



UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD Y DEL SER

HUMANO

ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN PARA DESASTRES Y

GESTIÓN DEL RIESGO

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA

OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN

ADMINISTRACIÓN PARA DESASTRES Y GESTIÓN DEL

RIESGOS

TEMA:

VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR, CAMPUS LAGUACOTO.
PERIODO NOVIEMBRE 2022-FEBRERO 2023.

AUTORES:

ANGEL ERMEL TENELEMA CHELA

LUIS FERNANDO TOALOMBO GUAMBUGUETE

TUTOR:

ING. GINO NOBOA

GUARANDA – ECUADOR 2022 – 2023

**CERTIFICADO DE SEGUIMIENTO AL PROCESO
INVESTIGATIVO, EMITIDO POR EL TUTOR.**

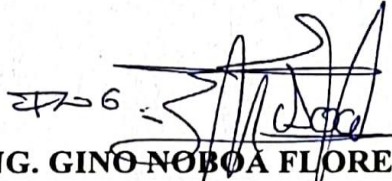
Guaranda, 10 de abril de 2023.

El suscrito Ingeniero Gino Noboa Flores MsC., Director de Proyecto de Investigación de Pre Grado de la carrera de Administración para Desastres y Gestión del Riesgo de la Universidad Estatal de Bolívar, en calidad de Docente – Tutor.

CERTIFICA:

Que el proyecto de investigación titulado: **“VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR, CAMPUS LAGUACOTO. PERIODO NOVIEMBRE 2022-FEBRERO 2023”**; realizado por los señores: **Angel Ermel Tenelema Chela y Luis Fernando Toalombo Guambuete**, ha sido debidamente revisado e incorporado las observaciones realizadas durante las asesorías; en tal virtud, autorizo su presentación para la aprobación respectiva de acuerdo al reglamento de la Universidad.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a verdad, facultando a los interesados dar al presente documento el uso legal que estimen conveniente.


ING. GINO NOBOA FLORES.

DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE PRE GRADO

DERECHOS DE AUTOR

Nosotros **Tenelema Chela Angel Ermel** y **Toalombo Guambuete Luis Fernando** portador/res de la Cédula de Identidad No 0202488045 y 0202411484, en calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales del Trabajo de Titulación: **Vulnerabilidad sísmica del laboratorio de investigación de la Universidad Estatal de Bolívar, campus Laguacoto. periodo noviembre 2022-febrero 2023**, modalidad presencial, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, concedemos a favor de la Universidad Estatal de Bolívar, una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservamos a mi/nuestro favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo/autorizamos a la Universidad Estatal de Bolívar, para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Digital, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El (los) autor (es) declara (n) que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.



Firmado digitalmente por:
**ANGEL ERMEL
TENELEMA CHELA**

Angel Ermel Tenelema Chela
Firma



Firmado digitalmente por:
**LUIS FERNANDO
TOALOMBO
GUAMBUETE**

Luis Fernando Toalombo Guambuete
Firma

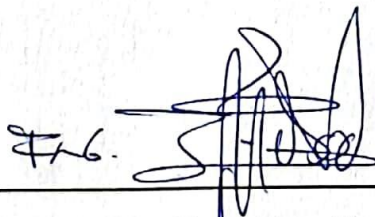
Guaranda, 21 de junio de 2023

El suscrito Ingeniero Gino Noboa Flores MsC., en calidad de **TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**, docente de la Universidad Estatal De Bolívar.

CERTIFICA

Que el Sr. **TENELEMA CHELA ANGEL ERMEL**, portador de la cedula de ciudadanía N°.0202488045, y el Sr. **TOALOMBO GUAMBUGUETE LUIS FERNANDO**, portadora de la de cédula de ciudadanía N° 0202411484, estudiantes de la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD Y DEL SER HUMANO, culminados en la Carrera **Administración para Desastres y Gestión de Riesgos**, modalidad presencial, una vez revisado el documento "*Vulnerabilidad sísmica del laboratorio de investigación de la Universidad Estatal de Bolívar, campus Laguacoto. nov/2022- feb2023*", pueden proceder a realizar el proceso del empaste de su proyecto de investigación.

Atentamente,



Ingeniero Gino Noboa Flores MsC.

Tutor del Proyecto de Investigación

DEDICATORIA

Mi tesis se la dedico a Dios, por dotarme de sabiduría e inteligencia, por ser el inspirador y darme fuerzas para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados. A mi esposa e hijo, por la comprensión y el apoyo que me han brindado para seguir adelante siendo mi fuente de motivación.

A mi madre y padre, por el apoyo incondicional por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado el éxito profesional. También la dedico a mis hermanos(a) quienes son un ejemplo que seguir por estar siempre presentes, acompañándome para alcanzar mis sueños. A mis sobrinos(a) que por medio de sus alegrías me motivaron para seguir adelante.

A todas las personas que nos han apoyado de una u otra manera hizo posible que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Luis Fernando Toalombo Guambuete

DEDICATORIA

Todo esfuerzo, dedicación, perseverancia, y constancia conlleva un consigo de felicidad, es por ello que el presente trabajo de investigación dedico a las mejores personas de mi vida como lo es mi padre Guillermo Tenelema, a mi bella madre Agustina Chela quien me ha motivado cumplir cada uno de mis sueños dándome su apoyo incondicional su amor perfecto y consejos sabios. A mi único hermano Guillermo T. quien ha demostrado su apoyo total en toda mi vida estudiantil. A mis hermanas quienes siempre han estado inculcando seguir adelante.

A mis sobrinos y sobrinas por haber sido mis cómplices y mis mejores amigos/as. Gracias a cada uno de ellos he concluido con una meta que tanto anhelaba, convirtiéndome así en un profesional, les prometo llevar siempre en mi mente y corazón todos sus sabios consejos, los amo siempre.

Angel Ermel Tenelema Chela

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios por darme salud y vida por guiarme durante muchos años de estudio y llegar a ser profesional. Agradezco a mis padres y a toda mi familia por confiar en mí, por el apoyo moral, económico y ayudarme a culminar una etapa más de mi vida. A los docentes por haber compartido sus conocimientos a lo largo de nuestra preparación. De igual manera nuestros agradecimientos al tutor de nuestro proyecto Ing. Gino Noboa por su paciencia y excelente dirección durante el desarrollo del proyecto.

A la Universidad Estatal de Bolívar por ser el alma mater, un magnifico templo de enseñanza, donde nos alimentamos de conocimientos y valores mismos que fueron fundamentales para nuestra formación profesional. A mis compañeros de curso con quienes compartí muchos momentos agradables, en donde formé nuevas amistades.

Luis Fernando Toalombo Guambuquete

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer en primer lugar a Dios por haberme dado salud, vida y por mantenerme firme en cada uno de los procesos de mi vida.

Mi agradecimiento profundo a la Universidad Estatal de Bolívar, a toda la Facultad de Ciencias de la Salud, a la carrera de Administración para Desastres y Gestión de Riesgos, a mis queridos maestros en especial al Ing. Gino Noboa en calidad de tutor, quienes con la enseñanza de sus conocimientos nos ha encaminado día a día formar como profesional.

Angel Ermel Tenelema Chela

TEMA

VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL LABORATORIO DE
INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR, CAMPUS
LAGUACOTO. PERIODO NOVIEMBRE 2022-FEBRERO 2023.

ÍNDICE

Contenido

DEDICATORIA.....	I
DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
TEMA.....	V
ÍNDICE	VI
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XVI
CERTIFICADO DE SEGUIMIENTO AL PROCESO INVESTIGATIVO, EMITIDO POR EL TUTOR(A)	XVII
RESUMEN EJECUTIVO	1
ABSTRACT	3
INTRODUCCIÓN	5
CAPÍTULO 1: EL PROBLEMA.....	7
1.1. Planteamiento del problema	7
1.2. Formulación del Problema	9
1.3. Objetivos	9

1.3.1. Objetivo General.....	9
1.3.2. Objetivos Específicos	9
1.4. Justificación de la Investigación.....	10
1.5. Limitaciones	11
CAPÍTULO 2: MARCO TEORICO	12
2.1. Antecedentes de la Investigación	12
2.2. Bases Teóricas	14
.....	27
2.3. Definición de Términos (Glosario)	28
2.4. Sistemas de Variables.....	30
2.5. Operacionalización de variables.....	31
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO	34
3.1. Nivel de Investigación.....	34
3.2. Diseño.....	52
3.3. Población y Muestra	52
3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	52
3.5. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos (Estadístico utilizado), para cada uno de los objetivos específicos	53
CAPÍTULO 4: RESULTADOS O LOGROS ALCANZADOS SEGÚN LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	55

4.1. Resultados según objetivo 1	55
4.1.1. Elaborar un diagnóstico de las condiciones actuales de la estructura física del Laboratorio de Investigación de la Universidad Estatal de Bolívar.....	55
4.1.2. Patologías estructurales	56
4.1.3. Distribución interna de paredes	57
4.1.4. Síntomas de la edificación.....	57
4.2. Resultados según objetivo 2	61
4.2.1. Analizar la vulnerabilidad sísmica de la estructura a través de la metodología de evaluación rápida FEMA P-154 y el modelamiento del comportamiento estructural utilizando el software CYPECAD.	61
4.2.2. Método FEMA P-154	61
4.2.3. Parámetros de evaluación del formulario FEMA P-154	63
4.2.4. Resultado formulario FEMA P-154	66
4.2.5. Ensayo de resistencia a la compresión	66
4.2.6. Modelamiento del comportamiento estructural utilizando el software CYPECAD	67
4.2.7. Resultados del modelamiento estructural de la edificación.....	70
4.2.8. SISMO	70
4.2.9. Datos generales de sismo.....	70
4.2.10. Espectro de cálculo.....	72

4.2.11. Corrección por cortante basal	77
4.2.12. Cortante basal estático	77
4.2.13. Cortante sísmico combinado por planta	80
4.2.14. Distorsión de columnas	82
4.2.15. Modos de Vibración	83
4.2.16. Vulnerabilidad sísmica del edificio Laboratorio de Investigación de la Universidad estatal de Bolívar.....	84
4.3. Resultado según objetivo 3.....	86
4.3.1. Proponer medidas para la reducción de la vulnerabilidad estructural en el edificio.....	86
4.3.2. Resultado del segundo modelamiento estructural implementando las medidas de reducción	87
4.3.3. SISMO	87
4.3.4. Datos generales de sismo.....	88
4.3.5. Espectro de cálculo.....	90
4.3.6. Coeficientes de participación.....	92
4.3.7. Corrección por cortante basal	95
4.3.8. Cortante basal estático	95
4.3.9. Verificación de la condición de cortante basal	96
4.3.10. Cortante sísmico combinado por planta	97

4.3.11. Porcentaje de cortante sísmico resistido por tipo de soporte	99
4.3.12. Porcentaje de cortante sísmico resistido por tipo de soporte en arranques.....	99
4.3.13. Distorsiones de pilares.....	100
4.3.14. Modos de vibración	100
4.4. Comparación y análisis de resultados obtenidos del primer y segundo modelamiento.....	101
4.4.1. Análisis de resultados coeficientes de participación modal de masas.....	101
4.4.2. Análisis de resultados distorsión de columnas primer y segundo modelamiento.....	103
CAPÍTULO 5: MARCO ADMINISTRATIVO	105
5.1. Cronograma de actividades del proyecto de investigación	105
5.2. Presupuesto del trabajo de investigación.....	107
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	108
6.1. Conclusiones	108
6.2. Recomendaciones.....	111
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
ANEXOS.....	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valores de factor Z en función en función a la zona sísmica adoptada	15
Tabla 2 Operacionalización de variable dependiente.....	31
Tabla 3 Operacionalización de variable independiente.....	32
Tabla 4 Puntaje básico y modificadores.....	41
Tabla 5 Nivel de vulnerabilidad método FEMA P-154	45
Tabla 6 Formulario de evaluación visual rápido FEMA P-154	46
Tabla 7 Tipos de patologías en el sistema estructural	56
Tabla 8 Datos generales de la institución.....	62
Tabla 9 Puntajes básicos y modificadores para el edificio del Laboratorio de Investigación de la U.E.B	64
Tabla 10 Formulario FEMA P-154 aplicado a la estructura del Laboratorio de Investigación U.E.B	65
Tabla 11 Grado de vulnerabilidad edificio del Laboratorio de Investigación U.E.B.....	66
Tabla 12 Resumen de ensayo de esclerometría en el edificio del Laboratorio de Investigación de la U.E.B.....	67
Tabla 13 Coeficientes de participación	74
Tabla 14 Rango de periodos por modos.....	75
Tabla 15 Centro de masas, rigidez y excentricidades por cada planta	76
Tabla 16 Cortante basal dinámico por Hipotesis sísmica	77
Tabla 17 Peso sísmico por planta.....	78

Tabla 18 Verificación de la condición del cortante basal.....	79
Tabla 19 Hipótesis sísmica: Sismo X1	80
Tabla 20 Hipótesis sísmica: Sismo Y1	80
Tabla 21 Desplome local máximo de pilares	82
Tabla 22 Desplome total máximo de pilares	82
Tabla 23 Coeficientes de participación modos de vibración segundo modelamiento	92
Tabla 24 Rango de periodos abarcados según los modos estudiados segundo modelamiento	93
Tabla 25 Centro de masas, rigidez y excentricidades por cada planta	94
Tabla 26 Cortante basal dinámica por Hipotesis sísmica segundo modelamiento	95
Tabla 27 Peso sísmico en planta segundo modelamiento	96
Tabla 28 Hipótesis sísmica: Sismo X1	98
Tabla 29 Hipótesis sísmica: Sismo Y1	98
Tabla 30 Hipótesis sísmica por tipo de soporte: Sismo X1	99
Tabla 31 Hipótesis sísmica por tipo de soporte: Sismo Y1	99
Tabla 32 Cortante sísmico resistido por tipo de soporte en arranques	99
Tabla 33 Desplome local máximo de pilares segundo modelamiento	100
Tabla 34 Participación modal de masas primer modelamiento	102
Tabla 35 Participación modal de masas segundo modelamiento	103
Tabla 36 Distorsión de columnas primer modelamiento	104
Tabla 37 Distorsión de columnas segundo modelamiento	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z.....	15
Figura 2 Mapa sísmico del área urbana de la ciudad de Guaranda	16
Figura 3 Mapa de micro zonas sísmicas para el área urbana de la ciudad de Guaranda.	18
Figura 4 Matriz de análisis de la vulnerabilidad sísmica de una edificación.	22
Figura 5 Ubicación del Laboratorio de Investigación U.E.B	27
Figura 6 Datos de edificación.	35
Figura 7 Características del edificio.....	36
Figura 8 Clases de ocupación.....	37
Figura 9 Tipo de suelo.....	37
Figura 10 Edificio con riesgo potencial a deslizamientos.....	38
Figura 11 Riesgos geológicos	38
Figura 12 Alcance de revisión del edificio	43
Figura 13 Otros riesgos en la edificación.....	44
Figura 14 Proceso de análisis dinámico modal espectral.....	51
Figura 15 Modos de Vibración calculados por el programa de una determinada estructura	51
Figura 16 Laboratorio de investigación U.E.B	55
Figura 17 Distribución de paredes internas del edificio.....	57

Figura 18 Síntomas de patologías estructurales fisuras horizontales y verticales	58
Figura 19 Fisura vertical en segunda planta.....	58
Figura 20 Grieta en la primera planta de la edificación	59
Figura 21 Desprendimiento de material de mampostería y grietas en el contrapiso	59
Figura 22 Humedad en paredes de la edificación	60
Figura 23 Presencia de humedad en la losa de la primera planta.....	60
Figura 24 Edificio del Laboratorio de Investigación de la U.E.B.....	63
Figura 25 Modelamiento tridimensional	68
Figura 26 Acción sísmica según la NEC vigente.....	69
Figura 27 Datos del hormigón en columna, vigas y losa	69
Figura 28 Proyección en planta en la obra	71
Figura 29 Espectro elástico de aceleraciones.....	72
Figura 30 Espectro de diseño en X, Y.....	73
Figura 31 Representación gráfica del centro de masas y del centro de rigidez por planta.....	76
Figura 32 Cortante sísmico máximo sismo en X1	81
Figura 33 Cortante sísmico máximo sismo en Y1	81
Figura 34 Modo de vibración 1 en X traslacional.....	83
Figura 35 Modo de vibración 2 en Y torsional	83
Figura 36 Diagonales de arrostramiento en cruz de San Andrés	86
Figura 37 Modelamiento tridimensional sugiriendo muros de ladrillos y diagonales de arrostramiento en cruz de San Andrés.....	87

Figura 38 Configuración de planta en obra segundo modelamiento.....	89
Figura 39 Espectro elástico de aceleraciones segundo modelamiento.....	90
Figura 40 Espectro de diseño según x, y segundo modelamiento.....	92
Figura 41 Representación de periodos modales en x, y segundo modelamiento	93
Figura 42 Representación gráfica del centro de masas y el centro de rigidez por planta.....	94
Figura 43 Hipótesis sísmica: Sismo X1, Y1	98
Figura 44 Modo de vibración 1 en dirección X: Traslacional.....	100
Figura 45 Modo de vibración 2 en dirección Y: Traslacional.....	101

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Ensayo de esclerometría en columnas, vigas y losa planta baja.....	117
Anexo 2 Identificación de patologías estructurales en el edificio del Laboratorio de Investigación.....	118
Anexo 3 Ensayo de esclerometría en los elementos estructurales	118
Anexo 4 Evaluación de la estructura con el formulario FEMA P-154	119
Anexo 5 Modelamiento estructural del edificio mediante el software CYPECAD	119
Anexo 6 Vigas y columnas del edificio Laboratorio de Investigación de la UEB.....	120
Anexo 7 Modelado tridimensional con el programa CYPECAD	120
Anexo 8 Modo de vibración en X, Y de la estructura.....	121
Anexo 9 Plano estructural de la edificación.....	121
Anexo 10 Estudio de suelo del área de estudio.....	122
Anexo 11 Tipos de suelo del área de estudio.....	123

CERTIFICADO DE SEGUIMIENTO AL PROCESO INVESTIGATIVO, EMITIDO POR EL TUTOR(A)

Guaranda, 17 de abril de 2023.

El suscrito Ingeniero Gino Noboa Flores, director del Proyecto de Investigación de Pre-Grado de la carrera de Administración para Desastres y Gestión del Riesgo de la Universidad Estatal de Bolívar, en calidad de Docente – Tutor.

CERTIFICA:

Que el proyecto de investigación titulado: **“VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR, CAMPUS LAGUACOTO. PERIODO NOVIEMBRE 2022-FEBRERO 2023”**; realizado por los señores: **Angel Ermel Tenelema Chela y Luis Fernando Toalombo Guambuete**, ha sido debidamente revisado e incorporado las observaciones realizadas durante las asesorías; en tal virtud, autorizo su presentación para la aprobación respectiva de acuerdo con el reglamento de la Universidad.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a verdad, facultando a los interesados dar al presente documento el uso legal que estimen conveniente.



Firmado electrónicamente por:
**GINO GUILLERMO
ALONSO NOBOA FLORES**

**ING. CIV. GINO NOBOA FLORES.
DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE
PRE-GRADO**

RESUMEN EJECUTIVO

Esta investigación tiene como objetivo determinar la vulnerabilidad sísmica del edificio Laboratorio de Investigación de la Universidad Estatal de Bolívar; ubicado en el campus Laguacoto, Guaranda Km. 1¹/₂ vía a San Simón, mediante el uso del formulario FEMA P-154 y el software CYPECAD. Para ello, se realizó la inspección visual del edificio, se recopiló datos sobre su construcción y se aplicó el método de análisis modal espectral para simular el comportamiento estructural del edificio ante sismos. Mediante la inspección visual utilizando el formulario FEMA P -154 se obtuvo como resultado una puntuación de 1,1 que se encuentra dentro del rango de calificaciones menor a 2, lo que significa que la edificación se encuentra en un nivel alto de vulnerabilidad ante amenaza sísmica, debido a que presenta daños significativos y deterioro del sistema estructural ya que en el proceso constructivo de la estructura no se utilizó la norma local vigente.

Por otra parte, el análisis modal espectral utilizando el programa CYPECAD permitieron determinar que el edificio no cumple con algunos de los requisitos mínimos de resistencia sísmica establecidos en la Norma Ecuatoriana de Construcción por ende el comportamiento y desempeño de la estructura es inadecuado. En el primer modelamiento se obtiene valores muy cercanos a 1 en Lgz por consiguiente el primer modo de vibración en X el porcentaje de masa desplazada es de 96.47% con un grado de libertad en Lgz de 0,57 siendo traslacional, en el segundo modo de vibración en Y es torsional con un porcentaje de masa desplazada de 89.48% y con un valor muy cercano a 1 en Lgz de 0,96 el tercer modo de vibración también es torsional con 0,99 en Lgz , por lo tanto, es una estructura vulnerable ante sismos que requiere mejoras estructurales para aumentar su capacidad de resistencia sísmica.

Por lo tanto, los resultados obtenidos indican que el edificio evaluado presenta alta vulnerabilidad sísmica, que representa un riesgo significativo para la seguridad de quienes lo ocupan. Se recomienda la aplicación de medidas de refuerzo estructural, para ello se debe dar seguimiento con un especialista en estructuras y de esta manera poder mejorar la rigidez de la estructura y reducir significativamente la vulnerabilidad.

Palabras clave: Sismo, Riesgo sísmico, Vulnerabilidad, Vulnerabilidad sísmica, Vulnerabilidad estructural, Normas Ecuatorianas de Construcción, CYPECAD.

ABSTRACT

This research aims to determine the seismic vulnerability of the Research Laboratory building of the State University of Bolívar; located on the Laguacoto campus, Guaranda Km. 1¹/₂. via San Simón, through the use of FEMA form P-154 and CYPECAD software. To this end, the visual inspection of the building was carried out, data on its construction was collected and the spectral modal analysis method was applied to simulate the structural behavior of the building in the event of earthquakes. Through the visual inspection using the FEMA form P -154, a score of 1.1 was obtained, which is within the range of qualifications less than 2, which means that the building is at a high level of vulnerability to seismic hazard, because it presents significant damage and deterioration of the structural system since the current local standard was not used in the construction process of the structure.

On the other hand, the spectral modal analysis using the CYPECAD program allowed to determine that the building does not meet some of the minimum requirements of seismic resistance established in the Ecuadorian Construction Standard, therefore the behavior and performance of the structure is inadequate. In the first modeling values very close to 1 in Lgz are obtained therefore the first mode of vibration in X the percentage of displaced mass is 96.47% with a degree of freedom in Lgz of 0.57 being translational, in the second mode of vibration in Y is torsional with a percentage of displaced mass of 89.48% and with a value very close to 1 in Lgz of 0.96 the third mode of Vibration is also torsional with 0.99 in Lgz, therefore, it is a structure vulnerable to earthquakes that requires structural improvements to increase its seismic resistance capacity.

Therefore, the results obtained indicate that the evaluated building presents high seismic vulnerability, which represents a significant risk to the safety of those who occupy it. The application of structural reinforcement measures is recommended, for this it must be

followed up with a specialist in structures and in this way to improve the rigidity of the structure and significantly reduce vulnerability.

Keywords: Earthquake, Seismic risk, Vulnerability, Seismic vulnerability, Structural vulnerability, Ecuadorian Building Standards, CYPECAD.

INTRODUCCIÓN

A pesar de tener una probabilidad de ocurrencia menor que otros desastres naturales los sismos, se han convertido en una de las principales causas de daño y destrucción del patrimonio construido. Por ello, la comunidad científica se centra en aportar nuevas técnicas de análisis, construcción, rehabilitación sismorresistente con el objetivo de evitar un inadecuado comportamiento y el posible colapso de los edificios estos propósitos son posibles lograrlos a través de un estudio de vulnerabilidad sísmica (Socorrás y Álvarez, 2021).

Las ciudades del Ecuador enfrentan grandes problemas de seguridad y eficiencia en la construcción debido a las intensas actividades sísmicas causadas por las condiciones geológicas y geográficas presentes en el país, así como también la falta de aplicación de las normas en el proceso constructivo. El sismo registrado el 16 de abril del 2016 en la costa ecuatoriana el mismo que tuvo una magnitud de 7,8 en la escala de Richter, presento un acontecimiento catastrófico para las personas que se encontraban en el interior de las edificaciones. El número de estructuras que fallaron durante el evento fue elevado, y se estima que el movimiento sísmico afecto a 18.663 edificios en zonas urbanas y rurales, así como a 92 instituciones educativas (Secretaria Nacional de Riesgos, 2016).

La provincia Bolívar se encuentra en una zona altamente sísmica al estar atravesada por fallas geológicas activas, el cantón y la ciudad de Guaranda históricamente han sido afectados por fuertes sismos, en 4 ocasiones por sismos de intensidad VIII “escala MSK”, (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional [IG-EPN], 2007). Con base a lo anterior, el objetivo central del presente trabajo de investigación es determinar la vulnerabilidad sísmica a la que está expuesto el edificio en estudio, mediante el formulario FEMA P-154 y la utilización del programa CYPECAD en cual nos permitirá conocer el

comportamiento estructural del edificio ante un evento sísmico y proponer medidas para reducir la vulnerabilidad.

CAPÍTULO 1: EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

Los movimientos telúricos son fenómenos naturales provocados por la activación de fallas geológicas que liberan energía de la corteza terrestre hacia la superficie. Se manifiestan como ondas con movimientos bruscos que dañan las infraestructuras que no se ajustan a las normas de construcción establecidas en cada país (Calero y Gaibor, 2019). A lo largo de la historia, el Ecuador ha tenido una actividad sísmica considerable. En los últimos 460 años, diferentes sismos han provocado la destrucción de ciudades enteras con la muerte de miles de personas. Escenarios sísmicos probables realizados en Quito y Guayaquil, revelan la necesidad de emprender acciones para disminuir el riesgo de las edificaciones. (Secretaría de Gestión de Riesgos, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, 2016).

En el contexto local según el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (2007), Guaranda al estar ubicada en una zona alta de riesgo sísmico la de mayor valor del país, con 0,40g de aceleración roca, además, la mayoría de los sismos de magnitud variable se encuentran en la denominada zona de subducción, donde ocurre la mayor fricción entre la placa oceánica de nazca y sudamericana. El edificio donde funciona el laboratorio de investigación de la Universidad Estatal de Bolívar, es uno de los mejores equipados a nivel nacional, donde además de realizarse investigación científica, acuden estudiantes y docentes de diferentes instituciones de educación superior sin embargo, hay que considerar que las instituciones públicas, en este caso la Universidad, no cuentan con el talento humano suficiente para poder abastecer controles, inspecciones y verificaciones del estado actual de las edificaciones esto ha generado una incertidumbre en la población universitaria (Criado y Rodríguez et al., 2020; Veltamie, 2014).

Debido a estos antecedentes es imprescindible realizar el estudio de vulnerabilidad sísmica para analizar el comportamiento estructural del laboratorio de investigación ante movimientos sísmicos, dado que se debe precautelar principalmente la vida de todo el personal que se encuentran en las instalaciones, además de equipos de alta sensibilidad. La presente investigación se transformará en un documento importante porque se utilizará la metodología FEMA-154 para conocer el nivel de vulnerabilidad de la estructura, así como el modelamiento estructural mediante el software CYPECAD para conocer el comportamiento de la estructura al momento que sea impactado por un sismo, los mismos que nos permitirá proponer medidas de reducción de la vulnerabilidad estructural de la edificación.

1.2. Formulación del Problema

¿Cuál es el grado de vulnerabilidad sísmica del edificio Laboratorio de Investigación de la Universidad Estatal de Bolívar, campus Laguacoto?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Determinar la vulnerabilidad sísmica del edificio, Laboratorio de Investigación de la Universidad Estatal de Bolívar, campus Laguacoto.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Elaborar un diagnóstico de las condiciones actuales de la estructura física del edificio Laboratorio de Investigación de la Universidad Estatal de Bolívar.
- Analizar la vulnerabilidad sísmica de la estructura a través de la metodología de evaluación FEMA P-154 y el modelamiento del comportamiento estructural utilizando el software CYPECAD.
- Proponer medidas para la reducción de la vulnerabilidad estructural en el edificio.

1.4. Justificación de la Investigación

En el Ecuador la interacción entre la placa Sudamericana y la placa de Nazca genera una zona de subducción frente a las costas y varias zonas tectónicamente activas al interior del territorio, donde se originan la mayor parte de sismos que se registran en el país (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2007, p. 11). Un ejemplo es el sismo registrado el 16 de abril del 2016 en la costa ecuatoriana que tuvo una magnitud de 7,8 en la escala de Richter, el número de estructuras que fallaron durante el evento fue elevado y se estima que el movimiento sísmico afectó a 18.663 edificios en zonas urbanas y rurales, así como a 92 instituciones educativas. En el caso de la provincia Bolívar resultaron afectadas varias paredes de viviendas las mismas que colapsaron, estas afectaciones se dieron en las principales ciudades como Guaranda, Chimbo y San Miguel (Secretaría Nacional de Riesgos, 2016).

Esta investigación se realizó con la necesidad de conocer el nivel de vulnerabilidad sísmica de la infraestructura del Laboratorio de Investigación de la Universidad Estatal de Bolívar campus Laguacoto, que cuenta con equipos tecnológicos de alto valor económico y con personal que labora permanentemente en las instalaciones de la UEB. La metodología de evaluación empleada fue la visual rápida Fema-154 y el modelamiento estructural mediante el software CYPECAD para conocer a más detalle el estado actual de la edificación y, con base en esto, elaborar medidas de reducción de la vulnerabilidad estructural ante amenaza sísmica. El objetivo fue gestionar los recursos económicos que garanticen la mitigación de las condiciones del riesgo evaluado.

