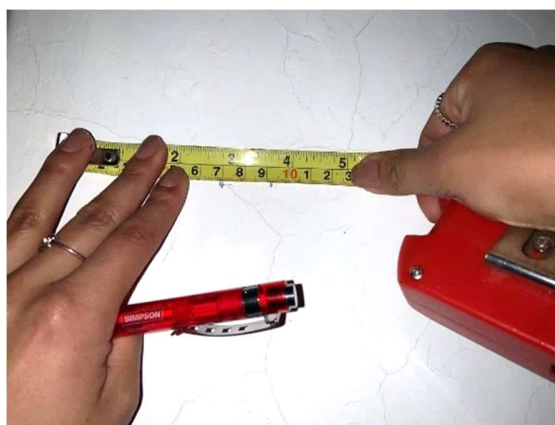
Figura 92

Pachómetro marca BOSCH



Figura 93

Flexómetro y lápiz



Procedimiento

Como primer paso es importante configurar el pachómetro con la opción “concreto profundo”. El equipo será colocado en el antepecho de los elementos estructurales a analizar, en este caso columnas, para verificar si existe algún tipo de refuerzo. Se desliza el equipo lentamente por el elemento hasta que sea detectado el metal, el equipo sabrá notificar si este es metal, no metal o un tipo de material desconocido. Para conocer el diámetro de la varilla, se hace uso del lápiz para señalar en la superficie el punto de inicio y final de la varilla que detecta el equipo, para luego medir esto con el flexómetro.

Figura 94

Ensayo realizado en los pilares de la fachada indicada



Instrumentación Sísmica

Acelerómetros

Después de haber analizado la edificación con sus características como el número de pisos, geometría en planta y elevación, etc., se definirá la ubicación de los equipos, número de configuraciones y la disposición de accesorios para el proceso de adquisición de datos.

Equipos y accesorios

La alta sensibilidad de los equipos permite determinar las propiedades dinámicas de la estructura; frecuencia, período y modos fundamentales de vibración registrando las vibraciones y el rango de frecuencias tomando en consideración el número de pisos de la edificación en estudio. La instrumentación se compone de los siguientes elementos:

- **Dispositivo de adquisición de datos (DAQ).** Es la fuente de poder necesaria para el correcto funcionamiento de los equipos, es el encargado de registrar y almacenar los datos, este conecta los sensores a módulos de 4 canales de entrada y salida de vibraciones para llegar al computador mediante una entrada USB.

Figura 95

Dispositivo de adquisición de datos (DAQ) y Módulo de 4 canales



Nota. Fuente de poder utilizada es **National Instruments cDAQ-9174** (National Instruments., 2019) y los módulos son **National Instruments 9234** (National Instruments, 2019) de entrada analógica AC/DC, con frecuencia de muestreo máxima de 51,2 kS/s por canal.

- **Acelerómetros o sensores de alta sensibilidad y bajo ruido sísmico.** Los acelerómetros trabajan registrando la aceleración del piso en donde se colocan. Cuentan con calibración periódica, siendo esta razón la que los convierte en herramientas ideales para la instrumentación por vibración ambiental por su bajo rango de medición y alta resolución. Estos acelerómetros vienen presentados en cajas con la debida identificación como: fabricante; número de serie, fecha de calibración y factor de calibración en función de la sensibilidad mV/g (Arcentales & Yépez, 2020).

Figura 96

Acelerómetro piezométrico



Nota. Modelo PCB 393B04 y rango de frecuencia de adquisición de datos de 0,06 a 450 Hz.

Cables y alambres

- **Cables BNC.** Cuentan con 2 conductores que se orientan de forma coaxial, es decir, conectan los cables a otros dispositivos y ayudan a mantener el blindaje alrededor del cable (Thomas, 2021). Estos transmiten señales de alta frecuencia y las protegen de interferencias electromagnéticas de fuentes externas. En el estudio, se utilizaron para conectar los sensores con el DAQ.

Figura 97

Cable coaxial de conexión BNC



Nota. Cable de 50 Ohm para conexión de sensor a DAQ.

- **Cables RG58.** Se utilizaron con el objetivo de extender la longitud de conexión.

Figura 98

Extensión de cable



Nota. Cable coaxial conector de 50 pies.

- **Adaptador BNC.** Conector entre cables de tipo hembra-hembra.

Figura 99

Adaptador BNC



Nota. Tipo hembra-hembra.

- **Cubos metálicos.** Soporte para los sensores.

Figura 100

Cubos metálicos



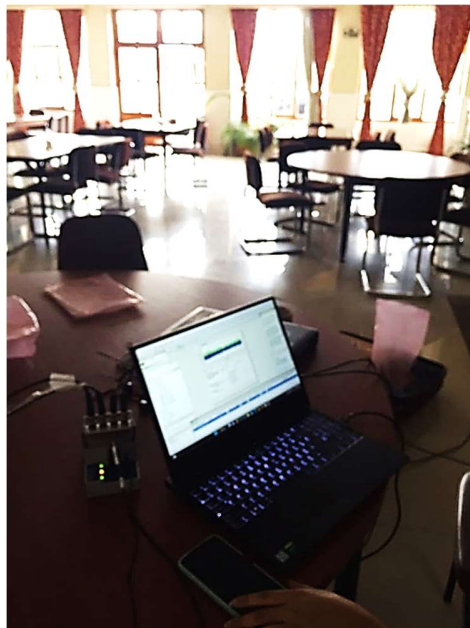
Software para registros y procesamiento de datos

- **Signal Express™.** Software proporcionado por Nacional Instruments que posibilita la obtención, estudio y presentación de datos.
- **NI DAQmx.** Este software inspeccionará si la conexión de los equipos es al dispositivo DAQ es la adecuada.

- **Computadora portátil.** Es importante que cuente con al menos un puerto USB, batería de larga duración, un procesador Core i3 o superior y que sea compatible con el software Signal Express TM.
- **MATLAB ®.** Con la intención de demostrar la veracidad del estudio, se ha desarrollado un código computacional que de forma manual junto con las herramientas automatizadas provenientes del software, la interpretación y análisis estarán expuestos a la valoración ingenieril del usuario.

Figura 101

Computadora portátil



Planos

Los planos en planta descritos en la Figura 43 serán de gran utilidad al momento de dividir las señales por dirección, sentido o piso. Con el propósito de representar la localización de los sensores en cada piso con su correspondiente conexión: sensor, cables, canal y módulo y establecer nombres escritos en etiquetas en el equipo sin afectar este de ninguna manera.

Procedimiento

Para realizar el ensayo de una manera correcta y sin problemas, se recomienda que la edificación se encuentre, en lo posible, con un mínimo tránsito de personas y vehículos, maquinaria en funcionamiento o cualquier ente que figure una situación de ruido o movimiento desmedido.

Antes – Operación de dispositivos

- **Instalación de software en el computador.** Para la instalación es elemental crear una cuenta en National Instruments para descargar e instalar el programa Signal Express TM y NI DAQmx.
- **Instalación de equipos.** Se conecta el DAQ al computador como manera de control de la adecuada instalación.

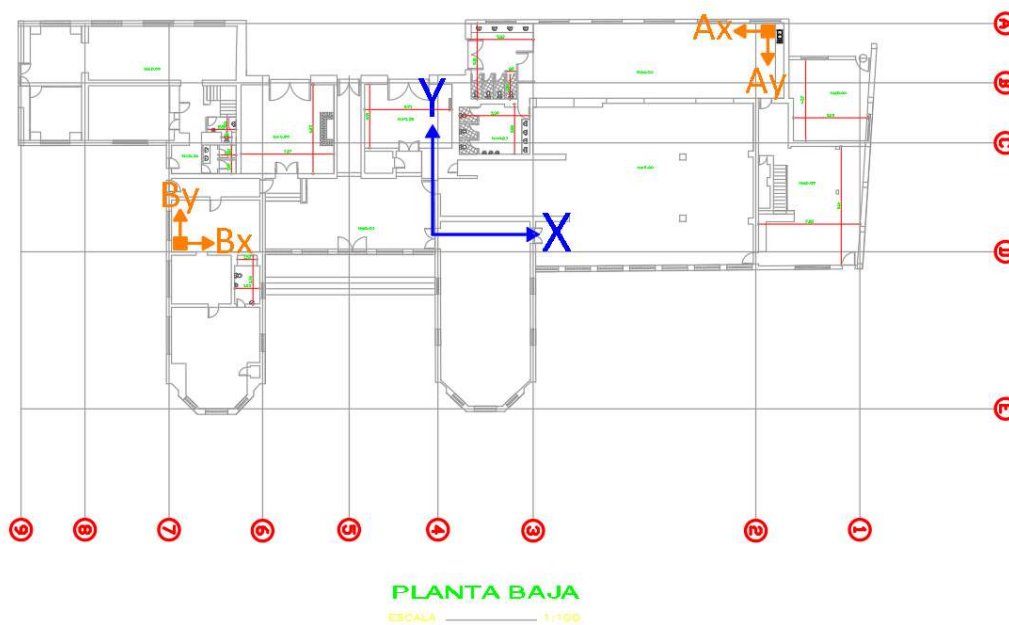
Antes – En campo

Se precisa la ubicación del equipo ya que se van a registrar las aceleraciones de la estructura en los sentidos X y con los acelerómetros, por este motivo se utilizarán los cubos metálicos antes especificados. Los cables contribuyen a la conexión de acelerómetros con módulos ya adaptados al DAQ y este al computador que tenga instalado el software.

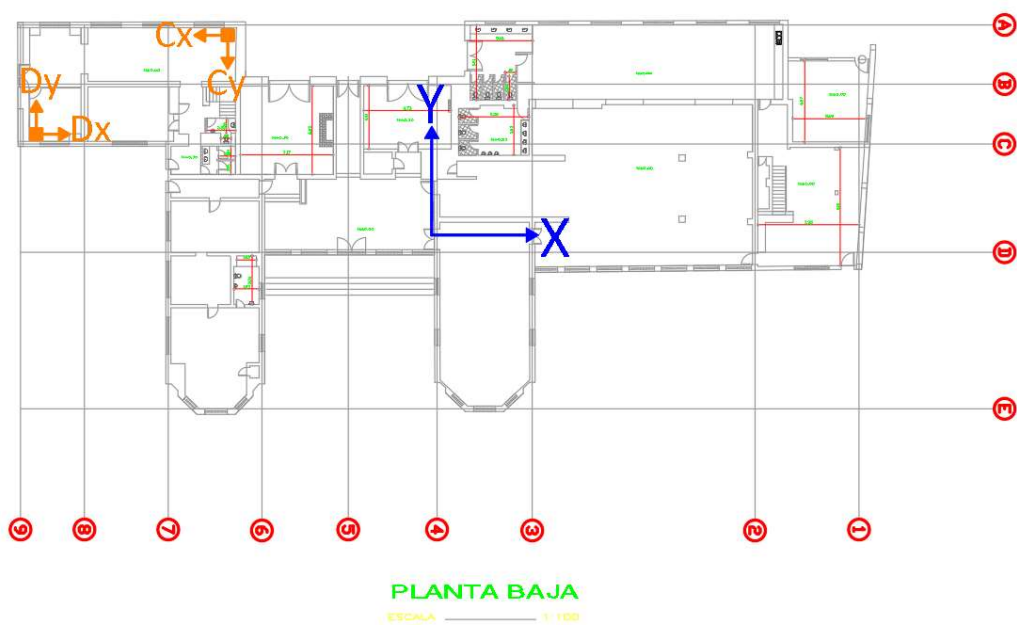
Se han fijado dos puntos que tendrán dos sensores en esquinas opuestas con la intención de conocer el comportamiento torsional. La edificación patrimonial tiene la peculiaridad de contar con dos secciones, como se les ha nombrado a la sección 1 de un piso y sección 2 de dos pisos. Siendo así, que en el ensayo 1 realizado en la sección 1 contará con 4 sensores en total y el ensayo 2 realizado en la sección 2 dispone de cuatro sensores por planta es decir ocho en total. Los puntos se distinguirán por las letras A, B, C y D que tendrán sensores en las direcciones X Y como se muestra en las Figuras 102 y 103.

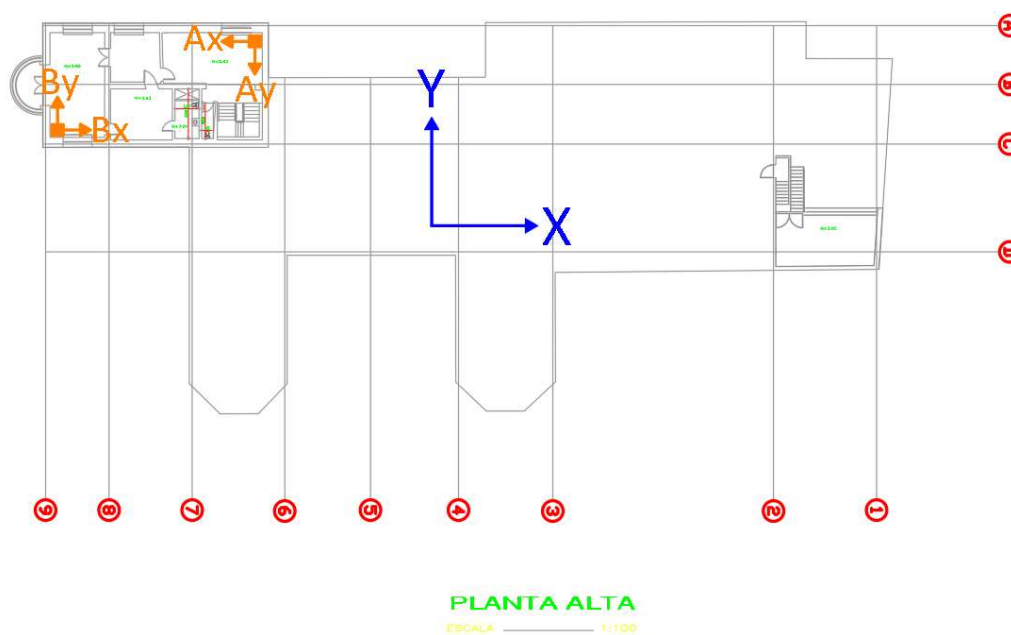
Figura 102

Ubicación de sensores en el ensayo 1 (sección 1 - 1 piso)

**Figura 103**

Ubicación de sensores en el ensayo 2 (sección 2 - 2 pisos)





Se señalan los dispositivos y se comprueba que todas las conexiones estén bien realizadas para continuar con el registro de datos.

Figura 104

Colocación de cubo de metal con sensores.

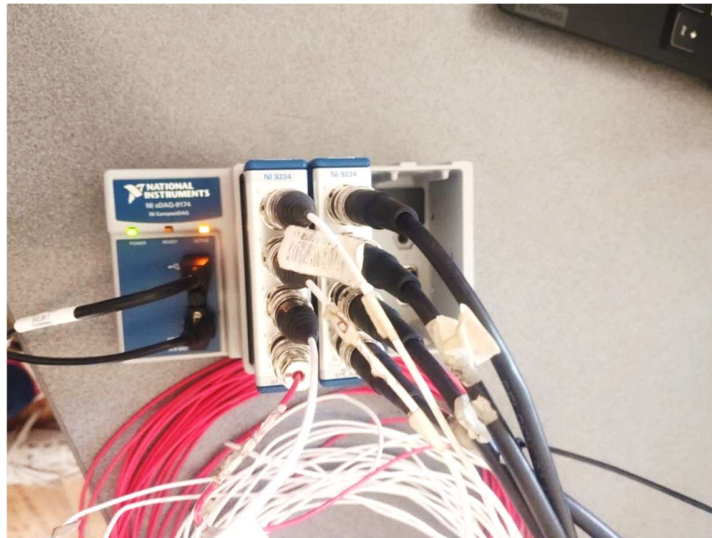


Figura 105

Sensores conectados al cable BNC

**Figura 106**

DAQ conectado en su totalidad



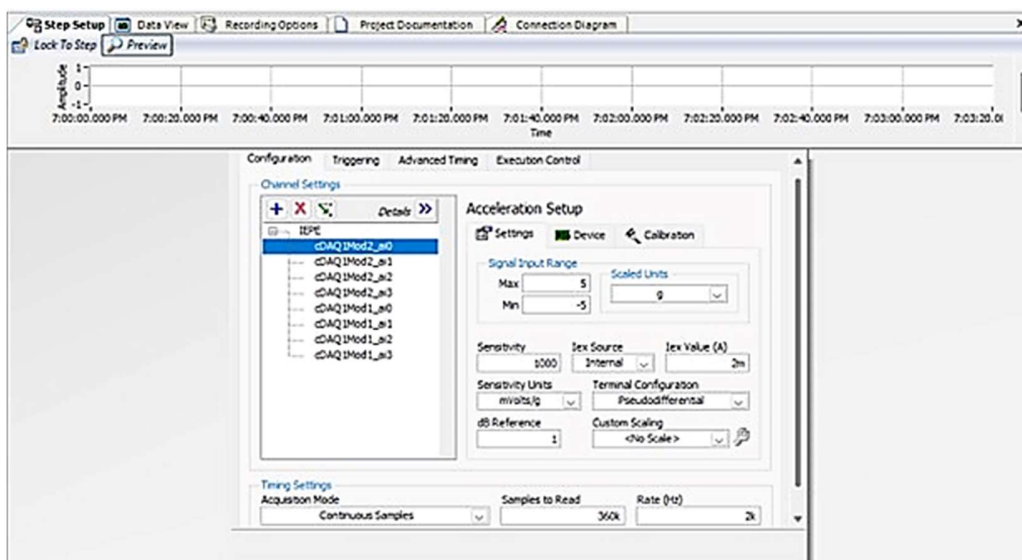
Durante – Ensayo

Con una recolección de datos de 30 minutos, se crea un listado de lectura de las señales de aceleración de cada uno de los equipos, tomadas sincrónicamente en un archivo de texto txt que desplegará las columnas correspondientes al número de sensores conectados al DAQ y otra columna equivalente al tiempo.

Por lo que concierne al programa de adquisición de datos, se empieza con la creación de un proyecto en blanco en donde se especificará el tipo de señal a registrar, la sensibilidad que se requiere y un contador de tiempo, seleccionando la opción “Add step”, “Acquire Signals”, “DAQmx Acquire”, “Analog Input”, “Acceleration” y “IEPE”, como se muestra en la Figura 107 (Arcentales & Yépez, 2020).

Figura 107

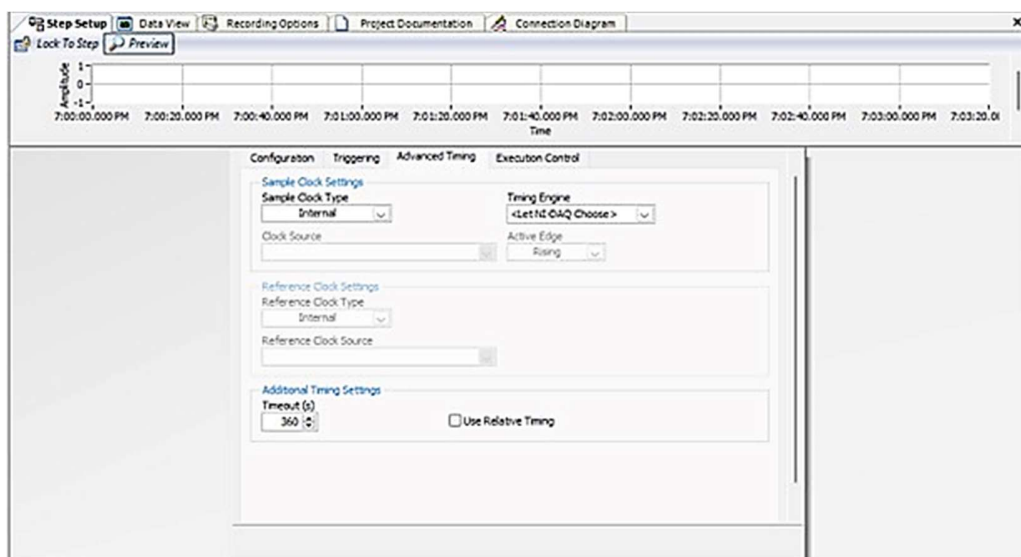
Entorno de configuración de la adquisición de datos de Signal Express versión 2015



A continuación, en la pestaña “Advanced Timing”, y en la opción “Timeout (s)” se coloca el valor de 360 segundos.

Figura 108

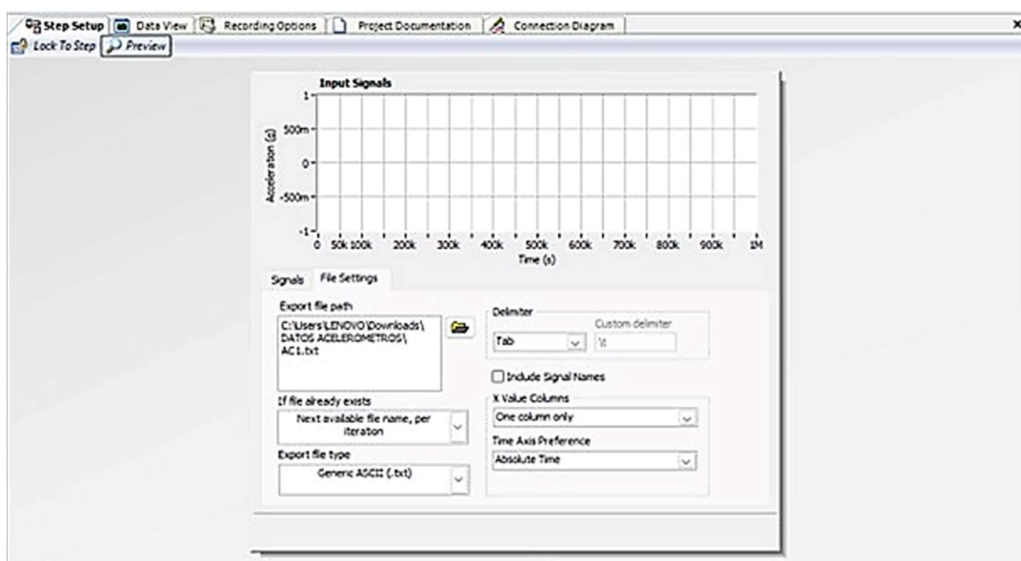
Entorno de cronometrado de la adquisición de datos de Signal Express versión 2015



Finalmente, se selecciona “Add step”, “Load/Save Signals”, “Save to ASCII/LVM” para que sea posible guardas los datos recolectados (ver Figura 109).

Figura 109

Entorno de configuración para guardas los datos adquiridos de Signal Express versión 2015



Se seleccionará la ubicación y se dará un nombre a los archivos, que conforme ocurra el ensayo, se establecerá de forma automática el nombre base más los dígitos en orden creciente a los archivos que se van creando. Finalmente, se selecciona la opción “Run” y manteniéndonos en la pestaña “Input Signal” se visualizarán las vibraciones de la estructura registradas a lo largo del tiempo.

Procesamiento de Datos

Después de realizar el ensayo en campo dividido en dos secciones, la primera realizada en el bloque de un piso y la segunda en el bloque de dos pisos, se procede con el análisis de los registros obtenidos de la medición, para lo cual se necesita del software Matlab.

Cada ensayo se procesa individualmente debido a que el primer ensayo consta de 4 sensores, teniendo así un registro de 5 columnas siendo la primera la representación del tiempo en que se tomaron los datos y el segundo ensayo se constituye de 8 sensores, con un registro de 9 columnas. A continuación, se eligen las mejores lecturas para iniciar el procesamiento de datos en el software de apoyo, descartando el primer registro que es donde existe mayor posibilidad de generar vibraciones artificiales que interfieran en la toma de datos.