1.5.Limitaciones

El estudio se realizará en el edificio del laboratorio de investigación de la Universidad Estatal de Bolívar, cantón Guaranda, provincia Bolívar y las limitaciones que se presentaron son:

- Carencia de estudios relacionados a vulnerabilidad sísmica y modelamientos estructurales en edificaciones dentro de nuestra ciudad.
- La falta de cooperación de personas expertas en el tema y recopilación de documentos técnicos referentes al proyecto, debido a que este tipo de trabajos son de información limitada y confidencial.
- Escasez de estudios específicos en cuanto a los riesgos y vulnerabilidades a los que están expuestos el personal que labora dentro de la edificación, estudiantes y visitantes ante la ocurrencia de eventos sísmicos.
- Escasa documentación completa y detallada relacionada con la construcción del edificio, lo que dificulta la comprensión y evaluación precisa de la estructura.
- Falta de capacitaciones en softwares que sirvan para realizar modelamientos estructurales.

CAPÍTULO 2: MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

Para la ejecución del presente trabajo de investigación se realizó el análisis de estudios vinculados con la vulnerabilidad sísmica en edificaciones para poder conocer experiencias previas que puedan ser utilizados como referentes técnicos e investigativos, las investigaciones presentadas están ordenadas cronológicamente.

Según Cabezas (2016), en su estudio denominado “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica del edificio de la Facultad de Comunicación Social, de la Universidad Central del Ecuador, utilizando la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC-SE-RE,2015), periodo 2016 realizado en Quito, Ecuador: el objetivo de este estudio fue evaluar la vulnerabilidad sísmica en el edificio de la Facultad de Comunicación Social, utilizando la metodología de evaluación rápida Fema-154 y la Norma Ecuatoria de Construcción 2015 también se empleó el software SAP 2000 para conocer el comportamiento de la estructura ante eventos sísmicos. Como resultado de la investigación se obtuvo que la edificación no cumple con la NEC, por lo que es una estructura vulnerable ante la presencia de un sismo de gran magnitud.

Como señala Zaruma y Acurio (2018), en su investigación titulado “Modelamiento de la vulnerabilidad sísmica del edificio del Hospital Básico del IEES de la ciudad de Guaranda, provincia Bolívar” periodo 2018 realizado en Guaranda, Ecuador el análisis se realizó utilizando dos softwares de modelamiento estructural ETABS y CYPECAD. Los resultados generados en el modelamiento de la estructura con los programas CYPECAD y ETABS son similares y se comprobó que la estructura será capaz de resistir el sismo de diseño que corresponde a la zona en la que está ubicada.

Estudio realizado por Albarracín (2019), en el documento denominado “Aplicación de metodología simplificadas pre-evento sísmico, para la determinación de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de la Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática de la

UCE” periodo 2019 realizado en Quito, Ecuador. El desarrollo de la investigación se centró en determinar la vulnerabilidad sísmica en tres edificaciones utilizando métodos de evaluación rápida FEMA-154 de la guía práctica para la evaluación y rehabilitación de estructuras de conformidad con la NEC, FEMA P-154 y la metodología italiana de Benedetti y Petrini. El resultado de esta investigación fue que las edificaciones de la FICFM de la UCE tienen una vulnerabilidad media, resultado que se fundamenta principalmente en que las edificaciones, tienen un cortante resistente menor al cortante actual estipulado en la NEC.

Como afirma Lasso y Chela (2021), en su trabajado de investigación “Vulnerabilidad estructural ante amenaza sísmica en el edificio del Gobierno Autónomo Descentralizado de la provincia Bolívar” periodo 2021 realizado en la ciudad de Guaranda, Ecuador el trabajo se basó en determinar el nivel de vulnerabilidad de la estructura utilizando metodologías de evaluación rápida y el modelamiento del comportamiento estructural mediante el software CYPECAD. El resultado de esta investigación es que el edificio del Gobierno Autónomo Descentralizado de la provincia Bolívar tiene un comportamiento y rendimiento inaceptables y, por lo tanto, es una estructura vulnerable ante amenaza sísmica.

Como afirma Epifania y Mercado (2021), en su estudio “Vulnerabilidad sísmica de la institución educativa particular San José, Chimbote” periodo 2021 realizado en el distrito de Chimbote, Perú el objetivo de la presente investigación es determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica, aplicando el método demanda- resistencia del edificio de la institución. Para obtener los resultados de esta investigación realizaron estudio de suelo, ensayo de esclerometría y el modelamiento de la estructura con el software ETABS donde se identificó el grado de vulnerabilidad de la estructura en estudio, así como también la conducta sísmica mediante el método demanda- resistencia el cual consiste en comparar el refuerzo resistente con el refuerzo demandante.

2.2.Bases Teóricas

Peligro sísmico

El Ecuador está localizado en una zona alta de peligro sísmico, debido principalmente a que está se encuentra ubicado sobre una zona de subducción, producto el choque entre la placa oceánica de nazca que se adentra bajo la placa continental de Sudamérica y por la activación de fallas geológicas locales, lo que ocasiona una alta actividad sísmica y volcánica. (Albarracin, 2019). El peligro sísmico es la probabilidad de excedencia, dentro de un período específico de tiempo dentro de una región determinada, de movimientos del suelo cuyos parámetros de aceleración, velocidad, desplazamiento, magnitud o intensidad son cuantificables (Norma Ecuatoriana de la Construcción [NEC], 2015).

Según la NEC, (2015), existen dos métodos para la estimación del peligro sísmico:

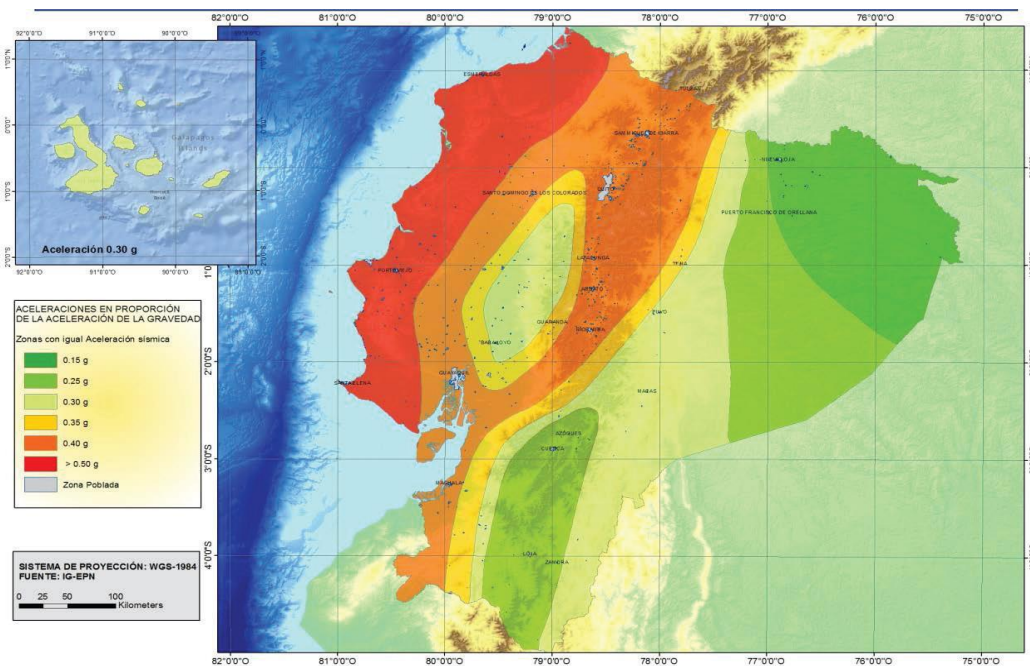
El método determinístico que calcula el peligro suponiendo que la actividad sísmica futura del lugar será similar a la del pasado. El método probabilístico se basa en el hecho de que pueden establecerse leyes estadísticas que definen las características sísmicas de una región determinada basándose en la actividad sísmica histórica.

Zonificación sísmica y factor Z

Como resultado la aplicación de estudios geológicos, litológicos y otros realizados en todo el Ecuador, se creó un mapa de zonas sísmicas en el que se establecen seis tipos diferentes de zonas en función al comportamiento sísmico (NEC,2015). En la figura 1 se puede observar el mapa de zonificación sísmica para diseño que proviene del resultado del estudio del peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (periodo de retorno de 475 años) además se puede visualizar las seis zonas sísmicas.

Figura 1

Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z



Nota. La figura muestra las zonas sísmicas del Ecuador para propósitos de diseño Fuente: NEC-SE-DS (2015).

La siguiente tabla se puede observar los valores del factor Z en función a la zona sísmica en donde la NEC (2015), cataloga a todo el territorio ecuatoriano con amenaza sísmica alta a excepción del nororiente que presenta una amenaza sísmica intermedia y el litoral ecuatoriano de sismicidad muy alta.

Tabla 1

Valores de factor Z en función a la zona sísmica adoptada

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Nota. La tabla muestra los valores de factor Z en función a la zona sísmica Fuente: NEC-SE-DS (2015).

Daño Sísmico

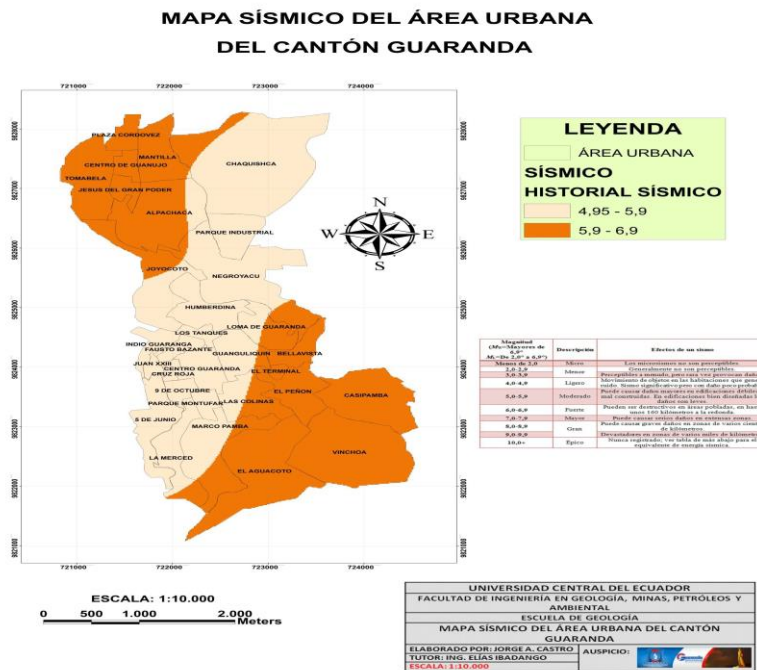
El daño sísmico es el grado de destrucción debido a una acción externa. El daño en la estructura se evalúa tanto global como localmente. Desde el punto de vista estructural se califica el daño sísmico, a partir de la deriva de piso y la resistencia de los elementos estructurales (Universidad Nacional de Colombia, 2011).

Sismicidad en la ciudad de Guaranda

El cantón y la ciudad de Guaranda históricamente han sido afectados por fuertes sismos; la ciudad se ha visto afectada en 4 ocasiones por sismos de intensidad VIII (escala MSK), siendo los de 1647 posiblemente provocadas por una falla local: en 1979, 1911, muy probablemente provocados por la falla de Pallatanga (una de las más activas del país), y en 1942 provocadas por una zona de subducción a más de 218km al oeste de Guaranda, causando graves daños a la ciudad y sus alrededores. (IG-EPN, 2007).

Figura 2

Mapa sísmico del área urbana de la ciudad de Guaranda



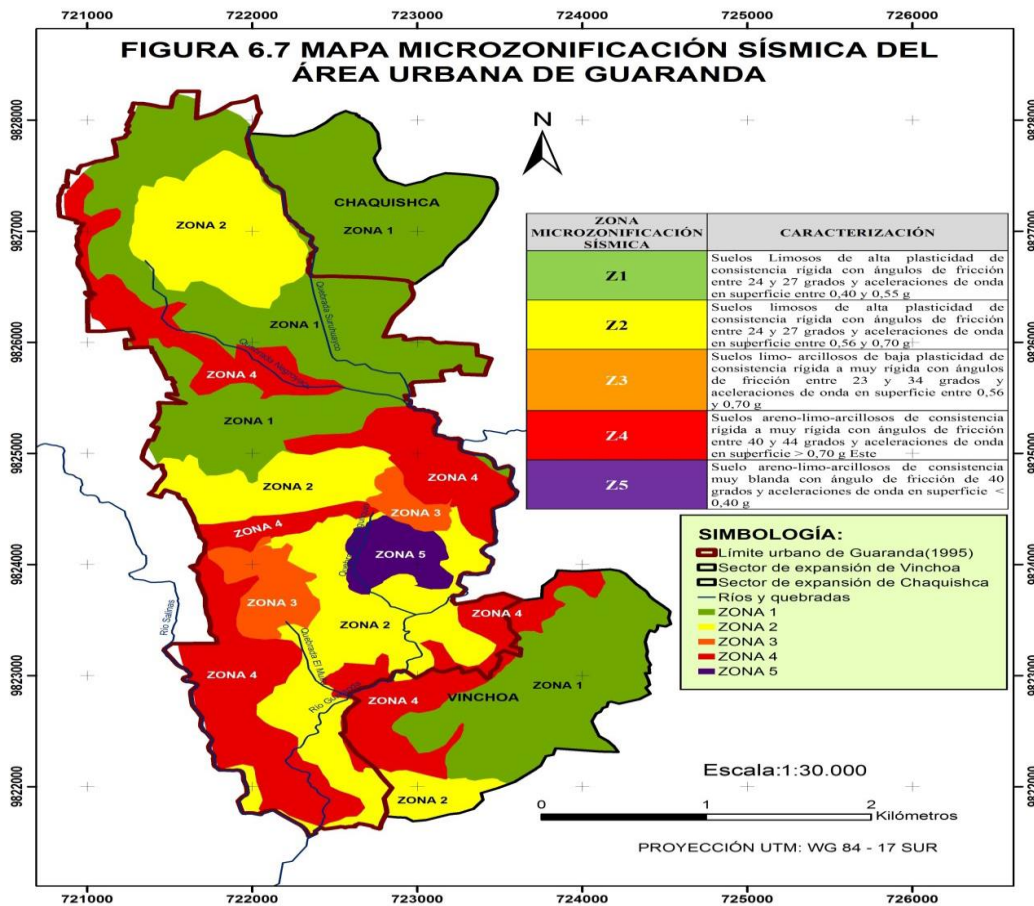
Nota. La figura muestra el mapa sísmico del área urbana de la ciudad de Guaranda. Fuente: Base de datos de eventos sísmicos sentidos (época histórica e instrumental en la ciudad de Guaranda. De 1946 a 2006 Paucar (2011).

Microzonificación sísmica de la ciudad de Guaranda

El Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Guaranda (2011), a través de su equipo consultor realizó el “Estudio de Microzonificación Sísmica de la ciudad de Guaranda” que abarco aproximadamente 20 km². En este estudio se evaluaron los siguientes factores: geológico- litológico, geomorfología, pendientes, geotécnica y aceleración de ondas sísmicas en estrato superior. Según Paucar (2016), los resultados de la microzonificación sísmica de la ciudad de Guaranda permitieron identificar cinco micro zonas para el área urbana de la ciudad de Guaranda que se describen a continuación:

- La zona 1 representa zonas planas con mejor calidad de suelo y que representa un nivel bajo de amenaza. Por lo tanto, serian aptas para el desarrollo urbanístico.
- En el área urbana, la zona 2 posee mayor porcentaje de territorio que junto a la zona 3 serían aptas para el desarrollo urbanístico con medidas geotécnicas y otras medidas (estructurales y no estructurales) en áreas con pendientes que presentarían nivel medio de amenaza sísmica.
- La zona 4 presenta niveles altos de aceleración de onda en estrato superior y suelos susceptibles a los efectos sísmicos que equivaldrían a un nivel alto de amenaza. Sería recomendable declarar zona no urbanizable y de protección por riesgo alto; además, se deberían incluir requisitos de estudio de suelos y medidas geotécnicas para nuevas construcciones.
- La zona 5, esta se localiza en áreas con pendientes bajo y con valores bajos de aceleración de onda en estrato superior. Sin embargo, posee suelos de tipo SG6 y SG1 que son de mala calidad que podrían presentar problemas geotécnicos, por lo que recibirían una penalización, por consiguiente, representarían nivel alto de amenaza (Paucar,2016).

Figura 3
Mapa de micro zonas sísmicas para el área urbana de la ciudad de Guaranda.



Nota. La figura muestra las micro zonas sísmicas del área urbana de la ciudad de Guaranda.
Fuente: GAD del Cantón Guaranda (2011).

Vulnerabilidad

Condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales que aumentan la susceptibilidad de una persona, una comunidad, los bienes o los sistemas a los efectos de una amenaza (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2018). Para Cardona (2011), citado por Epifanía y Mercado (2021), la vulnerabilidad es la propensión de un método, componente, elemento o cualquier mecanismo, expuesto a padecer un efecto, frente a un riesgo específico.

Vulnerabilidad Sísmica

La vulnerabilidad sísmica está relacionada con el daño que presenta una estructura ante un evento sísmico con determinadas particularidades, por lo que va a depender de las características propias de la estructura, sin considerar el nivel de peligrosidad del lugar, puesto que estudios realizados en una misma región sísmica donde ha ocurrido sismos las edificaciones con el mismo tiempo tipo de estructura han presentado daños diferentes. (Pazmiño y Serrano, 2022). Según la Norma Ecuatoriana de Construcción (2015), el análisis de vulnerabilidad se realiza mediante funciones de vulnerabilidad o fragilidad que, además de tener en cuenta los efectos de los daños en términos de pérdidas humanas y materiales, correlacionan probabilísticamente una medida de intensidad sísmica con una medida de daños en el edificio.

El estudio de la vulnerabilidad estructural tiene en cuenta no solo las vulnerabilidades de los elementos estructurales, sino también la vulnerabilidad de la organización humana y su relación con las infraestructuras. Esta relación debe tener en cuenta los distintos estados de las infraestructuras para diversas situaciones de catástrofe. (Universidad Nacional de Colombia, 2011).

Tipos de Vulnerabilidad Sísmica

Vulnerabilidad estructural

La vulnerabilidad estructural tiene que ver con el nivel de disposición de los componentes o elementos estructurales de padecer algún daño producido por un movimiento sísmico, lo que es denominado daño sísmico estructural, lo cual incluye un desperfecto de los componentes o elementos de manera física, que son parte de la estructura de la edificación (vigas, columnas, muros de carga, entre otros), que forman parte de la conservación, conformación y forma de la edificación (Epifanía y Mercado, 2021).

El nivel de daño estructural que sufrirá un edificio viene determinado tanto por su comportamiento global como local. Está relacionado con la calidad de los materiales utilizados, las características de los elementos estructurales, su configuración, un diseño sólido y, por supuesto, las cargas activas. La naturaleza y el grado del daño estructural pueden describirse en términos cuantitativos o cualitativos, y es un factor crítico para determinar el nivel de deterioro de una estructura, así como su posición respecto al colapso estructural, que representa una situación crítica en la que se pone en peligro la estabilidad del sistema. (Safina, 2003).

Vulnerabilidad No Estructural

Safina (2003), afirma que la vulnerabilidad no estructural se refiere a la susceptibilidad de que elementos o componentes no estructurales de una edificación pueden sufrir daños cuando se produce un movimiento sísmico. Estos elementos pueden ser los componentes arquitectónicos, la mampostería, acabados entre otros los mismos que pasan a ser elementos inseguros cuando no están conectadas correctamente a la estructura.

Vulnerabilidad Funcional

El término de vulnerabilidad funcional se refiere a la propensión de un edificio a ver interrumpido su funcionamiento como consecuencia del aumento de demanda de sus servicios, lo que da lugar a la posibilidad de un colapso funcional. Este colapso se produce cuando el edificio está incapacitado de brindar los servicios inmediatos de atención ante cualquier tipo de evento peligroso, a pesar de que la estructura física del edificio no haya sufrido daños. (Albarracin, 2019).

Evaluación de la vulnerabilidad sísmica en edificaciones existentes

El alcance del estudio de vulnerabilidad sísmica se determina en correspondencia al tipo de daño que se requiere evaluar y la magnitud de amenaza existente en el territorio. La evaluación de la vulnerabilidad sísmica se encuentra asociada directamente al daño sísmico,

los cuales dependen de la acción sísmica y la capacidad o comportamiento sismorresistente de la estructura (Safina, 2003). El análisis de la vulnerabilidad sísmica de un edificio debe considerar a los elementos estructurales y no estructurales para determinar el nivel de afectación. La evaluación integral del edificio permite entender su comportamiento y la respuesta ante las fuerzas dadas, a partir de datos y propiedades existentes de materiales, cargas e interacciones de sus elementos compositivos.

Métodos para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en edificaciones existentes

Para Servicios Profesionales de Ingeniería y Capacitación (SEPROINCA, 2018), existen dos métodos de análisis cuantitativos y cualitativos de distintos niveles de complejidad que pueden utilizarse para determinar la vulnerabilidad estructural en función al objetivo que se persiga hacerlo.

Los métodos cualitativos utilizan características generales de la estructura para calificarla. Generalmente están asociadas a índices globales que han sido calibrados con la experiencia siniestral de estructuras existentes, que permiten identificar el riesgo en términos generales y en algunos casos el nivel de daño por otra parte los métodos cuantitativos se basan en análisis que no por exhaustivos son necesariamente más precisos. Típicamente son extensiones propias de los procedimientos de análisis y diseño sismorresistente recomendado por las normas modernas (SEPROINCA, 2018).

En general los métodos dependen principalmente de los siguientes factores:

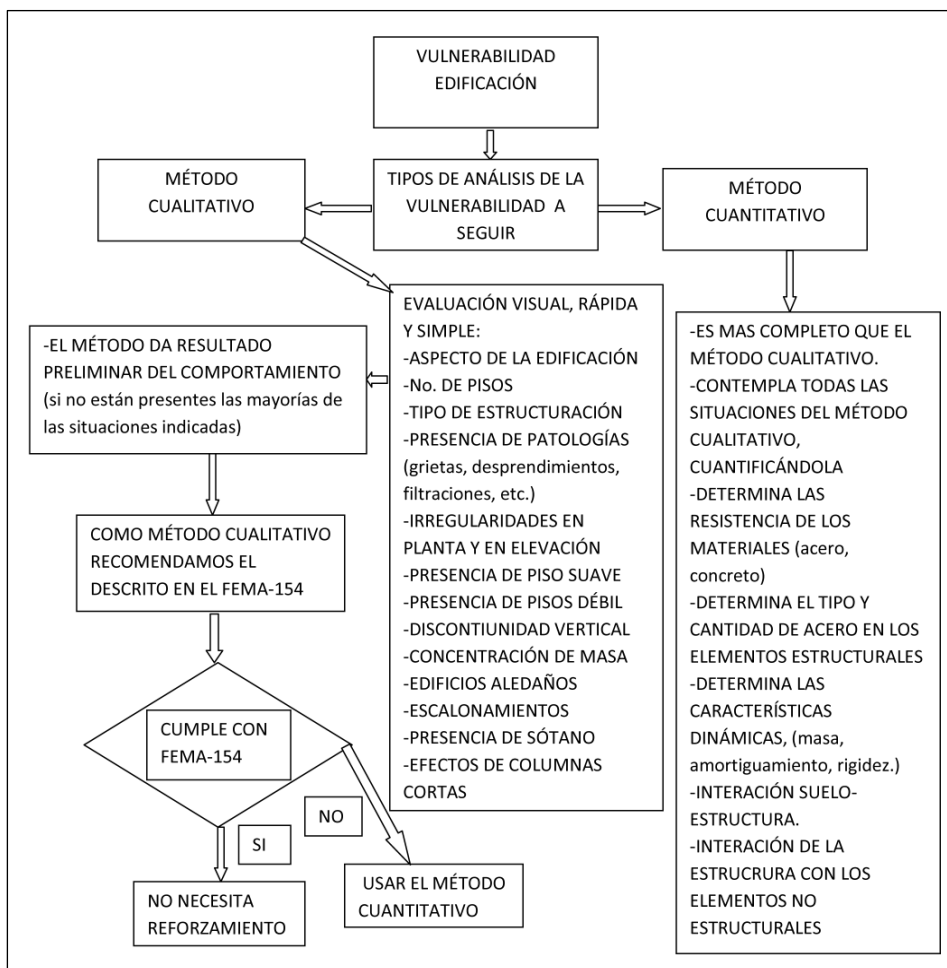
- Naturaleza y objetivo del estudio.
- Información disponible.
- Características del elemento que se pretende estudiar.
- Metodología de evaluación empleada.
- Resultado esperado.

- Destinario de esta información.

La evaluación de la vulnerabilidad sísmica debe comenzar con un enfoque cualitativo; si la aplicación de este enfoque no es suficiente se debe utilizar un análisis más exhaustivo con el enfoque cuantitativo. Esto se debe a que es posible considerar tanto un análisis estructural lineal como no lineal a la hora de determinar si se debe reforzar o no una estructura existente. (SEPROINCA, 2018). A continuación, en la figura 4 se puede observar el procedimiento para realizar el análisis de vulnerabilidad sísmica de una edificación.

Figura 4

Matriz de análisis de la vulnerabilidad sísmica de una edificación.



Nota. En la figura se puede ver la matriz para realizar el análisis de la vulnerabilidad en una edificación. Fuente: Benjamín J. y Lockhart S (2011).

Método cualitativo para análisis de vulnerabilidad sísmica en edificaciones existentes FEMA P-154.

El método FEMA P-154, se publicó en el año 1988 y fue desarrollado por el Concilio de Tecnología Aplicada (ATC). A través de los años el método original se ha ido actualizando, hasta que el día de hoy contamos con la evaluación FEMA-P154, en su tercera edición, la cual fue publicada en el año 2015 (Albarracin, 2019).

Sistemas estructurales

Los sistemas estructurales consisten en la agrupación de miembros o componentes independientes para formar un cuerpo único y cohesionado, con el objetivo de dar solución a un problema civil concreto. La forma de ensamblaje y el tipo de miembro ensamblado determinan el comportamiento final de la estructura y conforman diversos sistemas estructurales (Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño, 2014). Los componentes no se distinguen como individuales, sino que la propia estructura funciona como un sistema continuo, como en el caso de las cupulas, las losas continuas y las macizas esqueléticas y se analiza utilizando conceptos y principios mecánicos fundamentales.

Elementos estructurales

Según Rodas (2014), los elementos estructurales se clasifican en función a su forma estas pueden ser:

- Elementos lineales: son aquellos que tienen una dimensión dominante en relación con otras dimensiones, (vigas, columnas).
- Elementos superficiales: Son aquellos que tienen una dimensión discernible en relación con las otras dos, que se asocian a superficies (losas, diafragmas).

Vigas

La función principal de una viga es resistir cargas perpendiculares a su eje, trabaja principalmente a flexión. Los esfuerzos a los que está sometido este elemento son a cortante y a momento flector, la viga puede ser de hormigón, acero o madera (Moscardó et al., 2016).

Columnas

La función principal de las columnas es mantener elevada a la estructura del forjado superior. La columna trabaja principalmente a compresión, a flexión compuesta los esfuerzos a los que esta sometidos son axial, momento flector a menudo, las columnas sufren esfuerzo cortante. En general, el cortante en pilares es pequeño para acciones verticales y grande para acciones horizontales (Moscardó et al., 2016).

Losas

Es un elemento superficial sometido primordialmente a sollicitaciones perpendiculares en su plano medio (Rodas,2014).

Diafragmas

Es un elemento superficial sometido primordialmente a esfuerzos en su plano medio diafragmas sismorresistentes o muros de corte (Rodas,2014).

Hormigón

Mezcla de cemento portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos (NEC-SE-HM, 2015).

Durabilidad del hormigón

La NEC-SE- HM, (2015), afirma que para poder asegurar la vida útil del hormigón de cemento hidráulico se debe tener ciertas precauciones y cuidados para llegar a la calidad suficiente del material y que este responda a las exigencias de la obra como:

- Resistencias mecánicas
- Resistencia a agentes agresivos
- Intemperie

Por lo general la propiedad más fácil de medir es la resistencia a la compresión, mediante ensayos de probetas cilíndricas. Este es un parámetro de referencia para obtener las demás propiedades mecánicas. Otro aspecto que se puede controlar en el proceso de

fabricación es la relación agua- cemento (a/c), la cual determina la resistencia del material y la protección ante agentes agresivos. Si se controla estas variables se garantizará la duración del hormigón (NEC-SE-HM, 2015).

Propiedades mecánicas del hormigón armado

De conformidad con la NEC, el hormigón debe cumplir con requisitos para condiciones de exposición ambiental, y satisfacer los requisitos de resistencia estructural.

Se usarán los siguientes valores de resistencia especificada a la compresión:

- Valor mínimo para el hormigón normal: $f_c = 21 \text{ MPa} = 214.07 \text{ kg/cm}^2$
- Valor máximo para elementos de hormigón liviano: $f_c = 35 \text{ MPa} = 356.78 \text{ kg/cm}^2$

(NEC-SE-HM, 2015).

Esclerometría

Es la prueba más utilizada para evaluar la infraestructura; sin embargo, para obtener un resultado adecuado, el equipo debe calibrarse antes de añadir la mezcla. La ventaja de utilizar el esclerómetro es que ahorra tiempo, dinero y recursos humanos (Estrella, 2023).

Modelación de sistemas estructurales

Un modelo estructural es una representación o esquema simplificado de una estructura, que se elabora con el objeto de analizar su comportamiento. El grado de simplificación depende del tipo de cálculo que se va a realizar, pero se debe recordar que la estructura que se calcule no es la estructura real, solo una aproximación (Moscardó et al., 2016).

La NEC (2015), permite la aplicación de cuatro procedimientos de análisis estructural.

- Lineal estático.
- Lineal dinámico.
- No-lineal estático.
- No- lineal dinámico.