Software MATLAB

En función del dominio del tiempo se aplica un filtrado de señales que servirá en herramientas como función de transferencia (TF), ventaneo, transformada de Fourier, densidad de potencia espectral (PSD) y espectro cruzado de potencia (CPS). De esta manera obteniendo las gráficas por cada herramienta de identificación en los dos sentidos de análisis X y Y:

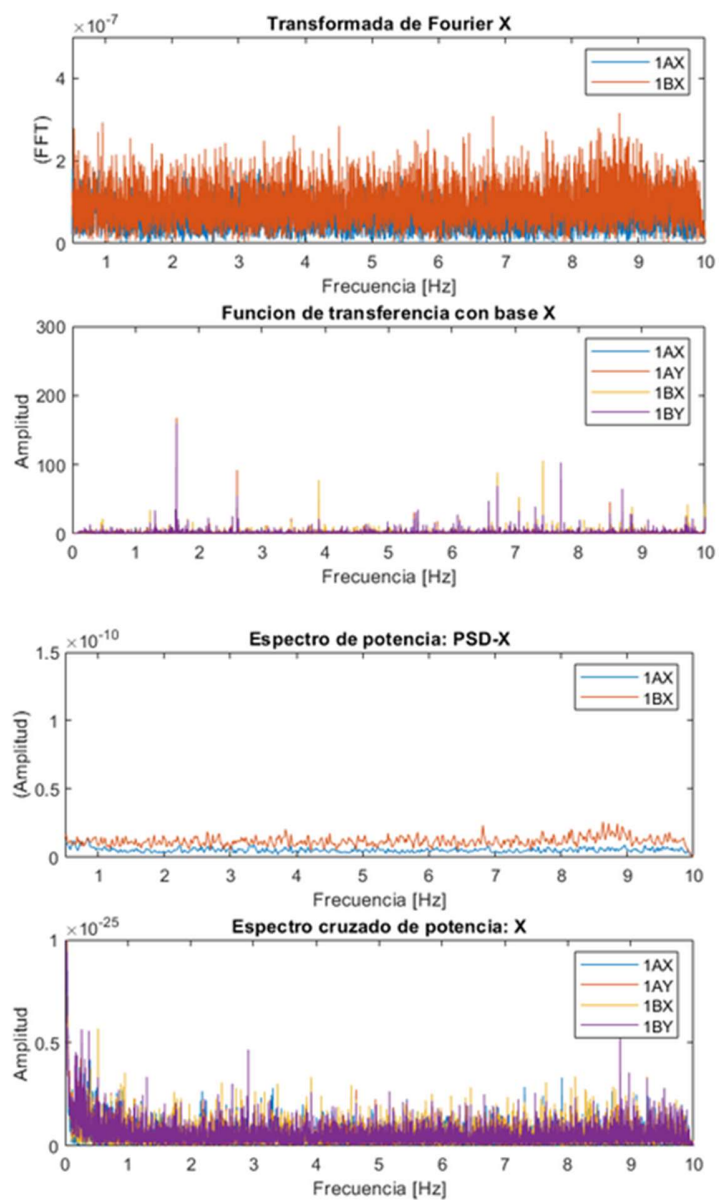
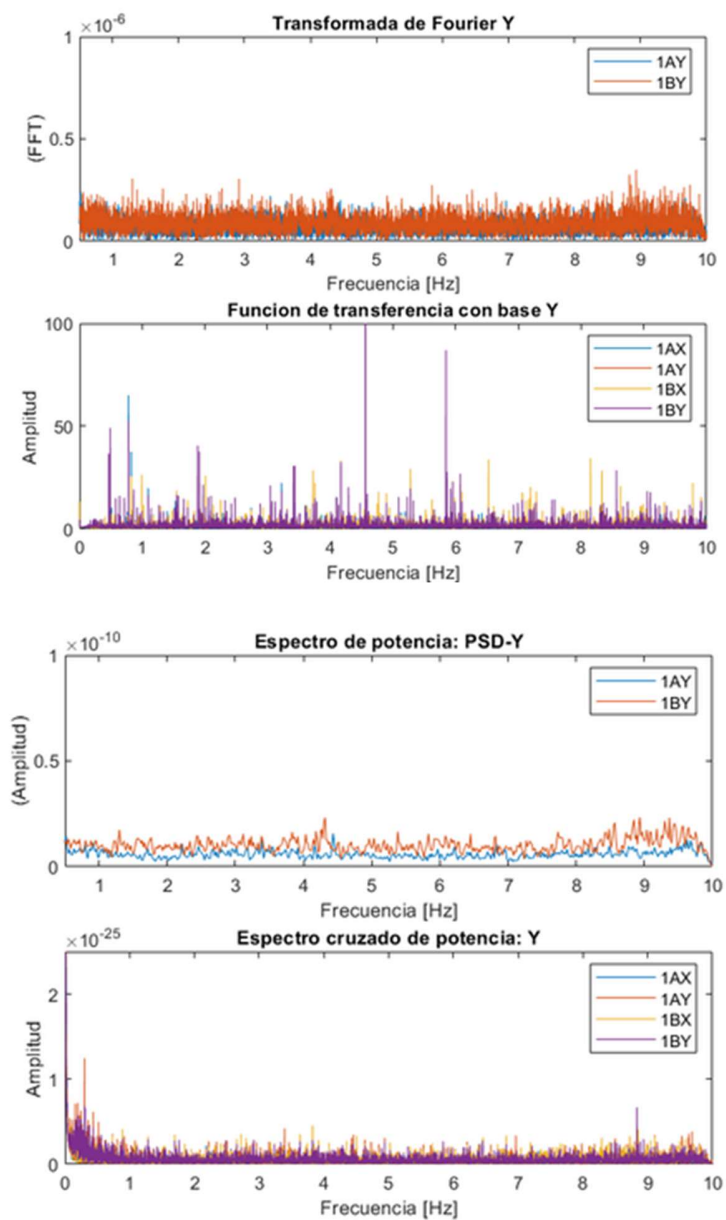
Ensayo 1 en sección 1 – un piso**Figura 110***Herramientas de identificación en sentido X*

Figura 111

Herramientas de identificación en sentido Y

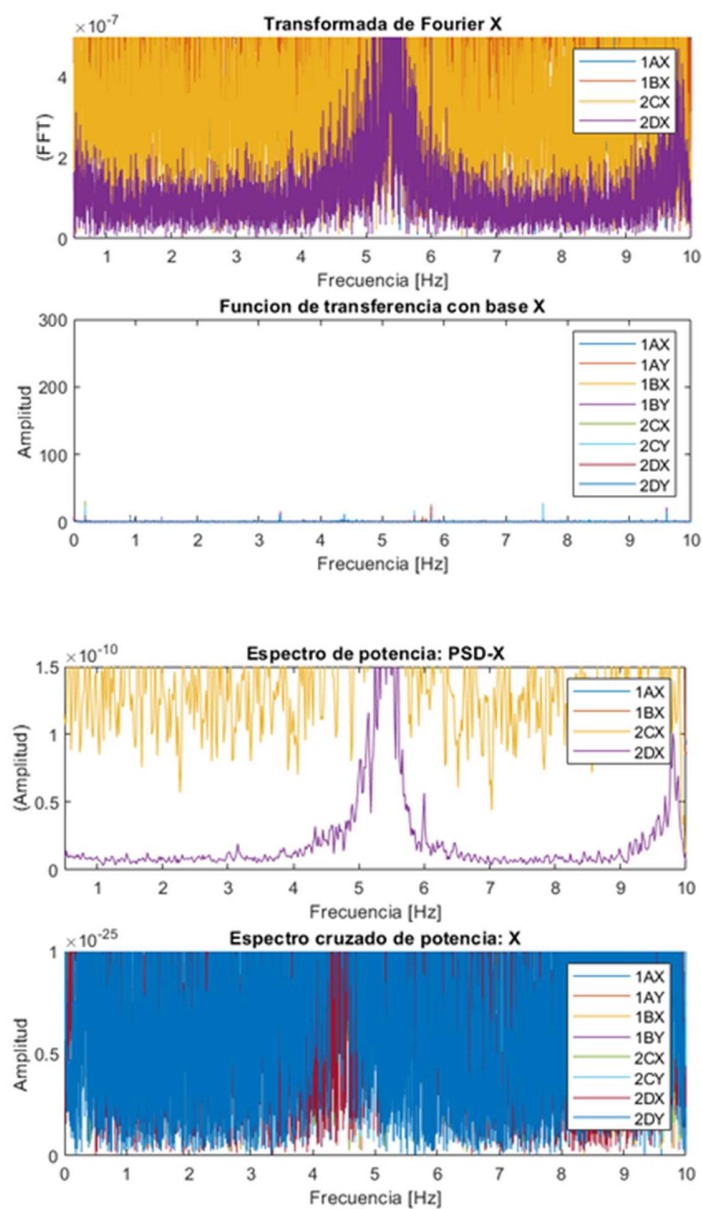
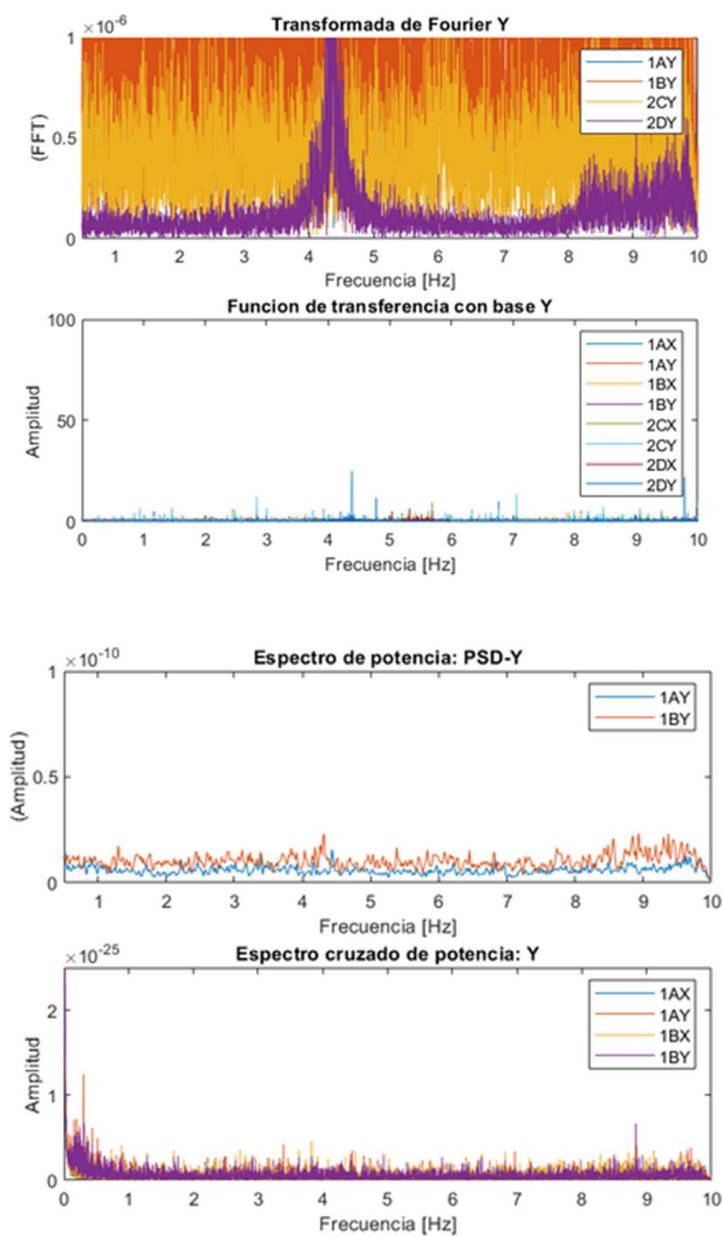
Ensayo 2 en sección 2 – dos pisos**Figura 112***Herramientas de identificación en sentido X*

Figura 113

Herramientas de identificación en sentido Y



Finalmente, para escoger las frecuencias características según los picos más altos en la transformada de Fourier, se toma como referencia la Ecuación 27 proporcionada por la norma europea relacionada con la construcción Eurocódigo 8 (British Standard., 2004) que trata sobre

el diseño de estructuras para resistencia sísmica, en el caso de edificios con alturas de hasta 40m el valor de T_1 puede aproximarse mediante la siguiente expresión:

$$T_1 = C_t * H^{3/4} \quad (27)$$

Donde:

$C_t = 0,085$ para pórticos de acero;

0,075 para pórticos de hormigón;

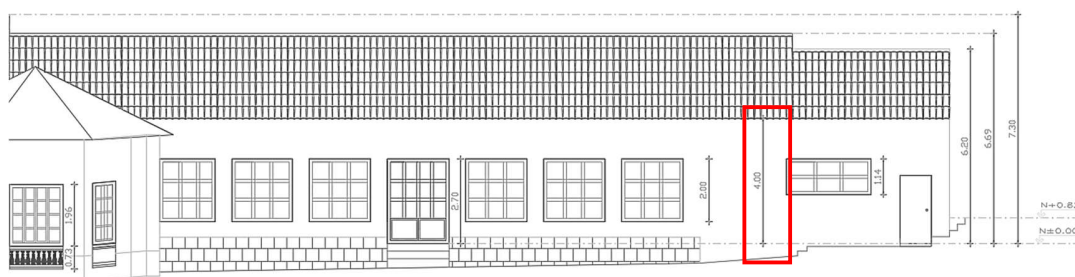
0,050 para las demás estructuras.

$H =$ es la altura del edificio, desde los cimientos, m.

Al contar con dos secciones diferentes en la estructura de estudio se procede a realizar dos cálculos distintos del período fundamental, uno para la sección 1 de un piso con altura de 4,00 m (ver Figura 114) y otro para la sección 2 de dos pisos con altura de 7,39 m (ver Figura 115). Es importante recordar que estas alturas son tomadas por encima de la cimentación de piedra superficial es decir desde el nivel de referencia N+0,00 que se observa en las figuras mencionadas. De igual manera, el valor más adecuado a tomar de C_t es 0,050 para la estructura en estudio.

Figura 114

Detalle de sección 1 de fachada lateral izquierda



Nota. Tomado de *Restitución Geométrica 3D y modelación numérica de la edificación patrimonial 1 en la Academia de Guerra del Ejército - Fase Modelación Analítica*, por Cabezas, Flores, Gualotuña & Guano, 2023, Repositorio Espe.

Figura 115

Detalle de sección 2 de fachada lateral derecha



Nota. Tomado de *Restitución Geométrica 3D y modelación numérica de la edificación patrimonial 1 en la Academia de Guerra del Ejército - Fase Modelación Analítica*, por Cabezas, Flores, Gualotuña & Guano, 2023, Repositorio Espe.

Con los datos ya impuestos, se determina el valor del período fundamental de vibración T_1 de la estructura para la sección 1 y 2 como se detalla en la Tabla 33.

Tabla 33

Período fundamental de vibración para las dos secciones de la estructura

| Sección | C_t | H (m) | T_1 (seg) | Frecuencia (Hz) |
|---------|-------|-------|-------------|-----------------|
| 1 | 0,05 | 4,00 | 0,1414 | 7,0721 |
| 2 | 0,05 | 7,39 | 0,2241 | 4,4623 |

Con ello, se realiza una selección cuidadosa y manual mediante la función Compass, la cual nos permite verificar que cada configuración que corresponde a la función de transferencia se encuentre en fase, para posterior a esto y mediante el método SRSS obtener los modos de vibrar de la estructura.

Capítulo IV

Resultados y Análisis

Evaluación cualitativa de la vulnerabilidad sísmica

Metodología FEMA P-154 adaptado a MIDUVI

Una vez obtenidos los puntajes finales para cada nivel de sismicidad de la estructura y el trabajo realizado en campo, se determina que el índice de vulnerabilidad que presenta la estructura Patrimonial I, aplicando la metodología FEMA P-154 para determinar una evaluación sísmica estructural, nos indica que requiere una evaluación más detallada ya que se tiene alta vulnerabilidad sísmica, al tener valores de 0,30 y 1,10 en los niveles 1 y 2 respectivamente, que al ser comparados con los límites recomendados para la categorización de la vulnerabilidad sísmica de una edificación, son menores a 2,3.

Tabla 34

Grado de vulnerabilidad

| Grado de Vulnerabilidad | | Nivel 1 | Nivel 2 |
|-------------------------|---|---------|---------|
| $S < a 2,3$ | Alta vulnerabilidad, requiere evaluación especial | 0,30 | 1,10 |
| $2,3 \leq S < 2,5$ | Media vulnerabilidad | | |
| $S \geq 2,5$ | Baja vulnerabilidad | | |

La metodología FEMA P-154 permitió reconocer la vulnerabilidad cualitativa, de manera que se evidenció las propiedades intrínsecas de la edificación, obteniendo como resultado un alto grado de vulnerabilidad sísmica, tanto en el nivel 1 como en el nivel 2, por lo que es necesario una investigación más detallada de la estructura, para de tal manera tomar acciones de reforzamiento. Por tal motivo, la presente investigación se basa en analizar detalladamente ciertos parámetros que influyen en el área sísmica de una estructura, con el fin de proponer

recomendaciones tanto estructurales como no estructurales para evitar un colapso de la edificación.

Metodología FUNVISIS

Empleando las fórmulas anteriormente descritas se obtiene el índice de priorización (Fórmula 10) y el índice de riesgo (Fórmula 11) de la edificación, estos resultados se verán plasmados en la Tabla 35.

Tabla 35

Índices de Priorización y Riesgo de la edificación patrimonial 1

| Edificación | I_A | I_V | I_I | I_p | I_R |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Patrimonial 1 | 0,90 | 83,10 | 0,87 | 65,07 | 74,79 |

Posteriormente, con todos estos valores obtenidos se hace una valorización que permita definir las prioridades para un estudio más detallado de la edificación, así mismo, la toma de decisiones para posibles intervenciones de refuerzo, bajo el contexto de prevención ante futuros terremotos.

Tabla 36

Valoración del Índice de Vulnerabilidad (I_V)

| I_V | Calificación de la Vulnerabilidad |
|-------------------------|--|
| Rango de Valores | |
| $60 \leq I_V \leq 100$ | Muy Elevada |
| $40 \leq I_V < 60$ | Elevada |
| $30 \leq I_V < 40$ | Media Alta |
| $20 \leq I_V < 30$ | Media Baja |
| $10 \leq I_V < 20$ | Baja |
| $0 \leq I_V < 10$ | Muy Baja |

Nota. Recuperado de *Índices de Priorización de Edificios*, por FUNVISIS, 2014.

La valoración para este índice I_V que tiene un valor de 83,10 se encuentra en el rango de 60 a 100, obteniendo así una calificación de vulnerabilidad “Muy elevada”.

Tabla 37

Valoración del Índice de Riesgo (I_R)

| Calificación del Riesgo | I_R |
|-------------------------|------------------------|
| | Rango de Valores |
| Muy Elevado | $60 \leq I_R \leq 100$ |
| Elevado | $40 \leq I_R < 60$ |
| Alto | $25 \leq I_R < 40$ |
| Medio Alto | $15 \leq I_R < 25$ |
| Medio Bajo | $8 \leq I_R < 15$ |
| Bajo | $3 \leq I_R < 8$ |
| Muy Bajo | $0 \leq I_R < 3$ |

Nota. Recuperado de *Índices de Priorización de Edificios*, por FUNVISIS, 2014.

El índice I_R cuenta con un valor de 74,79 que está en el rango de 60 a 100, adoptando así una calificación del riesgo “Muy elevado”.

Tabla 38

Valoración del Índice de Priorización (I_p)

| Calificación de la Priorización | I_p |
|---------------------------------|------------------------|
| | Rango de Valores |
| (Prioridad máxima) P1 | $60 \leq I_p \leq 100$ |
| P2 | $50 \leq I_p < 60$ |
| P3 | $40 \leq I_p < 50$ |
| P4 | $30 \leq I_p < 40$ |
| P5 | $25 \leq I_p < 30$ |
| P6 | $20 \leq I_p < 25$ |
| P7 | $16 \leq I_p < 20$ |

| Calificación de la Priorización | I_p Rango de Valores |
|--|--|
| P8 | $12 \leq I_p < 16$ |
| P9 | $8 \leq I_p < 12$ |
| P10 | $5 \leq I_p < 8$ |
| P11 | $2 \leq I_p < 5$ |
| (Prioridad mínima) P12 | $0 \leq I_p < 2$ |

Nota. Recuperado de *Índices de Priorización de Edificios*, por FUNVISIS, 2014.

Finalmente, para el índice de priorización dentro del rango de 60 a 100, con un valor de 65,07; dando así una calificación de priorización “P1-Prioridad máxima”.

Tabla 39

Resumen de resultados de calificaciones

| Calificaciones de Índices | |
|----------------------------------|-----------------------|
| Vulnerabilidad | Muy Elevada |
| Riesgo | Muy Elevado |
| Priorización | (Prioridad máxima) P1 |

Dados los resultados presentados en la Tabla 39, la edificación se encuentra en estado crítico, no solo por la deficiencia relacionada con lo estructural si no por su origen de construcción, ya que este acata estándares muy diferentes a los actualmente exigidos por la normativa nacional (NEC).

Es necesario recordar que para el año de construcción (1960), el país no contaba con ningún tipo de norma rigurosa respecto a la construcción de edificaciones. El primer Código de Construcción se estableció en el año 1977, que contenía estimaciones de fuerzas laterales y

requisitos para un diseño sísmico. El año de referencia más relevante en cuanto a diseño sísmico en Ecuador fue el 2001, en donde se empleó por primera vez mapas de zonificación sísmica, requisitos más estrictos de diseño, modelados análogos del Código UBC 1997 y las secuelas que dejó como enseñanza el terremoto de Bahía de Caráquez de magnitud 7,1. Actualmente, se diseña con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC que fue aprobada en 2015, guiando el diseño sismo-resistente de estructuras en el país hasta el momento.

Construida en mayor parte por mampostería mixta de ladrillo y adobe, la casa patrimonial presenta daños principalmente relacionados al paso del tiempo, donde los cambios climáticos, humedad, materiales y mano de obra no calificada juegan un papel importante en que este cada vez pierda vida útil. Considerando también el elevado nivel de peligro sísmico existente en Ecuador, es indiscutible que se deba caracterizar a la edificación como prioridad máxima y requiera de propuestas para la restauración y reforzamiento apropiado para organizar su estructura.

La metodología FUNVISIS arrojó resultados de vulnerabilidad y riesgo muy elevado y también un estado de priorización máxima que, sin duda a pesar de estar basada en inspecciones visuales, comprueba en gran medida que se deben realizar actuaciones de intervención en la edificación estudiada.

Lo que nos lleva a un siguiente análisis de estudios detallados como pruebas experimentales en campo a modo de ensayos exploratorios y no destructivos para la resolución de adecuación estructural sismorresistente.

Metodología GEM

La taxonomía obtenida de la estructura analizada nos indica una descripción detallada para poder clasificar la estructura correspondiente al desempeño sísmico, y se describe a continuación:

DX/MUR+CLBRS+MOM/LPB+DNO/DY/MUR+CLBRS+MOM/LPB+DNO/HBET:1,2+HBE
 X:0+HFEX:3.63+HD:3/YAPP:1960/GOV+GOV1/BPD/PLFI/IRIR+IRPP:REC+IRPS:REC+IRVP:
 CHV+IRVS:CHV/EWE/RSH3+RMT1+RO+RWCP/FO+FWCP/FOSDN+HD:3/YAPP:1960/GOV+
 GOV1/BPD/PLFE/IRIR+IRPP:REC+IRPS:REC+IRVP:CHV+IRVS:CHV/EWE/RSH3+RMT1+RO
 +RWCP/FO+FWCP/FOSDN.