Los procedimientos lineales son basados en fuerzas y se han diseñado para producir una estimación conservadora de la respuesta y desempeño sísmico ya que estos métodos no son siempre exactos debido a que, en la realidad, la respuesta de los edificios es no-lineal. Los métodos no-lineales producen una representación más exacta de su respuesta y desempeño. Reconociendo las fortalezas del análisis no-lineal, estos métodos tienen límites menos conservadores en cuanto a la respuesta permisible de la estructura. (NEC, 2015).

CYPECAD

Es un programa estructural que fue creado en España en la década de los 80 por la empresa CYPE Ingenieros S.A., para realizar el análisis de cada elemento estructural de hormigón armado, edificios y proyectos de obra civil que pueden ser sometidos a fuerzas tanto horizontal como vertical. La cual permite a un ingeniero con conocimientos básicos en el diseño estructural, un análisis tridimensional de la estructura, de forma muy detallada junto con su respectiva memoria de cálculo; ambos en formato de uso convencional (Vilema Condo, 2014). Además, el software CYPECAD está adaptada a las últimas normativas de construcción de varios países e incluye la norma ecuatoriana NEC-2015.

Norma Ecuatoriana de Construcción

Son una serie de normas, directrices y procedimientos que deben seguirse para la regularización de la construcción en todas sus fases, incluidas la planificación, la financiación y el uso, con el objetivo de garantizar el correcto funcionamiento y la seguridad de cualquier proyecto de construcción civil (Erazo, 2022). Esta norma es un medio ideal para que nuestro país mejore la calidad de los proyectos de construcción civil que se llevan a cabo, con un enfoque en la preservación de la vida de quienes los utilizan.

Localización geográfica y aspectos generales del área de estudio

El edificio del laboratorio de investigación de la Universidad Estatal de Bolívar se encuentra ubicado en el campus Laguacoto, Guaranda Km. 1¹/₂ vía a San Simón. La edificación es una estructura moderna construida en el año 2008, su área de construcción es de 1417m² en planta. Consta de dos pisos su tipología de construcción es de hormigón armado actualmente dentro de la edificación funciona el laboratorio de investigación que cuenta con equipos de última tecnología en diversas áreas de investigación. La estructura del laboratorio de investigación de la Universidad Estatal de Bolívar se encuentra entre las coordenadas:

Longitud: 722750

Latitud: 9821484

Altitud: 2605 (m.s.n.m)

Figura 5
Ubicación del Laboratorio de Investigación U.E.B



Nota. En la figura se puede observar la ubicación del laboratorio de Investigación de la U.E.B. Fuente: SASPLANET (2023).

2.3. Definición de Términos (Glosario)

Gestión del riesgo de desastres

Es la aplicación de políticas y estrategia de reducción con el propósito de prevenir nuevos riesgos de desastres, reducir riesgos de desastres existentes y gestionar el riesgo residual, contribuyendo con ello al fortalecimiento de la resiliencia y a la reducción de las pérdidas por desastres (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2018).

Sismos

Se define como un movimiento vibratorio del suelo, ocasionado por la ruptura súbita del equilibrio elástico de una región al interior de la tierra. Al generarse un sismo, la energía se libera en forma de ondas sísmicas, propagadas al interior del planeta y distribuidas por distintas trayectorias hasta llegar a la superficie (CENAPRED, 2017).

Riesgo sísmico en el edificio

Evaluación de la vulnerabilidad y pérdidas que se podrían producir en un edificio o grupo de edificios por el peligro sísmico existente en el sitio de emplazamiento de las estructuras (NEC, 2015).

Vulnerabilidad sísmica

El concepto de vulnerabilidad sísmica es crucial en el análisis del riesgo sísmico, ya que este término se refiere al grado de dificultades que soportan las estructuras a lo largo del tiempo al estar expuestas a movimientos sísmicos.

Análisis estructural

Es el procedimiento que facilita resultados globales como reacciones, desplazamientos, esfuerzos, curvaturas, elongaciones, así como también determina el comportamiento a nivel local tensiones, deformaciones, etc (NEC, 2015).

Carga muerta

Las cargas permanentes están constituidas por el peso de todos los elementos estructurales que actúan en permanencia sobre la estructura (NEC,2015).

Carga viva

La carga viva, también llamada sobrecargas de uso, que se utilizara en el cálculo depende de la ocupación a la que está destinada la edificación. (NEC,2015).

Sistemas resistentes a cargas laterales

Los componentes del sistema estructural que soportan la acción sísmica Incluye las respuestas de los elementos y del sistema en los planos vertical, horizontal y de torsión (NEC,2015).

Rigidez

Se define como la capacidad de un elemento para soportar la tensión sin experimentar deformaciones ni desplazamientos significativos. (NEC,2015).

Patologías de edificaciones

La vulnerabilidad de las estructuras se manifiesta a menudo en forma de patologías que afectan a los edificios, con una variedad de efectos que van desde daños e inconvenientes menores hasta grandes fallos que pueden provocar el colapso de toda la estructura o de una parte de ella (Centro de Investigación en Gestión Integral de Riesgo [CIGIR], 2009).

Fisuras

Las fisuras en cuestión se deben a diversos factores y pueden afectar sólo al aspecto de un edificio, pero también pueden ser indicativas de defectos estructurales importantes (CIGIR,2009).

Grietas

Una grieta estructural es un elemento estructural que afecta directamente a vigas, trabes y pilares (CIGIR,2009).

Espectro de respuesta para diseño

El espectro de diseño puede representarse mediante un espectro de respuesta basado en las condiciones geofísicas, tectónicas y sísmicas asociadas a la ubicación de los cimientos de la estructura. Se trata de un espectro elástico para un factor de amortiguamiento del 5%, utilizado en el diseño para representar los efectos dinámicos del sismo de diseño (NEC,2015).

Deriva de piso

Una fuerza horizontal que actúa sobre un piso determinado provoca su desplazamiento lateral con respecto al piso que le sigue, medido en dos puntos a lo largo del mismo eje vertical del edificio. Se calcula el desplazamiento restante entre los extremos superior e inferior del piso (NEC,2015).

Periodo de Vibración

Es el tiempo que transcurre dentro de un movimiento armónico ondulatorio o vibratorio, para que el sistema vibratorio vuelva a su posición original considera luego de un ciclo de oscilación (NEC,2015).

2.4.Sistemas de Variables

Variable dependiente

Comportamiento estructural

Variable independiente

Vulnerabilidad sísmica

2.5.Operacionalización de variables

Tabla 2

Operacionalización de variable dependiente

Variable	Definición	Dimensión	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
Comportamiento estructural	Es la capacidad de respuesta de los elementos estructurales de un edificio frente al impacto de un sismo.	Elementos estructurales	CYPECAD	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis modal espectral • Desplazamiento de la estructura por acción sísmica • Modos de vibración 	Software de modelamiento estructural CYPECAD y NEC-2015

Nota. En la tabla se puede observar la operacionalización de variable dependiente comportamiento estructural.

Tabla 3
Operacionalización de variable independiente

Variable	Definición	Dimensión	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
Vulnerabilidad sísmica	Es la susceptibilidad que la estructura presente, posibles daños frente a movimientos sísmicos.	Vulnerabilidad sísmica de las edificaciones	<ul style="list-style-type: none"> FEMA-154 	<ul style="list-style-type: none"> Tipología del sistema estructural Altura de la edificación Irregularidades de la edificación Código de construcción 	Formulario FEMA-154

				<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de suelo 	
		Sismo	<ul style="list-style-type: none"> • Magnitud • Intensidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Recopilación de las magnitudes de sismos registrados. • Niveles de afectación de los sismos registrados. • Reportes del IG-EPN 	Búsqueda bibliográfica

Nota. En la tabla se visualiza la operacionalización de la variable independiente vulnerabilidad sísmica.

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Nivel de Investigación

Nivel descriptivo

De acuerdo con Hernández et al. (2014), el nivel de estudio descriptivo busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Por lo antes mencionado el presente trabajo de investigación se enmarca en el nivel descriptivo con enfoque cuantitativo ya que con su ejecución se realizará el análisis de la información obtenida mediante la estadística descriptiva, la misma que permitirá determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica de la edificación.

Metodología

FEMA P-154

El Concilio de Tecnología Aplicada (ATC) desarrolló el método FEMA P-154, que se publicó en 1988. La metodología inicial se ha ido actualizando a lo largo del tiempo y, hoy, contamos con la evaluación FEMA P-154, que se publicó en 2015 y se encuentra en su tercera edición. El procedimiento de evaluación visual rápida (RVS) utiliza un formulario de recolección de datos, que completa la persona que realiza el levantamiento, basado en la observación visual del edificio desde el exterior y, si es posible desde el interior (Agencia Federal de Manejo de Emergencias [FEMA], 2015). El propósito de los formularios es ayudar a determinar una puntuación final para cada estructura analizada, lo cual nos proporcionará una indicación de cuál sería el desempeño sísmico esperado de la estructura. (Albarracin, 2019).

Selección de formulario de recolección de datos

Hay cinco formularios de recopilación de datos, uno para cada una de las siguientes cinco regiones de sismicidad: baja, moderada, moderadamente alta, alta y muy alta. Cada formulario de recopilación de datos tiene una página de nivel 1 y una página de nivel 2 opcional. Los formularios varían en la calificación inicial y los modificadores de calificación (FEMA, 2015). Para la correcta aplicación del formulario en este trabajo de investigación nos basaremos en la Norma Ecuatoriana de Construcción, en el mapa de zonas sísmicas.

Información de identificación del edificio

En esta sección se recoge la información de identificación del edificio (dirección, nombre del edificio, uso, latitud y longitud, y valores de movimiento del suelo específicos del sitio), nombre del evaluador(es), y la fecha y hora de la evaluación (FEMA,2015).

Figura 6

Datos de edificación.

Dirección:	
Codigo Postal:	
Otra Identificación:	
Nombre del Edificio:	
Uso:	
Latitud:	Longitud:
Ss:	S1:
Inspector(S):	Fecha/Hora:

Nota. En la figura se puede visualizar los datos que se requiere en la evaluación del Formulario FEMA-P 154. Fuente: FEMA P-154 (2015).

Características del edificio

- Número de Pisos

La cantidad de daño que puede sufrir la estructura a veces está relacionada con la altura de la edificación.

- Año de construcción y año de código

La información relacionada con el diseño y el año de código del edificio es uno de los elementos claves de la metodología FEMA P 154. La antigüedad de la construcción está ligada directamente a las prácticas de diseño y construcción. Por lo tanto, la edad puede ser un factor para determinar el tipo de edificio y también puede afectar en el puntaje final. (FEMA,2015).

- Área total de piso

El área total del piso, en algunos casos disponible en los archivos de construcción si en caso no se encuentra disponible se estimará multiplicando el área estimada de un piso por el número total de pisos en el edificio. La longitud y el ancho del edificio se puede medir en campo o por medio de mapas de parcelas o imágenes satelitales (FEMA,2015).

- Edificios con adiciones o partes múltiples

Muchos de los edificios se componen de más de un sistema de armazón estructural independiente dividido por juntas. En algunos casos, las juntas se proporcionan para separar partes de edificios que se construyeron al mismo tiempo. Esto puede ser para separar partes del edificio que tienen diferentes sistemas estructurales y, por lo tanto, diferentes respuestas a las fuerzas laterales o partes de edificios con diferentes alturas totales o alturas de pisos (FEMA,2015).

Figura 7

Características del edificio

No. de Pisos:	Niveles superiores:	Niveles inferiores:	Año de construcción:
Superficie total del suelo (m ²):	Codigo año:		
Adiciones:	<input type="checkbox"/> Ninguna	<input type="checkbox"/> Si,	Años construcción:

Nota. En la representación se visualiza las características de un edificio en la evaluación del Formulario FEMA-P 154. Fuente: FEMA P-154 (2015).

Fotografía y bosquejo de la edificación

Se debe tomar al menos una fotografía del edificio para fines de identificación, pero para un mejor registro fotográfico el inspector debe tomar una fotografía de cada lado del

edificio y de cualquier característica importante como las irregularidades observadas y los peligros de caída. Dibujar el boceto es una parte importante del procedimiento de selección porque muchos de los atributos del edificio se revelarán al evaluador a medida que el evaluador ve sistemáticamente todos los aspectos del edificio, debe mostrar la forma del edificio desde arriba y cualquier irregularidad que se encuentre (FEMA,2015).

Ocupación de la edificación

Se refiere al uso, aunque por lo general no se relaciona directamente con el peligro estructural o la probabilidad de sufrir daños mayores, la ocupación de un edificio es de interés y se utiliza para determinar las prioridades de mitigación (FEMA, 2015).

Figura 8
Clases de ocupación

Ocupación:				
Asamblea	Comercial	Serv. Emergencia	Histórico	Albergue
Industrial	Oficina	Escuela	Gobierno	
Utilidad	Almacén	Residencial,# Unid:		

Nota. En la figura se representa las clases de ocupaciones de un edificio según el formulario FEMA P-154. Fuente: FEMA P-154 (2015).

Tipo de suelo

Se recomienda la identificación del tipo de suelo durante la planificación previa al campo. Si el tipo de suelo no se ha determinado como parte del proceso, el evaluador debe identificarlo durante la visita al sitio de construcción. Si no hay base para clasificar el tipo de suelo, se debe seleccionar “DNK” y se debe asumir el tipo de suelo D (FEMA,2015).

Figura 9
Tipo de suelo

Tipo de Suelo:						
<input type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> E	<input type="checkbox"/> F	<input type="checkbox"/> No sé
Roca Dura	Roca Debil	Suelo Denso	Suelo Duro	Suelo Blando	Suelo Pobre	Si no sabe, asumir Tipo D

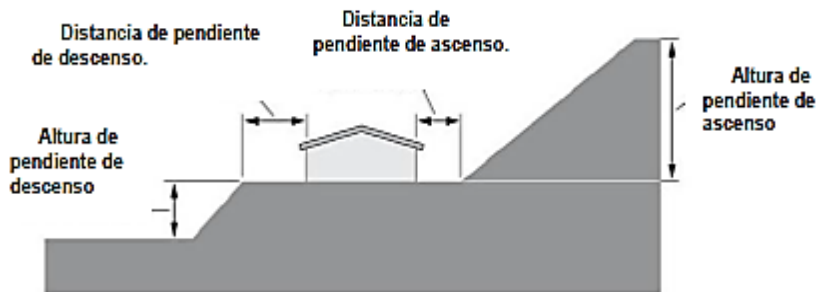
Nota. En la figura se visualiza el tipo de suelo en el que se encuentra un edificio según el formulario FEMA P-154. Fuente: FEMA P-154 (2015).

Riesgos geológicos

Otros tres tipos de riesgos geológicos son la licuefacción, el posible deslizamiento del terreno y la ruptura de fallas superficiales. Cualquiera de estos tres factores puede aumentar el riesgo de que un edificio sufra daños y se derrumbe durante un terremoto. Si se detecta alguno de estos riesgos en una obra, se inicia una evaluación estructural exhaustiva del edificio. El riesgo a deslizamientos se debe evaluar la distancia entre el edificio y una pendiente empinada, ya sea por encima o por debajo del nivel del edificio (FEMA,2015).

Figura 10

Edificio con riesgo potencial a deslizamientos



Nota. En la figura se puede ver el riesgo potencial de un edificio a deslizamientos. Fuente: FEMA P-154 (2015).

Si el peligro geológico no se ha determinado como parte del proceso de planificación previa al campo y no se puede determinar durante la evaluación, el evaluador debe marcar con un círculo "DNK" (no sabe).

Figura 11

Riesgos geológicos

Riesgos Geológicos: Licuefacción: Si/No/No sé				Deslizamientos: Si/No/No sé		Rup. Superf.: Si/No/No sé	
Adyacencia:	<input type="checkbox"/>	Golpes	<input type="checkbox"/>	Peligro de Caída del edificio adyacente			
Irregularidades:	<input type="checkbox"/>	Vertical (tipo/severidad):					
	<input type="checkbox"/>	Planta (tipo):					
Peligros:	<input type="checkbox"/>	Chimeneas sin soporte lateral	<input type="checkbox"/>	Revestimiento pesado o chapado de madera			
pesada	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>				
Caída de exterior:	<input type="checkbox"/>	Parapetos		Apendices			

Nota. En la representación se visualiza los riesgos geológicos a los que esta expuesto una edificación según el formulario FEMA P-154. Fuente: FEMA P-154 (2015).

Adyacencia

La interacción entre edificios adyacentes puede causar diversos daños durante los terremotos. Cuando la separación entre edificios es insuficiente, pueden colisionar como consecuencia de las sacudidas del suelo. En regiones de sismicidad muy alta, el espacio mínimo entre los dos edificios es de 2 pulgadas por piso. En regiones de alta sismicidad, el espacio mínimo es de $1\frac{1}{2}$ pulgadas por piso. En las regiones de sismicidad moderadamente alta, el espacio mínimo es de 1 pulgada por piso. En las regiones de sismicidad moderada y baja, el espacio mínimo es $\frac{1}{2}$ de pulgada por piso (FEMA, 2015).

Irregularidades

Dado que las irregularidades concentran la demanda en niveles o elementos específicos de un edificio, tienen un impacto negativo en su comportamiento sísmico. La demanda concentrada puede causar daños, fallos y, en algunos casos, derrumbes (FEMA, 2015). Las irregularidades en la construcción se agrupan generalmente en dos categorías: irregularidades verticales e irregularidades en planta.

Riesgo de caídas desde el exterior

Los peligros no estructurales como chimeneas, parapetos, cornisas, revestimientos, voladizos y revestimientos pesados pueden suponer una amenaza para la seguridad de la vida si no se fijan correctamente a la estructura (FEMA, 2015).

Daños y deterioro de elementos estructurales

El deterioro de los elementos estructurales puede tener un impacto significativo en el rendimiento esperado de un edificio y, por consiguiente, debe tenerse en cuenta a la hora de realizar una inspección (FEMA, 2015).

Identificación del tipo de edificio de FEMA

El material de construcción (por ejemplo, madera o hormigón) y el tipo de sistema de resistencia sísmica son dos características clave del comportamiento sísmico (marco de

momento, marco arriostrado o muro de corte). Un sistema de clasificación de edificios permite agrupar edificios con materiales y sistemas sismorresistentes similares, lo que permite identificar rápidamente los puntos fuertes y vulnerables de un edificio y, en consecuencia, el comportamiento esperado del edificio durante un terremoto (FEMA, 2015).

Según FEMA (2015), los tipos de edificaciones son las siguientes:

- Viviendas unifamiliares o multifamiliares con estructura de madera clara de una o más pisos en altura (W1).
- Edificios residenciales de varios pisos y unidades múltiples con armazón de madera clara con áreas planas en cada piso de más de 3,000 pies cuadrados (W1A).
- Edificios comerciales e industriales con armazón de madera con una superficie mayor a 5,000 pies cuadrados (W2).
- Edificios con marcos de acero resistentes a momentos (S1).
- Edificios con armazón de acero reforzado (S2).
- Edificios de metal ligero (S3).
- Edificios con estructura de acero con muros de corte de hormigón colado insitu (S4).
- Edificios con estructura de acero con paredes de relleno de mampostería no reforzada (S5).
- Edificios con estructura de concreto resistente a momentos (C1).
- Edificios de muros cortantes de concreto (C2).
- Edificios de armazón de concreto con muros de relleno de mampostería no reforzada (C3).
- Edificios inclinados hacia arriba (PC1).
- Edificios con estructura de hormigón prefabricado (PC2).

- Edificios de mampostería reforzada con piso flexible y diafragmas de techo (RM1).
- Edificios de mampostería reforzada con piso rígido y diafragmas de techo (RM2).
- Edificios con muros de carga de mampostería no reforzada (URM).
- Vivienda prefabricada (MH).

Puntuación básica y modificadores de calificación

En la siguiente tabla se puede visualizar los valores de calificación y los modificadores donde se establece un puntaje básico en función de la región de sismicidad.

Tabla 4
Puntaje básico y modificadores

NOTA DE BASE Y MODIFICADORES Y ULTIMA PUNTUACION NIVEL 1, SL1																		
FEMA TIPO DE EDIFICIO	No	W1	W1A	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RS SW)	S5 (URMIN)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URMIN)	PC1 (TV)	PC 2	RM1 (FD)	RM 2	URMH	MH
Puntaje Basico		3,6	3,2	2,9	2,1	2	2,6	2	1,7	1,5	2	1,2	1,6	1,4	1,7	1,7	1	1,5
Irregularidad Vertical Grave, VL1		-1,2	-1,2	-1,2	-1,0	-0,1	-1,1	-1,0	-0,8	-0,9	-0,1	-0,7	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,7	NA
Irregularidad Vertical Moderada, VL1		-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,6	-0,7	-0,6	-0,5	-0,5	-0,6	-0,4	-0,6	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	NA
Irregularidad de Planta, PL1		-1,1	-1,0	-1,0	-0,8	-0,7	-0,9	-0,7	-0,6	-0,6	-0,8	-0,5	-0,7	-0,6	-0,7	-0,7	-0,4	NA
Pre-Codigo		-1,1	-1,0	-0,9	-0,6	-0,6	-0,8	-0,6	-0,2	-0,4	-0,7	-0,1	-0,5	-0,3	-0,5	-0,5	0,0	-0,1
Posterior año de Referencia		1,6	1,9	2,2	1,4	1,4	1,1	1,9	NA	1,9	2,1	NA	2	2,4	2,1	2,1	NA	1,2
Suelo Tipo A o B		0,1	0,3	0,5	0,4	0,6	0,1	0,6	0,5	0,4	0,5	0,3	0,6	0,4	0,5	0,5	0,3	0,3
Suelo Tipo E (1-3 Pisos)		0,2	0,2	0,1	-0,2	-0,4	0,2	-0,1	-0,4	0,0	0,0	-0,2	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,4
Suelo Tipo E (> 3 Pisos)		-0,3	-0,6	-0,9	-0,6	-0,6	NA	-0,6	-0,4	-0,5	-0,7	-0,3	NA	-0,4	-0,5	-0,6	-0,2	NA
Puntaje Mínimo SMIN		1,1	0,9	0,7	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	1,0

Nota. Datos tomados del formulario FEMA P-154 (2015).

La identificación de la tipología de la edificación se realiza considerando la adyacencia, los materiales de construcción y adiciones, mediante la implementación de una inspección interna y externa en la edificación, para la posterior determinación de la puntuación de los modificadores. La tipología estructural está en función del tipo de construcción, si alguna de las características estructurales no se aplica para algún tipo de

construcción FEMA; se debe considerar N/A, esto indica que dicha puntuación de modificador no es aplicable. (Albarracin Meza,2019).

- Irregularidad vertical

Si se han identificado una o más irregularidades verticales severas se debe marcar en la sección de irregularidades del formulario (FEMA,2015).

- Irregularidad en planta

Si se identificaron una o más irregularidades en planta se debe marcar en la sección de irregularidades del formulario (FEMA,2015).

- Código de construcción

Puede ser pre-código, donde la puntuación se considera si el edificio fue diseñado antes de la aprobación inicial y aplicación de los códigos sísmicos para las edificaciones. En el caso del Ecuador se considerará en esta opción, a todas las edificaciones diseñadas y construidas antes del año 1977, y las denominadas construcciones informales o autoconstrucciones. También puede considerarse ser post- referencia, el cual solo es aplicable cuando la edificación que se está evaluando ha sido diseñada y construida posteriormente al mejoramiento significativo de los códigos sísmicos para el tipo de edificación que corresponda (Albarracin, 2019).

- Tipo de suelo

Los modificadores de puntuación se proporcionan para el tipo de suelo A o B y para el tipo de suelo E. Si el tipo de suelo A o B ha sido identificado en la parte del formulario de tipo de suelo, el evaluador encierra en un círculo el modificador de puntuación del tipo de suelo A o B. Si se ha identificado el tipo de suelo E y hay tres pisos o menos, el evaluador encierra en un círculo el "Tipo de suelo E (1-3 pisos)" Modificador de puntuación. Si se ha identificado el tipo de suelo E y hay más de tres pisos, el evaluador marca con un círculo el modificador de puntaje "Tipo de suelo E (>3 pisos)" (FEMA,2015).

Las puntuaciones básicas de esta metodología se calcularon asumiendo el tipo de suelo C y D. Por lo tanto, no se aplica ningún modificador de puntaje cuando ocurre uno de estos tipos de suelo. No existe un modificador de puntaje para el tipo de suelo F porque los edificios en el tipo de suelo F no se pueden evaluar de manera efectiva con el procedimiento RVS (FEMA,2015).

Puntaje mínimo S_{MIN}

La Puntuación Mínima se desarrolló considerando la peor combinación posible de tipo de suelo, irregularidades verticales y de planta, y edad del edificio, todo a la vez (FEMA,2015).

Determinación de la puntuación final del nivel 1

El puntaje final de nivel 1, SL1, se determina para un edificio determinado al agregar los modificadores de puntaje encerrados en un círculo para ese edificio al puntaje básico del edificio. El evaluador debe comparar la suma de la puntuación básica y los modificadores de puntuación con la puntuación mínima, S_{MIN} , y usar la puntuación mínima si es mayor que la suma (FEMA,2015).

Documentación de alcance de la revisión

La parte de "Extensión de la revisión" del formulario se proporciona para documentar la minuciosidad de la evaluación del edificio. El inspector anota si tuvo acceso a todos los lados del exterior del edificio y si se accedió al interior (FEMA,2015).

Figura 12

Alcance de revisión del edificio

Alcance de control			
Exterior:	<input type="checkbox"/> Parcial	<input type="checkbox"/>	Todos los lados <input type="checkbox"/>
Aereo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Interior:	<input type="checkbox"/> Ninguna	<input type="checkbox"/>	Visible
Dibujo comentado:	Si		No
<u>Tipo de fuente peligro geologico:</u>			

Nota. En la figura se puede observar el alcance de revisión del edificio en estudio según el formulario FEMA P-154 (2015).

Documentación de otros riesgos

El potencial de golpes, los peligros de caídas de un edificio adyacente más alto, los peligros geológicos y el daño o deterioro del sistema estructural son todas condiciones que no se consideran en el puntaje de Nivel 1, pero pueden tener un efecto negativo en el desempeño del edificio (FEMA,2015).

Figura 13

Otros riesgos en la edificación

<p>OTROS RIESGOS</p> <p>¿Hay peligros que provocan una evaluación detallada estructural?</p> <p><input type="checkbox"/> Golpeteo potencial (a menos SL2< que el puntaje limite aceptable)</p> <p><input type="checkbox"/> Riesgo de caída de mas edificios altos a acentes.</p> <p><input type="checkbox"/> Riesgos Geologicos o tipo de suelo Daños significativos deterioro del sistema estructural</p>
--

Nota. En la representación se puede visualizar otros riesgos a la que esta expuesto la edificación en estudio según el formulario FEMA P-154 (2015).

Determinación de la acción requerida

El último paso para completar el Formulario de recopilación de datos de nivel 1 es indicar la acción requerida. Con base en la información recopilada durante la evaluación, el evaluador indica si se requiere una evaluación detallada del edificio (FEMA,2015).

Resultados provistos de la evaluación

El cálculo de S para cada edificio se basa en los datos visibles y limitados obtenidos de la estructura, arrojando un valor aproximado del comportamiento de la estructura ante eventos sísmicos. El método RVS determina que 2 es un valor límite preliminar razonable para distinguir estructuras adecuadas frente a eventos sísmicos; cualquier valor inferior a éste implica la necesidad de un estudio estructural más detallado (FEMA,2015).

El nivel de vulnerabilidad de una edificación se determinada mediante la siguiente tabla.

Tabla 5

Nivel de vulnerabilidad método FEMA P-154

VULNERABILIDAD SÍSMICA			
Ponderación	Nivel de vulnerabilidad sísmica	Requiere evaluación más detallada	
S < 2,0	Alta vulnerabilidad (requiere evaluación especial)		
2,0 >S >2,5	Media vulnerabilidad	Si	
S > 2,5	Baja vulnerabilidad	No	

Nota. Datos tomados del formulario FEMA -154 (2015).

En la tabla 6 se visualiza el formulario empleado para evolución visual rápida con el método FEMA P-154 Nivel 1.