Tabla 40

Caracterización de la estructura

| Simbología | Descripción |
|-------------------|--|
| DX | Dirección X |
| MUR | Mampostería, no reforzada |
| CLBRS | Ladrillos de arcilla, sólidos |
| MOM | Mortero de barro |
| LPB | Poste y viga |
| DNO | No dúctil |
| DY | Dirección Y |
| HBET | Rango de número de |
| HBEX | plantas sobre rasante |
| HFEX | Altura exacta del suelo |
| DH | nivel de piso arriba |
| YAPP | calificación |
| GOV | Gobierno-servicios generales |
| BPD | Edificio aislado |
| PLFI | Forma irregular |
| IRIR | Estructura irregular |
| IRPP | Irregularidad en planta-primaria |
| REC | Buscar |
| IRPS | Irregularidad en planta-secundaria |
| IRVP | Irregularidad vertical - primaria |
| CHV | Cambio en la estructura vertical (incluye voladizos) |
| IRVS | Irregularidad vertical - secundaria |

| Simbología | Descripción |
|-------------------|---|
| EWE | Muros exteriores de tierra |
| RSH3 | Inclinada (a cuatro aguas) |
| RMT1 | Tejas de arcilla o hormigón |
| RO | Material del techo otro |
| RWCP | Diafragma techo-pared conexión presente |
| FO | Material del piso otro |
| FWCP | Diafragma suelo-pared conexión presente |
| FOSDN | Cimentación profunda sin carga lateral |

- Tipo de material: Albañilería, no armada
- Tecnología del material: Ladrillo macizo de barro cocido
- Propiedades del material: Mortero de barro
- Tipo sistema resistente a carga lateral: Poste y viga
- Ductilidad del sistema: No dúctil
- Número de plantas sobre rasante - Rango del número de plantas: entre 1 y 2
- Número de plantas bajo rasante - Número exacto de plantas: 0
- Altura de la planta baja sobre rasante - Altura exacta sobre rasante: 3,63 metros
- Pendiente del terreno - Pendiente del terreno: 3 grados
- Fecha de construcción o rehabilitación - Fecha aproximada de construcción o modernización: 1960
- Tipo de ocupación del edificio: Gobierno
- Detalles: Gobierno, servicios generales
- Posición del edificio dentro de un bloque: Edificio aislado
- Forma de la planta del edificio: Forma de planta irregular
- Tipo de irregularidad: Estructura irregular
- Irregularidad estructural en planta: Esquina entrante (primaria), Esquina entrante (secundaria)

- Irregularidad estructural vertical: Cambio en la estructura vertical (primaria), Cambio en la vertical estructura (secundaria)
- Material de las paredes exteriores: Paredes exteriores de tierra
- Forma del techo: Inclinado y a cuatro aguas
- Revestimiento del techo: Revestimiento del techo de tejas de arcilla o concreto
- Material del sistema del techo: Material del techo, otro
- Conexiones del techo: Conexión del diafragma techo-pared presente
- Material del sistema del piso: Material del piso, otro
- Tipo de sistema de suelo: Unión diafragma suelo-pared presente
- Sistema de cimentación: Cimentación profunda, sin capacidad lateral.

La metodología GEM proporcionó un código único de la estructura, lo cual en futuras investigaciones permitirá un análisis más avanzado de su grado de vulnerabilidad según su técnica de estudio.

Ensayos exploratorios-Método indirecto

Refracción sísmica

Como se detalló en el capítulo 3, el método combinado es el que brinda el valor definitivo de las ondas de corte V_{S30} correspondiente a 378,20 m/s con el que será posible determinar el tipo de suelo de la zona de estudio en concordancia con la Normativa Ecuatoriana de la Construcción NEC-15 en la Tabla 41.

Adicional a esto, se realizó una comparación con la clasificación del NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) plasmado en la Tabla 42 y con la función que proporciona el software “Surface Wave Analysis”, permitiendo catalogar el suelo (Figura 116) como una aproximación al resultado más confiable.

Tabla 41

Tipos de Perfil de Suelo según la NEC-SE-DS- 2015

| Tipo de perfil | Descripción | Definición |
|-----------------------|--|---|
| A | Perfil tipo roca competente | $V_s \geq 1500 \text{ m/s}$ |
| B | Perfil roca rigidez media | $1500 \text{ m/s} > V_s \geq 760 \text{ m/s}$ |
| C | Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplen con el criterio de velocidad de la onda de cortante | $760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$ |
| D | Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante | $360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$ |
| E | Perfil que cumple el criterio de velocidad de la onda de cortante | $V_s < 180 \text{ m/s}$ |

Nota. Recuperado de Capítulos NEC-15, por *Normativa Ecuatoriana de la Construcción, 2015, INEC.*

El valor obtenido se encuentra en el rango de $760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$, obteniendo un suelo Tipo C.

Tabla 42

Correlación entre clases de suelo, T_0 y rangos de velocidades V_{s30} .

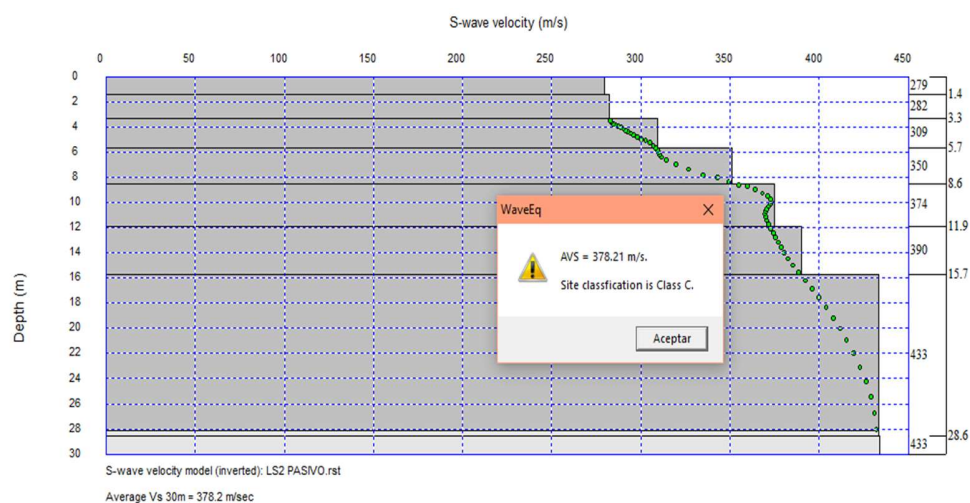
| Clases de suelo | Período natural del sitio T_0 (s) | Promedio de las velocidades de onda de corte (m/s) | Equivalencia con la clasificación del NEHRP |
|------------------------|-------------------------------------|--|---|
| SI (roca/suelo rígido) | $T_0 < 0,2$ | $V_{s30} > 600$ | A + B |
| SII (suelo firme) | $0,2 = T_0 < 0,4$ | $300 < V_{s30} = 600$ | C |
| SIII (suelo medio) | $0,4 = T_0 < 0,6$ | $200 < V_{s30} = 300$ | D |
| SIV (suelo blando) | $T_0 = 0,6$ | $V_{s30} = 200$ | E |

Nota. Recuperado de *An empirical site-classification method for strong-motion stations in Japan using H/V response spectral ratio*, por Zhao, 2006, Bulletin of the Seismological Society.

El valor obtenido se encuentra en el rango de $300 \text{ m/s} > V_s = 600 \text{ m/s}$, obteniendo un suelo Tipo C, sin embargo, para esta clasificación es necesario conocer el período natural del suelo el cual se obtendrá realizando el ensayo basado en el método de Nakamura que será expuesto más adelante.

Figura 116

Velocidad de ondas de corte a los 30 metros y tipo de suelo



El software nos arroja la clasificación del suelo Tipo C para un valor de 378,21 m/s. Ahora bien, haciendo una comparación entre el valor obtenido y las clasificaciones expuestas, el suelo se puede catalogar como:

Tabla 43

Comparación de los resultados obtenidos

| | V_{S30} (m/s) | | Tipo de suelo |
|----------------------------------|--|----------------------|---|
| Edificación patrimonial 1 | 378,20 m/s; entre 760 m/s > $V_s \geq 360$ m/s | Según (NEC-15, 2015) | C: Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante |
| | 378,20 m/s; entre 300 m/s > $V_s = 600$ m/s | Según NEHRP | C: SII (suelo firme) |
| | 378,20 | Según el software | Clasificación C |

Exitosamente, las tres comparaciones han llegado a la misma conclusión, la cual es catalogar el suelo en estudio como Tipo C.

Método de Nakamura

Una vez ya obtenida la frecuencia de 3,068 Hz, de donde se consigue el período de vibración al realizar la inversa de la misma, obteniendo un valor de 0,33 seg y de acuerdo con la NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program), se cataloga al suelo como firme (SII) y de Clase C en la equivalencia establecida (ver Tabla 44).

Esta clasificación permite tener un criterio inicial sobre el tipo de suelo (Schmidt, 2014).

Tabla 44

Correlación entre clases de suelo, T_0 y rangos de velocidades V_{s30} .

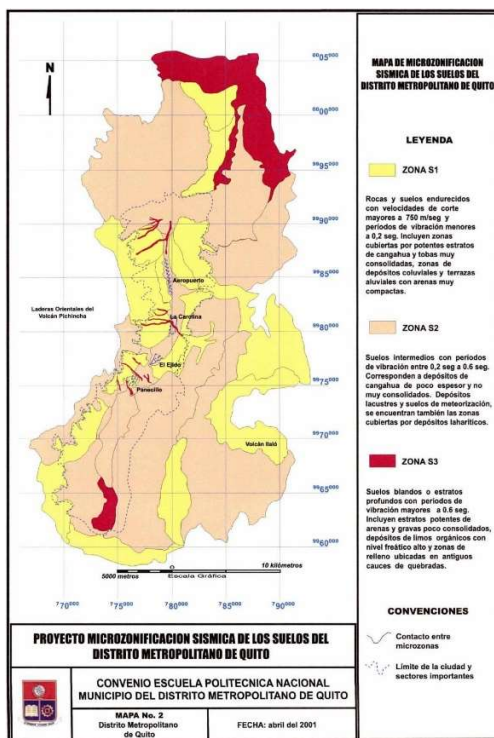
| Clases de suelo | Período natural del sitio T_0(s) | Promedio de las velocidades de onda de corte (m/s) | Equivalencia con la clasificación del NEHRP |
|------------------------|--|---|--|
| SI (roca/suelo rígido) | $T_0 < 0,2$ | $V_{s30} > 600$ | A + B |
| SII (suelo firme) | $0,2 = T_0 < 0,4$ | $300 < V_{s30} = 600$ | C |
| SIII (suelo medio) | $0,4 = T_0 < 0,6$ | $200 < V_{s30} = 300$ | D |
| SIV (suelo blando) | $T_0 = 0,6$ | $V_{s30} = 200$ | E |

Nota. Recuperado de *An empirical site-classification method for strong-motion stations in Japan using H/V response spectral ratio*, por Zhao, 2006, Bulletin of the Seismological Society.

Se corrobora la información obtenida del ensayo de Nakamura con el estudio realizado sobre la “Microzonificación sísmica de los suelos del Distrito Metropolitano de la ciudad de Quito”, en el cual se evidencia que en la zona de investigación se encuentra en depósitos lacustres y suelos de meteorización, ubicado en la determinada zona S2 con periodos de vibración de entre 0,2 y 0,6 seg.

Figura 117

Mapa de microzonificación sísmica de los suelos del Distrito Metropolitano de Quito



Nota. Tomado de *Microzonificación sísmica de los suelos del Distrito Metropolitano de la ciudad de Quito*, por Valverde, Fernandez, Jimenez, Vaca & Alarcón, 2011, Escuela Politécnica Nacional.

Ensayos exploratorios-Método directo

Prueba de penetración estándar (Ensayo SPT)

El suelo analizado como primera capa se encontró relleno, y posteriormente un suelo granular con alta humedad, la misma que se pudo haber afectado debido a las condiciones climáticas previas a la realización del ensayo, además, se puede evidenciar que el tipo de suelo según la clasificación SUCS se trata de arena limosa SM, que tiene una plasticidad nula.

Durante el ensayo realizado en campo no se encontró nivel freático hasta una profundidad máxima de 2,50 m, profundidad en la cual finalizó el ensayo SPT debido a que se

encontró rechazo de suelo. A continuación, se detalla los resultados obtenidos mediante los ensayos de laboratorio realizado con las 3 muestras extraídas mediante el ensayo de penetración estándar.

Tabla 45

Resultados ensayo SPT

| Sondeo | Profundidad (m) | % Humedad | % de suelo | | | Clasificación SUCS | |
|--------|--------------------|-----------|------------|--------|-------|--------------------|----------------|
| | | | Gravas | Arenas | Finos | Símbolo | Descripción |
| SPT1-1 | 1,80 | 20,80 | 11 | 57 | 33 | SM | Arenas limosas |
| SPT2-1 | 1,50 | 26,04 | 11 | 55 | 35 | SM | Arenas limosas |
| SPT2-2 | 2,00 | 18,24 | 13 | 57 | 30 | SM | Arenas limosas |

Como resultado final de los cálculos de escritorio se determinó una capacidad portante dominante del suelo de alrededor de 19,80 T/m², para vigas de cimentación con un ancho B=1,2 m a una profundidad de 1,50 m y se tiene un asentamiento previsible de 3,15 mm. Con lo que se puede analizar que, para la estructura de 2 pisos estudiada la capacidad portante del suelo es buena, puesto que se piensa que, debido a la época de construcción, la cimentación en la que se encuentra la edificación es corrida de piedra, por tanto, se podría comparar con los resultados obtenidos de una viga de cimentación.

Tabla 46*Resultados cálculos de carga y asentamiento*

| Suelo de cimentación | Ancho de la cimentación (m) | Tipo de cimentación | Profundidad (m) | Capacidad de carga requerida (T/m ²) | Capacidad de carga admisible (T/m ²) | Asentamiento previsible (mm) |
|----------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------|--|--|------------------------------|
| SM | 1,2 | Viga de cimentación | 1,5 | 12,50 | 19,80 | 3,15 |
| SM | 2 | Zapata cuadrada | 1,5 | 15,00 | 15,35 | 5,54 |
| SM | 5 | Losa | 1,5 | 2,40 | 10,23 | 1,76 |

Ensayos no destructivos***Pachómetro***

Como resultado del ensayo realizado en los pilares de fachada se concluye que el equipo no detectó un material en específico (ver Figura 119). Este resultado fue el mismo para los 4 pilares que conforman la fachada lateral izquierda de la casa patrimonial.

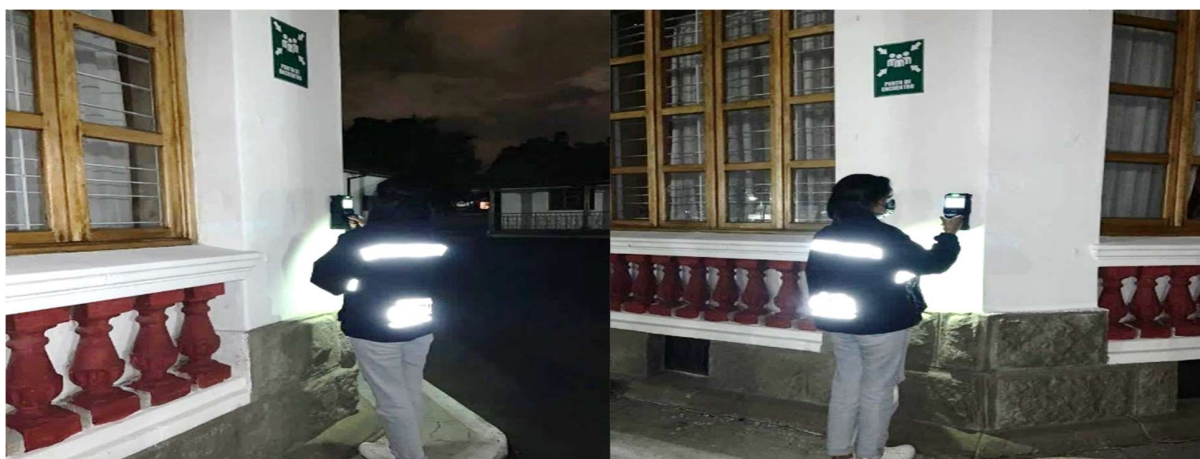
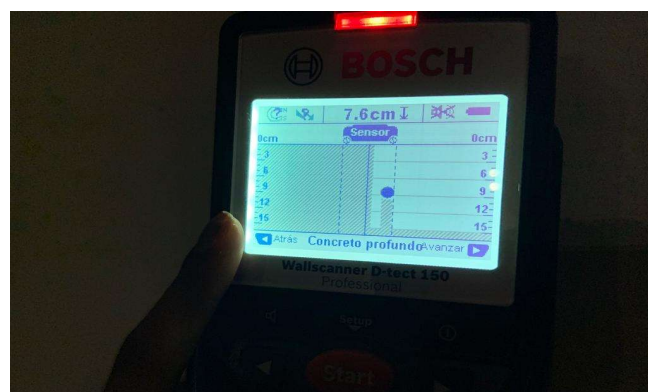
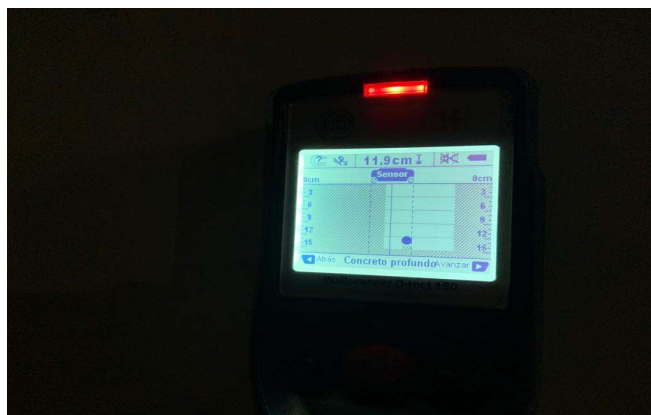
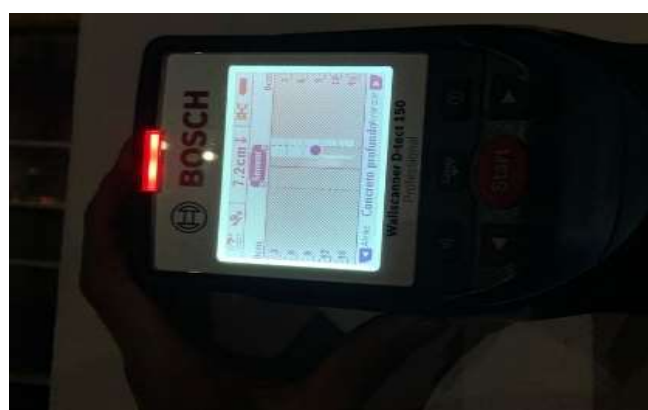
Figura 118*Ensayo del Pachómetro en pilares*

Figura 119*Resultados del primer ensayo*

a)



b)

Nota: a) Sentido longitudinal; b) Sentido transversal

Con todo lo mencionado, se puede constatar que los principales pilares de la estructura no cuentan con ningún tipo de reforzamiento o armaduras dentro de estos y que a lo largo de los años de existencia de la edificación patrimonial 1 se han realizado únicamente remodelaciones, restauraciones y mantenimiento dedicados a preservar su atractivo cultural.

Instrumentación Sísmica

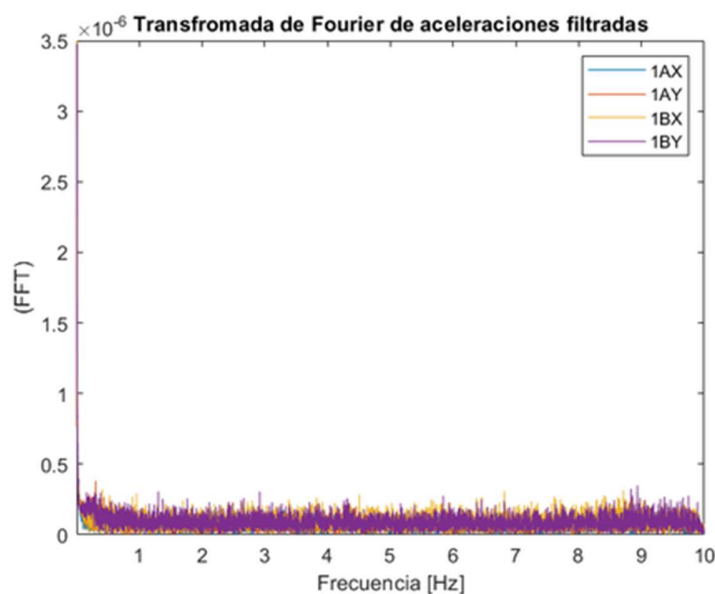
Acelerómetros

Para concluir con el procesamiento de datos y basándonos en la frecuencia obtenida con la aplicación de la Ecuación 27 provista por la norma europea Eurocódigo 8 (British Standard., 2004) sobre el diseño de estructuras para resistencia sísmica, en la gráfica de la transformada de Fourier de aceleraciones filtradas que nos proporciona el software, se seleccionan los tres picos con el valor más cercano a la frecuencia calculada para la sección 1 y 2 de la estructura analizada.

Ensayo 1 en sección 1 – un piso

Figura 120

Gráfica en el dominio del tiempo y de la frecuencia



Ensayo 2 en sección 2 – dos pisos

Figura 121

Gráfica en el dominio del tiempo y de la frecuencia

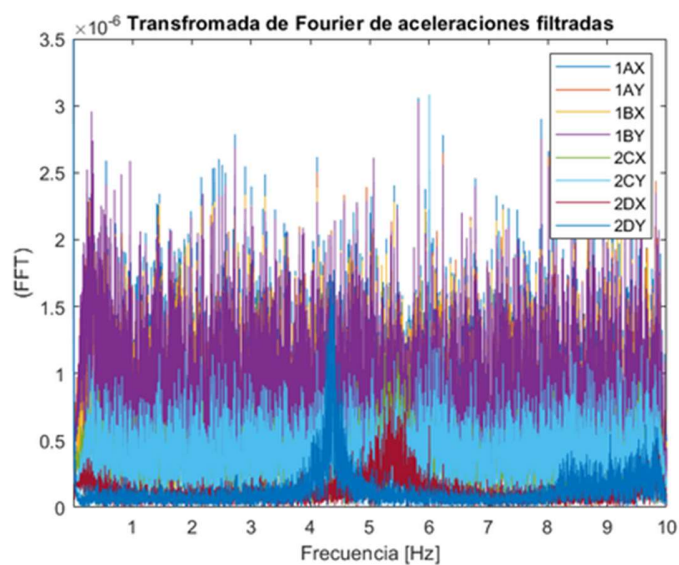
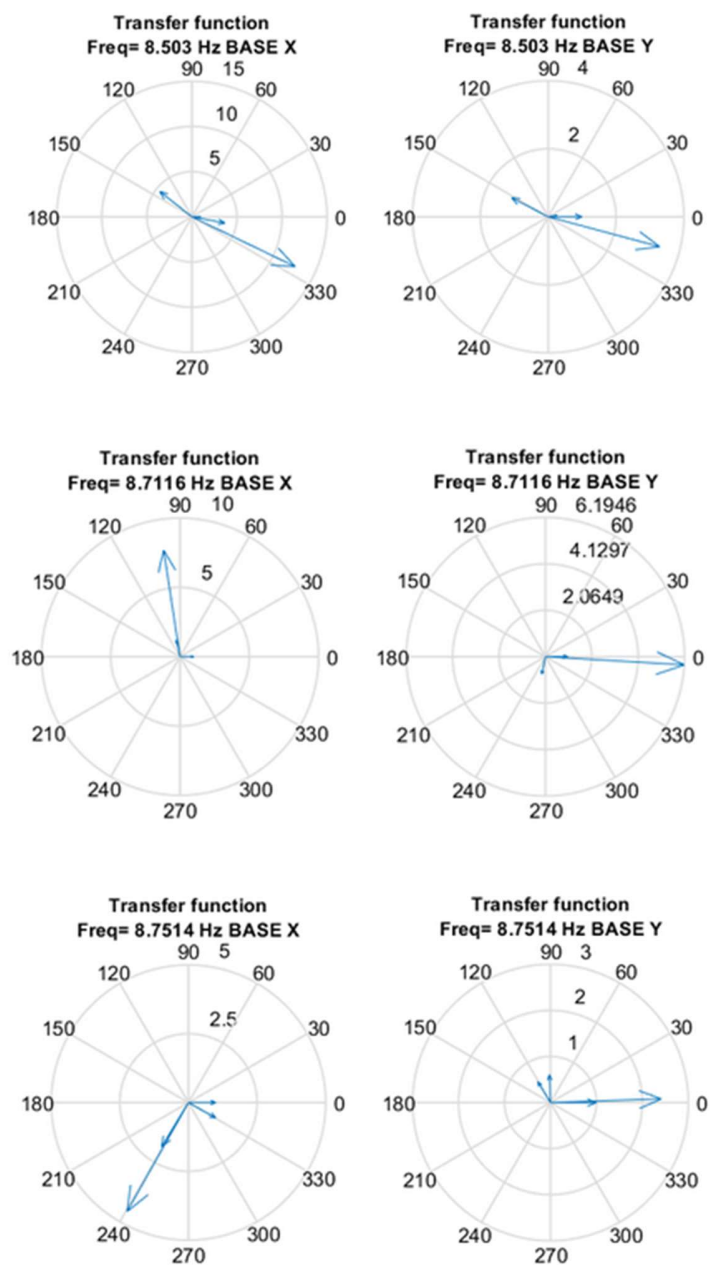