Tabla 6
Formulario de evaluación visual rápido FEMA P-154

Exploración rápida visual de los edificios para los posibles riesgos sísmicos																		
Nivel 1																		
FOTOGRAFIA	Dirección: Código Postal: Otra Identificación: Nombre del Edificio: Uso: Latitud: Longitud: Ss: S1: Inspector(S): Fecha/Hora:																	
	No. de Pisos: Niveles superiores: Niveles inferiores: Año de construcción: Superficie total del suelo (m ²): Código año: Adiciones: <input type="checkbox"/> Ninguna <input type="checkbox"/> Si, Años construcción: Ocupación: Asamblea Comercial Serv. Emergencia Historico Albergue Industrial Oficina Escuela Gobierno Utilidad Almacen Residencial# Unid:																	
BOSQUEJO	Tipo de Suelo: <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> No sé Roca Roca Suelo Suelo Suelo Suelo Si no sabe, asumir Riesgos Geológicos: Licuefacción: Si/No/No sé Deslizamientos: Si/No/No sé Rup. Superf.: Si/No/No sé Adyacencia: <input type="checkbox"/> Golpes <input type="checkbox"/> Peligro de Caída del edificio adyacente Irregularidades: <input type="checkbox"/> Vertical (tipo/severidad): <input type="checkbox"/> Planta (tipo): Peligros: <input type="checkbox"/> Chimeneas sin soporte lateral <input type="checkbox"/> Revestimiento pesado o chapado de madera pesada <input type="checkbox"/> Caída de exterior: <input type="checkbox"/> Parapetos <input type="checkbox"/> Apendices																	
	COMENTARIOS: <input type="checkbox"/> Dibujos adicionales o comentarios en pagina separada.																	
NOTA DE BASE Y MODIFICADORES Y ULTIMA PUNTUACION NIVEL 1, SL1																		
FEMA TIPO DE EDIFICIO	No	W1	W1A	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RS SW)	S5 (URMIN)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URMIN)	PC1 (TV)	PC 2 (FD)	RM 2	URM	MH	
Puntaje Basico		3,6	3,2	2,9	2,1	2	2,6	2	1,7	1,5	2	1,2	1,6	1,4	1,7	1,7	1	1,5
Irregularidad Vertical Grave, VL1		-1,2	-1,2	-1,2	-1,0	-0,1	-1,1	-1,0	-0,8	-0,9	-0,1	-0,7	-1,0	-0,9	-0,9	-0,7	NA	
Irregularidad Vertical Moderada, VL1		-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,6	-0,7	-0,6	-0,5	-0,5	-0,6	-0,4	-0,6	-0,5	-0,5	-0,4	NA	
Irregularidad de Planta, PL1		-1,1	-1,0	-1,0	-0,8	-0,7	-0,9	-0,7	-0,6	-0,6	-0,8	-0,5	-0,7	-0,6	-0,7	-0,7	-0,4	NA
Pre-Codigo		-1,1	-1,0	-0,9	-0,6	-0,6	-0,8	-0,6	-0,2	-0,4	-0,7	-0,1	-0,5	-0,3	-0,5	-0,5	0,0	-0,1
Posterior año de Referencia		1,6	1,9	2,2	1,4	1,4	1,1	1,9	NA	1,9	2,1	NA	2	2,4	2,1	2,1	NA	1,2
Suelo Tipo A o B		0,1	0,3	0,5	0,4	0,6	0,1	0,6	0,5	0,4	0,5	0,3	0,6	0,4	0,5	0,5	0,3	0,3
Suelo Tipo E (1-3 Pisos)		0,2	0,2	0,1	-0,2	-0,4	0,2	-0,1	-0,4	0,0	0,0	-0,2	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,4
Suelo Tipo E (> 3 Pisos)		-0,3	-0,6	-0,9	-0,6	-0,6	NA	-0,6	-0,4	-0,5	-0,7	-0,3	NA	-0,4	-0,5	-0,6	-0,2	NA
Puntaje Mínimo SMIN		1,1	0,9	0,7	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	1,0
FINAL PUNTAJE NIVEL 1, SL1 ≥ SM1																		1,3
Alcance de control	OTROS RIESGOS ¿Hay peligros que provocan una evaluación detallada estructural? <input type="checkbox"/> Golpeteo potencial (a menos SL2< que el puntaje limite aceptable) <input type="checkbox"/> Riesgo de caída de mas edificios altos <input type="checkbox"/> Dajacentes. <input type="checkbox"/> Riesgos Geologicos o tipo de suelo Daños significativos deterioro del sistema estructural																	
Exterior: <input type="checkbox"/> Parcial <input type="checkbox"/> Todos los lados	ACCIÓN REQUERIDA Evaluación detallada estructural requerida? <input type="checkbox"/> Si tipo de edificio desconoce FEMA u otro edificio <input type="checkbox"/> Si, puntaje menor que el limite aceptable <input type="checkbox"/> Si, presenta otros peligros <input type="checkbox"/> No Evaluación detallada no estructural recomendada? <input type="checkbox"/> Si, los peligros no estructurales identificados deben ser evaluados. <input type="checkbox"/> No existe peligros no estructurales que pueden requerir la mitigación, pero no es necesario una evaluación detallada. <input type="checkbox"/> No, no hay peligros no estructurales identificado. <input type="checkbox"/> No sé																	
Aereo: <input type="checkbox"/>																		
Interior: <input type="checkbox"/> Ninguna <input type="checkbox"/> Visible																		
Dibujo comentado: Si No																		
Tipo de fuente peligro geológico:																		
INSPECCIÓN NIVEL 2 REALIZADA?																		
<input type="checkbox"/> Si, final puntuación Nivel 2, SL2: <input type="checkbox"/> No																		
Peligros No estructurales: <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No																		
Cuando la información no puede ser verificada, se tiene en cuenta lo siguiente: EST= estimado o datos fiables o DNK un= No lo sé																		
Legenda	MRF= Momento resistente marco RC= Concreto Reforzado URM INF= Mamposteria de relleno no reforzada BR= Marco arriostrado SW= Muro de corte TU= Levantarse MH= Casas manufacturadas DF= Diafragma Flexible LM= Metal Ligero RD= Diafragma Rígido																	

Nota. En la tabla se puede visualizar el formulario de evaluación rápida FEMA P-154 (2015).

CYPECAD

Sismo: Calculo dinámico-Análisis modal espectral

El método de análisis dinámico que el programa considera como general es el análisis modal espectral, para el cual será necesario indicar:

- Aceleración de cálculo respecto de g (aceleración gravedad) = a_c
- Ductilidad de la estructura = μ
- Número de modos a calcular
- Coeficiente cuasi-permanente de sobrecarga = A
- Espectro de aceleraciones de cálculo

Cuando en una edificación se especifica cualquier tipo de hipótesis sísmica dinámica, el programa realiza, además del cálculo estático normal a cargas gravitatorias y viento, un análisis modal espectral de la estructura. Los espectros de diseño dependerán de la norma sismorresistente y de los parámetros que están seleccionados. Para efectuar el análisis dinámico el programa crea la matriz de masas y la matriz de rigidez para cada elemento de la estructura. La matriz de masas se crea a partir de la hipótesis de peso propio y de las correspondientes sobrecargas multiplicadas por el coeficiente de cuasi permanencia. (CYPE Ingenieros, S.A, s.f.).

El siguiente paso consiste en la condensación de las matrices de rigidez y masas completas de la estructura, para obtener otras reducidas y que únicamente contienen los grados de libertad dinámicos, sobre los que se hará la descomposición modal. El programa efectúa una condensación estática y dinámica, haciéndose esta última por el método simplificado clásico, en el cual se supone que sólo a través de los grados de libertad dinámicos aparecerán fuerzas de inercia (CYPE Ingenieros, S.A, s.f.).

Los grados de libertad dinámicos con que se trabaja son tres por cada planta del edificio: dos traslaciones sobre el plano horizontal y la correspondiente rotación sobre dicho

plano. En este punto del cálculo, ya existe una matriz rígida reducida y una matriz mixta con el mismo número de filas y columnas. Cada una de ellas representa uno de los grados de libertad dinámicos que se describieron anteriormente. El siguiente paso es la descomposición modal, que el programa resuelve mediante un método iterativo y cuya salida son los autovalores y auto vectores correspondientes a la diagonalización de la matriz de rigidez con las masas (CYPE Ingenieros, S.A, s.f.).

El sistema de ecuaciones a resolver es el siguiente:

K: Matriz de rigidez M: Matriz de masas

$$[K - \omega_2 \cdot M] = 0.0 \text{ (determinante nulo)}$$

ω_2 : Autovalores del sistema

ω : Frecuencias naturales propias del sistema dinámico

$$[K - \omega_2 \cdot M] \cdot [\phi] = [0.0] \text{ (sistema homogéneo indeterminado)}$$

ϕ : Auto vectores del sistema o modos de vibración condensados

La primera ecuación arroja un número máximo de soluciones (valores de ω) igual al número de grados de libertad dinámica supuestos. Para cada una de estas soluciones (autovalores) se obtiene el correspondiente auto vector (modo de vibración). (CYPE Ingenieros, S.A, s.f.).

A partir de los modos de vibración, el programa obtiene los coeficientes de participación para cada dirección (τ_i) de la forma siguiente:

$$\tau_i = [\phi_i]^T \cdot [M] \cdot \frac{[J]}{[\phi_i]} \cdot [M] \cdot [\phi_i], i = 1, \dots, \left| \begin{array}{l} \text{n}^\circ \text{ de modos calculados} \end{array} \right.$$

donde [J] es un vector que indica la dirección de actuación del sismo. Por ejemplo, para sismo en

dirección x:

$$[J] = [100100100\dots100]$$

Una vez obtenidas las frecuencias vibratorias naturales, se introducen en el espectro de diseño, con los parámetros de ductilidad, amortización, etc., y se obtiene la aceleración de diseño para cada modo de vibración y libertad dinámica (CYPE Ingenieros, S.A, s.f.).

Para calcular estos valores se utiliza la siguiente fórmula:

$$a_{ij} = \phi_{ij} \cdot \tau_i \cdot a_{ci}$$

i: Cada modo de vibración

j: Cada grado de libertad dinámico

a_{ci} : Aceleración de cálculo para el modo de vibración i

Como resultado, para cada grado de libertad dinámica, se obtiene el desplazamiento máximo en cada modo de vibración. Por último, el análisis modal espectral se completa con una distribución de desplazamientos y esfuerzos en toda la estructura, para cada modo de vibración y cada hipótesis dinámica. Para la superposición modal, que permite obtener los valores máximos de un esfuerzo, desplazamiento, etc., en una hipótesis dinámica dada, el programa emplea el método CQC, que calcula un coeficiente modal basado en la relación entre los periodos vibratorios de los modos que se van a combinar (CYPE Ingenieros, S.A, s.f.).

La formulación de este método es la siguiente:

$$x = \sqrt{\sum_i \sum_j \rho_{ij} x_i x_j}$$

$$\rho_{ij} = \frac{8\zeta^2 r^{3/2}}{(1+r)(1-r)^2 + 4\zeta^2 r(1+r)}$$

Donde:

$$r = \frac{T_i}{T_j}$$

ξ : Razón de amortiguamiento, uniforme para todos los modos de vibración, y de valor 0.05

x: Esfuerzo o desplazamiento resultante

x_i, x_j : Esfuerzos o desplazamientos correspondientes a los modos a combinar.

Realizado el cálculo, se puede consultar, para cada modo, el periodo, el coeficiente de participación en cada dirección de cálculo X, Y, y lo que se denomina coeficiente sísmico, que es el espectro de desplazamientos obtenido como S_d :

$$S_d = \frac{\alpha(T)}{\omega^{2\mu}}$$

$\sigma(T)$: Ordenada espectral

ω : Frecuencia angular = $2\pi/T$

μ : Ductilidad

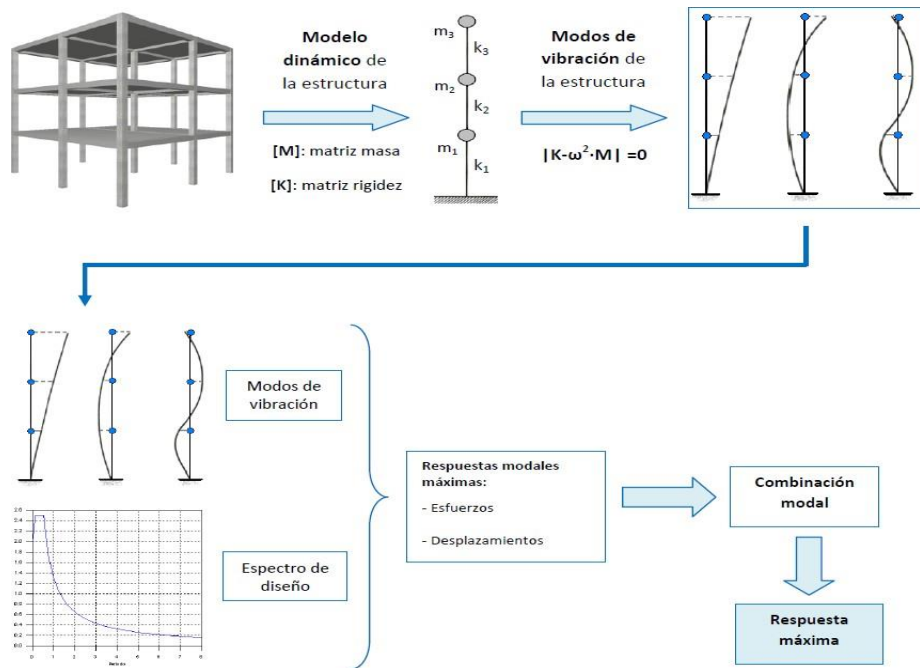
Efectos de torsión

Cuando se realiza un cálculo dinámico, se obtiene el momento y el cortante total debido a la acción sísmica sobre el edificio. Dividiendo ambos, se obtiene la excentricidad respecto al centro de masas. Dependiendo de la normativa de acciones sísmicas de cada país seleccionada, se compara con la excentricidad mínima que especifica dicha normativa, y si fuera menor, se amplifica el modo rotacional o de giro, de tal manera que al menos se obtenga dicha excentricidad mínima (CYPE Ingenieros, S.A, s.f.).

Cortante Basal

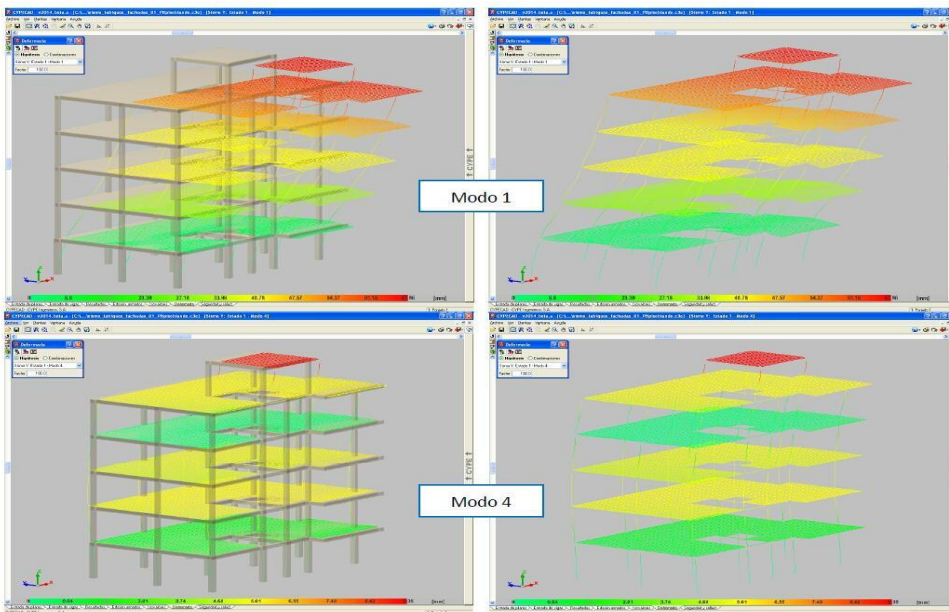
En los listados de resultados se obtiene el cortante de los soportes para cada modo. Puede usarlo para obtener el cortante basal y compararlo con el estático, y modificarlo en su caso, amplificando los efectos dinámicos, de acuerdo con lo que en su caso indique la norma que utilice, de forma manual (CYPE Ingenieros, S.A, s.f.).

Figura 14
Proceso de análisis dinámico modal espectral



Nota. En la figura se puede visualizar el proceso de análisis modal espectral utilizando el software CYPECAD. Fuente: CYPE Ingenieros, S.A, (s.f.).

Figura 15
Modos de Vibración calculados por el programa de una determinada estructura



Nota. En la representación se puede visualizar los modos de vibración calculados con el software CYPECAD. Fuente: CYPE Ingenieros S.A, (s.f.).

3.2.Diseño

No experimental

Este trabajo de investigación se relaciona con el diseño no experimental porque es un estudio que se realiza sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos (Hernández et al.,2014). El tipo de diseño de la investigación será transversal descriptivo ya que se busca determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica de la edificación del Laboratorio de Investigación de la Universidad Estatal de Bolívar.

Campo

El presente trabajo se llevará a cabo en el lugar de los hechos, es decir donde ocurren los fenómenos estudiados (Hernández et al., 2014), para lo cual se realizó visitas de campo al área de estudio para la aplicación de la metodología FEMA P-154 para verificar la condición actual de la infraestructura.

3.3.Población y Muestra

Para Mejía (2005), la población es la totalidad de elementos del estudio, es delimitado por el investigador según la definición que se formule en el estudio. Para la presente investigación la población está representada por la estructura del edificio del laboratorio de investigación de la Universidad Estatal de Bolívar campus Laguacoto. En este caso, al tratarse de una población intencionada no es necesario trabajar con muestra y tamaño de la misma ya que se va a realizar el estudio en los elementos estructurales tales como vigas, columnas y losas del edificio.

3.4.Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se emplearon técnicas primarias y secundarias que se describen detalladamente a continuación:

Fuentes primarias

- Para recopilar la información requerida, se realizó la observación directa del edificio con el formulario FEMA P-154 a través de salida de campo y recorrido del sector.
- Se implementó el formulario de observación FEMA P-154 en el edificio en donde se identificó las características físicas de la construcción y el estado actual en el que se encuentra la estructura.

Fuentes secundarias

- Norma Ecuatoriana de Construcción peligro sísmico diseño sismo resistente (NEC-SE-DS, 2015).
- Norma Ecuatoriana de Construcción 2015 riesgo sísmico evaluación y rehabilitación de estructura (NEC-SE-RE,2015)
- Metodología FEMA P-154
- Modelamiento del comportamiento estructural del edificio en estudio.

Instrumentos

- Formulario de evaluación visual rápido FEMA P-154
- Esclerómetro
- Software CYPECAD

3.5. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos (Estadístico utilizado), para cada uno de los objetivos específicos

Objetivo 1

Para cumplir con el primer objetivo: **Elaborar un diagnóstico de las condiciones actuales de la estructura física del Laboratorio de Investigación** para ello se recurrió a la visita de campo y el método de observación directa, necesarias para el análisis y la validación de la información.

Objetivo 2

Para elaborar el segundo objetivo: **Analizar la vulnerabilidad sísmica de la estructura** se empleó el ensayo de esclerometría realizado en los elementos estructurales (vigas, columnas, losas) y los planos arquitectónicos proporcionados por la institución para realizar el modelamiento tridimensional de la estructura utilizando el software CYPECAD donde se calculara y obtendrá resultados mediante el análisis dinámico, como los modos de vibración, desplazamientos y distorsiones de la estructura, también se utilizó el formulario de evaluación visual rápida FEMA P-154 con la cual se recolecto la información a través de la observación directa recorriendo el área de toda la estructura.

Objetivo 3

Para cumplir el tercer objetivo: **Proponer medidas para la reducción de la vulnerabilidad estructural en el edificio** se realizó en base al primer modelamiento estructural para corregir el comportamiento de la estructura y de esta manera salvaguardar la vida del personal que labora dentro de la edificación.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS O LOGROS ALCANZADOS SEGÚN LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

4.1.Resultados según objetivo 1

4.1.1. Elaborar un diagnóstico de las condiciones actuales de la estructura física del Laboratorio de Investigación de la Universidad Estatal de Bolívar.

A través de la observación directa en el territorio y con la ayuda de los planos arquitectónicos y estructurales se pudo identificar los elementos estructurales que conforman el edificio. El edificio en estudio es estructura moderna construida en el año 2008 su área de construcción es de $1417m^2$ en planta esta ubicada en el sector de Laguacoto Km. $1\frac{1}{2}$ vía San Simón en la ciudad de Guaranda provincia Bolívar. La edificación es una estructura de hormigón armado de dos pisos, con una adición de estructura de cubierta metálica, también posee una cisterna de agua a un lado de la infraestructura. El sistema estructural consta de columnas, vigas descolgadas y losas de hormigón armado, las dimensiones de las columnas y vigas que soportan la edificación son de 40x40 en columnas y 35x30 en vigas.

A continuación, en la figura 16 se puede observar el sistema estructural de la edificación.

Figura 16

Laboratorio de investigación U.E.B



Nota. Recorrido y observación del laboratorio de investigación.

4.1.2. Patologías estructurales

Las patologías estructurales se presentan como daños evidentes en la estructura o en la forma en la que está constituida, lo que puede presagiar fallos estructurales cuando se produce un sismo. Las patologías estructurales conocidas deben evitarse durante la fase de diseño de una estructura, pero si la estructura ya presenta una o más patologías, estos problemas deben tratarse de forma preventiva para limitar los daños en el futuro. Dado que la probabilidad de que se produzca un sismo es incierta, el tratamiento de las patologías debe comenzar tan pronto como sea posible.

En la siguiente tabla se puede evidenciar que la estructura en estudio cuenta con varias patologías entre ellas micro fisuras que son visibles y tienen un espesor inferior a 0,04 mm, también se puede observar fisuras las mismas que se caracterizan por un desarrollo lineal en la masa del hormigón, grieta de abertura profunda que afecta el espesor de la pared dejándolo inútil para su función estructural y por último se logró identificar desprendimiento de material del revestimiento de las columnas y paredes. La gran mayoría de patologías antes mencionadas se las identifiqué en la primera planta del edificio ya que la construcción se encuentra inconclusa y por tal motivo no se ha realizado ningún mantenimiento.

Tabla 7

Tipos de patologías en el sistema estructural

Mecánicas	Físicas
Micro fisuras	Humedad
Fisuras	
Grietas	
Desprendimientos	

Nota. Patologías identificadas en el sistema estructural del edificio en estudio.

4.1.3. Distribución interna de paredes

Es crucial que para este tipo de sistemas incluir paredes internas que soporten la rigidez de la estructura y ayuden a absorber el corte basal. El área entre las paredes orientadas en una determinada dirección debe ser igual al valor orientado en la dirección octagonal de este modo, ambos sentidos tienen una rigidez similar y ninguno es mucho más flexible que el otro. En este edificio si existen paredes internas que ayuden a absorber el corte basal en caso de un sismo las paredes tienen la misma continuidad de la primera planta con respecto a la segunda y poseen un buen grosor debido a la falta de mantenimiento la primera planta de la edificación se encuentra en mal estado.

Figura 17

Distribución de paredes internas del edificio



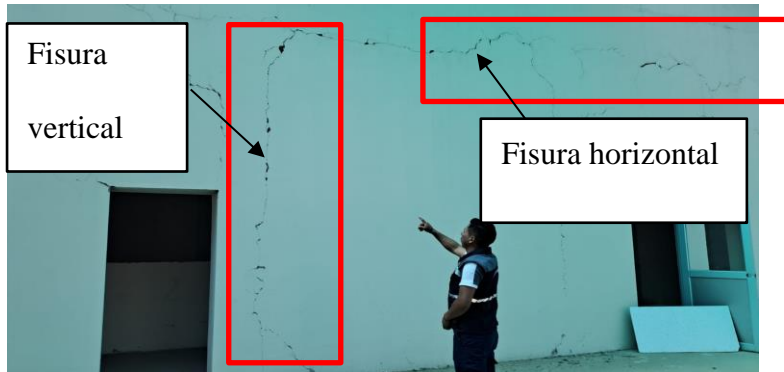
Nota. Recorrido y observación del laboratorio de investigación.

4.1.4. Síntomas de la edificación

Mediante la inspección visual se encontró diferentes tipos de síntomas de patologías estructurales que se detallan a continuación:

Figura 18

Síntomas de patologías estructurales fisuras horizontales y verticales



Nota. Recorrido y observación del laboratorio de investigación.

Las fisuras pueden producirse por diversas razones, su dirección nos proporciona un indicio de las posibles causas. Las fisuras verticales pueden corresponder a un asentamiento en la base de la estructura es decir que el suelo bajo una parte de la estructura sufrió una mayor deformación que el suelo bajo otra parte de la estructura. Las fisuras que siguen una trayectoria horizontal pueden indicar un desplazamiento horizontal de una parte el edificio con respecto al otro, como consecuencia de cargas sísmicas.

Figura 19

Fisura vertical en segunda planta

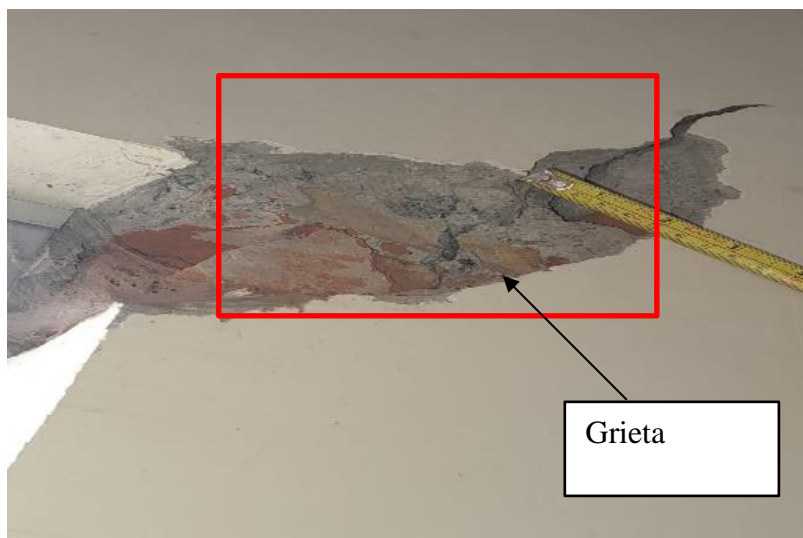


Nota. Recorrido y observación del laboratorio de investigación

En la figura 20 se puede observar una grieta vertical que se encuentra en la primera planta del edificio que afecta la pared con una longitud de 4cm y con un espesor de 0,5mm su posible causa de debió a un evento sísmico. También se observó el desprendimiento de material de mampostería en las columnas y paredes, así como también varias fisuras en todo el contrapiso de la primera planta (figura 21), no se evidencio desplomes de muros, columnas o de algún elemento estructural y no estructural del edificio.

Figura 20

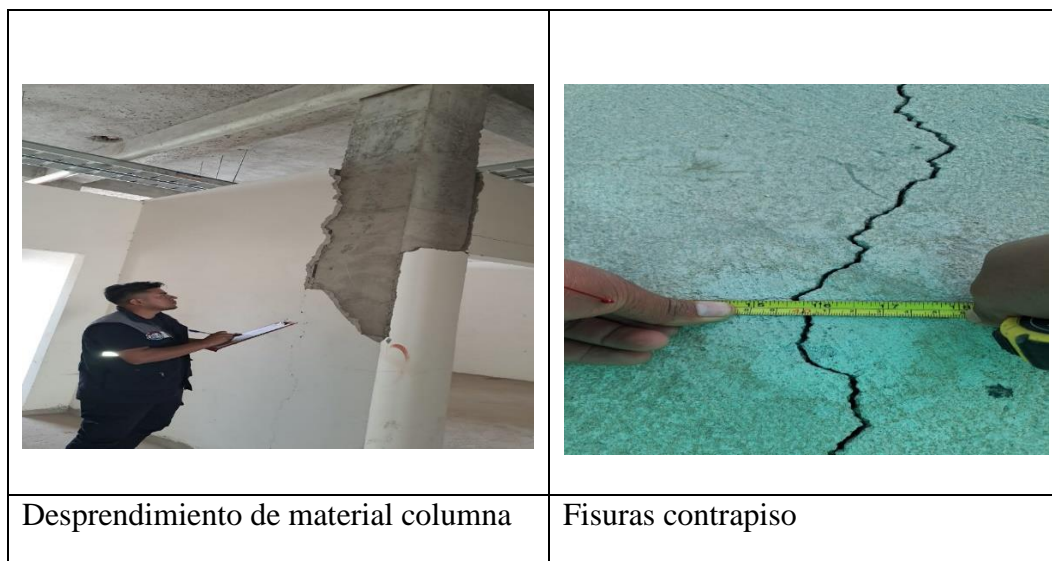
Grieta en la primera planta de la edificación



Nota. Recorrido y observación del laboratorio de investigación.

Figura 21

Desprendimiento de material de mampostería y grietas en el contrapiso



Nota. Recorrido y observación del laboratorio de investigación.

En la figura 22 se puede observar en la edificación la existencia de humedad que proviene desde el exterior a causa de las lluvias, debido a que no se selló bien el techo de una parte de la estructura.

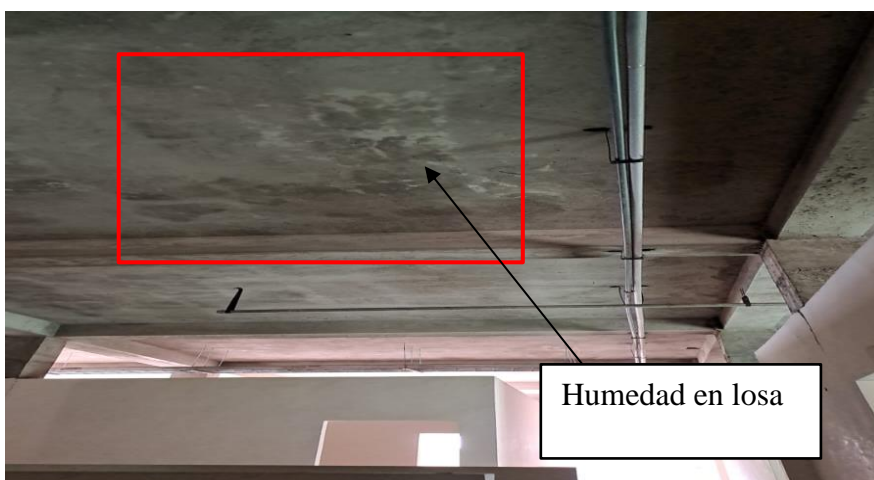
Figura 22
Humedad en paredes de la edificación



Nota. Recorrido y observación del laboratorio de investigación.

En la figura 23 se puede observar la existencia de humedad en la losa de la primera planta la causa posible puede ser la rotura de alguna tubería ya que en la segunda planta se encuentra ubicado los laboratorios de investigación.

Figura 23
Presencia de humedad en la losa de la primera planta



Nota. Recorrido y observación del laboratorio de investigación.

4.2. Resultados según objetivo 2

4.2.1. Analizar la vulnerabilidad sísmica de la estructura a través de la metodología de evaluación rápida FEMA P-154 y el modelamiento del comportamiento estructural utilizando el software CYPECAD.

4.2.2. Método FEMA P-154

Para la aplicación del formulario de evaluación rápida FEMA P-154 se realizó visita de campo al edificio del Laboratorio de Investigación de la Universidad Estatal de Bolívar campus Lagucoto el viernes 06 de enero del 2023 a las 10:00 de la mañana. La inspección se lo realizó mediante la observación directa el cual nos permito conocer el estado actual en el que se encuentra la estructura del edificio antes mencionado. A continuación, se expone las características y consideraciones para utilizar la metodología FEMA P-154:

Generalidades

- Región Sísmica

Mediante el mapa de zonificación sísmica de la Norma Ecuatoriana de Construcción, 2015 se puede identificar la región sísmica del Ecuador. Por lo tanto, el formulario que se utilizará para la evaluación de la estructura corresponderá a la zona sísmica donde se ubica la edificación en este caso la ciudad de Guaranda la misma que se encuentra dentro de una región de alta peligrosidad sísmica por lo cual se empleará el formulario de alta sismicidad.

- Tipo de Suelo

En lo que respecta al tipo de suelo donde se encuentra ubicado la edificación no se encontró ninguna información de haber realizado estudios de suelo previo a la construcción del edificio por ende se recopiló información del estudio realizado por el Laboratorio Integral de la Construcción ha pedido de la Universidad Estatal de Bolívar para la apertura de vías de acceso al campus Lagucoto. Según el estudio realizado por el Laboratorio Integral de la Construcción, (2018) el tipo de suelo en el sector del estudio solo a nivel de la subrasante, se

encontró limos arcillosos y arenosos con grava a 0.5 y 1.50 de profundidad se encontraron suelos SM, SP/SC siendo subrasante de buena calidad y material de mejoramiento existente SP de buena calidad.

Con la información expuesta anteriormente se procedió a determinar el tipo de suelo estableciendo como de tipo C (Suelo denso), de acuerdo con la Norma Ecuatoriana de Construcción (2015). La metodología utilizada no considera este tipo de suelo como modificador de la evaluación final de la vulnerabilidad, por lo que no se tiene en cuenta en la presentación de resultados.

Tabla 8

Datos generales de la institución

Dirección: Laguacoto Bajo Km1½ vía a San Simón	
Código Postal:	
Otra Identificación: Universidad Estatal de Bolívar	
Nombre del edificio: Laboratorio de Investigación	
Uso: Investigación	
Latitud: 9821484	Longitud: 722750
Ss:	S1:
Inspector(s): Luis Toalombo, Angel Tenelema	
Fecha/Hora: 06/01/2023 10:00 am	
No. de Pisos: 2 Niveles superiores: 2 Niveles inferiores: Año de construcción: 2008	
Superficie total del suelo (m²): 1417 Código año: Código Anterior	
Adiciones: <input checked="" type="checkbox"/> Ninguna	<input type="checkbox"/> Si, Años construcción:

Nota. Datos generales del edificio en estudio.

El edificio del Laboratorio de Investigación de la Universidad Estatal de Bolívar está conformado por una estructura moderna, fue construida en el año 2008 por Administración directa de la U.E.B como se puede observar en la figura 24.

Figura 24

Edificio del Laboratorio de Investigación de la U.E.B



Nota. Recorrido y observación del laboratorio de investigación.

4.2.3. Parámetros de evaluación del formulario FEMA P-154

- **Tipología del sistema estructural**

Mediante la observación directa y de acuerdo con la clasificación de tipologías estructurales del formulario FEMA P-154 al edificio del laboratorio de investigación, se le determino con la tipología (C1) edificación de hormigón armado con pórticos resistentes al momento por lo cual se le asigna un puntaje básico de 1,5 el mismo que aumentará o disminuirá dependiendo de las características de la edificación.

- **Irregularidades**

El edificio en estudio no presenta irregularidades que puedan ser consideradas de

influencia en el comportamiento estructural de la edificación ante un evento sísmico.

- **Código de construcción**

En el año 2002 sale el primer código de construcción ecuatoriano que tomaba en cuenta el peligro sísmico pero la aplicación de la misma no era obligatoria, no es hasta el 19 de agosto del 2014 que mediante acuerdo ministerial No 0028 expedido por el Ministro de Desarrollo Urbano y Vivienda, oficializa la Norma Ecuatoriana de construcción en la cual se dispone la utilización obligatoria para realizar el diseño y construcción sismo resistente de estructuras (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014). Además, según Paredes Valle y Pechar Romero (2019), mencionan que en el Ecuador se debería tomar como año de referencia al 2015 para los modificadores de puntaje de ultimo código y código anterior.

De lo mencionado anteriormente se determinó que la estructura para el formulario FEMA P-154 corresponde al código anterior es decir al código ecuatoriano de construcción ya que el edificio en estudio fue edificado en el año 2008. Los puntajes básicos y modificadores respectivos para el edificio en estudio se presentan en la tabla 9.

Tabla 9

Puntajes básicos y modificadores para el edificio del Laboratorio de Investigación de la U.E.B

Nombre del Edificio	Parámetro	Descripción	Puntaje
Laboratorio de Investigación U.E.B.	Tipología del sistema estructural	C1 Estructura de concreto resistente a momentos	1,5
	Irregularidades	Planta	0,0
		Vertical	0,0
	Código de Construcción	Código anterior	0,4

Nota. Evaluación de la vulnerabilidad según el Formulario FEMA P-154 (2015).

A continuación, se puede observar el formulario FEMA P-154 ya calificado de la estructura del Laboratorio de Investigación de la Universidad Estatal de Bolívar.

Tabla 10

Formulario FEMA P-154 aplicado a la estructura del Laboratorio de Investigación U.E.B

Exploración rápida visual de los edificios para los posibles riesgos sísmicos															Nivel 1			
FEMA P-154 Formulario de recolección de datos															Alta			
	Dirección: Laguacoto Bajo Km1½ vía a San Simón																	
	Código Postal:																	
Otra Identificación: Universidad Estatal de Bolívar																		
Nombre del edificio: Laboratorio de Investigación																		
Uso: Investigación																		
Latitud: 9821484														Longitud: 722750				
Ss:														SI:				
Inspector(s): Luis Toalombo, Angel Tenelema														Fecha/Hora: 06/01/2023 10:00 am				
No. de Pisos: 2 Niveles superiores: 2 Niveles inferiores:														Año de construcción: 2008				
Superficie total del suelo (m²): 1417														Código año: Código Anterior				
Adiciones: <input checked="" type="checkbox"/> Ninguna <input type="checkbox"/> Si, Años construcción:																		
Ocupación:																		
Asamblea Comercial Serv. Emergencia Histórico Albergue																		
Industrial Oficina <u>Escuela</u> Gobierno																		
Utilidad Almacén Residencial, # Unid:																		
Tipo de Suelo:																		
A B <u>C</u> D E F No sé																		
Roca Roca Suelo Suelo Suelo Suelo Si no sabe, asumir Tipo D																		
Dura Debil Denso Duro Blando Pobre																		
Riesgos Geológicos: Licuefacción: Si/No/No sé Deslizamientos: Si/No/No sé Rup. Superf.: Si/No/No sé																		
Adyacencia: <input type="checkbox"/> Golpes <input type="checkbox"/> Peligro de Caída del edificio adyacente																		
Irregularidades: <input type="checkbox"/> Vertical (tipo/severidad):																		
<input type="checkbox"/> Planta (tipo):																		
Peligros: <input type="checkbox"/> Chimeneas sin soporte lateral <input type="checkbox"/> Revestimiento pesado o chapado de madera pesada																		
Caída de exterior: <input type="checkbox"/> Parapetos <input type="checkbox"/> Apendices																		
<input type="checkbox"/> Otros:																		
COMENTARIOS:																		
<input type="checkbox"/> Dibujos adicionales o comentarios en pagina separada.																		
NOTA DE BASE Y MODIFICADORES Y ULTIMA PUNTUACION NIVEL 1, SL1																		
FEMA TIPO DE EDIFICIO	No	W1	W1A	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RS)	S5 (URM)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (UR)	PC1 (TV)	PC 2	RM1 (FD)	RM2 (RD)	URM	MH
Puntaje Basico		3,6	3,2	2,9	2,1	2	2,6	2	1,7	1,5	2	1,2	1,6	1,4	1,7	1,7	1	1,5
Irregularidad Vertical Grave, VL1		-1,2	-1,2	-1,2	-1,0	-0,1	-1,1	-1,0	-0,8	-0,9	-0,1	-0,7	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,7	NA
Irregularidad Vertical Moderada, VL1		-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,6	-0,7	-0,6	-0,5	-0,5	-0,6	-0,4	-0,6	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	NA
Irregularidad de Planta, PL1		-1,1	-1,0	-1,0	-0,8	-0,7	-0,9	-0,7	-0,6	-0,6	-0,8	-0,5	-0,7	-0,6	-0,7	-0,7	-0,4	NA
Código anterior		-1,1	-1,0	-0,9	-0,6	-0,6	-0,8	-0,6	-0,2	-0,4	-0,7	-0,1	-0,5	-0,3	-0,5	-0,5	0,0	-0,1
Ultimo código		1,6	1,9	2,2	1,4	1,4	1,1	1,9	NA	1,9	2,1	NA	2	2,4	2,1	2,1	NA	1,2
Suelo Tipo A o B		0,1	0,3	0,5	0,4	0,6	0,1	0,6	0,5	0,4	0,5	0,3	0,6	0,4	0,5	0,5	0,3	0,3
Suelo Tipo E (1-3 Pisos)		0,2	0,2	0,1	-0,2	-0,4	0,2	-0,1	-0,4	0,0	0,0	-0,2	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,4
Suelo Tipo E (> 3 Pisos)		-0,3	-0,6	-0,9	-0,6	-0,6	NA	-0,6	-0,4	-0,5	-0,7	-0,3	NA	-0,4	-0,5	-0,6	-0,2	NA
Puntaje Mínimo SMIN		1,1	0,9	0,7	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	1,0
FINAL PUNTAJE NIVEL 1, SL1 ≥ SM 1,5-0,4=1,1																		
Alcance de control				OTROS RIESGOS								ACCIÓN REQUERIDA						
Exterior: Parcial <input type="checkbox"/> Todos los la <input checked="" type="checkbox"/> Aeri <input type="checkbox"/>				¿Hay peligros que provocan una evaluación detallada estructural?								Evaluación detallada estructural requerida?						
Interior: Ningun <input type="checkbox"/> Visible <input checked="" type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/> Golpeteo potencial (a menos SL2- que el puntaje limite aceptable)								<input type="checkbox"/> Si tipo de edificio desconoce Fema u otro edificio						
Dibujo comentado: Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/> Riesgos de caída de mas edificios altos adyacentes.								<input checked="" type="checkbox"/> Si, puntaje menor que el limite aceptable						
Tipo de fuente peligro geologico:				<input type="checkbox"/> Riesgos Geologicos o tipo de suelo								<input type="checkbox"/> Si, presenta otros peligros						
Persona de contacto:				<input checked="" type="checkbox"/> Daños significativos deterioro del sistema estructural								<input type="checkbox"/> No						
INSPECCIÓN NIVEL 2 REALIZADA?												Evaluación detallada no estructural recomendada?						
<input type="checkbox"/> Si, final puntuación Nivel 2, SL2:												<input type="checkbox"/> Si, los peligros no estructurales identificados deben ser evaluados.						
Peligros No estructurales: S <input type="checkbox"/>												<input checked="" type="checkbox"/> No existe peligros no estructurales que pueden requerir la mitigacion, pero no es necesario una evaluacion detallada.						
												<input type="checkbox"/> No, no hay peligros no estructurales identificado.						
												<input type="checkbox"/> No sé						
Cuando la información no puede ser verificada, se tiene en cuenta lo siguiente: EST= estimado o datos fiables o DNK un= No lo sé																		
Leyenda MRF= Momento resistente marco RC= Concreto Reforzado URM INF= Mamposteria de relleno no reforzada																		
BR= Marco arriostrado SW= Muro de corte TU= Levantarse																		
MH= Casas manufacturadas DF= Diagrama Flexible																		

Nota. Formulario FEMA P-154 aplicado al edificio del Laboratorio de Investigación de la Universidad Estatal de Bolívar.

4.2.4. Resultado formulario FEMA P-154

De acuerdo con los parámetros y valores designados en el formulario FEMA P-154, se obtiene el siguiente resultado 1,1 que de acuerdo con la tabla de calificación se determina como alta vulnerabilidad por ello se requiere realizar una evaluación estructural más detallada por un ingeniero estructuralista.

Tabla 11

Grado de vulnerabilidad edificio del Laboratorio de Investigación U.E.B

VULNERABILIDAD SÍSMICA	1.1		
Ponderación	Nivel de vulnerabilidad sísmica	Requiere evaluación más detallada	
$S < 2,0$	Alta vulnerabilidad (requiere evaluación especial)		
$2,0 > S > 2,5$	Media vulnerabilidad	Si	X
$S > 2,5$	Baja vulnerabilidad	No	

Nota. Determinación del grado de vulnerabilidad del Edificio en estudio.

4.2.5. Ensayo de resistencia a la compresión

Antes de realizar el modelamiento del comportamiento estructural del edificio mediante el método no destructivo conocido como esclerometría se procedió a realizar ensayos en los distintos elementos estructurales con el fin de conocer la resistencia a compresión del hormigón. El ensayo de esclerometría permitió determinar la resistencia a compresión del concreto de los elementos estructurales como vigas, columnas y lozas del edificio en estudio. Pazmiño y Pico (2019), plantea que si la resistencia del hormigón es menor a 210 Kg/cm² es de mala calidad; pero si sobrepasa de 240kg/cm² se considera de excelente calidad.

A continuación, se presenta los ensayos realizados en los elementos estructurales antes mencionados de la estructura del Laboratorio de Investigación de la Universidad Estatal de Bolívar.

Tabla 12

Resumen de ensayo de esclerometría en el edificio del Laboratorio de Investigación de la U.E.B

	Piso 1					Piso 2				
Elemento estructural	C1	V1	C2	V2	Losa	C1	V1	C2	V2	Losa
Índice de Rebote	29	28	25	21	33	30	22	24	27	22
Resistencia en Kg/cm ²	230	220	170	110	220	250	120	160	200	180

Nota. Resultado del ensayo de esclerometría aplicado al edificio del Laboratorio de Investigación de la U.E.B.

Según el ensayo de esclerometría aplicado en el edificio del Laboratorio de Investigación de la U.E.B, el índice de rebote en los elementos estructurales varía entre 21 y 30 dando como resultado una resistencia mínima de 110Kg/cm² y una resistencia máxima de 250Kg/cm². El promedio de resistencia de columnas en la primera planta es de 205Kg/cm² mientras que el de vigas es 175Kg/cm² de la misma manera en la segunda planta la resistencia de columnas está en un promedio de 200Kg/cm² y las vigas en 190Kg/cm². Por lo que se puede concluir que el hormigón no cumple con la resistencia establecida por la NEC-2015. Los resultados de cada uno de los elementos estructurales donde se realizó el ensayo de esclerometría se encuentran en el anexo N ° 1.

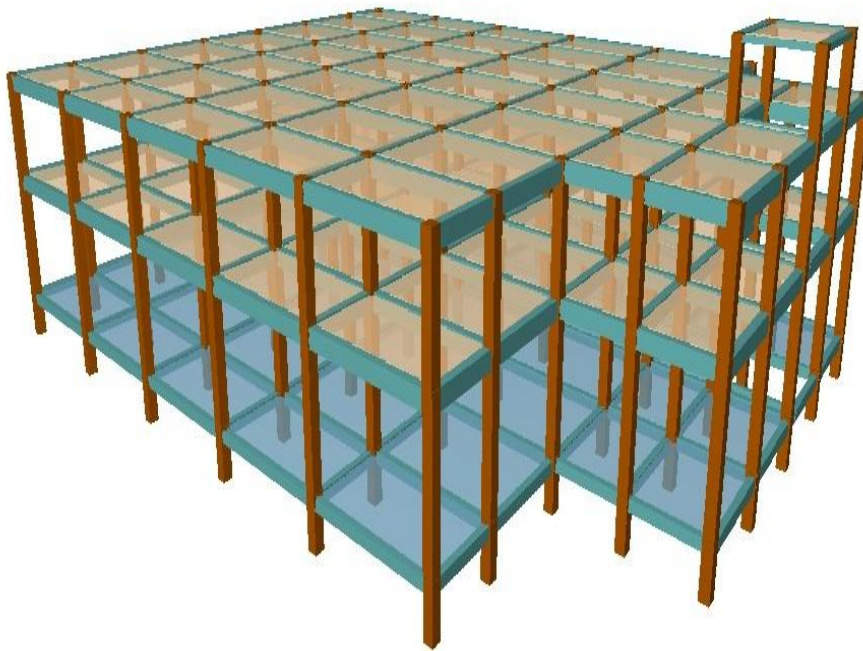
4.2.6. Modelamiento del comportamiento estructural utilizando el software

CYPECAD

El modelamiento del comportamiento estructural del edificio en estudio se realizó utilizando el software CYPECAD el mismo que utiliza como base la Norma Ecuatoriana de Construcción vigente, además es necesario contar con los planos arquitectónicos y

estructurales. En la figura 26 se puede observar el modelamiento tridimensional del edificio Laboratorio de Investigación de la Universidad Estatal de Bolívar campus Laguacoto.

Figura 25
Modelamiento tridimensional



Nota. Modelado tridimensional del edificio en estudio utilizando el software CYPECAD (2017).

Acción sísmica según la Norma Ecuatoriana de Construcción diseño sismo resistente vigente, en la figura 26 se puede observar que el modelamiento de la estructura se efectuó aplicando la NEC vigente utilizando las zonas sísmicas y curvas de peligro sísmico las mismas que están establecidas por la norma para todas las provincias del Ecuador.

Figura 26
Acción sísmica según la NEC vigente

Normativa para el cálculo de la acción sísmica

CPE INEN 5:2001 NEC-11 NEC-SE-DS 2014

NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN
Peligro sísmico. Diseño sismo resistente.

Acción sísmica según X Acción sísmica según Y

Método de análisis
 Dinámico (modal espectral) Estático (fuerza lateral equivalente)

Definición del espectro
 Según norma
 Especificado por el usuario

Parámetros de cálculo
Fracción de sobrecarga de uso: 0.00
Factor multiplicador del espectro: 1.00

Estimación del periodo fundamental de la estructura
 Según norma
 Especificado por el usuario

Sistema estructural
Coeficiente de reducción (X): 8.00
Coeficiente de reducción (Y): 8.00
Coeficiente de regularidad en planta: 0.90
Coeficiente de regularidad en elevación: 0.90
Geometría en altura: Regular Irregular

Caracterización del emplazamiento
Zona sísmica: I II III IV V VI
 Sierra, Esmeraldas y Galápagos
Región sísmica: Costa (excepto Esmeraldas) Oriente

Importancia de la obra
 Edificaciones esenciales y/o peligrosas Estructuras de ocupación especial Otras estructuras

Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores.

Aceptar Sin efectos de 2º orden Espectro de cálculo Cancelar

Nota. Acción sísmica utilizado en el modelamiento estructural según la NEC vigente. Fuente: CYPECAD (2017)

Datos generales del hormigón utilizados en el modelamiento estructural para conocer estos datos se realizó ensayos de esclerometría en los tres elementos de la estructura (columnas, vigas, losas), obteniendo un promedio entre 180kg/cm² y 250 kg/cm².

Figura 27
Datos del hormigón en columna, vigas y losa

Datos generales

Clave: TESIS 2023 TOALOMBO_TENELEM10
Descripción: LABORATORIO INVESTIGACION

Normas: ACI 318M-11, AISI S100-2007 (LRFD), ANSI/AISC 360-10 (LRFD), CTE DB SE-M y Eurocódigo 9

Hormigón armado

Hormigón
Forjados: Fc=180
Cimentación: Fc=250
Pozos romanos: Fc=250
Pilares: Fc=200
Muros: Fc=250
Características del árido: 15 mm

Acero
Barras: Grade 60
Pernos: A-307

Perfiles de Acero
Laminados y amados: A36
Conformados: ASTM A 36 36 ksi

Madera
Vigas: C24 - Viguetas: C24 - Estructuras 3D: C24

Aluminio extruido
EN AW-5083 - F

Acciones
 Carga permanente y sobrecarga de uso
 Con acción de viento
 Con acción sísmica: NEC-SE-DS 2014 (Ecuador)
Criterio de armado por ductilidad: Ninguno
Elementos constructivos: No se consideran
 Comprobar resistencia al fuego
Estados límite (combinaciones):

Coefficientes de pandeo
Pilares de hormigón y mixtos: Bx: 1.000 By: 1.000
Pilares de acero: Bx: 1.000 By: 1.000

Aceptar

Nota. En la figura se puede visualizar los datos de hormigón viga, columna y losas utilizadas en el modelamiento. Fuente: CYPECAD (2017)

4.2.7. Resultados del modelamiento estructural de la edificación

4.2.8. SISMO

Norma utilizada: NEC-SE-DS 2014

NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN

Peligro sísmico. Diseño sismo resistente.

Método de cálculo: Análisis modal espectral (NEC-SE-DS 2014, 6.2.2e)

4.2.9. Datos generales de sismo

Caracterización del emplazamiento

Zona sísmica (NEC-SE-DS 2014, 3.1.1): IV

Región sísmica (NEC-SE-DS 2014, 3.3.1): Sierra, Esmeraldas y Galápagos

Tipo de suelo (NEC-SE-DS 2014, 3.2.1): C

Sistema estructural

R_x: Factor de reducción (X) (NEC-SE-DS 2014, Tabla 15 y 16) R_x: 8.00

R_y: Factor de reducción (Y) (NEC-SE-DS 2014, Tabla 15 y 16) R_y: 8.00

F_p: Coeficiente de regularidad en planta (NEC-SE-DS 2014, 5.2. 3a) F_p: 0.90

F_e: Coeficiente de regularidad en elevación (NEC-SE-DS 2014, 5.2.3b) F_e: 0.90

Geometría en altura (NEC-SE-DS 2014, 5.2.3): Regular

Estimación del periodo fundamental de la estructura: Según norma

Sistema estructural (X) (NEC-SE-DS 2014, 6.3.3a): III

Sistema estructural (Y) (NEC-SE-DS 2014, 6.3.3a): III

h: Altura del edificio h: 9.46 m

Importancia de la obra (NEC-SE-DS 2014, 4.1): Otras estructuras

Parámetros de cálculo

Número de modos de vibración que intervienen en el análisis: Según norma

Fracción de sobrecarga de uso : 0.00

Factor multiplicador del espectro : 1.00

Verificación de la condición de cortante basal: Según norma

No se realiza análisis de los efectos de 2° orden

Criterio de armado a aplicar por ductilidad: Ninguno

Factores reductores de la inercia (NEC-SE-DS 2014, 6.1.6 b)

Vigas primarias frente a la acción sísmica: 0.5

Vigas secundarias frente a la acción sísmica: 0.01

Forjados primarios frente a la acción sísmica: 0.5

Forjados secundarios frente a la acción sísmica: 0.01

Pilares: 0.8

Pantallas: 0.6

Muros: 0.6

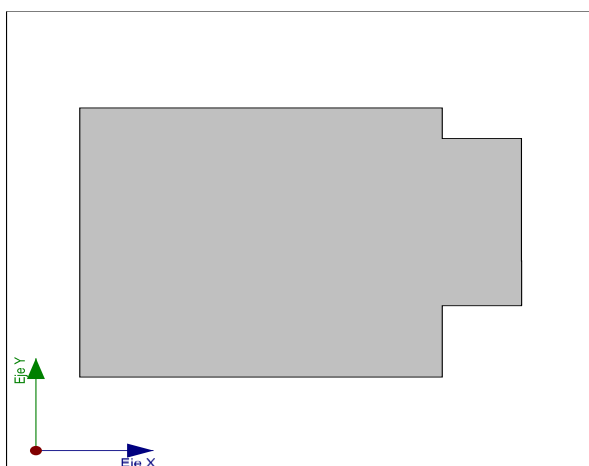
Muros de fábrica: 0.5

Direcciones de análisis

Acción sísmica según X, acción sísmica según Y.

Figura 28

Proyección en planta en la obra

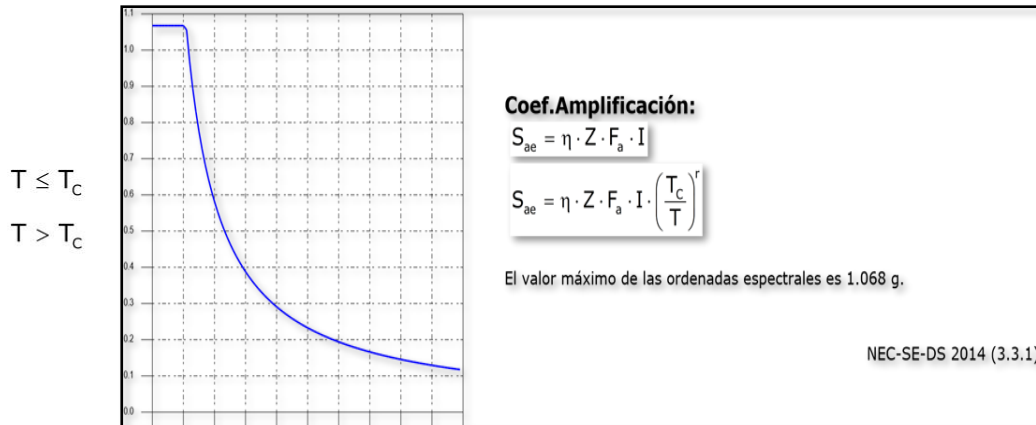


Nota. En la figura se puede observar la proyección en planta de la obra para realizar el modelamiento. Fuente: CYPECAD (2017).

4.2.10. Espectro de cálculo

Figura 29

Espectro elástico de aceleraciones



Nota. En la representación se puede visualizar el espectro de cálculo con el coeficiente de aplicación. Fuente: CYPECAD (2017).

Parámetros necesarios para la definición del espectro

Z: Factor de zona (NEC-SE-DS 2014, Tabla 1) Z: 0.35

Zona sísmica (NEC-SE-DS 2014, 3.1.1): IV

h: Relación de amplificación espectral (NEC-SE-DS 2014, 3.3.1) h: 2.48

Región sísmica (NEC-SE-DS 2014, 3.3.1): Sierra, Esmeraldas y Galápagos

Fa: Factor de sitio (NEC-SE-DS 2014, Tabla 3) Fa: 1.23

Fd: Factor de sitio (NEC-SE-DS 2014, Tabla 4) Fd: 1.15

Fs: Factor de sitio (NEC-SE-DS 2014, Tabla 5) Fs: 1.06

Tipo de suelo (NEC-SE-DS 2014, 3.2.1): C

Zona sísmica (NEC-SE-DS 2014, 3.1.1): IV

I: Factor de importancia (NEC-SE-DS 2014, Tabla 6) I: 1.00

Importancia de la obra (NEC-SE-DS 2014, 4.1): Otras estructuras r:

Exponente que define la rama descendente del espectro (NEC-SE-DS 2014, 3.3.1) r: 1.00

Tipo de suelo (NEC-SE-DS 2014, 3.2.1): C

TC: Periodo límite superior de la rama de aceleración constante del espectro (NEC-SE-DS 2014, 3.3.1) TC: 0.55 s

$$T_c = 0.55 \cdot F_s \cdot \frac{F_d}{F_a}$$

Espectro de diseño de aceleraciones

El espectro de diseño sísmico se obtiene reduciendo el espectro elástico por el coeficiente $(R \cdot \Phi_p \cdot \Phi_E)$ correspondiente a cada dirección de análisis.

$$S_a = \frac{S_{ae}}{R \cdot \Phi_p \cdot \Phi_E}$$

Factor de comportamiento / Coeficiente de ductilidad

R_x: Factor de reducción (X) (NEC-SE-DS 2014, Tabla 15 y 16) R_x: 8.00

R_y: Factor de reducción (Y) (NEC-SE-DS 2014, Tabla 15 y 16) R_y: 8.00

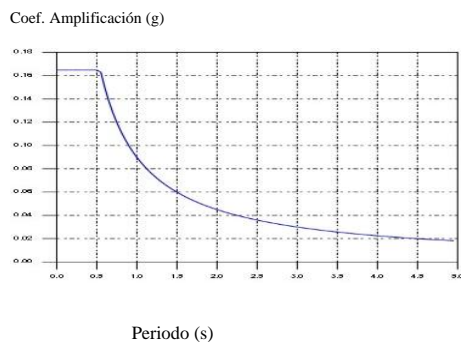
F_p: Coeficiente de regularidad en planta (NEC-SE-DS 2014, 5.2.3a) F_p:0.90

F_e: Coeficiente de regularidad en elevación (NEC-SE-DS 2014, 5.2.3b) F_e:0.90.

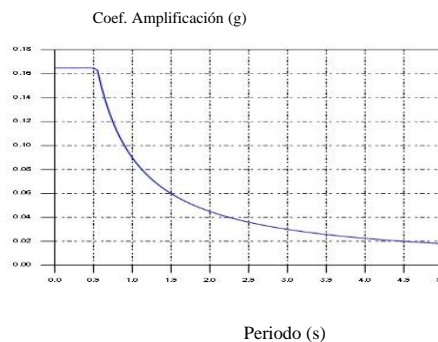
Figura 30

Espectro de diseño en X, Y

Espectro de diseño según X



Espectro de diseño según Y



Nota. Se puede visualizar los espectros de diseño en x, y con sus respectivos coeficientes de amplificación. Fuente: CYPECAD (2017)

Coeficientes de participación

Tabla 13

Coeficientes de participación

Modo	T	L _x	L _y	L _{gz}	M _x	M _y	Hipótesis X (1)	Hipótesis Y (1)
Modo 1	0.533	0.8176	0.0209	0.5754	96.47 %	0.06 %	R = 6.48 A = 1.605 m/s ² D = 11.5567 mm	R = 6.48 A = 1.605 m/s ² D = 11.5567 mm
Modo 2	0.504	0.0114	0.2716	0.9623	0.16 %	89.48 %	R = 6.48 A = 1.615 m/s ² D = 10.3981 mm	R = 6.48 A = 1.615 m/s ² D = 10.3981 mm
Modo 3	0.460	0.0053	0.0234	0.9997	0.22 %	7.45 %	R = 6.48 A = 1.616 m/s ² D = 8.66229 mm	R = 6.48 A = 1.616 m/s ² D = 8.66229 mm
Total					96.85 %	96.99 %		

Nota. En la tabla se puede observar los coeficientes de participación relacionados con los modos de vibración del edificio en estudio. Fuente: CYPECAD (2017).