Tabla 47

Frecuencias tomadas de la gráfica de la transformada de Fourier

| | Frecuencias en fase Hz | | |
|-----------------|------------------------|--------|--------|
| Ensayo 1 | 8,5030 | 8,7116 | 8,7514 |
| Ensayo 2 | 5,8178 | 5,0631 | 5,4613 |

De acuerdo con los valores tomados (Tabla 47), se ingresan en el software para así correr el código y con la ayuda de la herramienta Compass, estimaremos los ángulos de los vectores de la función de transferencia para que se encuentran en fase.

Ensayo 1 en sección 1 – un piso**Figura 122***Herramienta compas con ángulos en fase*

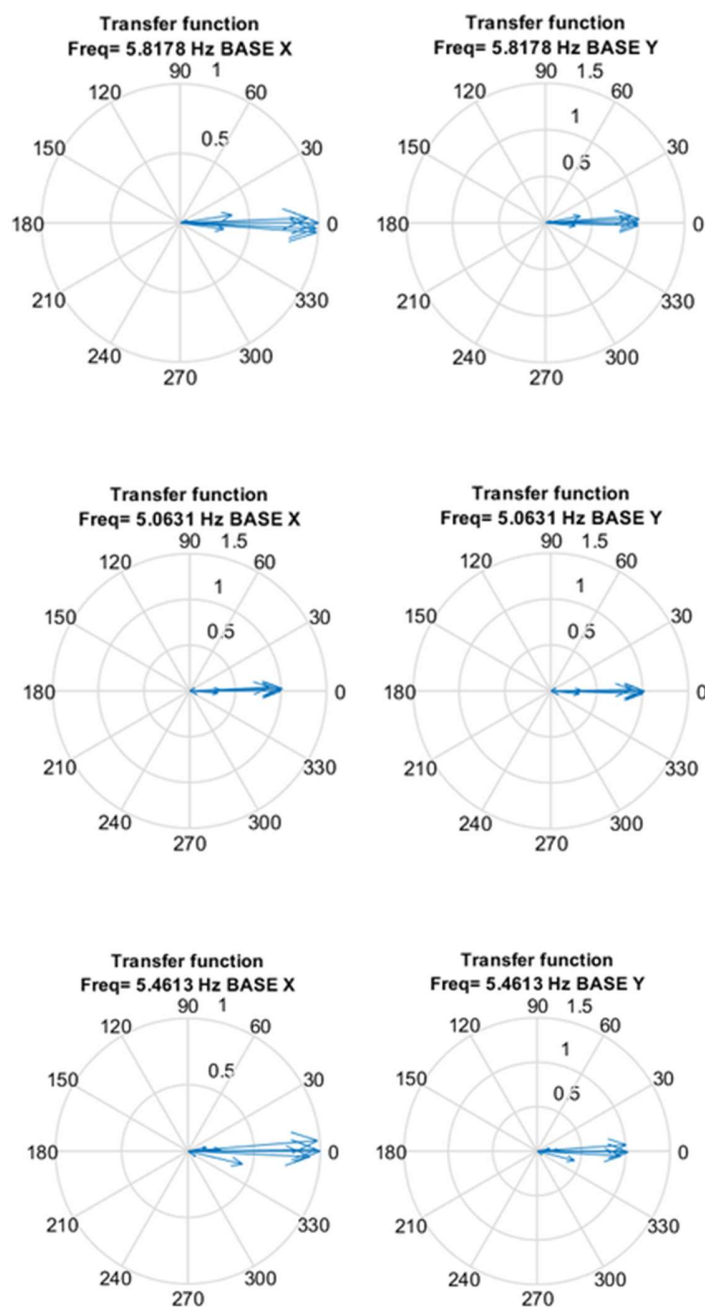
Ensayo 2 en sección 2 – dos pisos**Figura 123***Herramienta compas con ángulos en fase*

Tabla 48*Resultados finales del ensayo de Instrumentación sísmica*

| Vibración Ambiental | | |
|----------------------------|---------------|-----------------|
| <i>Ensayo 1</i> | | |
| 1 piso | Periodo (seg) | Frecuencia (Hz) |
| 1 | 0,1176 | 8,5030 |
| 2 | 0,1148 | 8,7116 |
| 3 | 0,1143 | 8,7514 |
| <i>Ensayo 2</i> | | |
| 2 pisos | Periodo (seg) | Frecuencia (Hz) |
| 1 | 0,1719 | 5,8178 |
| 2 | 0,1975 | 5,0631 |
| 3 | 0,1831 | 5,4613 |

Bajo un minucioso análisis e iteraciones llevadas a cabo, se puede rescatar el hecho de que en virtud de los ensayos realizados en campo en las dos secciones de la estructura y utilizando las herramientas como apoyo fue posible determinar el periodo vibración de la estructura (ver Tabla 48).

Los resultados expuestos reflejan el desempeño de la estructura ante efectos sísmicos a modo del tiempo que tarda en dar una vibración en la forma que moviliza la mayor parte de su masa, lo que significa que depende de su rigidez y masa, en donde gobernará el periodo más largo o también llamado periodo fundamental debido a que será participe en lo que se refiere al control del comportamiento estructural. Para el ensayo 1 este periodo es de $T_1 = 0,1176$ seg y para el ensayo 2 es de $T_1 = 0,1975$ seg.

Realizando una comparación de los resultados obtenidos con la referencia del Eurocódigo 8 y el tanteo en software (ver Tabla 49) se concluye que las cantidades obtenidas no presentan una diferencia considerable.

Tabla 49

Tabla de resumen de frecuencias obtenidas

| | Sección 1 | | Sección 2 | |
|---------------------------------------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|
| | Eurocódigo 8 | Software Matlab | Eurocódigo 8 | Software Matlab |
| Frecuencia (Hz) | 7,0721 | 8,5030 | 4,4623 | 5,0631 |
| Periodo T_1 (seg) | 0,1414 | 0,1176 | 0,2241 | 0,1975 |

Conclusiones

- La tipología de las estructuras antiguas, generalmente de adobe y ladrillo, es un sistema no tan resistente a cargas laterales, por lo que para mejorar esta capacidad es necesario un reforzamiento, principalmente en las uniones o conexiones entre elementos estructurales, de tal manera que trabajen en conjunto para soportar las cargas externas.
- En Ecuador todavía no se han implementado estudios respecto a las condiciones de resistencia de estructuras de adobe, que más allá de la caracterización en el sentido arquitectónico, se necesita conocer la resistencia o el mejoramiento de esta para que cuenten con un mejor desempeño.
- Se puede manifestar la gran importancia que se le da al patrimonio cultural y el poco esfuerzo en reforzar las estructuras de este tipo, como una respuesta a las diferentes problemáticas que presentan los casos, así como el estudiado en este proyecto, ya sea por su estado de conservación o diseño arquitectónico original.
- Los ensayos exploratorios directos e indirectos realizados en campo nos dan a conocer el tipo de suelo en que se está cimentada la estructura, en el caso de estudio se trata de un suelo tipo C de clasificación arena limosa con una capacidad portante alrededor de 15,35 T/m², y con un periodo de vibración del suelo de 0,33 s. Es importante comprender que los parámetros obtenidos trabajan en conjunto ya que del tipo de suelo depende la cimentación de la estructura, a la vez que esta depende de la capacidad de carga del suelo y profundidad donde se va a cimentar. El periodo de vibración revela si el suelo a cimentar es rígido o blando, puesto que a menor periodo mayor es su rigidez, lo cual es también un factor que limita el número de pisos en referencia a la construcción de una edificación.
- Entre los métodos cualitativos, se demuestra que en este caso de investigación se tiene un alto grado de vulnerabilidad en las diferentes metodologías aplicadas. En cuanto a la

metodología FEMA P-154, fundamenta sus coeficientes en un sismo máximo considerado basado en riesgos, mientras que la NEC-2015 se apoya en peligro uniforme que sería una de las limitantes para las evaluaciones estructurales, por lo que se toma otras alternativas como la metodología FUNVISIS, la cual se adapta de mejor manera a la problemática del país, debido a que en el país de origen de la metodología y Ecuador se tiene estructuras con características semejantes.

- Con el resultado del periodo de vibración del suelo de 0,33 segundos y el periodo de fundamental de la estructura para las secciones 1 y 2 con valores de 0,1143 y 0,1975 segundos respectivamente, al no ser valores iguales ni cercanos se puede descartar que la edificación entre en resonancia, es decir, que en caso de sismo los efectos como esfuerzos y desplazamientos no se amplificarán a nivel de modo de vibración por lo tanto tampoco se dará paso a un colapso estructural.

Recomendaciones

- El reforzamiento se da a partir de los resultados de los ensayos realizados que dan a conocer la caracterización de la edificación y el estado en el que se encuentran sus elementos estructurales, en vista de la antigüedad de su construcción existe un mayor riesgo de vulnerabilidad sísmica, por lo que se recomienda que al ser un bien patrimonial, se tome reforzamientos no muy invasivos que mantengan su particularidad y guiarse en el modelo matemático para determinar el mejor reforzamiento para la estructura.
- El desgaste en el cumbrero es evidente, por cual es recomendable su cambio, con sus respectivos cuidados, se debería realizar aplicando la misma técnica como lo era en esa época, para no afectar el bien patrimonial, generalmente en las conexiones con la mampostería solo se encontraban apoyadas o con clavos, por lo que no sería complicado su remodelación.

- Si se va a tomar acciones de reforzamiento en la estructura se sugiere hacer un seguimiento a los permisos con los que debe contar la edificación en lo que respecta a remodelación, restauración y preservación impuesto por las autoridades competentes ya que al ser una estructura que constituye un patrimonio fundamental de un país estas deben ser cumplidas a como dé lugar.
- Es sustancial que para recomendaciones de refuerzo sísmico se tenga como prioridad la conservación integral para que cualquier obra que se realice sea clara y se pueda constatar el momento en que se realizan con el objetivo de fomentar su restauración y sostenibilidad siempre que se proteja la integralidad de la estructura, al mismo tiempo que la conservación del tipo arquitectónico para que siempre se ampare su autenticidad.