T: Periodo de vibración en segundos.

L_x, L_y: Coeficientes de participación normalizados en cada dirección del análisis.

L_{gz}: Coeficiente de participación normalizado correspondiente al grado de libertad rotacional.

M_x, M_y: Porcentaje de masa desplazada por cada modo en cada dirección del análisis.

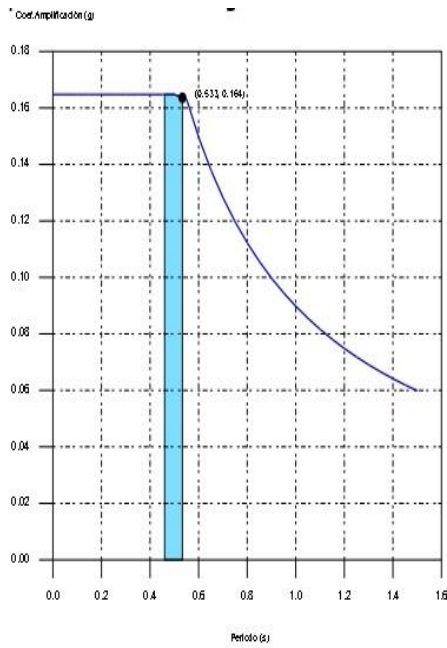
R: Relación entre la aceleración de cálculo usando la ductilidad asignada a la estructura y la aceleración de cálculo obtenida sin ductilidad.

A: Aceleración de cálculo, incluyendo la ductilidad.

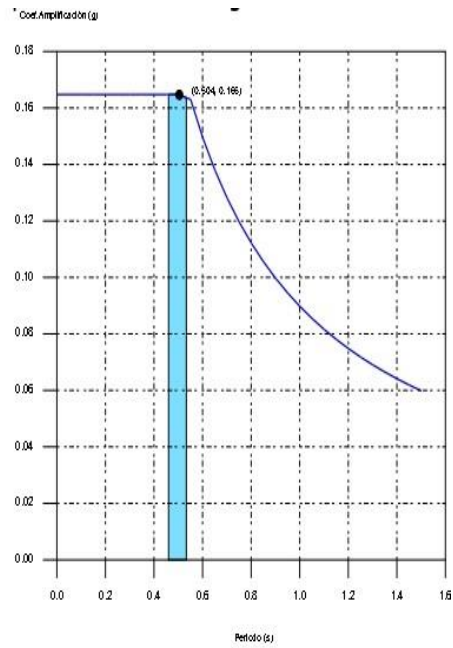
D: Coeficiente del modo. Equivale al desplazamiento máximo del grado de libertad dinámico.

Representación de los periodos modales

Espectro de diseño según X



Espectro de diseño según Y



Nota. Periodos modales y espectros de diseño en x, y obtenidos mediante el modelamiento.
Fuente: CYPECAD (2015).

Se representa el rango de periodos abarcado por los modos estudiados, con indicación de los modos en los que se desplaza más del 30% de la masa:

Tabla 14
Rango de periodos por modos

Hipótesis sismo X1			Hipótesis sismo Y1		
Hipótesis modal	T (s)	A (g)	Hipótesis modal	T (s)	A (g)
Modo 1	0.533	0.164	Modo 2	0.504	0.165

Nota. Rango de periodos según los modos estudiados. Fuente: CYPECAD (2017).

Centro de masas, centro de rigidez y excentricidades de cada planta

Tabla 15

Centro de masas, rigidez y excentricidades por cada planta

Planta	c.d.m. (m)	c.d.r. (m)	e_x (m)	e_y (m)
Tapa	(32.05, 17.00)	(32.05, 17.00)	0.00	0.00
Nivel +7.26m	(15.88, 13.24)	(19.01, 13.85)	-3.13	-0.62
Nivel + 4.06m	(15.91, 13.23)	(16.91, 13.34)	-1.00	-0.11
Nivel +0.00m	(15.90, 13.23)	(16.91, 13.34)	-1.01	-0.11

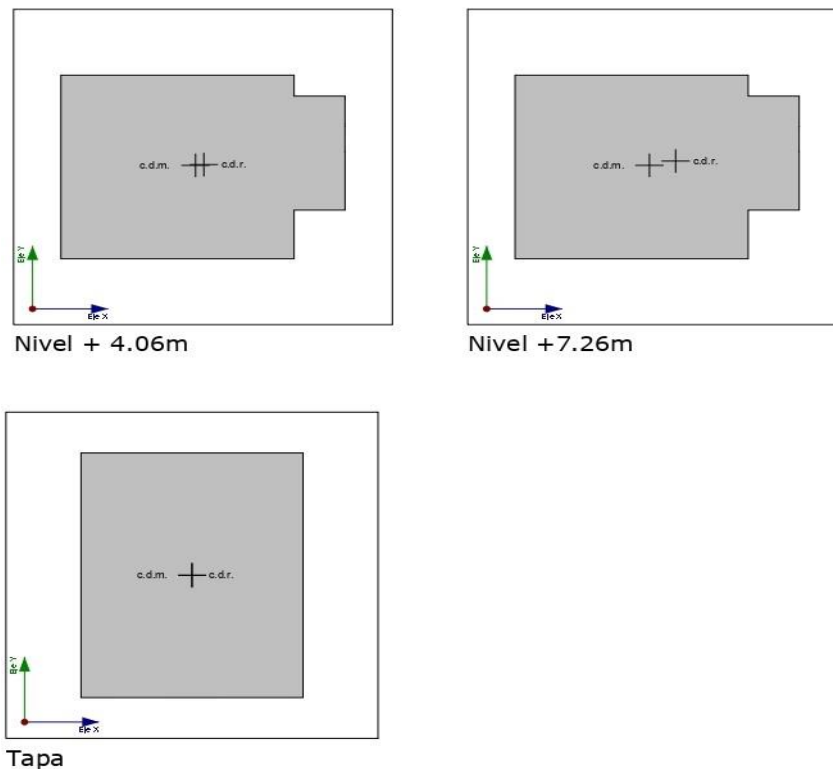
Nota. Centro de masa, centro de rigidez y excentricidades del edificio en estudio por cada planta. Fuente: CYPECAD (2017).

c.d.m.: Coordenadas del centro de masas de la planta (X, Y)

c.d.r.: Coordenadas del centro de rigidez de la planta (X, Y) **e_x :** Excentricidad del centro de masas respecto al centro de rigidez (X) **e_y :** Excentricidad del centro de masas respecto al centro de rigidez (Y)

Figura 31

Representación gráfica del centro de masas y del centro de rigidez por planta



Nota. Representación grafica del centro de masa y centro de rigidez por cada planta del edificio en estudio Fuente: CYPECAD (2017).

4.2.11. Corrección por cortante basal

Cortante dinámico CQC

El cortante basal dinámico (V_d), por dirección e hipótesis sísmica, se obtiene mediante la combinación cuadrática completa (CQC) de los cortantes en la base por hipótesis modal.

Tabla 16

Cortante basal dinámico por Hipótesis sísmica

Hipótesis sísmica (X)	Hipótesis modal	V_x (t)	$V_{d,x}$ (t)
Sismo X1	Modo 1	179.1768	179.5717
	Modo 2	0.2938	
	Modo 3	0.5428	
Hipótesis sísmica (Y)	Hipótesis modal	V_y (t)	$V_{d,y}$ (t)
Sismo Y1	Modo 1	0.1165	175.0765
	Modo 2	167.0406	
	Modo 3	13.9249	

Nota. Cortante basal dinámico por cada hipótesis sísmica e hipótesis modal del edificio en estudio. Fuente: CYPECAD (2017).

$V_{d,x}$: Cortante basal dinámico en dirección X, por hipótesis sísmica

$V_{d,y}$: Cortante basal dinámico en dirección Y, por hipótesis sísmica

4.2.12. Cortante basal estático

El cortante sísmico en la base de la estructura se determina para cada una de las direcciones de análisis:

$V_{s,x}$: Cortante sísmico en la base (X) (NEC-SE-DS 2014, 6.3.2) $V_{s,x}: 185.3523t$

$$V_{s,x} = S_{d,x}(T_a) \cdot W$$

$S_{d,x}(T_a)$: Aceleración espectral horizontal de diseño (X) $S_{d,x}(T_a): 0.165g$

$T_{a,x}$: Periodo fundamental aproximado (X) (NEC-SE-DS 2014, 6.3.3a) $T_{a,x}: 0.42s$

Sistema estructural (X) (NEC-SE-DS 2014, 6.3.3a): III

h : Altura del edificio $h: 9.46m$

V_{s, y}: Cortante sísmico en la base (Y) (NEC-SE-DS 2014, 6.3.2) **V_{s, y}**: 185.3523t

$$V_{s,y} = S_{d,y}(T_a) \cdot W$$

S_{d, y}(T_a): Aceleración espectral horizontal de diseño (Y) **S_{d, y}(T_a)**: 0.165g

T_{a, y}: Periodo fundamental aproximado (Y) (NEC-SE-DS 2014, 6.3.3a) **T_{a, y}**: 0.42 s

$$T_a = 0.055 \cdot h^{0.9}$$

Sistema estructural (Y) (NEC-SE-DS 2014, 6.3.3a): III

h: Altura del edificio **h**: 9.46m

W: Peso sísmico total de la estructura **W**: 1124.9884 t

El peso sísmico total de la estructura es la suma de los pesos sísmicos de todas las

plantas

$$W = \sum_{i=1}^n w_i$$

w_i: Peso sísmico total de la planta "i"

Suma de la totalidad de la carga permanente y de la fracción de la sobrecarga de uso

considerada en el cálculo de la acción sísmica.

Tabla 17

Peso sísmico por planta

Planta	w_i (t)
Tapa	9.8946
Nivel +7.26m	537.7045
Nivel + 4.06m	577.3894
W=Σw_i	1124.9884

Nota. Peso sísmico por cada planta del edificio. Fuente: CYPECAD (2017).

Verificación de la condición de cortante basal

Cuando el valor del cortante dinámico total en la base (V), obtenido después de realizar la combinación modal, para cualquiera de las direcciones de análisis, es menor que el 80 % del cortante basal sísmico estático (Vs), todos los parámetros de la respuesta dinámica se multiplican por el factor de modificación: $0.80 \cdot V_s / V_d$.

Geometría en altura (NEC-SE-DS 2014, 5.2.3): Regular

Tabla 18
Verificación de la condición del cortante basal

Hipótesis sísmica	Condición de cortante basal mínimo	Factor de modificación
Sismo X1	$V_{d, x1} \geq 0.80 \cdot V_{sx}$ $\geq 148.2818 \text{ t}$	N.P.

Hipótesis sísmica	Condición de cortante basal mínimo	Factor de modificación
Sismo Y1	$V_{d, x1} \geq 0.80 \cdot V_{sx}$ $\geq 148.2818 \text{ t}$	N.P.

Nota. Verificación de la condición en la que se encuentra el cortante basal del edificio.
Fuente: CYPECAD (2017).

Vd, x: Cortante basal dinámico en dirección X, por hipótesis sísmica

Vs, x: Cortante basal estático en dirección X, por hipótesis sísmica

Vd, y: Cortante basal dinámico en dirección Y, por hipótesis sísmica

Vs, y: Cortante basal estático en dirección Y, por hipótesis sísmica

N.P.: No procede

4.2.13. Cortante sísmico combinado por planta

El valor máximo del cortante por planta en una hipótesis sísmica dada se obtiene mediante la Combinación Cuadrática Completa (CQC) de los correspondientes cortantes modales. Si la obra tiene vigas con vinculación exterior o estructuras 3D integradas, los esfuerzos de dichos elementos no se muestran en el siguiente listado. Cortante sísmico combinado y fuerza sísmica equivalente por planta. Los valores que se muestran en las siguientes tablas no están ajustados por el factor de modificación calculado en el apartado 'Corrección por cortante basal'.

Tabla 19

Hipótesis sísmica: Sismo XI

Planta	$Q_x(t)$	$F_{eq, x}(t)$	$Q_y(t)$	$F_{eq, y}(t)$
Tapa	2.0516	2.0516	0.2929	0.2929
Nivel +7.26m	102.5720	100.5207	7.2263	7.1387
Nivel + 4.06m	179.5717	76.9997	12.6934	5.4674
Nivel +0.00m	179.5717	0.0000	12.6934	0.0000

Nota. Hipótesis sísmica por cada planta del edificio sismo en X1. Fuente: CYPECAD (2017)

Tabla 20

Hipótesis sísmica: Sismo YI

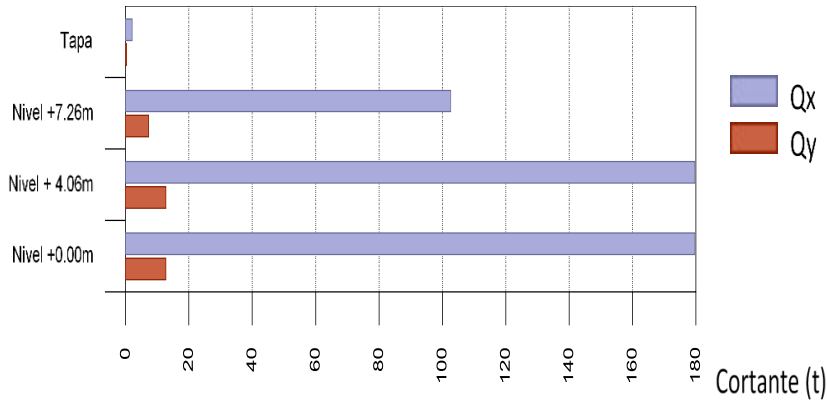
Planta	$Q_x(t)$	$F_{eq, x}(t)$	$Q_y(t)$	$F_{eq, y}(t)$
Tapa	0.4273	0.4273	1.8420	1.8420
Nivel +7.26m	7.0559	6.6482	99.6398	97.9136
Nivel + 4.06m	6.6482	5.1912	175.0765	75.4370
Nivel +0.00m	12.2469	0.0000	175.0765	0.0000

Nota. Hipótesis sísmica por cada planta del edificio sismo en Y1. Fuente: CYPECAD (2017)

Cortantes sísmicos máximos por planta

Figura 32

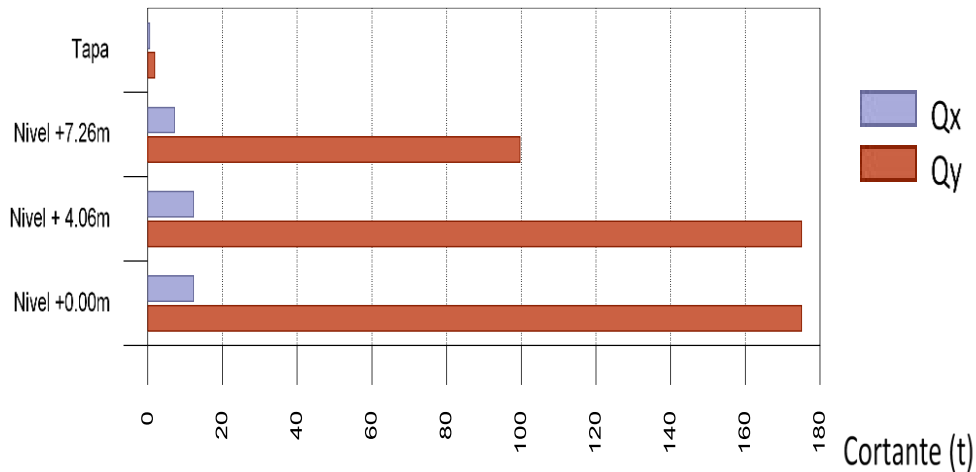
Cortante sísmico máximo sismo en X1



Nota. En la figura se puede observar el cortante sísmico del edificio en estudio aplicando el sismo en X1. *Nota.* Hipótesis sísmica por cada planta del edificio sismo en X1. Fuente: CYPECAD (2017).

Figura 33

Cortante sísmico máximo sismo en Y1



Nota. En la figura se puede observar el cortante sísmico del edificio en estudio aplicando el sismo en X1. *Nota.* Hipótesis sísmica por cada planta del edificio sismo en X1. Fuente: CYPECAD (2017).

4.2.14. Distorsión de columnas

Tabla 21

Desplome local máximo de pilares

Desplome local máximo de los pilares (d / h)				
Planta	Situaciones persistentes o transitorias		Situaciones sísmicas ⁽¹⁾	
	Dirección X	Dirección Y	Dirección X	Dirección Y
Tapa	----	----	1 / 318	1 / 399
Nivel +7.26m	----	----	1 / 152	1 / 131
Nivel + 4.06m	----	----	1 / 96	1 / 82
Nivel +0.00m	----	----	1 / 190	1 / 164

Nota. Desplome local máximo de pilares en situaciones sísmicas en dirección X, Y. Fuente: CYPECAD (2017).

Tabla 22

Desplome total máximo de pilares

Desplome total máximo de los pilares (D / H)			
Situaciones persistentes o transitorias		Situaciones sísmicas ⁽¹⁾	
Dirección X	Dirección Y	Dirección X	Dirección Y
----	----	1 / 123	1 / 105

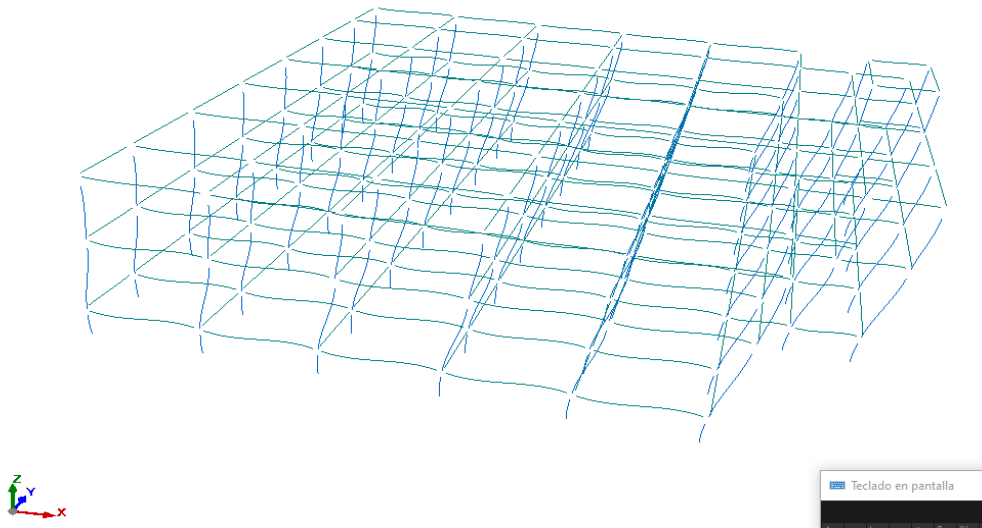
Notas:
⁽¹⁾ *Los desplazamientos están mayorados por la ductilidad.*

Nota. Desplome total máximo de pilares en situaciones sísmicas en dirección X, Y. Fuente: CYPECAD (2017).

4.2.15. Modos de Vibración

Figura 34

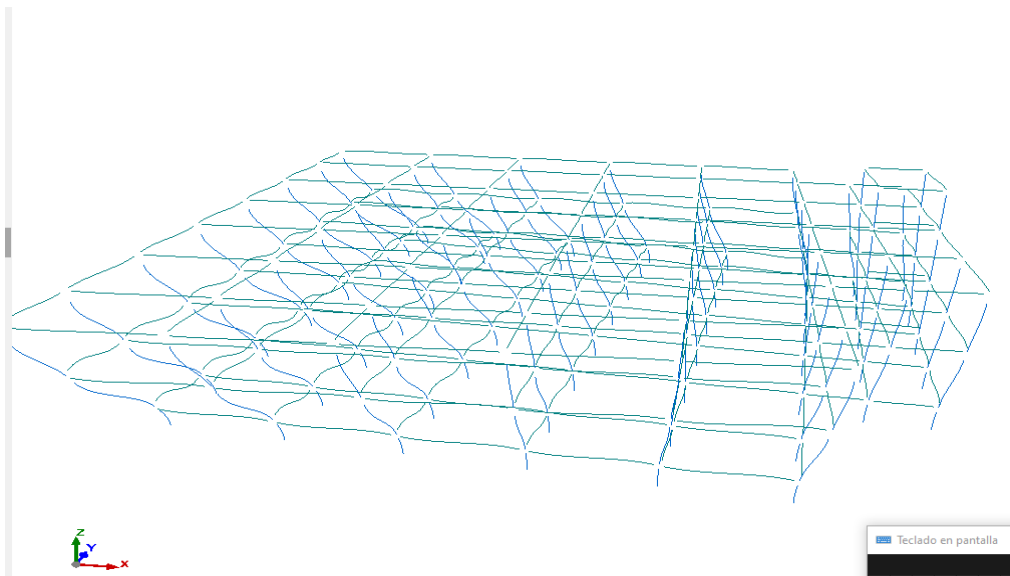
Modo de vibración 1 en X traslacional



Nota. En la figura se puede observar el primer modo de vibración en X siendo el mismo de movimiento traslacional. Fuente: CYPECAD (2017).

Figura 35

Modo de vibración 2 en Y torsional



Nota. En la figura se puede visualizar el segundo modo de vibración en Y en este caso el movimiento es torsional. Fuente: CYPECAD (2017).

4.2.16. Vulnerabilidad sísmica del edificio Laboratorio de Investigación de la Universidad estatal de Bolívar

Después de realizar el modelado estructural del edificio, Laboratorio de Investigación de la Universidad Estatal de Bolívar mediante el programa CYPECAD utilizando las Normas Ecuatorianas de Construcción diseño sismo resistente se logró determinar el probable comportamiento que tendrá el edificio al momento en el que se produzca un sismo. Es por lo que según CYPE Ingenieros (s.f.), en el modelamiento se debe obtener dos modos de vibración que sean traslacionales y un modo rotacional, lo que significa que se tiene que conseguir que el edificio tenga dos modos donde las masas se desplacen en X y en Y, y además se permite que exista un tercer modo, generalmente el modo (3), el cual sea rotacional.

En la tabla 13 coeficientes de participación modal de masas se puede observar que el edificio en estudio en el primer modo de vibración en X el porcentaje de masa desplazada es de 96.47% siendo traslacional, en el segundo modo de vibración en Y es torsional con un porcentaje de masa desplazada del 89.48% y el tercer modo de vibración es torsional con 0,99 en L_{gz} estos resultados nos indica que el edificio tiene un comportamiento inadecuado ante un evento sísmico y corre el riesgo de sufrir un colapso la estructura.

Desde la perspectiva de CYPE Ingenieros (s.f.) el parámetro L_{gz} , avisa del grado de libertad en Z que tiene la estructura. Siendo Z el eje vertical del edificio cuanto más cercano a 1, mayor problema de torsión, de los resultados obtenidos del primer modelamiento en primer modo de vibración en X es traslacional con un coeficiente de participación de 0.57; mientras que en el segundo modo de vibración en Y es torsional ya que el coeficiente de participación es de 0.96 y tercer modo de vibración es torsional con 0.99 por lo tanto, la estructura tiene problemas de torsión.

En relación con las derivas de piso cumple con los valores establecidos en la NEC en cuanto a desplome local máximo de pilares (ver tabla 21) que es $1/50$ en dirección X, Y. Los valores que se obtuvieron en el modelamiento no supera el valor establecido en la norma con un desplome total máximo de pilares en dirección X de $1/123$ y en dirección Y de $1/105$, estos valores son significativos ya que permite determinar si el edificio es vulnerable o no ante un movimiento sísmico.

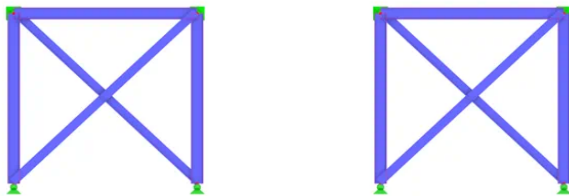
4.3.Resultado según objetivo 3

4.3.1. Proponer medidas para la reducción de la vulnerabilidad estructural en el edificio.

Durante el primer análisis mediante el modelamiento de la estructura del Laboratorio de investigación de la Universidad Estatal de Bolívar, se determinó que el comportamiento y desempeño estructural son inaceptables. Para solucionar esto se realizó un segundo modelamiento estructural en la que se sugiere la implementación de paredes de ladrillo y diagonales de arrostramiento en cruz de San Andrés en las diferentes orientaciones de las plantas para resistir la torsión. Según Santamaria (2017) la instalación de diagonales de arrostramiento en cruz de San Andrés es un método práctico y fiable para reforzar las estructuras de los edificios. Estos elementos permiten desarrollar un sistema estructural combinado que aumenta la rigidez, la resistencia y la capacidad de disipación de energía.

Figura 36

Diagonales de arrostramiento en cruz de San Andrés



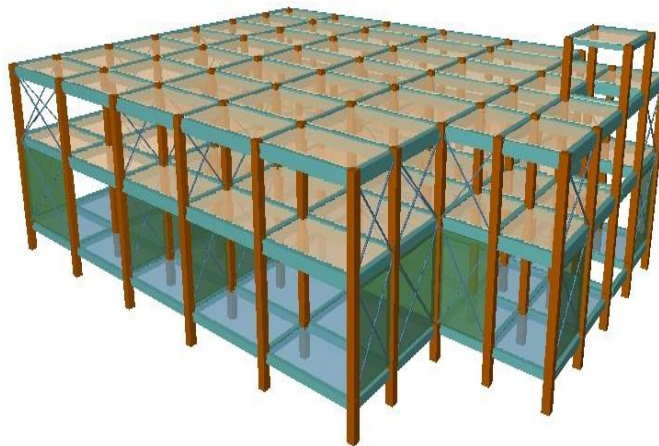
Nota. La figura muestra un marco con arrostramiento en x. Fuente: Dlubal Software (2023).

Las medidas propuestas anteriormente mejoran el nivel de comportamiento de la estructura por ende en el primer modo de vibración predomina el movimiento traslacional, en el segundo modo de vibración cambia de torsional a traslacional y el tercer modo de vibración es torsional, se puede decir que el refuerzo sugerido ayuda a la estructura a soportar

cargas laterales, como sismos. Para implementar estas medidas de refuerzo es necesario realizar una evaluación a más detallada utilizando metodologías más avanzadas en cálculo sísmico y que tenga un adecuado fundamento técnico con un experto especializado en el comportamiento dinámico de estructuras.

Figura 37

Modelamiento tridimensional sugiriendo muros de ladrillos y diagonales de arrostramiento en cruz de San Andrés



Nota. Segundo modelamiento tridimensional sugiriendo la implementación de medidas para reducir la vulnerabilidad del edificio. Fuente: CYPECAD (2017).

4.3.2. Resultado del segundo modelamiento estructural implementando las medidas de reducción

4.3.3. SISMO

Norma utilizada: NEC-SE-DS 2014

NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN Peligro sísmico.

Diseño sismo resistente.

Método de cálculo: Análisis modal espectral (NEC-SE-DS 2014, 6.2.2e)

4.3.4. Datos generales de sismo

Caracterización del emplazamiento

Zona sísmica (NEC-SE-DS 2014, 3.1.1): IV

Región sísmica (NEC-SE-DS 2014, 3.3.1): Sierra, Esmeraldas y Galápagos

Tipo de suelo (NEC-SE-DS 2014, 3.2.1): C

Sistema estructural

R_x: Factor de reducción (X) (NEC-SE-DS 2014, Tabla 15 y 16) R_x: 8.00

R_y: Factor de reducción (Y) (NEC-SE-DS 2014, Tabla 15 y 16) R_y: 8.00

Φ_P: Coeficiente de regularidad en planta (NEC-SE-DS 2014, 5.2.3a) Φ_P: 0.90

Φ_E: Coeficiente de regularidad en elevación (NEC-SE-DS 2014, 5.2.3b) Φ_E: 0.90

Geometría en altura (NEC-SE-DS 2014, 5.2.3): Regular

Estimación del periodo fundamental de la estructura: Según norma

Sistema estructural (X) (NEC-SE-DS 2014, 6.3.3a): III

Sistema estructural (Y) (NEC-SE-DS 2014, 6.3.3a): III

h: Altura del edificio h: 9.46 m

Importancia de la obra (NEC-SE-DS 2014, 4.1): Otras estructuras

Parámetros de cálculo

Número de modos de vibración que intervienen en el análisis: Según norma

Fracción de sobrecarga de uso : 0.00

Factor multiplicador del espectro : 1.00

Verificación de la condición de cortante basal: Según norma

No se realiza análisis de los efectos de 2º orden

Criterio de armado a aplicar por ductilidad: Ninguno

Factores reductores de la inercia (NEC-SE-DS 2014, 6.1.6 b)

Vigas primarias frente a la acción sísmica: 0.5

Vigas secundarias frente a la acción sísmica: 0.01

Forjados primarios frente a la acción sísmica: 0.5

Forjados secundarios frente a la acción sísmica: 0.01

Pilares: 0.8

Pantallas: 0.6

Muros: 0.6

Muros de fábrica: 0.5

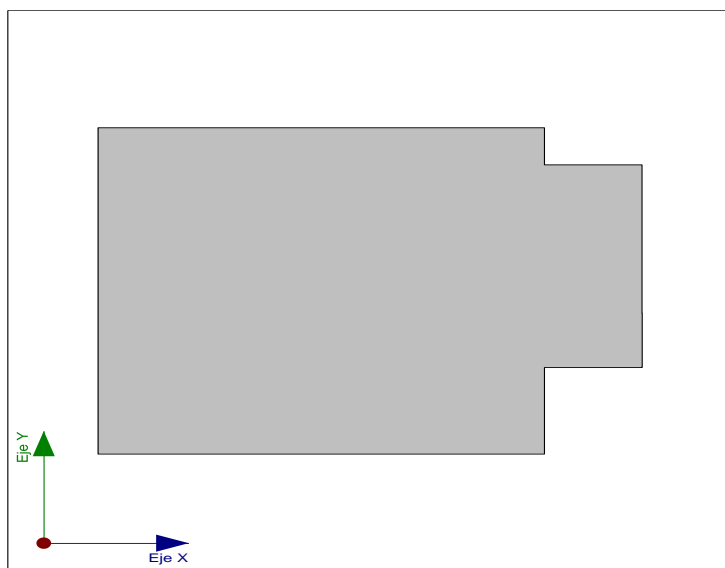
Direcciones de análisis

Acción sísmica según X

Acción sísmica según Y

Figura 38

Configuración de planta en obra segundo modelamiento

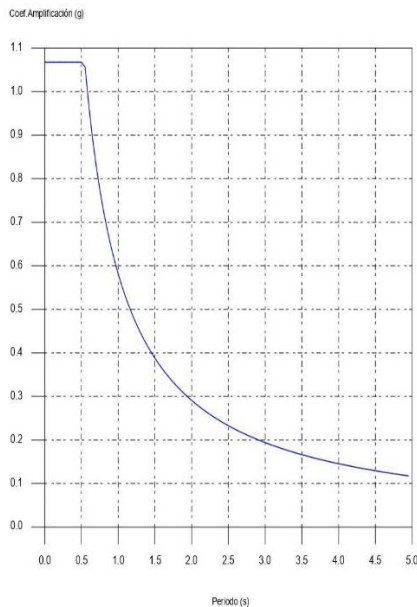


Nota. Configuración del edificio en obra segundo modelamiento. Fuente: CYPECAD (2017).

4.3.5. Espectro de cálculo

Figura 39

Espectro elástico de aceleraciones segundo modelamiento



Coef. Amplificación:

$$S_{ae} = \eta \cdot Z \cdot F_a \cdot I$$

$$T \leq T_c$$

$$S_{ae} = \eta \cdot Z \cdot F_a \cdot I \cdot \left(\frac{T_c}{T}\right)^r$$

$$T > T_c$$

El valor máximo de las ordenadas espectrales es 1.068 g.

NEC-SE-DS 2014 (3.3.1)

Nota. Espectro elástico de aceleraciones segundo modelamiento implementando medidas para reducir la vulnerabilidad del edificio. Fuente: CYPECAD (2017).

Parámetros necesarios para la definición del espectro

Z: Factor de zona (NEC-SE-DS 2014, Tabla 1)

Z: 0.35

Zona sísmica (NEC-SE-DS 2014, 3.1.1): IV

η : Relación de amplificación espectral (NEC-SE-DS 2014, 3.3.1) **η : 2.48**

Región sísmica (NEC-SE-DS 2014, 3.3.1): Sierra, Esmeraldas y Galápagos

F_a: Factor de sitio (NEC-SE-DS 2014, Tabla 3)

F_a: 1.23

F_a: Factor de sitio (NEC-SE-DS 2014, Tabla 4)

F_a: 1.15

F_s: Factor de sitio (NEC-SE-DS 2014, Tabla 5)

F_s: 1.06

Tipo de suelo (NEC-SE-DS 2014, 3.2.1): C

Zona sísmica (NEC-SE-DS 2014, 3.1.1): IV

I: Factor de importancia (NEC-SE-DS 2014, Tabla 6)

I: 1.00

Importancia de la obra (NEC-SE-DS 2014, 4.1): Otras estructuras

r: Exponente que define la rama descendente del espectro (NEC-SE-DS 2014, 3.3.1)

r: 1.00

Tipo de suelo (NEC-SE-DS 2014, 3.2.1): C

T_c: Periodo límite superior de la rama de aceleración constante del espectro (NEC-SE-DS 2014, 3.3.1) **T_c: 0.55 s**

$$T_c = 0.55 \cdot F_s \cdot \frac{F_d}{F_a}$$

Espectro de diseño de aceleraciones

El espectro de diseño sísmico se obtiene reduciendo el espectro elástico por el coeficiente ($R \cdot \Phi_p \cdot \Phi_E$) correspondiente a cada dirección de análisis.

$$S_a = \frac{S_{ae}}{R \cdot \Phi_p \cdot \Phi_E}$$

Factor de comportamiento / Coeficiente de ductilidad

R_x: Factor de reducción (X) (NEC-SE-DS 2014, Tabla 15 y 16) **R_x: 8.00**

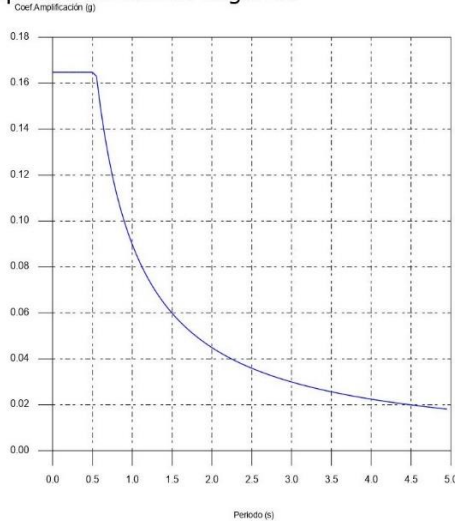
R_y: Factor de reducción (Y) (NEC-SE-DS 2014, Tabla 15 y 16) **R_y: 8.00**

Φ_p: Coeficiente de regularidad en planta (NEC-SE-DS 2014, 5.2.3a) **Φ_p: 0.90**

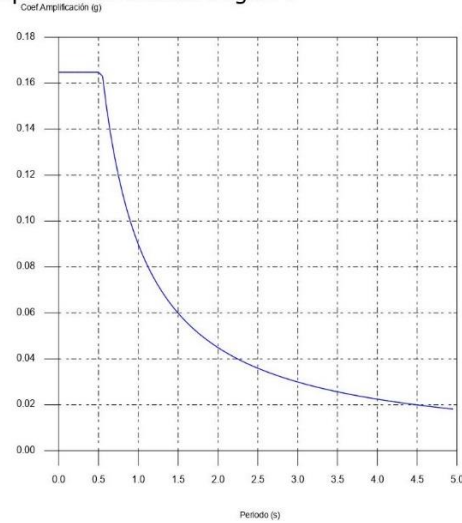
Φ_E: Coeficiente de regularidad en elevación (NEC-SE-DS 2014, 5.2.3b) **Φ_E: 0.90**

Figura 40
Espectro de diseño según x, y segundo modelamiento

Espectro de diseño según X



Espectro de diseño según Y



Nota. Espectro de diseño según X, Y recomendando medidas para reducir la vulnerabilidad segundo modelamiento. Fuente: CYPECAD (2017).

4.3.6. Coeficientes de participación

Tabla 23
Coeficientes de participación modos de vibración segundo modelamiento

Modo	T	L _x	L _y	L _{gz}	M _x	M _y	Hipótesis X (1)	Hipótesis Y (1)
Modo 1	0.408	0.999 9	0.0024	0.0141	97 %	0 %	R = 6.48 A = 1.616 m/s ² D = 6.81116 mm	R = 6.48 A = 1.616 m/s ² D = 6.81116 mm
Modo 2	0.339	0.002 2	0.8657	0.5005	0 %	97.33 %	R = 6.48 A = 1.616 m/s ² D = 4.7188 mm	R = 6.48 A = 1.616 m/s ² D = 4.7188 mm
Modo 3	0.314	0.008 6	0.0085	1	0 %	0.25 %	R = 6.48 A = 1.616 m/s ² D = 4.03384 mm	R = 6.48 A = 1.616 m/s ² D = 4.03384 mm
Total					97 %	97.58 %		

Nota. Coeficientes de participación según los modos de vibración del edificio. Fuente: CYPECAD (2017)

T: Periodo de vibración en segundos.

L_x, L_y: Coeficientes de participación normalizados en cada dirección del análisis.

L_{gz} : Coeficiente de participación normalizado correspondiente al grado de libertad rotacional.

M_x, M_y : Porcentaje de masa desplazada por cada modo en cada dirección del análisis.

R : Relación entre la aceleración de cálculo usando la ductilidad asignada a la estructura y la aceleración de cálculo obtenida sin ductilidad.

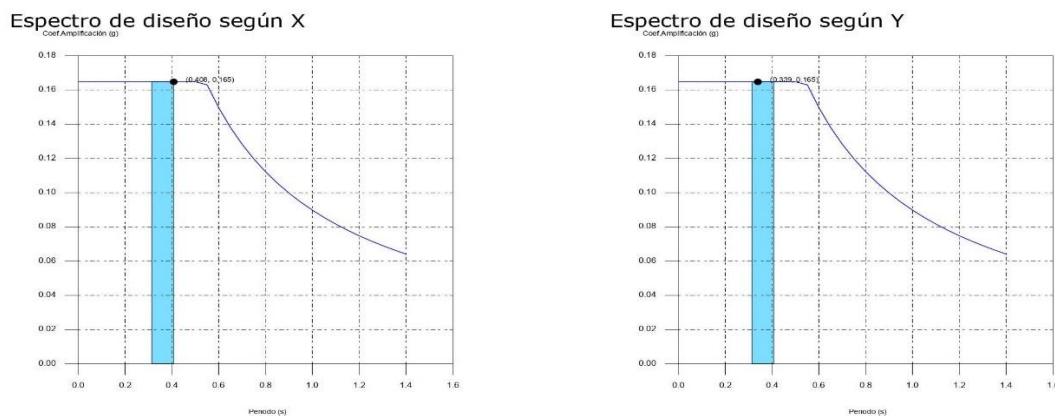
A : Aceleración de cálculo, incluyendo la ductilidad.

D : Coeficiente del modo. Equivale al desplazamiento máximo del grado de libertad dinámico.

Representación de los periodos modales

Figura 41

Representación de periodos modales en x, y segundo modelamiento



Nota. Representación de los periodos modales obtenidos del modelamiento del edificio proponiendo medidas para reducir la vulnerabilidad Fuente: CYPECAD (2017).

Se representa el rango de periodos abarcado por los modos estudiados, con indicación de los modos en los que se desplaza más del 30% de la masa:

Tabla 24

Rango de periodos abarcados según los modos estudiados segundo modelamiento

Hipótesis Sismo X1			Hipótesis Sismo Y1		
Hipótesis modal	T (s)	A (g)	Hipótesis modal	T (s)	A (g)
Modo 1	0.408	0.165	Modo 2	0.339	0.165

Nota. Rango de periodos abarcados según los modos estudiados hipótesis sísmica en X, Y. Fuente: CYPECAD (2017).

Centro de masas, centro de rigidez y excentricidades de cada planta

Tabla 25

Centro de masas, rigidez y excentricidades por cada planta

Planta	c.d.m. (m)	c.d.r. (m)	eX (m)	eY (m)
Tapa	(32.05, 17.00)	(32.05, 17.00)	0.00	0.00
Nivel +7.26m	(15.88, 13.23)	(16.97, 13.55)	-1.09	-0.32
Nivel + 4.06m	(15.91, 13.23)	(15.88, 13.21)	0.03	0.01
Nivel +0.00m	(15.88, 12.90)	(16.77, 13.34)	-0.89	-0.43

Nota. Centro de rigidez y excentricidades del edificio en estudio por cada planta. Fuente: CYPECAD (2017)

c.d.m.: Coordenadas del centro de masas de la planta (X, Y)

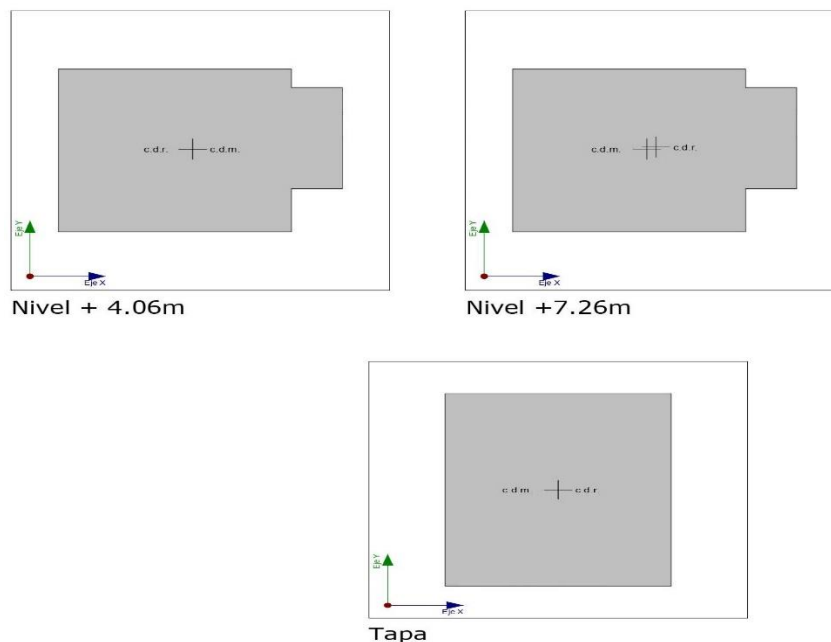
c.d.r.: Coordenadas del centro de rigidez de la planta (X, Y)

e_x: Excentricidad del centro de masas respecto al centro de rigidez (X)

e_y: Excentricidad del centro de masas respecto al centro de rigidez (Y)

Figura 42

Representación gráfica del centro de masas y el centro de rigidez por planta



Nota. Representación grafica del centro de rigidez y centro de masa por cada planta del edificio. Fuente: CYPECAD (2017).

4.3.7. Corrección por cortante basal

Cortante dinámico CQC

El cortante basal dinámico (V_d), por dirección e hipótesis sísmica, se obtiene mediante la combinación cuadrática completa (CQC) de los cortantes en la base por hipótesis modal.

Tabla 26
Cortante basal dinámica por Hipótesis sísmica segundo modelamiento

Hipótesis sísmica (X)	Hipótesis modal	V_x (t)	$V_{d,x}$ (t)
Sismo X1	Modo 1	183.5893	
	Modo 2	0.0012	183.5896
	Modo 3	0.0025	

Hipótesis sísmica (Y)	Hipótesis modal	V_y (t)	$V_{d,y}$ (t)
Sismo Y1	Modo 1	0.0011	
	Modo 2	185.1013	185.7103
	Modo 3	0.9819	

Nota. Cortante basal dinámico por cada una de las hipótesis sísmicas analizadas. Fuente: CYPECAD (2017).

$V_{a,x}$: Cortante basal dinámico en dirección X, por hipótesis sísmica

$V_{a,y}$: Cortante basal dinámico en dirección Y, por hipótesis sísmica

4.3.8. Cortante basal estático

El cortante sísmico en la base de la estructura se determina para cada una de las direcciones de análisis:

$V_{s,x}$: Cortante sísmico en la base (X) (NEC-SE-DS 2014, 6.3.2) $V_{s,x}: 185.6726 t$

$$V_{s,x} = S_{d,x}(T_a) \cdot W$$

$S_{d,x}(T_a)$: Aceleración espectral horizontal de diseño (X) $S_{d,x}(T_a): 0.165g$

$T_{a,x}$: Periodo fundamental aproximado (X) (NEC-SE-DS 2014, 6.3.3a) $T_{a,X} : 0.42s$

$$T_a = 0.055 \cdot h^{0.9}$$

Sistema estructural (X) (NEC-SE-DS 2014, 6.3.3a): III

h: Altura del edificio h:9.46m

V_{s,y}: Cortante sísmico en la base (Y) (NEC-SE-DS 2014, 6.3.2) V_{s,y}: 185.6726 t

$$V_{s,y} = S_{d,y}(T_a) \cdot W$$

S_{a,y}(T_a): Aceleración espectral horizontal de diseño (Y) S_{a,y}(T_a): 0.165g

T_{a,y}: Periodo fundamental aproximado (Y) (NEC-SE-DS 2014, 6.3.3a) T_{a,y}: 0.42s

$$T_a = 0.055 \cdot h^{0.9}$$

Sistema estructural (Y) (NEC-SE-DS 2014, 6.3.3a): III

h: Altura del edificio h :9.46m

W: Peso sísmico total de la estructura W :1126.9328 t

El peso sísmico total de la estructura es la suma de los pesos sísmicos de todas las plantas.

$$W = \sum_{i=1}^n w_i$$

w_i: Peso sísmico total de la planta "i"

Suma de la totalidad de la carga permanente y de la fracción de la sobrecarga de uso considerada en el cálculo de la acción sísmica.

Tabla 27
Peso sísmico en planta segundo modelamiento

Planta	w _i (t)
Tapa	9.8946
Nivel +7.26m	538.3178
Nivel + 4.06m	578.7205
W= w_i	1126.9328

Nota. Peso sísmico por cada planta del edificio Fuente: CYPECAD (2017).

4.3.9. Verificación de la condición de cortante basal

Cuando el valor del cortante dinámico total en la base (V_d), obtenido después de realizar la combinación modal, para cualquiera de las direcciones de análisis, es menor que el

80 % del cortante basal sísmico estático (V_s), todos los parámetros de la respuesta dinámica se multiplican por el factor de modificación: $0.80 \cdot V_s/V_d$.

Geometría en altura (NEC-SE-DS 2014, 5.2.3): Regular

Hipótesis sísmica	Condición de cortante basal mínimo	Factor de modificación
Sismo X1	$V_{d,x1} \geq 0.80 \cdot V_{s,x}$	$183.5896 t \geq 148.5381 t$ N.P.
Sismo Y1	$V_{d,y1} \geq 0.80 \cdot V_{s,y}$	$185.7103 t \geq 148.5381 t$ N.P.

Nota. Verificación de la cortante basal del edificio por cada hipótesis sísmica Fuente: CYPECAD (2017).

$V_{d,x}$: Cortante basal dinámico en dirección X, por hipótesis sísmica

$V_{s,x}$: Cortante basal estático en dirección X, por hipótesis sísmica

$V_{d,y}$: Cortante basal dinámico en dirección Y, por hipótesis sísmica

$V_{s,y}$: Cortante basal estático en dirección Y, por hipótesis sísmica

N.P.: No procede

4.3.10. Cortante sísmico combinado por planta

El valor máximo del cortante por planta en una hipótesis sísmica dada se obtiene mediante la Combinación Cuadrática Completa (CQC) de los correspondientes cortantes modales.

Si la obra tiene vigas con vinculación exterior o estructuras 3D integradas, los esfuerzos de dichos elementos no se muestran en el siguiente listado.

Cortante sísmico combinado y fuerza sísmica equivalente por planta

Los valores que se muestran en las siguientes tablas no están ajustados por el factor de modificación calculado en el apartado 'Corrección por cortante basal'.

Tabla 28
Hipótesis sísmica: Sismo X1

Planta	Q _x (t)	F _{eq,x} (t)	Q _y (t)	F _{eq,y} (t)
Tapa	2.1380	2.1380	0.2928	0.2928
Nivel +7.26m	103.3101	101.1760	0.6914	0.9392
Nivel + 4.06m	183.5896	80.2939	1.4772	0.7949
Nivel +0.00m	183.5896	0.0000	1.4772	0.0000

Nota. Análisis de hipótesis sísmica por cada planta del edificio sismo en X1. Fuente: CYPECAD (2017).

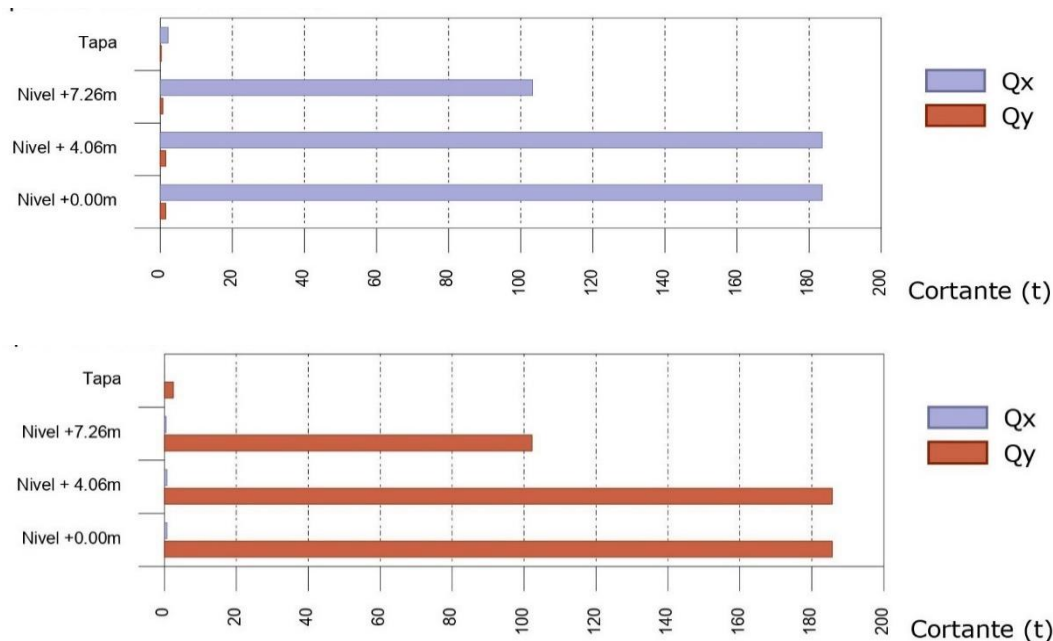
Tabla 29
Hipótesis sísmica: Sismo Y1

Planta	Q _x (t)	F _{eq,x} (t)	Q _y (t)	F _{eq,y} (t)
Tapa	0.1003	0.1003	2.4659	2.4659
Nivel +7.26m	0.4400	0.3780	102.1912	100.0885
Nivel + 4.06m	0.7134	0.3348	185.7103	83.5193
Nivel +0.00m	0.7134	0.0000	185.7103	0.0000

Nota. Análisis de hipótesis sísmica por cada planta del edificio sismo en Y1. Fuente: CYPECAD (2017).

Cortantes sísmicos máximos por planta

Figura 43
Hipótesis sísmica: Sismo X1, Y1



Nota. En la figura se puede observar los cortantes sísmicos máximos por cada planta del edificio. Fuente: CYPECAD (2017).

4.3.11. Porcentaje de cortante sísmico resistido por tipo de soporte

El porcentaje de cortante sísmico de la columna 'Muros' incluye el cortante resistido por muros, pantallas y elementos de arriostramiento.

Tabla 30

Hipótesis sísmica por tipo de soporte: Sismo X1

Planta	% Q _x		% Q _y	
	Pilares	Muros	Pilares	Muros
Tapa	100.00	0.00	100.00	0.00
Nivel +7.26m	56.23	43.77	30.85	69.15
Nivel + 4.06m	51.63	48.37	22.03	77.97
Nivel +0.00m	100.00	0.00	100.00	0.00

Nota. Porcentaje de cortantes sísmico resistido por el tipo de soporte en cada planta de la edificación sismo en X1. Fuente: CYPECAD (2017).

Tabla 31

Hipótesis sísmica por tipo de soporte: Sismo Y1

Planta	% Q _x		% Q _y	
	Pilares	Muros	Pilares	Muros
Tapa	100.00	0.00	100.00	0.00
Nivel +7.26m	42.53	57.47	38.06	61.94
Nivel + 4.06m	46.17	53.83	38.36	61.64
Nivel +0.00m	100.00	0.00	100.00	0.00

Nota. Porcentaje de cortantes sísmico resistido por el tipo de soporte en cada planta de la edificación sismo en Y1. Fuente: CYPECAD (2017).

4.3.12. Porcentaje de cortante sísmico resistido por tipo de soporte en arranques

El porcentaje de cortante sísmico de la columna 'Muros' incluye el cortante resistido por muros, pantallas y elementos de arriostramiento.

Tabla 32

Cortante sísmico resistido por tipo de soporte en arranques

Hipótesis sísmica	% Q _x		% Q _y	
	Pilares	Muros	Pilares	Muros
Sismo X1	100.00	0.00	100.00	0.00
Sismo Y1	100.00	0.00	100.00	0.00

Nota. Porcentaje de cortante sísmico resistido por pilares y muros en arranques. Fuente: CYPECAD (2017).

4.3.13. Distorsiones de pilares

Tabla 33

Desplome local máximo de pilares segundo modelamiento

Planta	Desplome local máximo de los pilares (d / h)			
	Situaciones persistentes o transitorias		Situaciones sísmicas ⁽¹⁾	
	Dirección X	Dirección Y	Dirección X	Dirección Y
Tapa	----	----	1 / 436	1 / 470
Nivel +7.26m	----	----	1 / 291	1 / 416
Nivel + 4.06m	----	----	1 / 177	1 / 223
Nivel +0.00m	----	----	1 / 282	1 / 324

Notas:

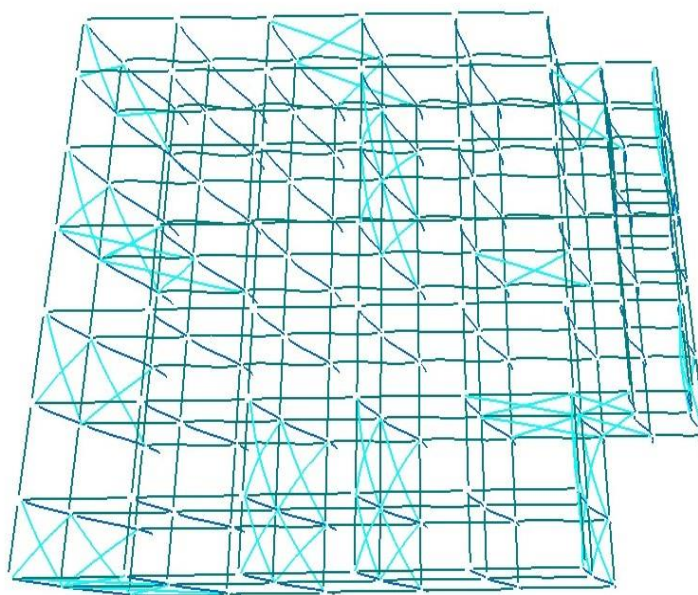
(1) Los desplazamientos están mayorados por la ductilidad.

Nota. Desplome local máximo de pilares en situaciones sísmicas en dirección X, Y. Fuente: CYPECAD (2017).

4.3.14. Modos de vibración

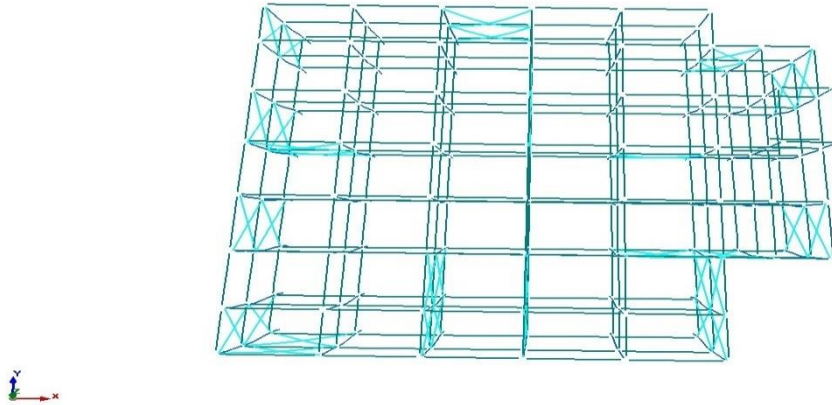
Figura 44

Modo de vibración 1 en dirección X: Traslacional



Nota. Primer modo de vibración del edificio en estudio en dirección X en donde predomina el movimiento traslacional como en el primer modelamiento. Fuente: CYPECAD (2017).

Figura 45
Modo de vibración 2 en dirección Y: Traslacional



Nota. Segundo modo de vibración del edificio en estudio en dirección Y en donde cambia de torsional a traslacional aplicando las sugerencias de medidas para reducir la vulnerabilidad, Fuente: CYPECAD (2017).

4.4.Comparación y análisis de resultados obtenidos del primer y segundo modelamiento

4.4.1. Análisis de resultados coeficientes de participación modal de masas

Según la NEC vigente relacionada con los modos de vibración de una estructura establece que el modo 1 y el modo 2 son importantes y fundamentales para realizar el análisis del comportamiento estructural de una edificación. Además, CYPE Ingenieros, (s.f.) plantea que el parámetro L_{gz} determina el grado de libertad en Z que tiene la estructura. Siendo Z el eje vertical del edificio cuanto más cercano a 1, mayor problema de torsión tiene la estructura.

En el primer modelamiento se obtiene valores muy cercanos a 1 en L_{gz} por consiguiente el primer modo de vibración en X el porcentaje de masa desplazada es de 96.47% y con un grado de libertad en l_{gz} de 0,57 siendo traslacional, en el segundo modo de vibración en Y es torsional con un porcentaje de masa desplazada de 89.48% y con un valor muy cercano a 1 en l_{gz} de 0,96 el tercer modo de vibración también es torsional con 0,99 en

Lgz lo que indica que estos modos de vibración no son los adecuados para el comportamiento de la estructura.

En el segundo modelamiento sugiriendo la implementación de paredes de ladrillo y diagonales de arrostramiento en cruz de San Andrés los valores de Lgz se alejaron de 1 a diferencia del primer modelamiento el primer modo de vibración en X es traslacional con un porcentaje de masa desplazada de 97% y con un grado de libertad en Lgz de 0,01 el segundo modo de vibración en Y cambio de torsional a traslacional con un porcentaje de masa desplazada de 97.33% y con un valor en lgz de 0,50 el tercer modo también es torsional con valor de 1 en Lgz predominando el movimiento traslacional en los dos modos de vibración fundamentales mejorando el comportamiento de la estructura ante un evento sísmico.

A continuación, en la tabla 34 y 35 se puede observar la diferencia de valores del primer modelamiento con respecto al segundo.