Bibliografía

- Aguiar, R. (2012). *Dinámica de Estructuras con CEINCI-LAB (5ta ed.)*. Instituto Panamericano de Geografía e Historia.
- Aguiar, R., Quizanga, D., & Chicaiza, A. (2017). Espectros de control para el Valle de los Chillos. *Revista CIENCIA*, 77-93.
- Alvarado, A., Audin, L., Nocquet, J., Lagreulet, S., Segovia, M., Font, Y., . . . Rolandone, F. (2014). Active tectonics in Quito, Ecuador, assessed by geomorphological studies, GPS data, and crustal seismicity. *AGU (Advancing Earth and Space Science)*, 33(2), 67-83. Obtenido de <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2012TC003224>
- Arcentales, N. I., & Yépez, V. H. (2020). *Evaluación de la Respuesta Dinámica del Hospital Naval General Hosnag sometido a Vibración Ambiental*. [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE] Repositorio Institucional, Sangolquí.
- ASTM-D1586. (1992). *Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils*.
- Blondet, M., García, G., & Brzev, S. (2003). *Enciclopedia Mundial de la Vivienda: Construcciones de Adobe Resistentes a los Terremotos*. Obtenido de <https://www.world-housing.net/>
- Bonilla Garcés, A., Cruz Otero, O. M., Jingo Cevallos, J. R., & Obando Quiroz. (2022). *Recomendaciones sísmicas basadas en reocupación posterior a terremoto y tiempo de recuperación*. [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE] Repositorio Institucional.
- British Standard. (2004). *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions*. United Kingdom of Great Britain.

- Cabezas, Á., Flores, M. G., Gualotuña, H., & Guano, J. (2023). *Restitución Geométrica 3D y modelación numérica de la edificación patrimonial 1 en la Academia de Guerra del Ejército - Fase Modelación Analítica*. [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE] Repositorio Institucional.
- Cámara de la Construcción de Guayaquil. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*.
Obtenido de <https://www.cconstruccion.net/normas.html>
- Cárdenas, H. A. (2016). *Desarrollos Metodológicos y Aplicaciones hacia el cálculo de la Peligrosidad Sísmica en el Ecuador Continental y Estudio de Riesgo Sísmico en la ciudad de Quito*. [Tesis de Doctorado, Universidad Politécnica de Madrid] Repositorio Institucional. Obtenido de
https://oa.upm.es/39353/1/HUMBERTO_PARRA_CARDENAS_V-2.pdf
- Cevallos Pilco, T. A. (2018). *Estudio del Peligro Sísmico Determinista para las Estructuras del Cantón Ambato Sector Huachi Loreto ubicado en la Avenida Las Américas*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato] Repositorio Institucional.
- Chacón, J., Suquillo, B., Sosa, D., & Celi, C. (2021). Evaluación y Reforzamiento de una Estructura Patrimonial de Adobe con Irregularidad en Planta. *Revista Politécnica*, 47(1).
- Chopra, A., & Goel, R. (2000). Evaluation of NSP to Estimate Seismic. *Journal of Structural Engineering ASCE*.
- COGGLE. (s.f.). *Historia sísmica del Ecuador*. Obtenido de
<https://coggle.it/diagram/XymRO8ZTxkjjmJpk/t/historia-s%C3%ADsmica-del-ecuador>
- Construcción, N. E. (2007). *Cargas Sísmicas Diseño Sismoresistente*. MIDUVI.
- Damgaard, M. (2011). *An Introduction to Operational Modal Identification of Offshore Wind Turbine*. Aalborg University: Department of Civil Engineering.

- Delgado, C. (2016). *Parámetros para la elaboración del manual de fiscalización para edificaciones patrimoniales en la ciudad de Quito, Sangolquí*. [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE] Repositorio Institucional.
- Espinoza Larrea, L. S. (2017). *Evaluación Estructural de la Edificación Patrimonial Estupiñán Orejuela de la ciudad de Quito*. [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE] Repositorio Institucional, Sangolquí.
- Everest Geophysics S.L. (2020). Obtenido de <https://everestgeophysics.com/es/metodos/sismicos/hvsr/>
- FEMA P-154. (2015). *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards*. Obtenido de https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-07/fema_earthquakes_rapid-visual-screening-of-buildings-for-potential-seismic-hazards-a-handbook-third-edition-fema-p-154.pdf
- FUNVISIS. (2014). *Índices de Priorización de Edificios*. Caracas, Venezuela.
- Geo Alerta. (2023). *Riesgo Sísmico en Ecuador*. Obtenido de <https://blogs.upm.es/geoalerta/ecuador/riesgo-sismico-en-ecuador/>
- Geoseismic. (2017). *Método sísmico HVSR o técnica de Nakamura*. Obtenido de <http://www.geoseismic.cl/metodo-sismico-hvsr-tecnica-nakamura/>
- Harris, C. M., & Piersol, A. G. (1962). Shock and vibration handbook. *Physics Today*. Obtenido de <https://doi.org/10.1063/1.3058392>
- INEN. (1978). *Servicio Ecuatoriano de Normalización*. Obtenido de <https://apps.normalizacion.gob.ec/descarga/>
- Instituto Geofísico. (2013). *Catálogo de terremotos del Ecuador*. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/6007/CATALOGO%20TERREMO%20TOS%20113-127.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

- Kanai, K., & Tanaka, T. (1961). On microtremors VIII. *Earthquake Research Institute*, 39, 97-114.
- López, C., & Music, J. (2016). Análisis del período y desplazamiento de edificios de hormigón armado considerando distintos grados de rigidez en sus elementos resistentes. *Obras y proyectos*, 33-47. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/306077797_Analisis_del_periodo_y_desplazamiento_de_edificios_de_hormigon_armado_considerando_distintos_grados_de_rigidez_en_sus_elementos_resistentes
- López, W., Marcillo, R., Pilco, R., & Villamizar, V. (2021). *Vulnerabilidad estructural de cuatro edificaciones en el Campus Sangolquí de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE] Repositorio Institucional, Sangolquí. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/26074>
- Maldonado, C. (1991). *Obtención de Parámetros de Diseño en Muros de Mampostería utilizando bloques de concreto liviano para el Valle de Guatemala*. [Tesis de pregrado, Universidad del Valle de Guatemala] Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/bitstream/handle/123456789/226/Maldonado%20Lutomirsky,%20Carlos%20Alejandro.PDF?sequence=1>
- Mathworks. (2022). *Compass*. Obtenido de Mathworks help center: <https://es.mathworks.com/help/matlab/ref/compass.html>
- Mazón Pachacama, P. B., & Reinoso Salinas, J. P. (2020). *Análisis de Vulnerabilidad Sísmica y Propuesta de Reforzamiento para el Edificio Central del Colegio Militar "Eloy Alfaro" en Quito*. [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE] Repositorio Institucional.

- Moncayo, M., Vargas, J., Moncayo, G., & Barzola, I. (2017). Análisis sobre la recurrencia de terremotos severos en Ecuador.
- Montserrat, A. d. (2013). *Relación entre el período fundamental de vibración y el índice de daño de un edificio de Hormigón Armado*. [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Cataluña] Repositorio Institucional.
- National Instruments. (2019). *cDAQ-9174*. Obtenido de <https://www.ni.com/en-us/support/model.cdaq9174.htm>
- National Instruments. (2019). *C Series sound and vibration input module*. Obtenido de <http://www.ni.com/en-us/shop/select/c-series-sound-and-vibration-inputmodule?modelId=122186>
- NEC-11. (2011). *Cargas Sísmicas - Diseño Sismoresistente NEC-SE-DS*. MIDUVI. Obtenido de https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/04/MTOP_NEC-SE-DS.pdf
- NEC-15. (2015). *NEC-SE-DS (Peligro Sísmico - Diseño Sismo resistente)*. MIDUVI.
- Ortega, F. F. (2017). *Selección de Ecuaciones de Atenuación (GMPEs) compatibles con el Sistema de Fallas de Quito*. [Tesis de Maestría, Escuela Politécnica Nacional] Repositorio Institucional. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/18981/1/CD-8377.pdf>
- Paz, M., & Hoon Kim, Y. (2019). *Structural Dynamics Theory and Computation*. Springer. doi:<https://doi.org/10.1007/978-3-319-94743-3>
- Proyectos Andino de Desarrollo Tecnológico en el Área de los Recursos Forestales Tropicales. (1984). *Manual de diseño para madera del grupo andino*. Lima.
- Quinatoa, J. (2022). *Evolución Histórica de las Normativas de Diseño Sismoresistente en América Latina. Casos de estudio: Colombia, Ecuador, Perú y Chile*. [Tesis de pregrado,

- Universidad Nacional de Chimborazo] Repositorio Institucional, Riobamba. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/9160/1/EVOLUCI%C3%93N%20HIST%C3%93RICA%20DE%20LAS%20NORMATIVAS%20DE%20DISE%C3%91O%20SISMO%20RESISTENTE%20EN%20AM%C3%89RICA%20LATINA.%20CASOS%20DE%20ESTUDIO%20COLOMBIA%2C%20ECUADOR%2C%20PER%C3%9A%20Y%20CHILE.pdf>
- Rainieri, C., & Fabbrocino, G. (2014). *Operational modal analysis of civil engineering*. Obtenido de https://svibs.com/?gclid=CjwKCAjw_MqgBhAGEiwAnYOAelkwW_r5vdlhQvYZgeBtUfJLf dAAqx_ydSnTWYIQtx78e2zdYZbltxoCk4MQAvD_BwE
- Ríos, J. (2016). *Mediciones de vibración ambiental para la caracterización de efecto de sitio - Aplicación Campus PUCP*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú] Repositorio Institucional. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7492>
- Rivadeneira, F., Segovia, M., Alvarado, A., Egred, J., Tinoco, L., Vaca, S., & Yopez, H. (2007). *Breves Fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador*. Quito, Ecuador: Corporación Editora Nacional. Obtenido de [https://www.igepn.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/comunidad-espanol/35-breves-fundamentos-sobre-los-terremotos-en-el-ecuador/file#:~:text=En%20la%20historia%20del%20Ecuador,\)%20y%20Bah%C3%ADa%20\(1998\).](https://www.igepn.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/comunidad-espanol/35-breves-fundamentos-sobre-los-terremotos-en-el-ecuador/file#:~:text=En%20la%20historia%20del%20Ecuador,)%20y%20Bah%C3%ADa%20(1998).)
- Scawthorn, C., Charleson, A., Allen, L., Greene, M., Jaiswal, K., & Silva, V. (2013). *GEM global earthquake model GEM Building Taxonomy Version 2.0 exposure modelling*. Obtenido de <https://www.globalquakemodel.org/gempublications/GEM-buildingtaxonomy-version-2.0>

- Schmidt, V. (2014). Clasificación de suelos de 15 estaciones acelerográficas, mediante el uso de métodos basados en vibraciones ambientales y del parámetro Vs30. *Revista Geológica de América Central*, págs. (51), 33-67. doi:10.15517/rgac.v51i1.16850
- Servicio de Ingeniería Civil Ingeniería Geotécnica. (2008). *Ensayo Nakamura*. Obtenido de <https://www.ensayonakamura.cl/>
- SISMOCEAN. (2015). *Sísmica de Refracción*. Obtenido de <https://www.sismocean.com/sismica-de-refraccion.php#:~:text=La%20refracci%C3%B3n%20s%C3%ADsmica%20es%20un,transmisi%C3%B3n%20en%20un%20medio%20s%C3%B3lido.>
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice* (3 ed.). John Wiley & Sons, Inc. Obtenido de <https://cequcest.files.wordpress.com/2015/09/terzaghi129883967-soil-mechanics-in-engineering-practice-3rd-edition-karl-terzaghi-ralph-b-peck-gholamreza-mesri-1996.pdf>
- Thomas, T. (2021). *First Source (Wireless)*. Obtenido de <https://firstsourcewireless.com/es/blogs/blog/how-to-identify-the-right-coax-cables-connectors#:~:text=Los%20conectores%20de%20cable%20coaxial,de%20conectores%20de%20cable%20coaxial.&text=BNC%20es%20un%20Tipo%20de%20conector%20popular%20para%20la%20se%C3%>
- Valverde, J., Fernández, J., Jiménez, E., Vaca, T., & Alarcón, F. (2011). *Microzonificación sísmica de los suelos del Distrito Metropolitano de la ciudad de Quito*. Escuela Politécnica Nacional.
- Wikipedia. (10 de febrero de 2023). *Terremotos en Ecuador*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Terremotos_en_Ecuador

Zhao, o., Irikura, K. Z., & J., F. Y. (Junio de 2006). An empirical site-classification method for strong-motion stations in Japan using H/V response spectral ratio. *Bulletin of the Seismological Society*, págs. 96, 914-925. doi:10.1785/0120050124

Apéndices