Tabla 34
Participación modal de masas primer modelamiento

Modo	T	L _x	L _y	L _{gz}	M _x	M _y	Hipótesis X (1)	Hipótesis Y (1)
Modo 1	0.533	0.8176	0.0209	0.5754	96.47 %	0.06 %	R = 6.48 A = 1.605 m/s ² D = 11.5567 mm	R = 6.48 A = 1.605 m/s ² D = 11.5567 mm
Modo 2	0.504	0.0114	0.2716	0.9623	0.16 %	89.48 %	R = 6.48 A = 1.615 m/s ² D = 10.3981 mm	R = 6.48 A = 1.615 m/s ² D = 10.3981 mm
Modo 3	0.460	0.0053	0.0234	0.9997	0.22 %	7.45 %	R = 6.48 A = 1.616 m/s ² D = 8.66229 mm	R = 6.48 A = 1.616 m/s ² D = 8.66229 mm
Total					96.85 %	96.99 %		

Nota. Coeficientes de participación y modos de vibración obtenidas con el primer modelamiento Fuente: CYPECAD (2017).

Tabla 35
Participación modal de masas segundo modelamiento

Modo	T	Lx	Ly	Lgz	Mx	My	Hipótesis X (1)	Hipótesis Y (1)
Modo 1	0.408	0.999 9	0.0024	0.0141	97 %	0 %	R = 6.48 A = 1.616 m/s ² D = 6.81116 mm	R = 6.48 A = 1.616 m/s ² D = 6.81116 mm
Modo 2	0.339	0.002 2	0.8657	0.5005	0 %	97.33 %	R = 6.48 A = 1.616 m/s ² D = 4.7188 mm	R = 6.48 A = 1.616 m/s ² D = 4.7188 mm
Modo 3	0.314	0.008 6	0.0085	1	0 %	0.25 %	R = 6.48 A = 1.616 m/s ² D = 4.03384 mm	R = 6.48 A = 1.616 m/s ² D = 4.03384 mm
Total					97 %	97.58 %		

Nota. Coeficientes de participación y modos de vibración obtenidos con el segundo modelamiento. Fuente: CYPECAD (2017).

4.4.2. Análisis de resultados distorsión de columnas primer y segundo modelamiento

Según la Norma Ecuatoriana de Construcción en cuanto al análisis de derivas en situaciones sísmicas relacionada al desplome de pilares el valor establecido es de 1/50 en dirección X, Y. Los valores obtenidos en ambos modelamientos no superan el valor establecido y cumplen con la norma, con un desplome total máximo de pilares en el primer modelamiento en dirección X de 1/123 en dirección Y de 1/105 en el segundo modelamiento con la sugerencia de paredes de ladrillo, diagonales de arrostramiento en cruz de San Andrés mejora aún más el comportamiento de las columnas con valores en dirección X de 1/222 y en dirección Y de 1/288 con relación al primer modelamiento.

En la tabla 36 y 37 se puede observar los valores obtenidos del desplome total de pilares del primer y segundo modelamiento.

Tabla 36
Distorsión de columnas primer modelamiento

Desplome total máximo de los pilares (D / H)			
Situaciones persistentes o transitorias		Situaciones sísmicas ⁽¹⁾	
Dirección	Dirección	Dirección	Dirección
X	Y	X	Y
----	----	1 / 123	1 / 105

Notas:

(1) Los desplazamientos están mayorados por la ductilidad.

Nota. Desplome total máximo de pilares datos obtenidos con el primer modelamiento.
Fuente: CYPECAD (2017).

Tabla 37
Distorsión de columnas segundo modelamiento

Desplome total máximo de los pilares (D / H)			
Situaciones persistentes o transitorias		Situaciones sísmicas ⁽¹⁾	
Dirección	Dirección	Dirección	Dirección Y
X	Y	X	Y
----	----	1 / 222	1 / 288

Notas:

(1) Los desplazamientos están mayorados por la ductilidad.

Nota. Desplome total máximo de pilares datos obtenidos mediante el segundo modelamiento.
Fuente: CYPECAD (2017).

CAPÍTULO 5: MARCO ADMINISTRATIVO

5.1. Cronograma de actividades del proyecto de investigación

ACTIVIDADES	NOVIEMBRE				DICIEMBRE				ENERO				FEBRERO				MARZO			
	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4
CAPÍTULO 1	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.1. Planteamiento del Problema	■																			
1.2. Formulación del Problema		■																		
1.3. Objetivos			■																	
1.4. Justificación de la investigación			■	■																
1.5. Limitaciones				■																
CAPÍTULO 2: MARCO TEORICO																				
2.1. Antecedentes de la investigación					■															
2.2. Bases Teóricas						■														
2.3. Definición de Términos (Glosario)							■													
2.4. Sistema de Variables							■													
CAPÍTULO: MARCO METODOLOGICO																				
3.1. Nivel de Investigación								■												
3.2. Diseño								■												
3.3. Población y Muestra									■											

5.2.Presupuesto del trabajo de investigación

PRESUPUESTO				
BIENES	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL	
		UNITARIO		
Laptop	2	\$ 800,00	\$ 1.600,00	
Memoria USB	2	\$ 12,00	\$ 24,00	
Impresiones	3	\$ 10,00	\$ 30,00	
Internet	1	\$ 30,00	\$ 90,00	
Transporte	1	\$ 20,00	\$ 20,00	
Resma de papel	3	\$ 5,00	\$ 15,00	
Total			\$ 1.779,00	

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Los daños encontrados en el edificio del Laboratorio de Investigación de la Universidad Estatal de Bolívar son significativos debido a que la construcción de la primera planta se encuentra inconclusa y en abandono, se pudo identificar numerosas lesiones como micro fisuras de 0,04mm, fisuras de 0,3mm, grietas de 0,5mm aproximadamente afectando de manera negativa la capacidad sismorresistente del edificio e incrementando la vulnerabilidad de este.
- En este trabajo de investigación se logró analizar la vulnerabilidad sísmica a la que está expuesta el edificio, Laboratorio de Investigación de la Universidad Estatal de Bolívar utilizando el formulario de evaluación visual rápido FEMA P-154 en la cual se obtuvo como resultado una puntuación de 1,1 que se encuentra dentro del rango de calificaciones menor a 2, lo que significa que la edificación se encuentra en un nivel alto de vulnerabilidad ante amenaza sísmica.
- Al realizar el primer modelamiento estructural del edificio en estudio con el software CYPECAD con respecto a los modos de vibración según la NEC el modo uno y dos son fundamentales en el análisis de una estructura ya que en estos modos todos los pisos se desplazan en una misma dirección y según CYPE Ingenieros, (s.f.) los valores de L_{gz} cuanto más cercano a 1 mayor problema de torsión, en el primer modo de vibración en X el porcentaje de masa desplazada es de 96.47% y con un grado de libertad en l_{gz} de 0,57 siendo traslacional, en el segundo modo de vibración en Y es torsional con un

porcentaje de masa desplazada de 89.48% y con un valor muy cercano a 1 en L_{gz} de 0,96 el tercer modo de vibración también es torsional con 0,99 en L_{gz} por lo cual nos permite determinar que la estructura no tiene un buen desempeño estructural ante eventos sísmicos.

- El análisis según la NEC-SD-DS peligro sísmico y diseño sismorresistente del sistema estructural del edificio relacionado al periodo del primer modo de vibración el valor que se obtuvo mediante el modelamiento fue $T = 0,533s$ mientras que el periodo aproximado que fue calculado utilizando la normativa NEC fue $T_a: 0,42s$ es decir $T > T_a$ superando con un valor de 0,113 obteniendo un porcentaje del 26% por lo que cumple con el periodo de vibración ya que no supera el 30% del valor obtenido en el método 1 ($0,533seg. > 0,42seg.$). Esta estimación inicial razonable permite calcular las fuerzas sísmicas y determinar la rigidez de la estructura.
- En relación con las derivas de piso cumple con los valores establecidos en la NEC en cuanto a desplome local máximo de pilares (ver tabla 22) que es 1/50 en dirección X, Y. Los valores que se obtuvieron en primer y segundo modelamiento no supera el valor mínimo establecido en la norma con un desplome total máximo de pilares en el primer modelamiento en dirección X de 1/123 en dirección Y de 1/105 en el segundo modelamiento con la sugerencia de implementar medidas para reducir la vulnerabilidad se obtuvo valores en dirección X de 1/222 y en dirección Y de 1/288 teniendo un notable mejoramiento en el comportamiento de las columnas.
- Después de analizar los resultados del primer modelamiento, se determinó que la estructura presenta vulnerabilidad por lo que se optó por realizar un segundo modelamiento implementando paredes de ladrillo y diagonales de

arrostramiento en cruz de San Andrés. Después de implementar estas medidas mejoro el comportamiento de la estructura y los valores de Lgz se alejaron de 1 por ende el primer modo de vibración en X es traslacional con un porcentaje de masa desplazada de 97% y con un grado de libertad en Lgz de 0,01 el segundo modo de vibración en Y cambio de torsional a traslacional con un porcentaje de masa desplazada de 97.33% y con un valor en lgz de 0,50 el tercer modo también es torsional con valor de 1 en Lgz reduciendo la vulnerabilidad de la estructura.

- De los resultados obtenidos con el programa CYPECAD podemos concluir que la estructura tiene un comportamiento y desempeño no aceptable por lo tanto es una estructura vulnerable ante sismos.

6.2.Recomendaciones

- Realizar el mantenimiento de la edificación para corregir los daños estructurales identificadas, siguiendo los procedimientos adecuados y utilizando materiales de calidad con la finalidad de mejorar la capacidad sismo resistente del edificio.
- Se recomienda llevar a cabo una inspección más minuciosa y exhaustiva de la estructura del Laboratorio de Investigación mediante un ingeniero estructuralista, ya que de los resultados obtenidos se desprende que la estructura es vulnerable. También se sugiere llevar a cabo una investigación para determinar las propiedades mecánicas de los materiales utilizados en la construcción y las características del suelo donde se asienta la estructura.
- Debido a que el movimiento torsional está presente en los primeros modos de vibración, lo que actualmente impide que el edificio tenga un buen desempeño estructural, se recomienda la instalación paredes de ladrillo y diagonales de arrostramiento en cruz de San Andrés para ello se debe dar seguimiento con un especialista en estructuras, tomando en cuenta el actual estudio investigativo y de esta manera poder mejorar la rigidez de la estructura y reducir significativamente el efecto torsional.
- Por último, se recomienda a las autoridades pertinentes de la Universidad Estatal de Bolívar que consideren el estudio actual y tomen medidas a corto y mediano plazo mediante la intervención de profesionales capacitados para solucionar la vulnerabilidad presente en la estructura. De esta manera, se protegerá la vida y los bienes que se encuentran dentro del edificio y se asegurara su integridad a largo plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia Federal de Manejo de Emergencias. (2015). *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook*. Third Edition.

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

Albarracin Meza, A. (2019). *Aplicación de metodologías simplificadas pre-evento sísmico, para la determinación de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de la Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática de la UCE* [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador]. Archivo Digital.

<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/18528>

Cabezas, J. (2016). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica del edificio de la Facultad de Comunicación Social, de la Universidad Central del Ecuador, utilizando la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC-SE-RE, 2015)* [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador]. Archivo digital.

<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/7026>

Calero, E., y Gaibor, M. (2019). *Modelamiento Informático del Comportamiento de la estructura del Edificio de Ciencias de la Salud y del Ser Humano de la Universidad Estatal de Bolívar ante amenaza sísmica* [Tesis de grado, Universidad Estatal de Bolívar]. Archivo digital. <https://www.dspace.ueb.edu.ec/handle/123456789/3175>

Centro de Investigación en Gestión Integral de Riesgos. (2009). *Patologías en edificaciones*.

<https://cigir.org.ve/inicio/>

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (2017).

Manual para la evaluación de riesgos por sismos. Lima: CENAPRED

https://cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/

CYPE Ingenieros (s.f.). *CYPECAD Memoria de Calculo.*

https://www.cype.net/documentos_es/manuales/ccadmc01.pdf

CYPE Ingenieros (s.f.). *Sismo porcentaje de masa desplazada.*

<https://medifestructuras.com/Foros/CuestionForo.php?id=32>

Epifania, G., y Mercado, G. (2021). *Vulnerabilidad sísmica de la institución educativa*

particular San José, Chimbote -2021 [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo].

Archivo Digital. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/85955>

Erazo Castillo, E. (2022). *Vulnerabilidad sísmica en la estructura de hormigón del antiguo*

Terminal Terrestre de la ciudad de Macas perteneciente al GAD del cantón Morona [

Tesis de grado, Universidad Internacional]. Archivo Digital.

<https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/4698/1>

Estrella Aguirre, M. (2023). *Control de la calidad en hormigones con métodos destructivos y*

no destructivos en columnas y vigas. Universidad Técnica de Machala

<http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/20730/1/ESTRELLA%20AGUIRRE%20MICHAEL%20pdf.pdf>

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación.* (6ta

ed.). Interamericana Editores. <https://www.uca.ac.cr/wp-content>

Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional-IG/EPN. (2007). *Estudio de la*

Evaluación de la Amenaza Sísmica para la ciudad de Guaranda provincia de Bolívar,

Guaranda Ecuador. <https://www.igepn.edu.ec>

Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional-IG/EPN. (2007). *Breves Fundamentos*

sobre los terremotos en el Ecuador. [https://www.igepn.edu.ec/publicaciones-para-la-](https://www.igepn.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/comunidad-espanol/35-breves-fundamentos-sobre-los-terremotos-en-el-ecuador/file)

[comunidad/comunidad-espanol/35-breves-fundamentos-sobre-los-terremotos-en-el-](https://www.igepn.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/comunidad-espanol/35-breves-fundamentos-sobre-los-terremotos-en-el-ecuador/file)

[ecuador/file](https://www.igepn.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/comunidad-espanol/35-breves-fundamentos-sobre-los-terremotos-en-el-ecuador/file)

Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño. (2014). *Sistemas Estructurales proyecto de estructura* <https://es.slideshare.net/1964victoria/sistemas-estructurales-35624621>

Lasso, J., y Chela, A. (2021). *Vulnerabilidad estructural ante amenaza sísmica en el edificio del Gobierno Autónomo Descentralizado de la provincia Bolívar* [Tesis de grado, Universidad Estatal de Bolívar]. Archivo Digital.
<https://www.dspace.ueb.edu.ec/handle/123456789/4087>

Mejia, E. (2005). *Técnicas e instrumentos de investigación* (1era ed.). Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2014). Acuerdo-0028- Normas- NEC2
https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2020/07/2014-08-19_Acuerdo-Ministerial-No.-0028_Expedici%C3%B3n-NEC-SE-CG_DS_RE_GC_HM_MP.pdf

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2019). *Manual para la Regulacion de Procesos Constructivos: Enfoque en costrucciones Sismorresistentes, Quito-Ecuador.*
<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2019/06/Manual-para-la-Regulacion-de-Procesos-Constructivos.pdf>

Moscardó, E., Delgado, A., y Bascón, M. (2016). *Realidad y modelo estructural* Universidad de Sevilla <https://personal.us.es/ejem/wp-content/uploads/2016/02/T06-Realidad-y-modelo-estructural.pdf>

Moscardó, E., Delgado, A., Fernández, y Bascón, M. (2016) *Tipología estructural.* Universidad de Sevilla <https://personal.us.es/ejem/wp-content/uploads/2016/02/T02-Tipologia-estructural.pdf>

Norma Ecuatoriana de Construcción. (2015). *Peligro sísmico diseño sismorresistente.* Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. https://www.ecp.ec/wp-content/uploads/2017/09/NEC_SE_DS_peligro-sismico.pdf

- Norma Ecuatoriana de Construcción. (2015). *Riesgo sísmico, evaluación, rehabilitación de estructuras*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/8.-NEC-SE-HM-Hormigon-Armado.pdf>
<https://online.portoviejo.gob.ec/docs/nec10.pdf>
- Norma Ecuatoriana de Construcción. (2015) *Estructuras de Hormigón Armado*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda
- Paucar Camacho, A. (2016). *Modelo para la articulación de la gestión del riesgo en el proceso de ordenamiento territorial de la ciudad de Guaranda/ Ecuador*. [Tesis doctoral, Universidad de Valencia]. Archivo Digital.
<https://roderic.uv.es/handle/10550/54628>
- Pazmiño, D., y Pico, S. (2019). *Estado actual de vulnerabilidad sísmica del edificio Administrativo del campus Alpachaca de la Universidad Estatal de Bolívar*. [Tesis de grado, Universidad Estatal de Bolívar]. Archivo Digital.
<https://www.dspace.ueb.edu.ec/handle/123456789/3083>
- Rodas Andrade, H. (2014). *Estructuras 1 apuntes de clase*. Universidad de Cuenca
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/693803.pdf>
- Safina Melone, S. (2003). *Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico*. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Santamaría Morales, D. (2017). *Análisis y diseño sismorresistente del reforzamiento estructural para el edificio Silva Núñez según la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15*. [Tesis de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas]. Archivo Digital <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/13786>
- Secretaría de Gestión de Riesgos, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. (2016). *Guía práctica para la evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, de conformidad con la Norma Ecuatoriana de*

- Costruccion NEC-2015*. https://www.ecp.ec/wp-content/uploads/2017/08/GUIA_5.pdf
- Secretaria de Gestión de Riesgos. (2018). *Glosario de términos de Gestión de Riesgo de Desastres*. Guía de consulta. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/01/>
- Servicios Profesionales de Ingeniería y Capacitación. (2018). *Evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes*. <https://seproinca.com/>
- Socorras, Y., y Alvarez, E. (2021). *Limitaciones de los estudios de vulnerabilidad sísmica a edificios de hormigón en Santiago de Cuba* Revista de arquitectura e ingeniería, núm. 3, pp 1-12, 2021 <https://www.redalyc.org/journal/1939/193969257004/html/>
- Universidad Nacional de Colombia. (2011). *Vulnerabilidad sísmica y patológica de la institución universitaria, Tecnológico de Antioquia*. https://www.tdea.edu.co/images/tdea/galeria/planeacion/estudio_vulnerabilidad_sismica.pdf
- Veltamie, F. (2014). *Métodos de Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica*. Segcisal, 3.
- Vilema Condo, C. (2014). *Análisis del factor de reducción de las fuerzas sísmicas (R) en un edificio de hormigón armado de 5 pisos con CYPECAD para garantizar el cálculo y la seguridad de sus habitantes ubicado en el barrio el Dorado, ciudad de Puyo, provincia de Pastaza* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. Archivo Digital. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/7578>
- Zaruma, J., y Acurio, Y. (2018). *Modelamiento de la vulnerabilidad sísmica del edificio del Hospital Básico IEES de la ciudad de Guaranda, provincia Bolívar* [Tesis de grado, Universidad Estatal de Bolívar]. Archivo Digital. <https://dspace.ueb.edu.ec/handle/123456789/2601>

ANEXOS

Anexo 1

Ensayo de esclerometría en columnas, vigas y losa planta baja

Columnas	Promedio Rebote	fc (N/mm ²)	fc (Kg/cm ²)
C1	29	23	230
C2	32	28	280
C3	28	22	220
C4	28	22	220
C5	23	14	140
C6	25	17	170
C7	27	20	200
C8	26	18	180
Promedio Resistencia			205

Vigas	Promedio Rebote	fc (N/mm ²)	fc (Kg/cm ²)
V1	28	22	220
V2	26	19	190
V3	30	25	250
V4	25	17	170
V5	21	11	110
V6	21	11	110
V7	27	20	200
V8	26	18	180
Promedio Resistencia			178,75

Losa 1	33	22	220
	27	20	200
	25	17	170
Promedio Resistencia			197

Anexo 2

Identificación de daños estructurales en el edificio del Laboratorio de Investigación



Anexo 3

Ensayo de esclerometría en los elementos estructurales



Anexo 4

Evaluación de la estructura con el formulario FEMA P-154



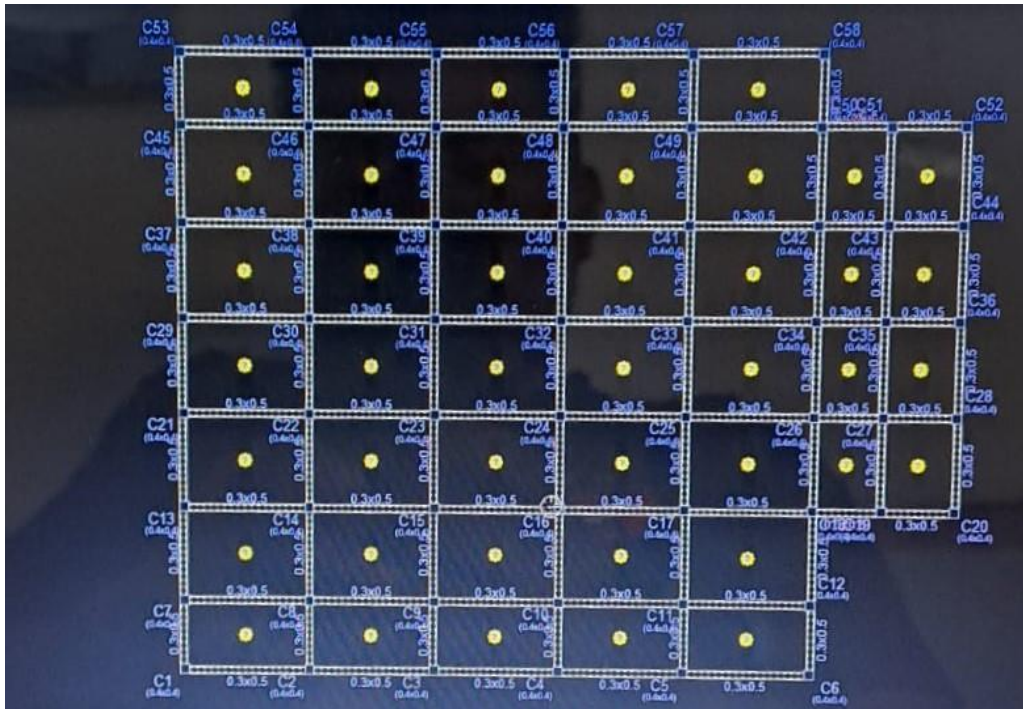
Anexo 5

Modelamiento estructural del edificio mediante el software CYPECAD



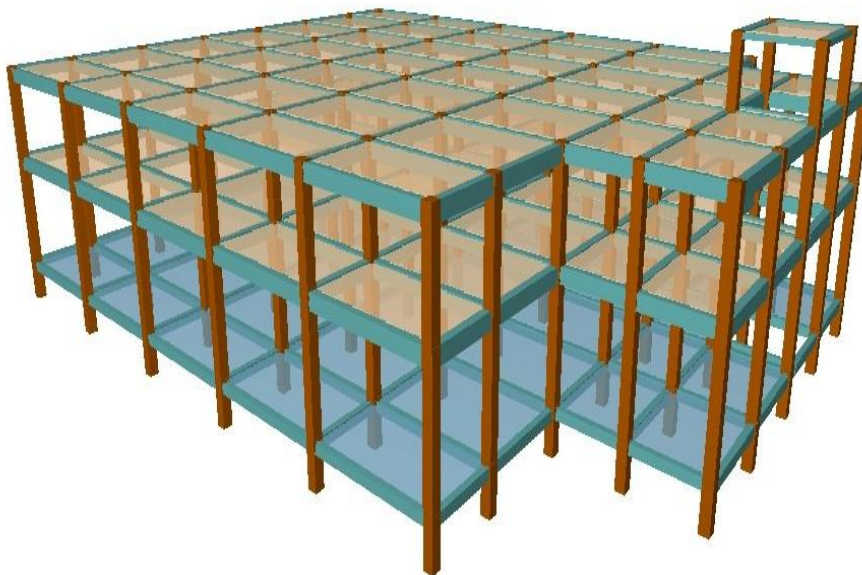
Anexo 6

Vigas y columnas del edificio Laboratorio de Investigación de la UEB



Anexo 7

Modelado tridimensional con el programa CYPECAD



Anexo 10
Estudio de suelo del área de estudio



CARLOS NAVARRO P.
INGENIERO CIVIL

RP. 18-607 TELEF: 032422978 - 0984605909
RUC:1802163038001 DIRECCION: LOS TAMARINDOS 1-33 Y LAS CEREZAS (FICOA)

PROYECTO: VÍAS DE ACCESO CAMPUS LAGUACOTO															
OBRA: VÍAS DE ACCESO CAMPUS LAGUACOTO															
LOCALIZACIÓN KM 1 VÍA SAN SIMÓN - CANTÓN GUARANDA - PROVINCIA DE BOLÍVAR															
HOJA 1 DE 2										FECHA: 19 DE SEPTIEMBRE 2018					
ENSAYOS DE CLASIFICACION															
Muestra N°.-	1				2				3						
Abscisa:	SUELO NATURAL ABS.C. 0+100 MARGEN IZQUIERDO - VÍA ACCESO PRINCIPAL LAGUACOTO EDIFICIO DE VINCULACIÓN				MATERIAL DE MEJORAMIENTO ABS.C. 0+100 MARGEN CENTRO VÍA ACCESO PRINCIPAL LAGUACOTO EDIFICIO DE VINCULACIÓN				SUELO NATURAL ABS.C. 0+050 MARGEN DERECHO - VÍA DE INGRESO LAGUACOTO FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS						
1.- CONTENIDO DE HUMEDAD															
W. Hum.	74.87	72.14			75.74	81.64			64.39	66.12					
W. Seco	68.28	66.19			74.13	79.69			62.07	63.70					
W. Caps	30.66	30.58			30.42	31.01			31.09	31.21					
w %	17.52	16.71			3.68	4.01			7.49	7.45					
PROMEDIO:	17				4				7						
2.- GRANULOMETRIA															
	W Seco = 2,000.00				W Seco = 2,500.00				W Seco = 2,506.00						
Tamiz	W Ret	% Ret Parc	% Ret Ac	% Pasa	W Ret	% Ret Parc	% Ret Ac	% Pasa	W Ret	% Ret Parc	% Ret Ac	% Pasa			
2	0.00	0.00	0	100	0.00	0.00	0	100	0.00	0.00	0	100			
1 1/2"	160.00	8.00	8	92	171.00	7.00	7	93	0.00	0.00	0	100			
1"	381.00	19.00	27	73	254.00	10.00	17	83	0.00	0.00	0	100			
3/4"	0.00	0.00	27	73	13.00	1.00	18	82	26.00	1.00	1	99			
1/2"	84.00	4.00	31	69	245.00	10.00	28	72	45.00	2.00	3	97			
3/8"	122.00	6.00	37	63	200.00	8.00	36	64	37.00	1.00	4	96			
No. 4	374.00	19.00	56	44	512.00	20.00	56	44	179.00	7.00	11	89			
No. 10	257.00	13.00	69	31	401.00	16.00	72	28	348.00	14.00	25	75			
No. 40	294.00	15.00	84	16	410.00	16.00	88	12	1,235.00	49.00	74	26			
No. 100	168.00	8.00	92	8	141.00	6.00	94	6	499.00	20.00	94	6			
No. 200	95.00	5.00	97	3	106.00	4.00	98	2	61.00	2.00	96	4			
Bandeja	65.00	3.00	100	0	47.00	2.00	100	0	76.00	3.00	99	1			
3.- LIMITE LIQUIDO															
GOLPES	10	20	30	40	10	20	30	40	8	16					
W Hum.	25.02	24.47	22.72	23.36	24.90	24.02	25.35	25.03	29.14	30.55					
W Seco	22.78	22.47	21.22	21.72	23.17	22.49	23.68	23.41	26.69	27.90					
W Caps	17.34	17.11	17.11	17.13	17.43	16.59	17.02	16.69	16.91	17.13					
w %	41.18	37.31	36.50	35.73	30.14	25.93	25.08	24.11	25.05	24.61					
4.- LIMITE PLASTICO															
W Hum.	18.90	18.71	L. Liq =	37	18.26	17.82	L. Liq =	26	19.03	19.47	L. Liq =	24			
W Seco	18.34	18.46	L. Plást =	38	18.09	17.68	L. Plást =	23	18.69	19.02	L. Plást =	24			
W Caps	17.32	17.22	I. Plást =	NP	17.35	17.07	I. Plást =	3	17.24	17.22	I. Plást =	NP			
w %	54.90	20.16	SUCS:	SP/SC	22.97	22.95	SUCS:	SP/SC	23.45	25.00	SUCS:	SM			
%HUMEDAD- NUMERO DE GOLPES				%HUMEDAD- NUMERO DE GOLPES				%HUMEDAD- NUMERO DE GOLPES							
5.- RESUMEN DE RESULTADOS															
Granulometría				Plasticidad				Granulometría				Plasticidad			
GRAVA				% LL = 37				GRAVA				% LL = 26			
ARENA				% LP = 38				ARENA				% LP = 23			
FINOS				% IP = NP				FINOS				% IP = 3			
GRAVA				% LL = 24				GRAVA				% LL = 24			
ARENA				% LP = 24				ARENA				% LP = 24			
FINOS				% IP = NP				FINOS				% IP = NP			

Anexo 11

Tipos de suelo del área de estudio



CARLOS NAVARRO P.
INGENIERO CIVIL

RP: 18-607
RUC:1802163038001

TELEF: 032422978 - 0984605909
DIRECCION: LOS TAMARINDOS 1-33 Y LAS CEREZAS (FICOA)

TRAMO DE ESTUDIO

CALICATA N°	ABSCISA	HUMEDAD NATURAL (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	C.B.R %	
					DCP	LAB
1	0 + 100 Suelo Natural Lado Izquierdo de la vía	17	NP	SP/SC	15.70	16.80
2	0 + 100 Suelo de Mejoramiento Lado Centro de la vía	4	3	SP/SC	42.86	45.00
3	0 + 050 Suelo Natural Lado Derecho de la Vía	7	NP	SM	11.38	11.20
4	0 + 050 Suelo de Mejoramiento Lado Centro de la vía	4	1	SP/SC	51.00	52.50
5	0 + 100 Suelo Natural Lado Derecho de la vía	8	2	SP/SC	18.74	19.50